



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

PROPUESTA DE ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA PARA ECOSISTEMAS HÍDRICOS DE CHILE

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

TAMARA VALERIA GARCÍA QUEVEDO

PROFESOR GUÍA:

MARÍA PÍA MENA PATRI

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

MARIELA ARÉVALO HIGUERAS

JORGE CASTILLO GONZÁLEZ

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio del Medio Ambiente.
Gobierno de Chile.

SANTIAGO DE CHILE

NOVIEMBRE 2012

PROPUESTA DE ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA PARA ECOSISTEMAS HÍDRICOS DE CHILE.

Resumen

En este trabajo se presenta una propuesta de índices de calidad físico-químicos de agua superficial para ecosistemas hídricos de Chile para el Departamento de Recursos Hídricos del Ministerio del Medio Ambiente, con el objeto de clasificar la calidad de las aguas mediante una metodología que se adapte y represente específicamente las condiciones de cada ecosistema.

A pesar de los esfuerzos realizados a la fecha, Chile no cuenta actualmente con un índice de calidad de agua propio y oficial, tal que represente las características particulares de sus sistemas hídricos. Los índices propuestos hasta el momento han mostrado restricciones para indicar la calidad de las aguas nacionales, principalmente por no considerar la variabilidad hidroquímica que presentan sus aguas a lo largo y ancho de todo su territorio y por aplicar metodologías que no se adaptan a las condiciones hídricas del país.

Debido a lo anterior, se realizó un análisis exhaustivo a la información histórica entregada por el sistema de control hidrométrico de Chile, a cargo de la Dirección General de Aguas (DGA), de todos los sistemas hídricos que poseen estaciones de control de calidad de aguas del país. De esta manera, fue posible determinar el comportamiento fisicoquímico de la matriz de agua de los sistemas hídricos monitoreados, con el fin de considerar estas características e incorporarlas en el índice de calidad.

Por otro lado, se realizó un análisis detallado de las metodologías aplicadas en los índices de calidad desarrollados en el mundo, con el fin de proponer un ICA para Chile que se adaptara a las características particulares de sus ecosistemas hídricos.

Finalmente, considerando la experiencia internacional y la realidad del territorio nacional, tanto por su diversidad de sistemas, como del tipo y cantidad de información monitoreada por la DGA, se optó por proponer un índice de calidad que incorporara en su estructura las características naturales de las aguas evaluadas y criterios para usos específicos de acuerdo a normas de calidad.

Por lo tanto, el índice de calidad de aguas propuesto permite evaluar, en el tiempo y espacio, el estado de la calidad natural de las aguas de los ecosistemas hídricos superficiales del país y su potencial uso como fuente de agua potable y de regadío, considerando las características hidroquímicas particulares de cada tipo de cuerpo de agua de Chile, con el objeto final de detectar cambios significativas en la matriz de agua y realizar a tiempo las gestiones necesarias para evitar desastres irreparables en el ecosistema.

PROPUESTA DE ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA PARA ECOSISTEMAS HÍDRICOS DE CHILE.

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis amados padres. Por darme la vida y quererme infinitamente. Por apoyarme durante toda mi vida por sobre todas las cosas. Por enseñarme valores, a ser perseverante y responsable. Por esforzarse tanto para darme lo mejor. Por regalarme tanto y tratar de hacerme la vida más fácil que la que ellos tuvieron. Por entender que su hija menor también quería ser ingeniera y permitirme cumplir mi sueño de estudiar en Beauchef. Le agradezco a Dios constantemente por haberme permitido tenerlos como padres. Espero que algún día mis hijos se sientan tan orgullosos de mí como yo me siento de ellos.

A mi hermana mayor por apoyarme y quererme tanto. Por ser mi amiga y segunda mamá durante toda mi vida. Por ser una hermana ejemplar y dejarme siempre la vara alta en lo profesional. Por traer a la Sofí al mundo y permitirme ser su tía.

A mi familia, tías, abuelitos, primos y cuñado. En especial a mi padrino por ser uno de los pilares fundamentales de mi vida. Por quererme, cuidarme y apoyarme constantemente. Por aconsejarme y compartir su vida conmigo en todo momento. Y por estar siempre a mi lado cuando más lo necesito.

A mis amigos de la vida Payi, Fran, Dani y Edo por quererme tal cual soy. Por entregarme tanto cariño y buenos momentos en estos 20 años de amistad. Y a mi mejor amiga del colegio Camila por permitirme ser parte de su vida y apoyarme y quererme tanto. Soy tremendamente afortunada en tenerlos a todos como amigos.

A mi gran amigo de la universidad Dario Vargas. Por ayudarme desinteresadamente, por preocuparse de mí constantemente, por escuchar mis desahogos y apoyarme siempre, por reír conmigo de todas mis locuras y por estar presente en mis mejores recuerdos de Beauchef.

Finalmente, a todos mis compañeros de la universidad, en especial a los hidráulicos de la generación 2006. A Dani Vicente y Carla Guzmán por el tremendo apoyo que me entregaron durante estos últimos años en la Escuela. A Pato Olave por permitirme ser su amiga, por hacerme reír en tantas oportunidades y por ser mi compañero de trabajo tantas veces. A Diego Silva por ser un amigo tan generoso y dispuesto a ayudarme siempre. A Gonzalo Jiménez, Claudia Carvacho, Néstor Sepúlveda, Diego Cisterna, Eugenio Figueroa, Claudio Méndez, Felipe Vargas, César Nuñez, Jannik Haas, Manuel Díaz, Andrea González, Renato Vargas, Cristian Maldonado, Valeria Silva, Oriel Nuñez, Daniel Aliaga, Javier Sotomayor y a tantos civiles más que hicieron inolvidable mi paso por Beauchef. Es un placer haber compartido con personas como ustedes. A todos y a cada uno le dedico este trabajo con todo mi cariño, estoy increíblemente agradecida por su amistad y compañerismo.

PROPUESTA DE ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA PARA ECOSISTEMAS HÍDRICOS DE CHILE.

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a mi profesora guía María Pía Mena por el apoyo entregado durante todo el proceso de desarrollo de este trabajo. Por confiar en mí y aceptar trabajar conmigo sin conocerme. Por su compromiso constante conmigo, y con este trabajo, y dedicarme tantas horas de su ocupadísima vida para construir esta tesis. Por enseñarme tanto, entregarme su cariño y comprensión siempre. Estoy infinitamente agradecida por haber tenido la oportunidad de ser guiada profesionalmente por ella. Sin duda, es un gran referente a seguir en mi vida profesional.

En segundo lugar quiero agradecer a los integrantes de la comisión evaluadora de esta tesis. A Mariela Arévalo por darme la oportunidad de desarrollar este trabajo, por creer en mis capacidades y apoyarme siempre. Al profesor Jorge Castillo por su cariño, comprensión, apoyo y sabiduría entregada constantemente. Haber sido alumna de él es uno de los grandes privilegios y placeres que he tenido en mi paso por la Escuela.

En tercer lugar agradezco al Departamento de Asuntos Hídricos del Ministerio del Medio Ambiente por haberme acogido durante todo el proceso de desarrollo de este trabajo. En particular a Silvia Benítez por su preocupación y compromiso indiscutible conmigo y con esta tesis. A Judith Roa, Hernán Latuz, Claudia Galleguillos y Alejandra Figueroa por su amabilidad y excelente disposición para ayudarme siempre. Y a Cecilia Aburto por ser mi gran apoyo emocional y profesional en el Departamento, por entregarme tanto cariño y alegrías, por enseñarme desinteresadamente tantas cosas y ser mi amiga cuando más lo necesite.

También quiero agradecer a la División de Estudios del Ministerio del Medio Ambiente. A todos aquellos que me facilitaron amablemente los datos utilizados en este trabajo. En especial a Sebastián Elgueta y María Jesús Llambias. Sin su ayuda, esta tesis no podría haber logrado sus objetivos.

Finalmente agradezco a toda mi familia, amigos y compañeros de universidad por apoyarme en este proceso de titulación y comprender mi ausencia en sus vidas durante el tiempo que dedique en desarrollar este trabajo. Sin duda su cariño estuvo a mi lado siempre y me dio las fuerzas para terminar y cerrar este ciclo tan importante en mi vida profesional.

PROPUESTA DE ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA PARA ECOSISTEMAS HÍDRICOS DE CHILE.

Índice de Contenidos

Capítulo 1: Introducción	10
1.1 Introducción	10
1.2 Objetivos	11
1.2.1 Objetivo General.....	11
1.2.2 Objetivos Específicos	12
1.3 Resumen de Contenidos.....	12
Capítulo 2: Índices de Calidad del Agua	13
2.1 Antecedentes	13
2.2 Definición de un Índice de Calidad del Agua	14
2.3 Ventajas y limitaciones de un ICA	15
2.4 Construcción de un ICA	16
2.4.1 Selección de parámetros	16
2.4.2 Determinación de las funciones o curvas de calidad de cada parámetro..	16
2.4.3 Determinación de los pesos relativos de cada parámetro	17
2.4.4 Agregación de parámetros a través de una expresión matemática	18
2.4.5 Definición de rangos de calidad de un ICA.....	19
2.5 Índices de calidad del agua utilizados en el mundo.....	19
2.6 Descripción de los parámetros utilizados en un ICA.....	24
2.7 Índices de calidad del agua desarrollados en Chile	27
2.7.1 ICA Objetivo (ICAOBJ).....	28
2.7.2 ICA Cade-Idepe (ICAS)	31
Capítulo 3: Ecosistemas Hídricos en Chile	39
3.1 Introducción	39
3.2 Ecorregiones de Chile	41
3.2.1 Ecorregión Atacama	42
3.2.2 Ecorregión Altiplano	43
3.2.3 Ecorregión Mediterránea	44
3.2.4 Ecorregión Lagos Valdivianos	47
3.2.5 Ecorregión Patagonia.....	48

3.3	Tipos de ecosistemas hídricos en Chile	51
3.3.1	Sistema de tipología para cuerpos de agua de Chile	51
3.3.2	Tipología para cuerpos de agua de Chile.....	54
Capítulo 4: Análisis de Datos de Calidad de Aguas en Chile		60
4.1	Introducción	60
4.2	Datos de calidad de aguas	60
4.3	Análisis de consistencia de datos de calidad de aguas.....	64
4.4	Representación gráfica de datos de calidad de aguas	67
Capítulo 5: Propuesta de Índice de Calidad de Aguas para Ecosistemas Hídricos de Chile		90
5.1	Introducción	90
5.2	Propuesta.....	91
5.2.1	Objetivo del índice	91
5.2.2	Parámetros seleccionados	92
5.2.3	Ponderación de parámetros.....	94
5.2.4	Normalización de parámetros	94
5.2.5	Agregación de parámetros.....	97
5.2.6	Rangos de calidad.....	97
Capítulo 6: Aplicación del ICA Propuesto		99
6.1	Introducción	99
6.2	Sistemas hídricos seleccionados	99
6.3	Aplicación del ICA propuesto	101
Capítulo 7: Conclusiones.....		106
Bibliografía.....		111
ANEXO A: Cuencas hidrográficas de Chile definidas por la DGA.....		116
ANEXO B: Procedimientos estándares destinados al análisis de consistencia de datos de calidad de aguas.....		124
ANEXO C: Representaciones gráficas de datos de calidad		127
ANEXO D: Aplicación ICA propuesto		133
ANEXO E: Estaciones de monitoreo de calidad de la DGA.....		135

PROPUESTA DE ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA PARA ECOSISTEMAS HÍDRICOS DE CHILE.

Índice de Tablas

Tabla 2.1: Ventajas y limitaciones de un ICA.....	15
Tabla 2.2: Variables consideradas en un ICA	16
Tabla 2.3: Construcción de funciones de calidad en un ICA	17
Tabla 2.4: Métodos para construir diagramas de calibración para un ICA.....	17
Tabla 2.5: Fórmulas de agregación matemática utilizadas en un ICA	18
Tabla 2.6: Índices de calidad del agua creados en el mundo.....	20
Tabla 2.7: Parámetros seleccionados en ICAOBJ.....	28
Tabla 2.8: Pesos de ponderación para parámetros del ICAOBJ.....	29
Tabla 2.9: Normalización de parámetros seleccionados en ICAOBJ.....	30
Tabla 2.10: Categorías de clasificación definidas para el ICA Objetivo.....	30
Tabla 2.11: Definición de parámetros en ICA Cade-Idepe.	32
Tabla 2.12: Definición de clases de calidad en ICA Cade-Idepe.	33
Tabla 2.13: Estandarización de clases de calidad en ICA Cade-Idepe.....	36
Tabla 2.14: Clasificación de la calidad del agua en ICA Cade-Idepe	38
Tabla 3.1: Criterios de clasificación para ríos y lagos de Chile	52
Tabla 3.2: Rangos de clasificación para criterios topográficos e hídricos de los ríos de Chile.	54
Tabla 3.3: Rangos de clasificación para criterios pedológicos y geológicos de los ríos de Chile.	54
Tabla 3.4: Cantidad de ríos establecidos en Tipología.....	55
Tabla 4.1: Cuencas hidrográficas, definidas por la DGA, que cuentan con estaciones de calidad química.....	61
Tabla 4.2: Parámetros físico-químicos monitoreados por la DGA	63
Tabla 4.3: Resultados del balance químico y eléctrico por ecorregión.....	64
Tabla 4.4: Resultados del balance químico y eléctrico por ecorregión para estaciones vigentes.....	65
Tabla 4.5: Valores característicos encontrados en cada ecorregión del país.....	66
Tabla 5.1: Parámetros seleccionados para ICA propuesto	92
Tabla 5.2: Efectos producidos por los metales en los cultivos.....	93
Tabla 5.3: Pesos asignados a los parámetros seleccionados del ICA propuesto.	94
Tabla 5.4: Estandarización de parámetros seleccionados en el ICA propuesto	96
Tabla 5.5: Calidad ambiental de parámetros de acuerdo a normas NCh 409 y NCh 1333.	96
Tabla 5.6: Rangos de calidad ICA propuesto.	97
Tabla 6.1: Sistemas hídricos seleccionados para aplicación de ICA propuesto.....	99
Tabla 6.2: Categorías de calidad para estaciones seleccionadas	101
Tabla 6.3: Aplicación de ICA potable para estandarización de parámetros seleccionados.	102

Tabla 6.4: Aplicación de ICA riego para estandarización de parámetros seleccionados.	103
Tabla 6.5: Evaluación ICA natural con data real.....	104
Tabla 6.6: Evaluación ICA potable con data real.....	104
Tabla 6.7: Evaluación ICA riego con data real.	104
Tabla 6.8: Evaluación ICA global con data real.....	105

PROPUESTA DE ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUA PARA ECOSISTEMAS HÍDRICOS DE CHILE.

Índice de Ilustraciones

Figura 2.1: Curvas de estandarización de parámetros obligatorios ICA Cade-Idepe.....	37
Figura 3.1: Ecorregiones de Chile	50
Figura 3.2: Cartografía de la Tipología de Ríos Chilenos. Ecorregiones Altiplano y Atacama.....	56
Figura 3.3: Cartografía de la Tipología de Ríos Chilenos. Ecorregión Mediterráneo....	57
Figura 3.4: Cartografía de la Tipología de Ríos Chilenos. Ecorregión Lagos Valdivianos.....	58
Figura 3.5: Cartografía de la Tipología de Ríos Chilenos. Ecorregión Patagonia.	59
Figura 4.1: Construcción código BNA de una estación de monitoreo de la DGA.....	67
Figura 4.2: Mapa Hidroquímico de Stiff para Chile.....	69
Figura 4.3: Mapa Hidroquímico Ecorregiones Altiplano y Atacama. Cuencas 10 a 29. 70	
Figura 4.4: Mapa Hidroquímico Ecorregiones Altiplano y Mediterráneo. Cuencas 30 a 42.	71
Figura 4.5: Mapa Hidroquímico Ecorregión Mediterráneo. Cuencas 43 a 49.	72
Figura 4.6: Mapa Hidroquímico Ecorregión Mediterráneo. Cuencas 50 a 59.	73
Figura 4.7: Mapa Hidroquímico Ecorregión Mediterráneo. Cuencas 60 a 80.	74
Figura 4.8: Mapa Hidroquímico Ecorregión Mediterráneo. Cuencas 81 a 92.	75
Figura 4.9: Mapa Hidroquímico Ecorregiones Lagos Valdivianos y Patagonia. Cuencas 93 a 109.	76
Figura 4.10: Mapa Hidroquímico Ecorregión Patagonia. Cuencas 110 a 119.	77
Figura 4.11: Mapa Hidroquímico Ecorregión Patagonia. Cuencas 120 a 128.	78
Figura 4.12: Mapa de Conductividad Eléctrica para Chile.	79
Figura 4.13: Mapa C.E Ecorregiones Altiplano y Atacama. Cuencas 10 a 29.....	80
Figura 4.14: Mapa C.E Ecorregiones Altiplano y Mediterráneo. Cuencas 30 a 42.	81
Figura 4.15: Mapa C.E Ecorregión Mediterráneo. Cuencas 43 a 49.....	82
Figura 4.16: Mapa C.E Ecorregión Mediterráneo. Cuencas 50 a 59.....	83
Figura 4.17: Mapa C.E Ecorregión Mediterráneo. Cuencas 60 a 80.....	84
Figura 4.18: Mapa C.E Ecorregión Mediterráneo. Cuencas 81 a 92.....	85
Figura 4.19: Mapa C.E Ecorregiones Lagos Valdivianos y Patagonia. Cuencas 93 a 109.	86
Figura 4.20: Mapa C.E Ecorregión Patagonia. Cuencas 110 a 119.....	87
Figura 4.21: Mapa C.E Ecorregión Patagonia. Cuencas 120 a 128.....	88
Figura 6.1: Estación de monitoreo seleccionada, Ecorregión Atacama.	100
Figura 6.2: Estación de monitoreo seleccionada, Ecorregión Mediterráneo.....	100
Figura 6.3: Estación de monitoreo seleccionada, Ecorregión Patagonia.....	101

Capítulo 1: Introducción

1.1 Introducción

Los recursos hídricos se ven en su mayoría expuestos a actividades humanas y a fenómenos naturales que en conjunto, influyen tanto en la disponibilidad de uso como en su calidad, lo que suscita la necesidad de disponer de mecanismos de gestión y de regulación que apunten de manera eficiente y objetiva a la protección y uso sostenible del recurso.

La importancia de contar con información de la calidad de los cursos de agua, para el eficiente aprovechamiento de estos recursos, ha llevado a realizar numerosos estudios en búsqueda de índices que permitan una interpretación confiable del real estado de los cuerpos de agua.

Una forma de expresar información de calidad de aguas, de manera integrada, es utilizando un Índice de Calidad de Aguas (ICA). Los ICA son herramientas prácticas que sintetizan la información proporcionada por una gran cantidad de parámetros en una expresión sencilla, para generar un valor numérico que permita evaluar la calidad del agua de un sistema.

Los índices constituyen una herramienta muy útil para resumir grandes volúmenes de información, permitiendo una rápida interpretación y reconocimiento de las tendencias en la calidad del cuerpo de agua a lo largo del espacio y el tiempo. A su vez, se presentan como una opción viable para la interpretación de variables físicas, químicas, y biológicas de un programa de monitoreo, debido a que las diferentes variables son combinadas para generar un valor numérico que permite la evaluación, por ejemplo, de los efectos de las actividades antrópicas y de los procesos de autodepuración del cuerpo de agua, asociados a las diferentes acciones tomadas a lo largo de la fuente.

Inicialmente, los ICA fueron formulados para propósitos de clasificación de acuerdo a diferentes usos (agua potable, recreación, pesca, etc), así como para la interpretación de las variables involucradas en un programa de monitoreo. En la actualidad, dados sus enfoques y metodologías de uso, se han convertido en instrumentos que asisten en la toma de decisiones y en procesos de divulgación del estado de los cuerpos de agua, constituyendo una herramienta importante para la gestión de la calidad de los recursos hídricos, ya que de forma resumida pueden alertar sobre cambios significativos en la calidad de las aguas.

Diseñar un índice de calidad de agua es algo complejo. Uno de los principales problemas que se puede enfrentar en su diseño es la pérdida de información en la agregación de datos, dado que algunas variaciones y/o el valor de algunos parámetros podrían no ser reflejados en el índice y por ende en la evaluación de la calidad del agua. Es por esta razón que existen muchas formas de integrar un índice de calidad o definir la forma de ponderación de los parámetros, por lo cual, al elegir un índice de calidad

deben conocerse sus limitaciones y beneficios, para lograr su correcta aplicación. Un índice de calidad bien diseñado, que incorpora en su estructura las características de sus aguas, una referencia a normas de calidad y criterios para usos específicos e información relevante a los usos potenciales y a los elementos tóxicos o fuentes de contaminación, puede proporcionar información de gran valor para el manejo operacional de la calidad de cuerpos de agua, así como permitir comunicar información a las instituciones interesadas y a cualquier tipo de usuario que requiera de este tipo de información, de manera que pueda ser interpretado fácilmente tanto por expertos como por la comunidad en general.

A pesar de los esfuerzos realizados en distintos países, no se ha logrado proponer un índice universal. Hasta la fecha se ha generado gran cantidad de índices dependiendo del cuerpo hídrico que se pretende estudiar, limitando el uso de ellos a regiones o problemas ambientales específicos. Es importante conocer las bases metodológicas de cada índice de calidad, antes de aplicarlo en un sistema acuático, porque en muchas ocasiones éstos son elaborados para problemas específicos de una región, los cuales no necesariamente guardan relación con las fuentes que van a ser estudiadas.

En Chile se ha creado diversos índices de calidad para tratar de evaluar la calidad de las aguas del país. Sin embargo, los índices propuestos hasta el momento han mostrado restricciones para indicar la calidad de las aguas nacionales debido a que no siempre reflejan las condiciones de calidad reales del sistema hídrico analizado. Su falta de representatividad se debe principalmente por no considerar la variabilidad hidroquímica que presentan sus aguas a lo largo y ancho de todo su territorio y por aplicar metodologías que no se adaptan a las condiciones hídricas de Chile. Debido a esto, todavía no se logra establecer un índice de calidad de aguas oficial en el país.

En consideración a lo anteriormente expuesto, se plantea como objetivo principal de este trabajo proponer la aplicabilidad de diferentes índices de calidad de agua de acuerdo al ecosistema hídrico que se desee evaluar, considerando la gran variabilidad biogeográfica existente en nuestro país. En consecuencia, se podrá indicar de una manera más representativa la calidad de las aguas superficiales de los distintos tipos de ecosistemas hídricos del país, de acuerdo a las características propias de cada sistema. Por lo tanto, se podrá clasificar la calidad de las aguas con una metodología que se adapte y represente específicamente las condiciones del ecosistema en que se encuentra el cuerpo de agua superficial.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Proponer índices de calidad de agua superficial para distintos tipos de ecosistemas hídricos presentes en Chile.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar y describir los distintos índices de calidad de agua superficial utilizados en Chile y en el mundo.
- Determinar los principales parámetros físico-químicos que caracterizan a los distintos tipos de ecosistemas hídricos de agua superficial de Chile.
- Analizar la aplicabilidad de los distintos índices de calidad ambiental en los ecosistemas hídricos del país.
- Elaborar una propuesta de aplicación de ICA por tipo de ecosistema hídrico.
- Poner a prueba la aplicabilidad de los índices propuestos, utilizando datos reales de tres sistemas hídricos del país.

1.3 Resumen de Contenidos

Los contenidos de este trabajo han sido desarrollados en siete capítulos. A continuación se hace mención a los contenidos tratados en cada uno de ellos.

En el capítulo 2 se presenta las características principales que describen un índice de calidad de agua, incluyendo antecedentes históricos sobre el desarrollo de los ICA en el mundo, un resumen cualitativo de los índices más destacados a nivel nacional e internacional y la descripción de la metodología utilizada en algunos índices chilenos.

En el capítulo 3 se describe los diferentes tipos de ecosistemas hídricos encontrados en Chile y la distribución que presentan a lo largo y ancho del país.

En el capítulo 4 se detalla el análisis realizado a los datos de calidad de agua utilizados en esta propuesta, presentando el comportamiento hidroquímico de los cuerpos de agua del país que son regularmente monitoreados por la Dirección General de Aguas.

En el capítulo 5 se presenta la propuesta de índice de calidad del agua para los sistemas hídricos del país, con el objeto de evaluar su calidad natural y sus posibles usos como fuente de abastecimiento de agua potable y riego.

El capítulo 6 corresponde a la aplicación del ICA propuesto, utilizando datos reales de tres sistemas hídricos ubicados en distintas zonas del territorio nacional.

Por último, el capítulo 7 presenta las conclusiones establecidas en este trabajo.

Capítulo 2: Índices de Calidad del Agua

2.1 Antecedentes

Históricamente, organizaciones de varias nacionalidades involucradas en el control del recurso hídrico, han usado de manera regular índices fisicoquímicos para la valoración de la calidad del agua. Esto ha sido más notorio desde la última década del siglo XX, en la que se dio un incremento importante en su aplicación. En la actualidad existe una cantidad apreciable de formulaciones en diferentes latitudes y con propósitos que varían desde generales hasta específicos.

Desde sus inicios el objetivo de los índices de calidad de aguas estuvo enfocado, aparentemente, en conocer más el efecto de las cargas orgánicas, más allá del efecto en la calidad del agua de otros procesos de igual o mayor importancia. Esto puede soportarse sobre la base del tipo de contaminación existente en los años 60 y 70 en los países industrializados, y la subsecuente evolución de la contaminación. Actualmente es notorio observar que el desarrollo de los índices tiene en cuenta otros procesos, como la contaminación por detergentes, agroquímicos y el efecto de éstos y otros factores en la diversidad y composición de las especies.

El empleo de un índice de calidad del agua fue propuesto inicialmente por Horton en 1965, sin embargo, los índices no fueron aceptados y utilizados sino a partir de los años setenta, cuando los ICA adquieren relevancia para la evaluación del recurso hídrico. Este fue el caso del índice de calidad de agua desarrollado por la Fundación de Saneamiento Nacional de los Estados Unidos (NSF), Water Quality Index (WQI), creado en 1970 bajo la metodología Delphi. Este índice es en la actualidad uno de los más utilizados por agencias e instituciones en los Estados Unidos.

En las siguientes décadas, se desarrollaron diferentes métodos para el cálculo de un ICA. Diversos países crearon distintos índices de calidad de agua para caracterizar los cuerpos de agua superficial presentes en su territorio. Muchos de estos índices, a pesar de haber sido desarrollados para las condiciones propias de una región o un país, han sido ampliamente utilizados en el mundo y validados en diferentes estudios. Este es el caso de los índices estadounidenses NSF-WQI y el ICA de Dinius, creado en 1987. A partir de éstos, varios autores y entidades de control ambiental han realizado modificaciones para adaptarlos a las condiciones específicas de diferentes ecosistemas hídricos.

La Comunidad Europea por su parte, desarrolló el índice universal de calidad del agua (UWQI), utilizado para evaluar la calidad del agua superficial como fuente de agua potable, basándose en 12 parámetros físico-químicos.

Para el caso latinoamericano, el desarrollo y aplicación de estos índices se ha planteado con mayor fuerza en México. Otros países como Perú, Brasil y Colombia, han adaptado el índice norteamericano NSF-WQI a las condiciones propias de sus sistemas acuáticos.

Por otra parte, en el 2005 la Universidad de Pamplona desarrolló el software ICAtest versión 1.0, en el cual se incluye una gran variedad de ICA, diferenciados por país y autor. Gracias a este tipo de herramientas, el uso de índices de calidad se ha extendido en el mundo y ha permitido evaluar el estado de las aguas con mayor facilidad y eficiencia.

Dada la aplicabilidad de los índices de calidad y el creciente auge que ha tenido su uso, ha sido un tema novedoso y abierto a estudios de comparabilidad. Este es el caso de los estudios colombianos de Fernández et al. (2003) y Samboni et al. (2007). Ambas investigaciones contribuyeron de manera directa a mejorar el conocimiento del tema, con el propósito fundamental de llevar a cabo una revisión de algunos de los más importantes índices utilizados en la valoración de la calidad del agua que existía hasta el momento y cuya documentación se hallaba disponible en diferentes fuentes bibliográficas, instituciones y redes, con el objeto de brindar información actualizada en cuanto a su finalidad, composición y estructura, además de realizar entre ellos un análisis comparativo y evaluativo sobre la base de sus bondades e inconvenientes.

Fernández et al. (2003) presenta un estudio comparativo de 30 índices de calidad de agua, sobre la base de su estructura matemática, similitud de parámetros y comportamiento frente a un mismo grupo de datos. Por otro lado, Samboni et al. (2007) presenta una revisión de los indicadores ICA más utilizados en algunos países de América y Europa, así como su diseño e interpretación, que se basan en parámetros físico-químicos para su evaluación. Los resultados encontrados en estos estudios indican que es notoria la existencia de diferencias apreciables en cuanto a la clasificación de una misma muestra de agua ante diferentes índices.

Finalmente, es reconocible que a la fecha existe el inconveniente de definir un único índice como solución definitiva. La calidad de los recursos hídricos superficiales requiere de todo un marco metodológico de evaluación que permita obtener resultados tanto exactos como reproducibles contextualizados al caso de aplicación. Por todo lo anterior, se ha recomendado realizar o utilizar un ICA específico para cada territorio debido a la particularidad que pueden presentar sus aguas.

2.2 Definición de un Índice de Calidad del Agua

Un índice de calidad es un número adimensional que atribuye un valor cualitativo a un conjunto de parámetros medidos, agregados matemáticamente.

En términos simples, un ICA es un número único que expresa la calidad del recurso hídrico mediante la integración de las mediciones de determinados parámetros de calidad del agua y su uso permite una rápida interpretación y reconocimiento de las tendencias en la calidad del cuerpo de agua a lo largo del espacio y el tiempo.

Puede definirse como una herramienta que permite reducir información sobre un gran número de parámetros físico-químicos y microbiológicos a un solo índice de una

forma simple, rápida, objetiva y reproducible. El índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o incluso un color.

En particular, los índices de calidad fisicoquímicos se basan en la combinación de diferentes parámetros fisicoquímicos para proporcionar una visión global de la calidad del agua. La ventaja de este tipo de índices de calidad se basa en que el análisis de los parámetros involucrados suele ser más rápido y puede ser monitoreado con mayor frecuencia, en comparación con los métodos biológicos, basados en la observación y medición de ciertas comunidades de seres vivos en las aguas. Además, la elección de las especies debe ser cuidadosa ya que de esta depende la evaluación de la calidad del recurso, que generalmente sólo se realiza para un uso determinado, a diferencia de las físico-químicas, que permiten una evaluación para diferentes tipos de uso.

2.3 Ventajas y limitaciones de un ICA

A pesar de las ventajas actualmente reconocidas al uso de índices de calidad, aún siguen siendo criticados por presentar limitaciones de aplicación y confección. En la Tabla 2.1 se muestra las principales ventajas y limitaciones que han sido reconocidas en los índices de calidad.

Tabla 2.1: Ventajas y limitaciones de un ICA (Fuente: Torres et al, 2009).

Ventajas	Limitaciones
Permite mostrar la variación espacial y temporal de la calidad del agua.	Proporcionan un resumen de los datos.
Método simple, conciso y válido para expresar la importancia de los datos generados regularmente en el laboratorio.	No proporcionan información completa sobre la calidad del agua.
Útiles en la evaluación de la calidad del agua para usos generales.	No pueden evaluar todos los riesgos presentes en el agua.
Permiten a los usuarios una fácil interpretación de los datos	Pueden ser subjetivos y sesgados en su formulación.
Pueden identificarse tendencias de la calidad del agua y áreas problemáticas.	No son de aplicación universal debido a las diferentes condiciones ambientales que presentan las cuencas de una región a otra.
Permiten priorizar para evaluaciones de calidad del agua más detalladas.	Se basan en generalizaciones conceptuales que no son de aplicación universal.
Mejoran la comunicación con el público y aumentan su conciencia sobre las condiciones de calidad del agua.	Algunos científicos y estadísticos tienden a rechazar y criticar su metodología, lo que afecta la credibilidad de los ICA como herramienta para la gestión.
Ayudan en la definición de prioridades con fines de gestión.	

2.4 Construcción de un ICA

El procedimiento general que describe la construcción de un índice de calidad del agua está basado en 5 etapas fundamentales: Selección de parámetros, Determinación de las funciones o curvas de calidad de cada parámetro, Determinación de los pesos relativos de los parámetros seleccionados, Agregación de parámetros a través de una expresión matemática y Definición de rangos de calidad.

A continuación se detalla cada una de las etapas mencionadas.

2.4.1 Selección de parámetros

Se puede seleccionar entre dos o varios parámetros, considerando aquellos que entreguen la máxima cantidad de información sobre cambios en calidad del agua y su impacto en los distintos usos.

La selección depende en gran medida del criterio de un experto, agencia o entidad gubernamental, así como también de la información disponible (datos de monitoreo), los criterios de tiempo, localización y su importancia como estándar de calidad. Además, deben ser representativos de las características propias del ecosistema a evaluar, tal que muestren los cambios ambientales que se desarrollen en el sistema acuático a lo largo del tiempo y el espacio.

Usualmente se recomienda seleccionar parámetros de distintas categorías de clasificación ambiental, de tal manera de cubrir todas las áreas que reflejen posibles cambios en la calidad del agua. En la Tabla 2.2 se aprecia una clasificación de variables de acuerdo a cinco categorías ambientales.

Tabla 2.2: Variables consideradas en un ICA (Fuente: Samboni et al, 2007).

Categoría	Variables Consideradas
Nivel de Oxígeno	OD, DBO, DQO
Eutrofización	NO ₂ , NO ₃ , Fosfatos
Aspectos de Salud	Coliformes Totales y Fecales
Características Físicas	Temperatura, Transparencia, Sólidos Totales
Sustancias Disueltas	Cloruros, Sulfatos, pH, Conductividad

2.4.2 Determinación de las funciones o curvas de calidad de cada parámetro

Tienen como propósito la transformación de las variables de una escala dimensional a una escala adimensional para permitir su agregación. De esta manera, cada variable, con su respectiva unidad, es llevada a una misma escala antes de ser agregada en un solo valor.

Los métodos más utilizados para la construcción de estas funciones o curvas son los que se muestran en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3: Construcción de funciones de calidad en un ICA (Fuente: Samboni et al, 2007).

Método	Descripción
Valor nominal o numérico	Comparación del valor del parámetro con un estándar o criterio.
Parámetro en número decimal, diagramas o tablas de calibración	Se desarrolla para cada parámetro su propio diagrama, en el que se indica la correlación entre el parámetro y su valor en escala de calidad.
Parámetro bajo formulación matemática	Convierte los valores del parámetro de acuerdo a varias escalas con las que los valores del mismo conservan sus unidades originales.

Los diagramas de calibración pueden ser desarrollados utilizando diversas metodologías. En la Tabla 2.4 se observan algunas de las metodologías que se ocupan para este propósito.

Tabla 2.4: Métodos para construir diagramas de calibración (Fuente: Samboni et al, 2007).

Metodología	Descripción
Experiencia Propia	Basada en el criterio del autor
Método Delphi	Considera el promedio de la opinión de varios expertos
Ecuaciones Matemáticas	Curva construida a partir de una fórmula matemática o viceversa
Normatividad	Generada a partir de los valores recogidos en diferentes normativas

Cabe destacar que formulaciones más recientes prefieren trabajar sobre ecuaciones para curvas ajustadas, producto de regresiones para cada una de las variables que se incluyan en el índice. El empleo de ecuaciones permite la incorporación de software en el análisis y sistematización de la información, frente a la apreciación gráfica que han manejado históricamente muchos de los índices. Este hecho toma mayor interés si se considera que la incorrecta manipulación numérica en la agregación, puede terminar en la pérdida de información subyacente, y lo que puede ser más delicado, en la caída o el aumento drástico del valor final del índice en razón de la transformación.

2.4.3 Determinación de los pesos relativos de cada parámetro

Consiste en asignar pesos específicos a las variables según su relevancia dentro del conjunto agregado. El peso asignado depende de la importancia del parámetro en relación al riesgo que implica el aumento o disminución de su concentración en el cuerpo de agua. La suma de los pesos de todas las variables suma 1 ó 100, de acuerdo a la escala utilizada.

2.4.4 Agregación de parámetros a través de una expresión matemática

La integración de parámetros se desarrolla a través de fórmulas de agregación matemática que comúnmente corresponde a una función promedio. Usualmente se utilizan dos técnicas básicas para la integración de las variables, las denominadas aritméticas y las multiplicativas. A su vez pueden o no ponderarse con pesos específicos para cada parámetro. La Tabla 2.5 muestra las fórmulas de agregación matemática más utilizadas por los índices de calidad.

Tabla 2.5: Fórmulas de agregación matemática utilizadas en un ICA (Fuente: Samboni et al, 2007).

Método	Fórmula
Promedio No Ponderado	$ICA = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n q_i$
Promedio Aritmético Ponderado	$ICA = \sum_{i=1}^n q_i \cdot w_i$
Promedio Geométrico No Ponderado	$ICA = \left(\prod_{i=1}^n q_i \right)^{1/n}$
Promedio Geométrico Ponderado	$ICA = \left(\prod_{i=1}^n q_i \right)^{w_i}$
Promedio No Ponderado Modificado	$ICA = \frac{1}{100} \cdot \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n q_i \right)^2$
Promedio Ponderado Modificado	$ICA = \frac{1}{100} \cdot \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n q_i \cdot w_i \right)^2$

Donde n corresponde al número de variables seleccionadas, q_i el valor del subíndice de la variable i y w_i el peso relativo del parámetro i.

De acuerdo a Fernández et al. (2003), en 1989 se llevó a cabo una revisión de diferentes formulaciones para la agregación de los subíndices y se concluyó que el promedio aritmético ponderado modificado y la suma ponderada modificada, proveen los mejores resultados para la indexación de la calidad general del agua. Por otro lado, se ha demostrado la superioridad del cálculo a través de técnicas multiplicativas, que son mucho más sensibles que las formulaciones aritméticas a la variación de los parámetros, por lo que reflejan con mayor precisión un cambio de calidad. De la misma forma, el promedio geométrico ponderado ha sido ampliamente utilizado, sobre todo cuando existe una gran variabilidad entre las muestras. Además, cuando las muestras tienen gran variabilidad o donde es importante tener en cuenta valores bajos, se recomienda utilizar una media armónica o su cuadrado. De estos dos métodos, la media

armónica al cuadrado es el método más sensible en un conjunto de datos con valores bajos, que toman mayor peso en el cálculo que los valores altos.

2.4.5 Definición de rangos de calidad de un ICA

Los rangos de calidad de un ICA pueden ser asimilados a una escala nominal cualitativa que refleja globalmente la calidad del agua.

En general, los ICA presentan rangos de calidad que varían entre cero y cien, siendo cero un agua de mala calidad, mientras que un valor cercano a cien representa un agua de Muy Buena Calidad o Excelente. A su vez, estas categorías suelen estar asociadas a un grupo de colores de acuerdo a la calidad que reflejan. Los colores azules o celestes representan sistemas acuáticos de muy buena calidad y los colores rojos o naranjos indican cuerpos de agua de pésima calidad.

2.5 Índices de calidad del agua utilizados en el mundo

Hasta la fecha se han generado una gran cantidad de índices en el mundo. Diversos países han desarrollado distintos índices de calidad de agua para caracterizar los cuerpos de agua superficial presentes en su territorio. Muchos de estos índices, a pesar de haber sido desarrollados para las condiciones propias de una región o un país, han sido ampliamente utilizados en el mundo y validados en diferentes estudios. A partir de estos, varios autores y entidades de control ambiental han realizado modificaciones para adaptarlos a las condiciones específicas de diferentes ecosistemas hídricos.

En la Tabla 2.6 se muestran distintos índices de calidad de agua creados en diversas partes del mundo. En ella, además, se detalla la metodología utilizada por cada ICA, con sus respectivos parámetros y rangos de calidad.

Índices de calidad del agua en el mundo:

Tabla 2.6: Índices de calidad del agua creados en el mundo (Fuente: Elaboración propia).

Año	Índice	País	N° Variables	Parámetros	Metodología	Rango de Calidad
	Idaho	Estados Unidos	5	OD, turbiedad, fosfatos totales, coliformes fecales y C.E.	Agregación: Ecuación logarítmica.	Valores de 0 a 3 distribuidos en 3 rangos de clasificación.
1970	WQI NSF	Estados Unidos	9	T°, pH, OD, DBO, SDT, turbiedad, coliformes fecales, nitratos y fosfatos totales.	Subíndice: Curvas de calidad.	Valores de 0 a 100 distribuidos en 5 rangos de clasificación.
					Agregación: Promedio ponderado (aritmético o geométrico).	
1975	IQA CETESB	Brasil	9	T°, pH, OD, DBO, SDT, turbiedad, coliformes fecales, nitrógeno total y fósforo total.	Subíndice: Curvas de calidad.	Valores de 0 a 100 distribuidos en 5 rangos de clasificación
					Agregación: Promedio geométrico ponderado.	
1980	Oregon	Estados Unidos	8	T°, pH, OD, DQO, ST, nitratos y amonios, fósforo total y coliformes fecales.	Subíndice: Curvas y Ecuaciones	Valores de 0 a 100 distribuidos en 5 rangos de clasificación.
					Agregación: Promedio armónico cuadrado no ponderado.	
1981	ICG	España	23	Básicos: OD, DQO, DBO, SST, nitratos, pH, CE, coliformes y fosfatos totales.	Subíndice: Curvas de calidad.	Valores de 0 a 100 distribuidos en 5 rangos de clasificación.
				Complementarios: cloruros, sulfatos, detergentes, cianuros, fenoles, cromo hexavalente, Ca, Mg, Na, Cd, Cu, Hg, Pb, Zn.	Agregación: Promedio aritmético ponderado.	

Donde:

WQI - NSF: Water Quality Index – National Sanitation Foundation.

IQA – CETESB: Índice de Qualidade da Água – Companhia de Tecnologia Ambiental do Estado de Sao Paulo.

ICG: Índice de Calidad General.

Tabla 2.6 (continuación): Índices de calidad del agua creados en el mundo (Fuente: Elaboración propia).

Año	Índice	País	N° Variables	Parámetros	Metodología	Rango de Calidad
1982	ISQA	España	5	T°, OD, DQO, SST y C.E.	Subíndice: Ecuaciones.	Valores de 0 a 100 en 5 clasificaciones de acuerdo a 6 usos del agua.
					Agregación: Sumatoria.	
1987	Dinius	Estados Unidos	12	T°, pH, OD, DBO, color, C.E, nitratos, alcalinidad, dureza, cloruros, coliformes totales y fecales.	Subíndice: Ecuación.	Valores de 0 a 100 distribuidos en 6 rangos de clasificación de acuerdo a 5 usos del agua.
					Agregación: Promedio geométrico ponderado.	
1991	Rojas	Colombia	6	pH, OD, DBO, SDT, turbiedad y coliformes fecales.	Subíndice: Curvas de Calidad.	Valores de 0 a 100 distribuidos en 5 rangos de clasificación.
					Agregación: Promedio geométrico ponderado.	
1997	ICA Río Cali	Colombia	3	OD, DBO y coliformes fecales.	Subíndice: Curvas de Calidad.	Valores de 0 a 100 distribuidos en 5 rangos de clasificación.
					Agregación: Ecuación lineal con parámetros.	
1997	Montoya	México	18	CE, pH, OD, DBO, ST, SST, nitratos, nitritos, amonios, turbiedad, color, alcalinidad, dureza, cloruros, grasas y aceites, fosfatos, detergentes, coliformes totales y fecales.	Subíndice: Ecuaciones.	Valores de 0 a 100 distribuidos en 5 rangos de clasificación de acuerdo a 5 usos del agua.
					Agregación: Promedio aritmético ponderado dividido por la sumatoria de los ponderadores.	

Donde:

ISQA: Índice Simplificado de Calidad del Agua.

Tabla 2.6 (continuación): Índices de calidad del agua creados en el mundo (Fuente: Elaboración propia).

Año	Índice	País	N° Variables	Parámetros	Metodología	Rango de Calidad
1998	ICAOBJ	Chile	3	OD, DBO y coliformes fecales.	Subíndice: Categorías de calidad.	Valores de 0 a 4 distribuidos en 4 rangos de clasificación.
					Agregación: Promedio aritmético ponderado.	
1998	León	México	15	T°, pH, OD, DBO, DQO, SST, nitratos, amonios, fosfatos, alcalinidad, dureza, fenoles, cloruros, coliformes totales y fecales.	Subíndice: Ecuaciones	Valores de 0 a 100 distribuidos en 5 rangos de clasificación de acuerdo a 5 usos del agua.
					Agregación: Promedio geométrico ponderado.	
2001	CCME WQI	Canadá		Se consideran las variables que son excedidas de acuerdo a la normativa del país.	Agregación: Fórmula matemática compuesta de 3 factores (F1, F2 y F3).	Valores de 0 a 100 distribuidos en 5 rangos de clasificación.
2002	IAP	Brasil	20	IQA CETESB: T°, pH, OD, DBO, SDT, turbiedad, coliformes fecales, nitrógeno total y fósforo total.	Agregación: Producto entre IQA e ISTO.	Valores de 0 a 100 distribuidos en 5 rangos de clasificación.
				ISTO: Cd, Hg, Pb, cromo total, Mn, Zn, Ni, PFTHM, Al, Cu y hierro disuelto.		

Donde:

ICAOBJ: Índice de Calidad del Agua Objetivo.

CCME – WQI: Canadian Council of Ministers of the Environment – Water Quality Index

IAP: Índice de qualidade da água para Abastecimento Público.

Tabla 2.6 (continuación): Índices de calidad del agua creados en el mundo (Fuente: Elaboración propia).

Año	Índice	País	N° Variables	Parámetros	Metodología	Rango de Calidad
2003	ICA Cade-Idepe	Chile	6	Obligatorios: pH, OD, CE, coliformes fecales, DBO5, SS.	Subíndice: Curvas de calidad.	Valores de 0 a 100 distribuidos en 4 rangos de clasificación.
				Relevantes: Todos aquellos que sobrepasen Clase de Excedencia.	Agregación: Promedio aritmético ponderado.	
2004	ICAUCA	Colombia	10	pH, OD, color, turbiedad, DBO, nitrógeno total, fósforo total, ST, SST y coliformes fecales.	Subíndice: Ecuaciones.	Valores de 0 a 100 distribuidos en 5 rangos de clasificación.
					Agregación: Promedio geométrico ponderado.	
2007	UWQI	Comunidad Europea	12	Cadmio, cianuro, mercurio, selenio, arsénico, fluoruro, Nitratos, OD, DBO, fósforo total, pH y coliformes totales.	Subíndice: Ecuación.	Valores de 0 a 100 distribuidos en 5 rangos de clasificación.
					Agregación: Promedio aritmético ponderado.	

Donde:

ICAUCA: Índice de Calidad del Agua adaptado al Río Cauca.

UWQI: Universal Water Quality Index.

Con la Tabla 2.6 es posible observar la diversidad de índices que ha sido creado en distintas partes del mundo a través del tiempo. Se aprecian claras diferencias en la metodología empleada por cada uno de los índices descritos, de acuerdo al objetivo de calidad que desea alcanzar y las características propias del cuerpo de agua para el cual ha sido diseñado. Esto se refleja en la cantidad y tipo de parámetros seleccionados, la forma de agregar las variables, la ponderación asignada a cada parámetro y la valoración que se le entrega al cuerpo de agua evaluado.

La mayoría de los índices estudiados contemplan parámetros como pH, OD, CE, SDT ó SST, DBO, Coliformes totales y/o fecales, turbiedad, nitratos y fosfatos, y en menor proporción existen otros índices que incluyen variables como DQO, temperatura y diversos metales. La cantidad de parámetros que conforman los ICA se extiende entre 3 a más de 20 variables y la selección de cada uno de ellos depende directamente del objetivo de calidad perseguido por el índice. A su vez, la mayor parte de los índices investigados agregan sus parámetros a través de fórmulas matemáticas del tipo promedio geométrico ponderado y utilizan 5 categorías de clasificación para evaluar la calidad de las aguas.

Finalmente, en el estudio de Fernández et al. (2003) se evidencia la variabilidad de resultados que se pueden generar al evaluar un mismo cuerpo de agua con distintos índices de calidad. En este estudio se evaluó la calidad de un cuerpo de agua utilizando diversos ICA. Los resultados entregados por cada índice muestran valoraciones distintas para el mismo cuerpo de agua. Con esto se evidencia la importancia que tiene el estudiar con prolijidad la metodología empleada por un índice, cuáles son las características físico-químicas del sistema hídrico para el cual ha sido diseñado y los objetivos de calidad que desea alcanzar el mismo antes de aplicarlo a otro cuerpo de agua ubicado en una región o país distinto para el cual fue formulado. De lo contrario, los resultados entregados por estos índices podrían no representar la calidad real del cuerpo de agua analizado.

2.6 Descripción de los parámetros utilizados en un ICA

La calidad del agua de un sistema hídrico es determinada a partir de los análisis realizados a una muestra de agua recogida adecuadamente y se cuantifica por medio de la concentración de cada constituyente analizado. Aunque son muchos los constituyentes y propiedades del agua natural que pueden encontrarse cuantificados en análisis físico-químicos, sólo algunos de ellos son capaces de determinar la calidad del recurso.

A continuación se describe los parámetros físico-químicos usualmente seleccionados en la composición de un índice de calidad, considerando específicamente aquellas variables que forman parte de la mayoría de los ICA creados hasta el momento en el mundo (ver Tabla 2.6). Las definiciones utilizadas corresponden a las establecidas en los

apuntes del curso “Calidad de Aguas” de la Universidad de Chile (Sancha (2002) y Mena (2012)).

Conductividad Eléctrica (C.E):

La conductividad eléctrica es un indicador de la capacidad de una solución acuosa de transportar corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia, concentración, movilidad y valencia de los iones presentes y de la temperatura del agua. La conductividad aumenta con la temperatura a una tasa de aproximadamente 1,9 % / °C.

La conductividad eléctrica está relacionada con el contenido de sustancias ionizadas, es decir, con las sales disueltas del agua. No tiene especificidad. Las soluciones de iones inorgánicas son relativamente buenas conductoras. Las soluciones orgánicas, en general, son poco conductoras.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):

La DBO mide la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para oxidar, degradar o estabilizar la materia orgánica en condiciones aeróbicas, es decir, mide solamente las materias orgánicas biodegradables, no mide contaminantes específicos.

El método de análisis simula las condiciones naturales de degradación y permite conocer la velocidad de degradación y el tiempo requerido.

Fósforo - Fosfatos:

El fósforo se introduce al agua principalmente por erosión y por descargas de aguas residuales. Se encuentra en aguas naturales y residuales predominantemente en forma de fosfatos. Es esencial en el crecimiento de organismos y puede ser el nutriente que limita la productividad primaria de un cuerpo de agua.

Nitrógeno - Nitratos:

El nitrógeno se introduce al agua a través de la descarga de aguas residuales domésticas e industriales. Su importancia en la calidad de aguas está relacionada con el impacto en la salud pública, demanda de oxígeno y eutrofización.

La presencia de nitratos en agua es indeseable porque favorece el crecimiento algal y puede ser tóxico para el ser humano (metahemoglobinemia y cáncer).

Oxígeno Disuelto (OD):

El oxígeno disuelto en el agua puede tener como fuentes la aeración (atmósfera) y la fotosíntesis (algas). A su vez es consumido por la respiración de organismos, demanda de materias orgánicas y oxidación de inorgánicos. Su solubilidad depende de la presión parcial del oxígeno en la atmósfera, el contenido de sales y la temperatura. Este último factor es el que más influye en su concentración diaria y estacional.

pH:

El pH del agua indica el balance entre ácidos y bases del agua. Es importante en todas las reacciones químicas asociadas con la formación, alteración y disolución de sustancias.

El pH en aguas naturales se relaciona con la geología del terreno por donde escurre el agua y está gobernado por el equilibrio $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$. La cantidad relativa de cada uno de ellos influye en el pH del agua.

Los procesos biológicos (fotosíntesis y respiración) y la aeración influyen en el pH del agua, por variación de la concentración de dióxido de carbono.

Sólidos Totales (ST):

Corresponde al material residual que queda en un recipiente después de la evaporación de una muestra de agua que ha sido secada a una temperatura definida. La medición de ST incluye los sólidos suspendidos totales y los sólidos disueltos totales.

Sólidos Disueltos Totales (SDT):

Porción de los sólidos totales que pasan a través de un filtro de 2,0 μm .

Sólidos Suspendidos Totales (SST):

Porción de los sólidos totales que quedan retenidos en el filtro de 2,0 μm . Los SST incluyen partículas orgánicas y minerales transportadas en la columna de agua.

Los SST en cuerpos de agua naturales se relacionan con los procesos erosivos y de arrastre de sedimentos en una cuenca. Además de su importancia como medida de la erosión que ocurre en una cuenca, se relaciona directamente con el transporte de nutrientes, metales y una amplia variedad de productos químicos, agrícolas e industriales.

Turbiedad:

Es el efecto óptico que se origina al dispersarse o interferirse el paso de los rayos de luz que atraviesan una muestra de agua, a causa de las partículas minerales u orgánicas que el líquido puede contener en forma de suspensión; tales como arenas, arcillas, plancton y otros organismos microscópicos.

La turbiedad es una propiedad óptica intrínseca de cada solución y depende del tamaño, forma e índice de refracción de las partículas suspendidas en el agua.

Coliformes Totales:

Los organismos del grupo coliforme o coliformes totales se definen como bacterias Gram-negativas, en forma de bastones, aerobias, anaerobias facultativas, no esporuladas, que pueden desarrollarse en presencia de sales biliares u otros agentes tensoactivos inhibitorios de flora acompañante, que fermentan la lactosa a 35-37 °C, produciendo ácido, gas y aldehído en un plazo de 24 a 48 hrs (Castillo, 2008).

Coliformes Fecales:

Las bacterias coliformes fecales corresponden a un subgrupo de los coliformes totales, que incluyen con mayor selectividad los propios del intestino humano y de los animales de sangre caliente. Se caracterizan por fermentar la lactosa, con producción de gas, cuando se incuban a una temperatura de 44,5 °C \pm 0,2 °C (Castillo, 2008).

2.7 Índices de calidad del agua desarrollados en Chile

En Chile se ha realizado diversos intentos por proponer índices para evaluar la calidad de los recursos hídricos del país. Hasta el momento son varios los autores que han desarrollado índices para determinar la calidad de los cuerpos de agua del territorio nacional sin lograr el éxito esperado.

A continuación se describe las metodologías propuestas por dos índices de calidad de aguas desarrollados en Chile para evaluar la calidad de las aguas del país. En ambos casos se hace mención a los parámetros seleccionados, la forma de agregar y estandarizar las variables, y la valoración que le entrega a la calidad del recurso, con el objeto de poder evidenciar las diferencias existentes en sus metodologías y plantear las posibles razones que impiden que su evaluación refleje la calidad real de los cuerpos de agua del país. De esta manera se pretende demostrar y justificar la necesidad de proponer un índice de calidad para Chile que considere la variabilidad de sistemas hídricos presentes en su territorio y que utilice una metodología que se adapte a las características de sus cuerpos de agua.

2.7.1 ICA Objetivo (ICAOBJ)

De acuerdo a Sancha et al. (2001), el ICA Objetivo permite estimar, a través de los parámetros escogidos, el nivel de contaminación por descarga de aguas residuales y categorizar los distintos tramos de un curso de agua superficial evaluando los impactos de las descargas de aguas residuales en los procesos de autopurificación y en los distintos usos del agua. Aún cuando alguna pérdida de información es inevitable, el ICA Objetivo permite la comparación de calidad de aguas, de cursos de aguas superficiales, entre zonas de cabecera y zonas intervenidas, tanto espacial como temporalmente.

A continuación se describe la metodología propuesta por el ICA Objetivo.

2.7.1.1 Selección de parámetros en ICAOBJ

En la definición del ICA Objetivo se seleccionaron tres parámetros indicativos directos de contaminación del recurso hídrico con aguas residuales, que la experiencia señala como importantes para el país, para los cuales en general, existen registros históricos o antecedentes recientes (Sancha et al, 2001).

Los parámetros del ICAOBJ seleccionados fueron: Oxígeno Disuelto (OD), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Coliformes Fecales. No se incluyeron parámetros tóxicos en el diseño del ICAOBJ porque no se dispone de antecedentes sistemáticos sobre ellos como es el caso de los otros parámetros seleccionados. Además, se ha aceptado que bajo ninguna circunstancia las aguas superficiales podrían contener elementos dañinos para los humanos, animales o vida acuática (Sancha et al, 2001).

En la Tabla 2.7 se muestra los parámetros seleccionados en el ICAOBJ con su respectiva unidad de medición.

Tabla 2.7: Parámetros seleccionados en ICAOBJ (Fuente: Elaboración propia).

Parámetro	Unidad de Medición
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/l
Coliformes Fecales (CF)	NMP/100 ml

2.7.1.2 Agregación de parámetros en ICAOBJ

El ICAOBJ se definió a través de una expresión matemática del tipo aritmética ponderada:

$$ICA_{OBJ} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot (ICA)_i$$

Donde: n: Número de parámetros seleccionados.

(ICA)_i: Índice de calidad ambiental para el parámetro i.

P_i: Peso atribuido al parámetro i.

2.7.1.3 Ponderación de parámetros en ICAOBJ

De acuerdo a Sancha et al. (2001), el peso asignado a cada uno de los parámetros considerados en el ICAOBJ se estimó evaluando:

- i) La concentración del parámetro en aguas limpias y contaminadas.
- ii) El impacto del contaminante en el ecosistema (vida acuática).
- iii) El impacto del contaminante en el tratamiento posterior del agua.
- iv) El impacto del contaminante en el uso riego y recreación.

A partir de estas consideraciones se determinó un mismo peso de ponderación para todos los parámetros seleccionados en el ICAOBJ. En la Tabla 2.8 se observa tales ponderaciones.

Tabla 2.8: Pesos de ponderación para parámetros del ICAOBJ (Fuente: Sancha et al, 2001).

Parámetro	Peso Ponderado P _i
Oxígeno Disuelto (OD)	0,33
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	0,33
Coliformes Fecales (CF)	0,33

2.7.1.4 Normalización de parámetros en ICAOBJ

El valor que cada uno de los parámetros componentes del ICAOBJ tiene en una situación dada no puede definirse simplemente con los términos Bueno/Malo. Como estos parámetros son medibles cuanti o cualitativamente, su valor es muy variable y a cada uno le corresponde un cierto grado de calidad ambiental.

La calidad de cada parámetro considerado en el ICAOBJ se estableció a base de criterios y normas de calidad. Para obtener valores de calidad comparables, al extremo óptimo se le asignó el 1 y al muy malo el 4, quedando comprendidos entre ambos extremos los valores intermedios de calidad del parámetro (Sancha et al, 2001). En la Tabla 2.9 se indica la normalización de parámetros adoptada en el ICAOBJ.

Tabla 2.9: Normalización de parámetros seleccionados en ICAOBJ (Fuente: Sancha et al, 2001).

(ICA)_i	OD [mg/l]	DBO [mg/l]	CF [NMP/100ml]
1	OD > 5	DBO < 2	$10^0 \leq CF \leq 10^3$
2	$3 < OD \leq 5$	$2 \leq DBO < 60$	$10^3 < CF \leq 10^4$
3	$0 < OD \leq 3$	$60 \leq DBO < 100$	$10^4 < CF \leq 10^5$
4	OD = 0	DBO \geq 100	CF > 10^5

2.7.1.5 Rangos de calidad en ICAOBJ

La valoración de cada parámetro y su agregado posterior permite obtener el Índice de Calidad Ambiental Objetivo. De acuerdo al valor obtenido por este índice, es posible clasificar la calidad del agua y determinar su posible uso. En la Tabla 2.10 se detalla las categorías de calidad establecidas para evaluar los cuerpos de agua superficial del país.

Tabla 2.10: Categorías de clasificación definidas para el ICA Objetivo (Fuente: Sancha et al, 2001).

Valor ICA	Calidad del Agua Superficial
$1,0 \leq ICA < 1,5$	Alta. Apta para uso potable con filtración directa en lecho granular y desinfección. Uso en riego sin restricción.
$1,5 \leq ICA < 2,5$	Media. Requieren procesos convencionales de coagulación, decantación, filtración y desinfección. Uso en riego restringido.
$2,5 \leq ICA < 3,0$	Baja. Su uso potable requiere tratamientos avanzados (membranas, carbón activado y ozono) adicionales a los convencionales. Inadecuada para riego de hortalizas de consumo crudo.
$3,0 \leq ICA \leq 4,0$	Muy baja. No apta para ningún uso.

Finalmente, llama la atención la descripción de las calidades entregadas por el índice. En las cuatro categorías de clasificación mencionadas en la Tabla 2.10 se describe la calidad del cuerpo de agua en términos del uso como fuente de abastecimiento de agua potable y riego, y los tratamientos que debe tener el recurso antes de ser utilizado. El índice tiene como objetivo estimar, a través de los parámetros escogidos (OD, DBO y coliformes fecales), el nivel de contaminación por descarga de aguas residuales, por lo que no es posible asociar directamente la calidad obtenida con los procesos requeridos para el tratamiento de aguas.

Por otro lado, si bien el índice considera pocos parámetros para evaluar la calidad de agua, facilitando su cálculo y evitando la pérdida de información al agregar tantas variables, la selección de parámetros no toma en cuenta las variables monitoreadas por la red hidrométrica oficial del país a cargo de la Dirección General de Aguas (DGA). Variables como la DBO y coliformes fecales no son monitoreadas en las estaciones de calidad de la red hidrométrica, por lo que difícilmente es posible evaluar la calidad del agua utilizando este índice.

2.7.2 ICA Cade-Idepe (ICAS)

La consultora Cade Idepe, en su estudio “Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad” (2005), definió un ICA representativo a la situación de Chile basado en el método del índice de calidad de agua WQI de la NSF de los Estados Unidos. A continuación se menciona el detalle de la metodología propuesta por este índice de calidad.

2.7.2.1 Selección de parámetros en ICA Cade-Idepe

El índice propuesto por Cade-Idepe incluye parámetros seleccionados como Obligatorios que son algunos de los de mayor ponderación en la metodología del WQI y su elección está basada en el reconocimiento de que estos parámetros se ven usualmente afectados cuando existe intervención antrópica. Adicionalmente se seleccionan parámetros definidos como Relevantes, que presentan excedencia con respecto a la clase de excepción definida en la Guía Conama para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas (Conama, 2004). Estos deben ser distintos de los obligatorios y su número es variable para cada cuenca.

En la Tabla 2.11 se presentan los parámetros seleccionados como Obligatorios y las características que deben cumplir los parámetros seleccionados como Relevantes.

Tabla 2.11: Definición de parámetros en ICA Cade-Idepe (Fuente: Cade-Idepe, 2005).

Parámetros Obligatorios	Parámetros Relevantes
-Oxígeno Disuelto (OD). -pH. -Conductividad Eléctrica (CE). -Coliformes Fecales (CF). -Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅). -Sólidos Suspendidos (SS).	-Los que exceden la clase de excepción en la cuenca en estudio. -Los que son indicadores de calidad.

Esta selección de parámetros obedece a las características que presenta la calidad de aguas en cada cuenca, de tal modo que el índice que se propone representa una forma integral de observar la calidad del agua.

En la Tabla 2.12 se presenta los valores establecidos en la clase de excepción por la Guía Conama para cada parámetro de calidad. A partir de los valores establecidos en esta tabla es posible definir aquellos parámetros considerados como Relevantes para cada cuenca en estudio y que forman parte de la selección de variables incluidas en el ICA.

Cabe destacar que la Guía Conama es un documento referencial no oficial que actualmente no es utilizado por el Ministerio del Medio Ambiente.

Tabla 2.12: Definición de clases de calidad en ICA Cade-Idepe (Fuente: Conama, 2004).

Grupo Compuestos o Elementos	Unidad	Clase de Excepción	Clase 1	Clase 2	Clase 3
Indicadores Físicos y Químicos					
Conductividad Eléctrica	μS/cm	<600	750	1.500	2.250
DBO ₅	mg/L	<2	5	10	20
Color aparente	Pt-Co	<16	20	100	>100
Oxígeno disuelto	mg/L	>7,5	7,5	5,5	5
pH	Rango	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5
RAS	-	<2,4	3	6	9
Sólidos disueltos	mg/L	<400	500	1.000	1.500
Sólidos suspendidos	mg/L	<24	30	50	80
Temperatura	ΔT°C	<0,5	1,5	1,5	3
Inorgánicos					
Amonio	mg/L	<0,5	1	1,5	2,5
Cianuro	μg/L	<4	5	10	50
Cloruro	mg/L	<80	100	150	200
Fluoruro	mg/L	<0,8	1	1,5	2
Nitrito	mg/L	<0,05	0,06	>0,06	>0,06
Sulfato	mg/L	<120	150	500	1.000
Sulfuro	mg/L	<0,04	0,05	0,05	0,05
Orgánicos					
Aceites y Grasas	mg/L	<4	5	5	10
Bifenilos policlorados (PCBS)	μg/L	*	0,040	0,045	>0,045
Detergentes (SAAM)	mg/L	<0,16	0,2	0,5	0,5
Índice de Fenol	μg/L	<1,6	2	2	10
Hidrocarburos Aromáticos					
Policíclicos	μg/L	<0,16	0,2	1	1
Hidrocarburos	mg/L	<0,04	0,05	0,2	1,0
Tetracloroetano	mg/L	*	0,26	0,26	>0,26
Tolueno	mg/L	*	0,3	0,3	>0,3
Orgánicos Plaguicidas					
Ácido 2.4 diclofenoxiático (2.4-D)	μg/L	*	4	4	100
Aldicarb	μg/L	*	1	11	11
Aldrín	μg/L	*	0,004	0,004	0,7
Atrazina + -dealkyl metabolitos	μg/L	*	1	1	1
Captán	μg/L	*	3	10	10
Carbofurano	μg/L	*	1,65	45	45

Tabla 2.12 (Continuación): Definición de clases de calidad en ICA Cade-Idepe
(Fuente: Conama, 2004).

Grupo Compuestos o Elementos	Unidad	Clase de Excepción	Clase 1	Clase 2	Clase 3
Orgánicos Plaguicidas					
Clordano	µg/L	*	0,006	0,006	7
Clorotalonil	µg/L	*	0,2	6	6
Cyanazina	µg/L	*	0,5	0,5	10
Demetón	µg/L	*	0,1	0,1	0,1
DDT	µg/L	*	0,001	0,001	30
Diclofop-metil	µg/L	*	0,2	0,2	9
Dieldrín	µg/L	*	0,5	0,5	0,5
Dimetoato	µg/L	*	6,2	6,2	6,2
Heptaclor	µg/L	*	0,01	0,01	3
Lindano	µg/L	*	4	4	4
Paratión	µg/L	*	35	35	35
Pentaclorofenol	µg/L	*	0,5	0,5	0,7
Simazina	mg/L	*	0,005	0,01	0,01
Trifluralina	µg/L	*	0,1	45	45
Metales Esenciales (Disuelto)					
Boro	mg/L	<0,4	0,5	0,75	0,75
Cobre	µg/L	<7,2	9	200	1.000
Cromo total	µg/L	<8	10	100	100
Hierro	mg/L	<0,8	1	5	5
Manganeso	mg/L	<0,04	0,05	0,2	0,2
Molibdeno	mg/L	<0,008	0,01	0,15	0,5
Níquel	µg/L	<42	52	200	200
Selenio	µg/L	<4	5	20	50
Zinc	mg/L	<0,096	0,120	1	5
Metales No Esenciales (Disuelto)					
Aluminio	mg/L	<0,07	0,09	0,1	5
Arsénico	mg/L	<0,04	0,05	0,1	0,1
Cadmio	µg/L	<1,8	2	10	10
Estaño	µg/L	<4	5	25	50
Mercurio	µg/L	<0,04	0,05	0,05	1
Plomo	mg/L	<0,002	0,0025	0,2	5
Indicadores Biológicos					
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	<10	1.000	2.000	5.000
Coliformes totales	NMP/100 ml	<200	2.000	5.000	10.000

*La determinación de estos compuestos o elementos deberá estar bajo el límite de detección del instrumental analítico más sensible.

2.7.2.2 Agregación de parámetros en ICA Cade-Idepe

Cade Idepe definió el ICAS Chileno de la siguiente manera:

$$\text{ICAS} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot Q_i$$

Donde:

n: número de parámetros que formarán el índice para cada cuenca, siendo los 6 primeros los obligatorios.

w_i : Peso ponderado del parámetro i.

Q_i : Valor estandarizado del parámetro i.

2.7.2.3 Ponderación de parámetros en ICA Cade-Idepe

El índice de calidad de aguas propuesto por Cade-Idepe considera 6 parámetros que son obligatorios y que ponderan el 70% del índice. El restante 30% incluye los parámetros seleccionados como relevantes y que corresponden a aquellos que en algún momento o lugar de la cuenca no cumplen con la clase Excepcional definida en la Guía Conama.

Los ponderadores o pesos (w_i), se seleccionan según los siguientes criterios:

i) Los seis parámetros obligatorios pesan cada uno $w_i = 11,67\%$ con $i=1...6$, con una ponderación total de 70%.

ii) Los parámetros relevantes pesan en total 30%, que se reparte en ponderaciones iguales para cada uno de ellos, es decir si son 10 parámetros se tendrán pesos individuales de $w_i = 3\%$ para $i = 1...10$.

2.7.2.4 Normalización de parámetros en ICA Cade-Idepe

Para disponer de escalas porcentuales normalizadas, Cade-Idepe consideró como referencia el sistema elaborado por la NSF en su índice WQI, el cual se basa en curvas de estandarización que relacionan los valores físicos de los parámetros con una escala porcentual.

Las curvas de estandarización utilizadas representan la relación entre el valor medido de un parámetro de calidad de agua y su correspondiente asignación de clase de acuerdo a los valores establecidos en la Guía Conama. Cada curva tiene, en la abscisa, el valor del parámetro para las clases 0 a 4 y, en la ordenada, el puntaje de 0 a 100 correspondiente al valor del parámetro en forma porcentual (Q_i).

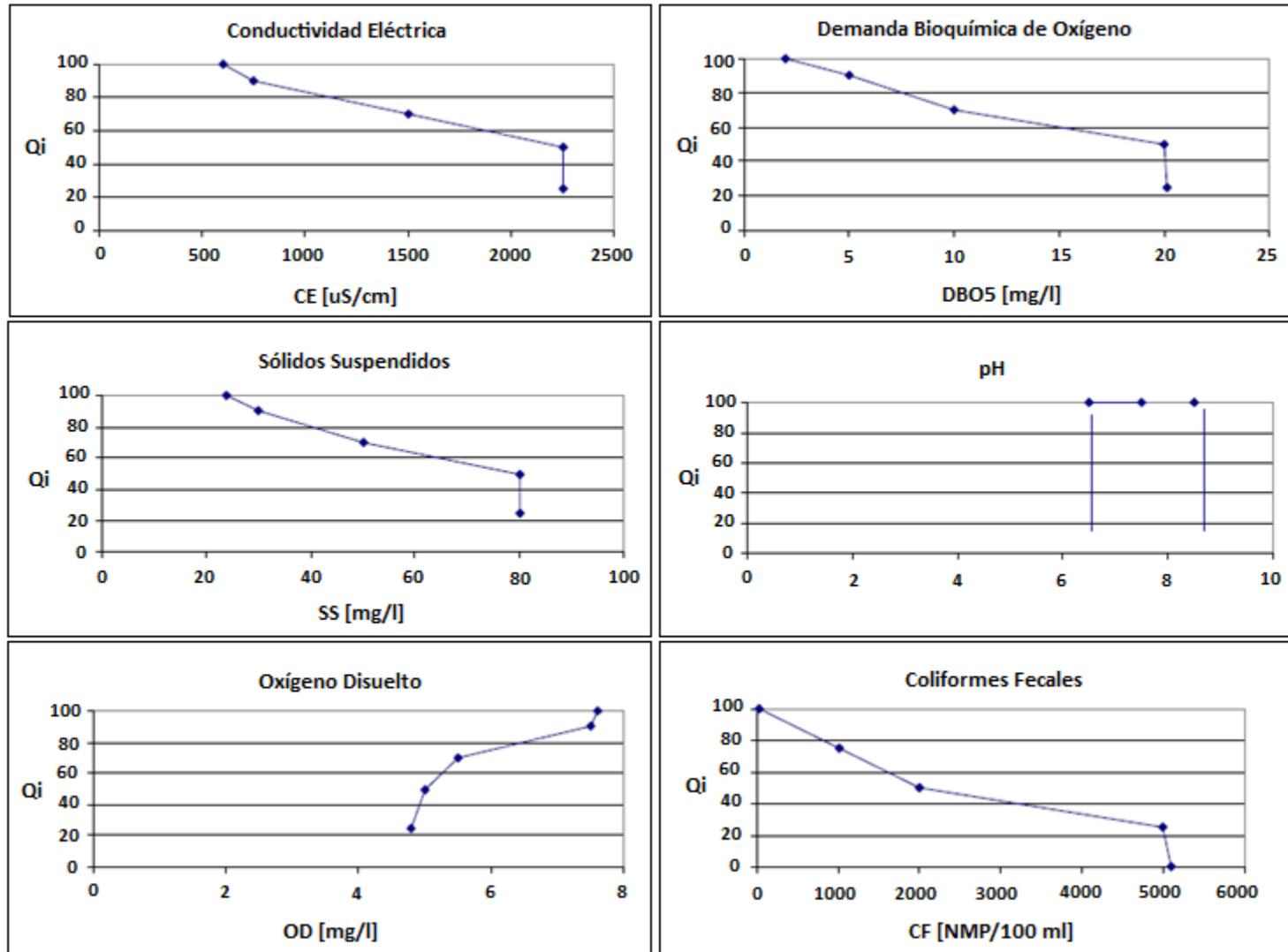
Para poder realizar una lectura directa del valor de la calidad del parámetro, se realizó una estandarización de las clases de acuerdo a lo indicado en la Tabla 2.13.

Tabla 2.13: Estandarización de clases de calidad en ICA Cade-Idepe (Fuente: Cade-Idepe, 2005).

Clase de Calidad	Valor Estandarizado Q_i
Clase 0	100
Clase 1	90
Clase 2	70
Clase 3	50
Clase 4	25

Donde Q_i representa el valor del parámetro, expresado en forma porcentual, siendo 100% el valor que corresponde a clase 0. En la Figura 2.1 se muestra las curvas de los parámetros seleccionados como obligatorios. Las curvas del resto de los parámetros considerados como relevantes fueron construidas de manera análoga, utilizando la misma metodología que la de los parámetros obligatorios.

Figura 2.1: Curvas de estandarización de parámetros obligatorios ICA Cade-Idepe (Fuente: Cade-Idepe, 2005).



2.7.2.5 Rangos de calidad

El ICAS chileno variará entre cero y cien, siendo cero un agua de mala calidad, mientras que un valor cercano a cien representa un agua de Muy Buena Calidad o Excelente. Los rangos de ICAS pueden ser asimilados a una escala nominal cualitativa que refleja globalmente la calidad del agua. En la Tabla 2.14 se aprecia los rangos utilizados para clasificar la calidad del recurso.

Tabla 2.14: Clasificación de la calidad del agua en ICA Cade-Idepe (Fuente: Cade-Idepe, 2005).

Rango	Calidad
90-100	Excelente-Muy Buena
70-90	Buena
50-70	Regular
25-50	Mala

Finalmente, se aprecia que uno de los principales inconvenientes presentados por el índice propuesto por Cade-Idepe es su gran número de parámetros seleccionados. Considerar una gran cantidad de variables en un índice puede traer como consecuencia la pérdida de información al agregar matemáticamente los parámetros. A su vez, algunos parámetros seleccionados no disponen de información para ser clasificados, puesto que la cantidad de variables físico-químicas monitoreadas por la DGA es limitada. Por lo tanto, para poder utilizar el índice es necesario ampliar la base de datos con monitoreos de más alta frecuencia y cubriendo al menos todos los parámetros seleccionados, y en lo posible realizar mediciones referenciales de todos los parámetros de la Guía Conama.

Por otro lado, se observa que la Guía Conama presenta debilidades en la definición de los valores límites asignados a cada clase de calidad, puesto que muchos de estos valores no alcanzan los límites de detección de los instrumentos de medición utilizados por la DGA. Esto conlleva a la dificultad para clasificar el valor de un parámetro dentro de una clase.

Por último, una de las mayores deficiencias que posee esta metodología es que no manifiesta cuál es el criterio para establecer los valores de los parámetros en las clases de calidad ni el objetivo de calidad que se desea alcanzar al exigir estas concentraciones.

Capítulo 3: Ecosistemas Hídricos en Chile

3.1 Introducción

La clasificación de cuerpos de agua para el territorio nacional comenzó a desarrollarse por la necesidad de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (hoy Ministerio del Medio Ambiente, MMA) de establecer una primera clasificación a nivel nacional de los cuerpos de agua dulce continentales del país. El principal objetivo buscado por esta decisión, fue proporcionar una clasificación de los cuerpos de agua del país según ecosistemas acuáticos, clasificación que debía ser orientada a normar y monitorear cada ecosistema particular, permitiendo identificar los ecosistemas más representados en Chile, y también aquellos singulares.

La clasificación de cuerpos de agua lleva varios años desarrollándose en Europa. Para desarrollar esta clasificación, los países de la Unión Europea cuentan con una Directiva que otorga un marco para la protección de las aguas (Directiva Marco del Agua, DMA), donde se indica el método a seguir para una primera clasificación a nivel de país (Parlamento Europeo, 2000).

De acuerdo con la DMA, para lograr un buen estado ecológico de las aguas, es necesario identificar las Ecorregiones presentes en el territorio del país en cuestión, luego identificar los cuerpos de agua que deben clasificarse (ríos, lagos, aguas de transición, aguas costeras y aguas artificiales o muy modificadas), y los criterios de clasificación, con sus rangos, para clasificar los distintos cuerpos de agua en un Tipo. Así, la definición de un Sistema de Tipología y la clasificación de los cuerpos de agua es una parte fundamental del proceso definido por la Unión Europea para el logro de una buena calidad en todos sus cuerpos de agua.

Para poder contar con una clasificación nacional en Chile que siga el modelo europeo, es necesario determinar, en primer lugar, las ecorregiones de agua dulce presentes en el país. Estas ecorregiones corresponden a macro unidades territoriales donde se espera encontrar condiciones físicas homogéneas que determinan ecosistemas acuáticos distintos de otras macrozonas. En segundo lugar, es necesario definir el Sistema de Tipología para los cuerpos de agua del país. Este sistema recoge aquellas variables que permiten diferenciar distintos Tipos de cuerpos de agua de un territorio en particular, según la biocenosis de cada uno de ellos en sus estados naturales. Finalmente, en tercer lugar se debe definir la Tipología, la cual corresponde al conjunto de Tipos de cuerpos de agua que en condiciones naturales podrían existir en un territorio. Esta permite listar la gran diversidad de Tipos de cuerpos de agua en unidades sinópticas y explotables.

Una vez que el Sistema de Tipología es aplicado cartográficamente con todos los criterios que lo constituyen, es factible que los expertos en sistemas acuáticos puedan

agrupar combinaciones de ríos y/o lagos que conforman un mismo Tipo de cuerpo de agua. Sólo en dicha instancia la Tipología está concluida y el Sistema de Tipología validado. El trabajo directo con expertos permite perfeccionar los rangos de los criterios utilizados en la construcción de una Tipología y, a su vez, permite robustecer la Tipología al incluir criterios que consensuadamente resultan relevantes para distinguir entre cuerpos de agua diferentes.

Actualmente, Chile no posee una clasificación única y oficial que permita tener al país tipificado. Uno de los principales beneficios que conlleva poseer una Tipología, es que permite identificar la calidad de los cuerpos de agua para posteriormente usarla para proponer medidas de gestión de sus recursos hídricos, lo que permite definir objetivos de protección, restauración y manejo, planificar el monitoreo de las aguas e identificar las medidas necesarias para alcanzar el buen estado de las aguas superficiales. De esta manera se pueden priorizar los Tipos de cuerpos de agua que son más vulnerables y que poseen baja representatividad espacial, y esto sumado a las Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA) puede ayudar a la definición de acciones preventivas.

Una Tipología de aguas superficiales es entonces útil para normar, monitorear, proteger o manejar ecosistemas acuáticos. El desarrollo de una tipología es una base fundamental para la conservación, protección, manejo y restauración de las aguas superficiales. Todas estas acciones derivan de un buen conocimiento de los cuerpos de agua superficial, lo que convierte a la tipología en una de las herramientas más rentables para el manejo integrado de recursos hídricos, puesto que todos los usuarios del agua se ven beneficiados de contar con ríos y lagos con mayor regulación sobre la calidad de las aguas, con lo cual el desarrollo de tipologías y el proceso de clasificación toman, también, importancia económica.

Sin embargo, el proceso de clasificación de cuerpos de agua no es trivial, y requiere de un amplio proceso de discusión y análisis de los criterios de clasificación relevantes para el país. Para llegar a este objetivo, siguiendo la experiencia alemana en la clasificación de cuerpos de agua y con la valiosa cooperación de expertos nacionales e internacionales, el Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables (DCA & RNR) de la Universidad de Chile ha desarrollado en tres estudios para el Ministerio del Medio Ambiente, un Sistema de Tipología y Tipología para la clasificación de ríos y lagos del país, basado en criterios abióticos que buscan predecir comportamientos similares o diferentes de la biocenosis de estos cuerpos de agua. En el estudio “Clasificación de cuerpos de agua” (2010), se definió el Sistema de Tipología a través de criterios abióticos, y en el estudio “Definición de la clasificación de cuerpos de agua” (2011), se validó y robusteció el Sistema en función de lo señalado por diferentes expertos del área biológica. Finalmente, en el estudio “Generación de información cartográfica para el sistema de Tipología de ríos y lagos de Chile” (2011) se desarrolló la cartografía de aquellos criterios, identificados en los estudios anteriores, que no poseían información completa, y de esta

forma, se logró aplicar el Sistema de Tipología a escala nacional, y clasificar los cuerpos de agua según las combinatorias, para luego realizar el agrupamiento de combinaciones acorde a la Tipología de ríos y lagos que de manera paralela se propone en el estudio, el que debiera ser validado o modificado en un estudio posterior de verificación en terreno, obteniendo así una Tipología final. Sin embargo, la incorporación de nuevo conocimiento a la Tipología podría permitir su ajuste, sin que necesariamente se comprometa la Tipología propuesta hasta el momento. Estos ajustes debieran ser realizados siempre con el fin de lograr una cantidad de tipos que reflejen la biodiversidad de los ríos y lagos chilenos, a la vez que sean manejables por la institucionalidad.

Cabe destacar que debido a la falta de información sobre los sistemas límnicos presentes en el país, el DCA & RNR dejó fuera del análisis tipológico a las aguas de transición (estuarios). Lamentablemente, actualmente no se cuenta con la información suficiente para asignar atributos a los estuarios con los criterios más representativos de estos cuerpos de agua, por tanto, su clasificación quedará abierta para ser definida en cuanto la información esté disponible y se hayan realizado los estudios necesarios para generar una propuesta.

En el presente capítulo, se detallará la clasificación de los cuerpos de agua que definen la Tipología propuesta por el DCA & RNR para nuestro país, con el objeto de determinar los tipos de ecosistemas hídricos en los cuales se generará la propuesta de aplicabilidad de índices de calidad físico-químico. Para ello, se realizó una revisión detallada a los tres estudios de carácter tipológico realizados en el periodo 2010-2011 por el DCA & RNR para el Ministerio del Medio Ambiente. La utilización de estos estudios en desmedro de otros, se debió principalmente, dada la ausencia de una clasificación oficial, a que presentan una de las tipologías más completas para clasificar cuerpos de agua desarrolladas a la fecha.

3.2 Ecorregiones de Chile

Las Ecorregiones corresponden a unidades geográficas homogéneas a nivel macro-escala, que comparten especies y dinámicas ecológicas similares. Por lo tanto, reflejan la subdivisión de un país en grandes zonas desde la perspectiva de los ecosistemas acuáticos.

La división del territorio chileno en ecorregiones se desarrolló en el estudio realizado por el DCA & RNR (2010), utilizando como base el Mapa de Ecorregiones de Agua Dulce del Mundo de Abell et al. (2008), el cual diferencia el país de acuerdo a la distribución y composición de fauna íctica endémica de agua dulce. Dado que esta propuesta de ecorregiones de agua dulce se llevó a cabo a escala mundial, sus límites fueron ajustados a la realidad nacional.

La cartografía generada por Abell et al. (2008) fue comparada con las ecorregiones de agua dulce definidas para Chile por Dyer (2001), quien determinó y delineó cada ecorregión mediante evaluaciones cualitativas de similitud/disimilitud de las cuencas en función de la presencia de especies endémicas. Basados en las diferencias encontradas en dicha comparación se modificaron preliminarmente los límites de las ecorregiones de Abell et al. (2008).

Finalmente, los límites de cada ecorregión fueron ajustados mediante la revisión y análisis de profesionales expertos en el área de ecosistemas acuáticos, resultando cinco ecorregiones en todo el territorio nacional: Atacama, Altiplano, Mediterráneo, Lagos Valdivianos y Patagonia.

A continuación se presenta una descripción de las cinco ecorregiones resultantes para el país, de acuerdo a la definición establecida en el estudio “Clasificación de Cuerpos de Agua” realizado por el DCA & RNR en el año 2010. Cada una de las descripciones siguientes entrega información en tres categorías: en primer lugar, una breve referencia a los límites de la ecorregión y a sus principales características climáticas, que hacen de cada ecorregión zonas diferentes entre sí; en segundo lugar, describe los principales cuerpos de agua presentes en la ecorregión y, finalmente, se refiere a las principales especies de fauna íctica posibles de encontrar en cada ecorregión.

Las cinco ecorregiones finalmente propuestas reflejan la variación general de la diversidad del país sin caer en un detalle excesivo que pudiera entorpecer el proceso de clasificación de cuerpos de agua.

3.2.1 Ecorregión Atacama

Límites y características climáticas. Se extiende desde cuenca de la Quebrada de la Concordia hasta las cuencas costeras entre los ríos Salado y Copiapó, y la cuenca del río Salado. Localizada dentro de la Zona Hiperárida Desértica, gran parte de esta ecorregión presenta una tasa de precipitación media anual que se sitúa por debajo de los 30 mm/año, con un periodo seco que se extiende por once o doce meses. Sin embargo, en la zona norte, por sobre los 3000 m de altura, la precipitación media anual puede sobrepasar los 100 mm/año, concentrándose en los meses de verano. De manera general, y bajo los 3000 m de altura, la precipitación durante la estación húmeda no alcanza a cubrir el 20% de las demandas creadas por la evapotranspiración potencial. Debido a la inexistencia de un excedente invernal de precipitación, el escurrimiento superficial es extremadamente escaso y errático. La temperatura media anual es de aproximadamente 16 °C; descendiendo bajo los 10 °C sobre los 3000 metros de altitud.

Principales cuerpos de agua. Esta ecorregión incluye las siguientes cuencas: cuenca río Lluta, cuenca río San José, cuenca de la Pampa del Tamarugal, cuenca quebrada río Camarones, cuenca río Loa, cuenca quebrada Caracoles, cuenca quebrada la Negra y cuenca del río Salado. Incluye, también, la zona arreica ubicada entre los 23^o y 26^o latitud Sur. Los ríos presentes en esta área son alimentados desde la Cordillera de los Andes, caracterizándose algunos por presentar un flujo constante hacia el mar (ríos Lluta y Loa). Todas las quebradas, excepto la de Camarones, son de carácter arreico. Por otra parte, la mayoría de los cursos de agua presentan caudales permanentes entre los 2000 y 4000 metros de altura, durante los meses secos. Adicionalmente, es importante indicar que la mayor parte de los cuerpos de aguas presentes en esta ecorregión, por ejemplo, ríos Loa y Lluta, poseen altas conductividades eléctricas debido a la presencia de boratos, sulfatos y otros compuestos inorgánicos.

Biodiversidad de peces. Las especies presentes en esta área pertenecen al género *Basilichthys*. Sólo se conocen especies nativas en los ríos Loa, Camarones, Codpa y Lluta.

3.2.2 Ecorregión Altiplano

Límites y características climáticas. Se extiende por el Altiplano y la Puna de Atacama comprendiendo las cuencas Altiplánicas (límite norte) y las cuencas endorreicas del Salar de Atacama-Vertiente del Pacífico (límite sur), cuya altura media sea mayor a 3500 msnm. La parte septentrional de esta ecorregión, ubicada entre su límite norte y las cuencas fronterizas Salar Michincha-Río Loa, se sitúa en la Zona Árida Estepárica Fría de Altura por sobre los 3500 metros en los Andes nororientales del territorio chileno. En verano, esta área, al igual que la zona ubicada sobre los 3000 metros en la ecorregión de Atacama, recibe la influencia de los centros de bajas presiones tropicales provenientes de la región amazónica, lo que provoca una estación de lluvias estivales que va de diciembre a marzo. La precipitación media anual se sitúa entre los 50 y 300 mm, disminuyendo de norte a sur, con un periodo seco de entre ocho a doce meses. Por altitud, la temperatura media anual se aproxima a los 3,5 °C y la tasa de precipitación es mayor durante los meses de verano, sin embargo, la tasa media anual no sobrepasa los 100 mm. Respecto a la temperatura media anual, se observa una disminución de esta conforme se avanza en altura, alcanzando aproximadamente los 4,5 °C sobre los 4000 metros.

Principales cuerpos de agua. En esta ecorregión se aprecian varios tipos de sistemas límnicos: lagos, bofedales, salares, vertientes que llegan a salares, lagunas. Además es posible distinguir dos subregiones delimitadas por la cabecera de la cuenca del río Loa, donde la subregión norte se caracteriza por poseer sistemas acuáticos tipo bofedales, y la subregión sur por poseer sistemas acuáticos tipo vegas y salares. Dentro de los sistemas más representativos de esta zona se incluyen los salares de Ascotan, Carcote y Huasco; los lagos Chungará y Cotacotani; los ríos Isluga y Lauca; el humedal de Parinacota; y la cuenca

Salar de Atacama que incluye los ríos Salado y San Pedro. Contiene, también, el sistema de lagunas hipersalinas de la segunda región. El régimen hidrológico está fuertemente influenciado por las precipitaciones estivales las cuales, dada la elevación de la zona, se depositan en forma de nieve en los sectores más elevados, permitiendo la continuidad de los caudales, lo que se traduce en cursos de agua permanentes. Al respecto, el agua precipitada en la alta montaña alcanza las cuencas más bajas por escorrentía e infiltración subterránea sustentando, de esta manera, las regiones bajas, las cuales son de aridez extrema y con déficit permanente de agua. En el sector Norte existe una mayor variabilidad estacional, debido a la mayor influencia de las precipitaciones estivales, la que se reduce notablemente hacia el sur. Todas las cuencas presentes en esta ecorregión son de carácter endorreico cuyo único mecanismo de descarga es la evaporación, deviniendo muchos de ellos en sistemas de salares especialmente en la zona meridional del altiplano y en la Puna de Atacama. La escasez de precipitaciones, la alta evaporación y las características geológicas de la zona altoandina, determinan la presencia de lagos con un amplio rango de salinidad cuyo promedio es de 1 g/L; arroyos y ríos presentan, generalmente, menores niveles de salinidad. La elevada salinidad presente en los cuerpos de agua de esta ecorregión se debe, principalmente, a los altos contenidos de sulfatos, carbonatos y cloruros, producto de dos mecanismos. Uno es la incorporación de solutos como consecuencia de reacciones químicas de alteración de rocas. Otro, posterior, es el de su concentración por evaporación que puede llegar hasta la precipitación de sales.

Biodiversidad de peces. La distribución de todas las especies endémicas de esta ecorregión, en el sector chileno, están restringidas a lagos endorreicos y bofedales; pequeños arroyos que drenan hacia lagos salados y/o arroyos pertenecientes a la cuenca del río Lauca. Estas incluyen cuatro especies del género *Orestias* y dos especies del género *Trichomycterus*. Ninguna es una especie diagnóstica de la ecorregión. Además, dos especies son endémicas del lago Chungará (*Trichomycterus chungaraensis* y *Orestias chungaraensis*), una de la laguna de Parinacota (*Orestias parinacotensis*), dos endémicas del río Lauca (*Trichomycterus laucaensis* y *Orestias laucaensis*) y una del Salar de Ascotan (*Orestias ascotanensis*). La especie *Orestias agassii* está presente en el río Isluga, el cual drena hacia el Salar de Coipasa, río Collacagua y Salar de Huasco. Adicionalmente, se ha citado para toda la región altiplánica *Trichomycterus rivulatus*, especie no endémica y de amplia distribución.

3.2.3 Ecorregión Mediterránea

Límites y características climáticas. Se extiende desde la cuenca del río Copiapó (límite norte) hasta la cuenca del río Imperial (límite sur). Esta ecorregión, desde el punto de vista climático e hidrológico se puede subdividir en tres subregiones: la primera entre su límite norte y la cuenca del río Ligua; la segunda entre las cuencas de los ríos Aconcagua y Mataquito; y la tercera entre las cuencas de los ríos Maule e Imperial. La primera subregión

abarca el sector meridional de la Zona Hiperárida Desértica, abarcando, también, la totalidad de la Zona Árida. El clima es de tipo mediterráneo con aproximadamente un mes de lluvia y un periodo seco prolongado, por lo que los ríos presentan una alta variabilidad en su caudal, observándose amplias fluctuaciones hidrológicas entre años y también estacionalmente. La precipitación anual en la zona norte de la ecorregión no sobrepasa los 10 mm. Sin embargo, a medida que se avanza hacia el sur la tasa de precipitación media anual se incrementa alcanzando montos mayores a 400 mm/año, en la Región de Valparaíso. La temperatura media anual varía entre 12 °C (zona costera y central) y 4,5 °C (Cordillera de los Andes sobre los 3000 metros). Situada dentro de la Zona Semiárida, la subregión ubicada entre las cuencas de los ríos Aconcagua y Mataquito presenta un clima mediterráneo con un periodo seco que comprende siete u ocho meses. La precipitación media anual supera los 600 mm y temperatura media anual disminuye desde la costa (15 °C) a la cordillera de los Andes (3 °C). Finalmente la tercera subregión, localizada entre la cuenca del río Maule hasta la cuenca del río Imperial, abarca el límite sur de la Zona Semiárida (cuenca del río Maule) y la Zona Subhúmeda, presentando un clima mediterráneo con una tasa de precipitación media anual que supera los 900 mm y un período seco de siete u ocho meses. La temperatura media anual disminuye desde la costa (13 °C) a la cordillera de los Andes (5,8 °C sobre los 1500 m).

Principales cuerpos de agua. Incluye las cuencas exorreicas andinas de los ríos Copiapó, Huasco, Elqui, Limari, Choapa, Petorca, La Ligua, Aconcagua, Maipo, Rapel, Mataquito, Maule, Itata, Biobío e Imperial. Dentro de la primera subregión, las hoyas hidrográficas se caracterizan por mostrar un régimen mixto (pluvial y nival), con caudales máximos durante la época estival dependiendo de la cantidad de nieve acumulada en la cabecera de las cuencas. Los caudales mínimos se presentan en otoño, los que aumentan en el invierno en función de la cantidad de agua precipitada. Los sistemas más representativos son las hoyas de los ríos Huasco y Choapa. Los caudales de estos ríos, a través del año, pueden variar entre 0,2 m³/s a 93,4 m³/s (río Choapa) y promediar los 3,62 m³/s (río Huasco). A partir de la hoya del río Aconcagua los ríos se caracterizan por su escurrimiento torrencial y régimen mixto, con crecidas pluviales en invierno y nivales en primavera y comienzos del verano, con un estiaje pronunciado en otoño. Los caudales máximos se producen, generalmente, entre los meses de septiembre y enero. Un río representativo de este régimen hidrológico es el río Aconcagua el cual presenta dos promedios máximos de caudal, uno en invierno (8,87 m³/s) proveniente de las lluvias y otro en el verano producto del derretimiento de nieves (33,2 m³/s). En estos ríos se pueden diferenciar cuatro secciones naturales, que tipifican a la mayoría de los ríos andinos de la región central:

1. Área altoandina, que se caracteriza por un cauce principal turbulento, de pendiente alta y sustrato conformado por rocas y piedras.
2. Área media alta, que presenta cauces profundos con sustrato de piedras y grava.
3. Área media baja, de aguas claras, cauces amplios y poco profundos.

4. Área de desembocadura, con cauces amplios e influencia marina.

Por su parte, las características de los ríos Maule, Itata, Biobío e Imperial son similares a los de la segunda subregión, sin embargo los caudales medios anuales son superiores con una corta crecida primaveral. La cuenca representativa de esta área es la del río Biobío que incluye los lagos Laja, Galletué e Icalma, ubicados sobre los 800 m.s.n.m. Su extensa red hidrográfica genera el desarrollo de numerosos biotopos, lo que se refleja en una de las faunas ícticas más ricas del país. Los caudales medios máximos y mínimos son de 1800 y 280 m³/s aproximadamente y ocurren durante julio y febrero, respectivamente. En la vertiente litoral centro-norte de la Cordillera de Nahuelbuta, entre los 36^o y 38^o latitud sur, se encuentra el sistema de lagos costeros denominados Nahuelbutanos. Este sistema incluye seis cuerpos lénticos que se alinean de norte a sur entre los sistemas fluviales de los ríos Biobío e Imperial: Llleulleu, Quinenco, Lanahue, Laguna Grande de San Pedro y Laguna Chica de San Pedro. Mención especial merece la existencia de un conjunto de humedales costeros dentro de los cuales destacan los situados en la zona mediterránea norte (subregiones 1 y 2) y en la zona metropolitana del Gran Concepción (subregión 3). El interés sobre estos humedales radica, principalmente, a la continua amenaza a la cual se encuentran sometidos debido a la alta densidad poblacional concentrada en dichas zonas.

Biodiversidad de peces. En las cuencas de los ríos Huasco, Elqui, Limari y Choapa es posible encontrar solo tres especies estrictamente de agua dulce: *Cheirodon pisciculus*, *Trichomycterus areolatus*, y *Basilichthys microlepidotus*. El río Huasco es, también, el límite norte de *Galaxias maculatus*. Los ríos Petorca y La Ligua tienen una quinta especie adicional, *Percilia gillissi*. El río Aconcagua es el primer gran río en el transecto norte-sur y contiene un total de once especies, siete estrictamente de agua dulce. Las especies nativas que habitan en su cuenca representan las asociaciones típicas de los peces de las aguas continentales de la zona central del país. *Trichomycterus areolatus* y *Basilichthys australis* son las especies más abundantes y con la distribución más amplia de la hoya. El río Aconcagua es, a su vez, el límite norte de cinco especies: *Percichthys trucha*, *Percichthys melanops*, *Diplomystes chilensis* y de las lampreas diadromas de los géneros *Geotria* y *Mordacia*. Los ríos Maipo, Rapel y Mataquito tienen doce especies, con *Nematogenys inermis* (género monotípico) y *Basilichthys australis* reemplazando a *Basilichthys microlepidotus*. El río Mataquito es el límite sur de *Diplomystes chilensis* y *Cheirodon pisciculus*. Por otra parte, la zona que comprende las cuencas de los ríos Maule, Itata, Biobío e Imperial se caracteriza por presentar la mayor riqueza íctica dentro de la ecorregión. Además, de las quince especies encontradas en estas cuatro cuencas, tres son exclusivas de esta zona: *Bullockia maldonadoi* (género monotípico), *Cheirodon galusdae*, y *Diplomystes nahuelbutaensis*. El río Maule es también el primero, en el transecto norte-sur, en presentar condiciones de mayor profundidad y representa el límite norte de *Brachygalaxias*, *Odontesthes mauleanum*, y *Aplochiton zebra*. La especie *Trichomycterus*

chiltoni se encuentra, solamente, en los ríos Biobío e Itata. Percilia irwini es una especie endémica del río Biobío. El río Imperial es el límite sur de Nematogenys. Cabe advertir, nuevamente, que el río Copiapó, cuenca localizada en la zona septentrional de esta ecorregión, permanece sin especies nativas reconocidas. Es importante indicar que el área media baja de los cauces parece ser más adecuada para la fauna íctica nativa, aumentando considerablemente su riqueza y abundancia. Por otra parte, el área de desembocadura se caracteriza por presentar peces tolerantes a salinidades mayores y fluctuantes y que con frecuencia migran hacia o desde el mar.

3.2.4 Ecorregión Lagos Valdivianos

Límites y características climáticas. Se extiende desde la cuenca del río Toltén hasta las cuencas e islas entre río Bueno y río Puelo, abarcando los lagos Villarrica por el norte, Llanquihue por el sur, e Isla de Chiloé. Esta ecorregión se considera dentro de la Zona Hiperhúmeda, la cual se caracteriza por presentar un periodo húmedo de ocho a doce meses. La tasa media anual de precipitación en el sector continental supera los 1500 mm/año y su temperatura media anual fluctúa entre los 14 y 15°C dependiendo de si se está en el llano central o en las zonas cordilleranas. Sobre los 700 metros de altura, la temperatura media anual baja hasta los 7,8 °C, aproximadamente. La precipitación y temperatura media anual en la Isla de Chiloé alcanzan los 2200 mm, y 12,8 °C, respectivamente.

Principales cuerpos de agua. Incluye las cuencas de los ríos Toltén, Budi, Valdivia, Bueno y cuenca de la Isla de Chiloé y circundantes. Además contiene los sistemas de lagos araucanos y de Chiloé insular. En general, los ríos ubicados en el sector continental de esta ecorregión se caracterizan por ser tranquilos, con baja pendiente, caudal constante y de regulación lacustre, siendo el río Valdivia el más representativo. Por su parte, los ríos de la Isla de Chiloé se caracterizan por ser cortos y con caudal bajo, cuyo origen es exclusivamente pluvial. Sus aguas contienen una cantidad significativa de materia orgánica proveniente de la descomposición arbórea, lo que les da el característico color café. Una zona importante de estos ríos presenta salinidad alta, originada por cloruros provenientes de la entrada de agua marina. Por otra parte, en esta región se localiza, entre los 39° y 41° latitud sur, el sistema de Lagos Araucanos, los cuales se caracterizan por ser profundos, oligotróficos, monomícticos y de origen glacial o tectónico glacial. A su vez y debido, en parte, a su baja concentración de nutrientes, estos lagos presentan una baja productividad y diversidad de especies. En relación al régimen de sus afluentes, en su mayoría, estos aumentan sus caudales en otoño e invierno, por causa de las mayores precipitaciones estacionales. En general, los lagos de gran área de esta ecorregión reciben un aporte hídrico importante directamente en forma de agua lluvia que cae sobre la superficie del lago. Tal es el caso del lago Llanquihue, donde cerca del 50% del ingreso anual de agua es contribuida directamente por la lluvia. Similarmente a lo sucedido con los ríos, los lagos chilotes

presentan aguas muy poco transparentes de color café, lo cual es explicado por la presencia de altos niveles de materia orgánica (humus). Dichos lagos pueden ser clasificados como distróficos y son menos profundos y mucho más pequeños que los lagos araucanos. Además, algunos de estos sistemas lénticos (ej. Lagos Cucao y Huillinco) se caracterizan por presentar un mayor contenido salino en sus aguas producto de la entrada de agua del mar a través de sus efluentes.

Biodiversidad de peces. Son 17 especies las presentes en esta área, dos de ellas endémicas (*Cheirodon australe* y *Diplomystes camposensis*). Es común encontrar especies del género *Brachygalaxia* y la especie *Odontesthes* (*Cauque*) *mauleanu*, así como también otras especies típicas chilenas como *Percilia gillissi* y *Basilichthys australis*. También es posible encontrar individuos de *Galaxias globiceps*. Sin embargo, estos se encuentran altamente restringidos a pequeños riachuelos entre el Lago Llanquihue y Puerto Montt. En base a su ubicación dentro de la cuenca, las áreas ritrónicas estarían habitadas por *A. zebra*, *T. areolatus*, *P. gillissi* y *Galaxias platei* mientras que en la zona potámica habitarían *G. maculatus*, *B. australis*, *O. mauleanum* y *P. trucha*. En las zonas de humedales se encontrarían *Ch. australe* y *B. bullocki*. *Basilichthys australis*, *O. mauleanum*; Aplochitonidae: *Aplochiton zebra*; Percichthyidae: *Percichthys trucha*, *P. melanops* y la lamprea Geotriidae: *G. australis*. La Isla de Grande de Chiloé se considera como una cuenca única. A excepción de *Trichomycterus areolatus* y *Cheirodon australis*, la fauna íctica presente en la isla tiene un origen marino. Se encuentran cuatro familias y ocho especies: Trichomycteridae: *Trichomycterus areolatus*; Galaxiidae: *Galaxias platei*, *G. maculatus*, *B. bullocki*; Atherinopsidae: *Basilichthys australis*; Aplochitonidae: *Aplochiton taeniatus*; Characidae: *Cheirodon australe*.

3.2.5 Ecorregión Patagonia

Límites y características climáticas. Se extiende desde la cuenca del río Puelo hasta las cuencas de las islas al sur del Canal Beagle. Incluye las zonas climáticas Hiperhúmeda y Semiárida Estepárica Fría. Esta última comprende las regiones orientales de Aysén y Magallanes, especialmente en Tierra del Fuego. La precipitación media anual en la zona Hiperhúmeda puede sobrepasar los 4000 mm/año; la temperatura media fluctúa entre los 5 °C y 6 °C. Por otra parte, los montos de precipitación en la zona Semiárida Estepárica Fría reducen hasta los 200-400 mm/año con un periodo seco que puede llegar hasta los cuatro meses, sin embargo, las temperaturas bajas se mantienen.

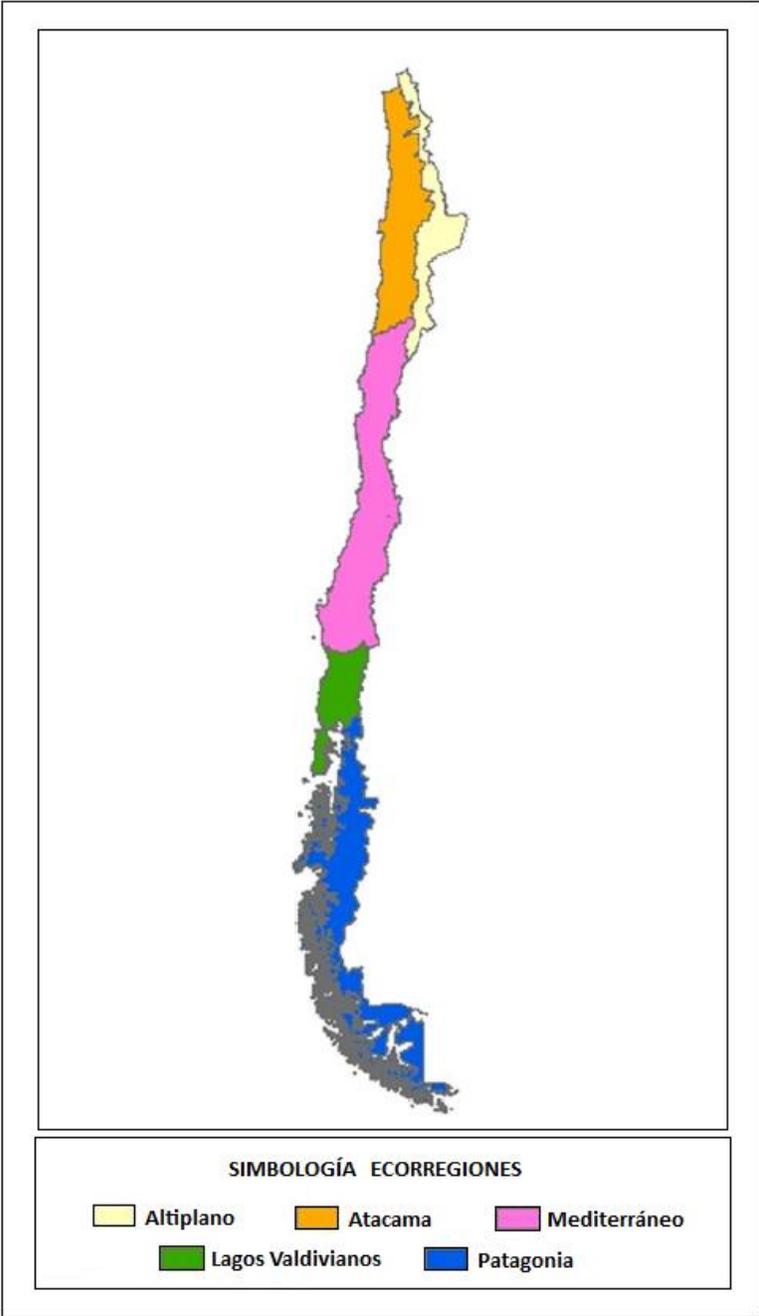
Principales cuerpos de agua. Incluye las cuencas de los ríos Puelo, Yelcho, Aysén, Bueno, Baker, Pascua y Palena; y los cuerpos de agua localizados en el Archipiélago de las Guaitecas y de los Chonos e Isla de Tierra del Fuego. De manera general, se pueden distinguir en esta ecorregión dos tipos de ríos: ríos caudalosos trasandinos de la Patagonia y

ríos cortos con caudal bajo de la Isla de Tierra del Fuego. Al respecto, los ríos caudalosos se forman al este del macizo andino y se caracterizan por presentar un régimen hidrológico pluvio-nival que varía, hacia el sur, a un régimen glacio-pluvial, en aquellos ríos que nacen en los ventisqueros de los campos de hielo. El mayor caudal se registra en los meses de verano, sin embargo, este es menos variable durante el año comparado con los ríos de la ecorregión precedente. Presentan un contenido alto de material particulado. Por su parte y como se mencionó anteriormente, las cuencas hidrográficas de la Isla Grande de Tierra del Fuego (Ej. ríos Grande, Rasmussen, Blanco y Cóndor) se caracterizan, en general, por ser de desarrollo corto con cauces poco profundos y caudal bajo. La ecorregión Patagonia también incluye el sistema de lagos magallánicos o patagónicos, entre los cuales están los lagos Yelcho, Bertrand, Sarmiento, San Rafael, Cochrane, O'Higgins, Laguna Blanca y General Carrera; el lago con mayor superficie del país. En general, estos lagos se caracterizan por ser oligotróficos y monomicticos con estratificación termal durante el verano. En esta región también se pueden encontrar lagos y lagunas con un amplio rango de salinidad.

Biodiversidad de peces. La ecorregión de la Patagonia posee nueve especies de peces característicos y una especie no restringida a esta ecorregión, *Mordacia lapicida*. La fauna íctica de esta región se asemejaría a la descrita para las zonas retrónicas de los ríos con regulación lacustre, aunque con una riqueza de especies menor. El río Aysén es representativo de los sistemas de esta región. En este río habitan Trichomycteridae: *Hatcheria macraei*; Galaxiidae: *Galaxias platei*, *G. maculatus* y Aplochitonidae: *Aplochiton taeniatus*. Debido a su pequeña longitud y bajo caudal, los ríos de la Isla Grande de Tierra del Fuego presentan una baja riqueza de la fauna, con representantes exclusivamente de origen marino. Las especies características encontradas en esta zona son: *Galaxias platei*, *G. maculatus*, *Aplochiton taeniatus*, *A. zebra*; y lampreas: *G. australis* y *Caragola lapicida*.

Finalmente, en la Figura 3.1 se aprecian las cinco ecorregiones del país.

Figura 3.1: Ecorregiones de Chile (Fuente: DCA & RNR, 2010).



3.3 Tipos de ecosistemas hídricos en Chile

De acuerdo al estudio “Definición de la Clasificación de Cuerpos de Agua” realizado por el DCA & RNR (2011 [1]), los Tipos de ecosistemas hídricos representan una agrupación ideal de diferentes cuerpos de agua que poseen las mismas características, ya sean morfológicas, físicas, químicas, hidrológicas, biocenóticas u otras, que las hacen comunes. De esta forma, los Tipos de cuerpos de agua se pueden deducir de elementos abióticos, pero deben ser validados posteriormente según criterios biológicos, en base a las comunidades típicas que habiten dichos sistemas límnicos.

La clasificación por Tipos de cuerpo de agua en su mayoría se basa en amplios estudios de cuerpos de agua de referencia. Los sistemas de referencia son cuerpos de agua reales que han sufrido la menor intervención antropogénica posible, en cuanto a su hidromorfología, calidad de agua, caudal y biocenosis. Cada Tipo de ecosistema hídrico debe contar con un cuerpo de agua de referencia propio que indique las condiciones de naturalidad que todos los cuerpos de agua de dicho Tipo deberían poseer. De esta manera se logra generar una descripción ideal de los Tipos de cuerpo de agua.

Es preciso aclarar que es posible diferenciar distintos Tipos de cuerpos de agua en las diferentes categorías de aguas superficiales: ríos, lagos, aguas costeras y aguas de transición. Respecto del número de Tipos que debiesen existir en el país, existe consenso entre los expertos participantes del estudio del DCA & RNR (2011 [1]), en que alrededor de 30 Tipos de cuerpos de aguas continentales es un número suficiente para lograr representatividad de los ecosistemas acuáticos a escala nacional, al mismo tiempo que será manejable para su gestión por parte del sector público y privado.

A continuación se describe el Sistema de Tipología y Tipología para Cuerpos de Agua de Chile, definidos por el DCA & RNR en sus estudios realizados durante el año 2010 y 2011 para el Ministerio del Medio Ambiente.

3.3.1 Sistema de tipología para cuerpos de agua de Chile

Un Sistema de Tipología de cuerpos de agua es una herramienta que recoge aquellas variables que permiten diferenciar distintos Tipos de cuerpos de agua, de un territorio en particular, según la biocenosis de cada uno de ellos en sus estados naturales.

Es fundamental que las variables o criterios que se elijan sean mínimamente sensibles a la intervención humana, ya que tienen como objetivo producir Tipos claros y distinguibles unos de otros.

El DCA & RNR (2010 y 2011 [1]), definió un Sistema de Tipología para la clasificación de ríos y lagos basado en criterios abióticos que buscan predecir comportamientos similares o diferentes de la biocenosis de estos cuerpos de agua. En el

estudio “Clasificación de cuerpos de agua”, se definió el Sistema de Tipología a través de criterios abióticos, y en el estudio “Definición de la clasificación de cuerpos de agua”, se validó y robusteció el Sistema en función de lo señalado por diferentes expertos del área biológica.

En la Tabla 3.1 se muestran los criterios abióticos que definen el Sistema de Tipología propuesto por el DCA & RNR, para la clasificación de ríos y lagos del territorio nacional.

Tabla 3.1: Criterios de clasificación para ríos y lagos de Chile (Fuente: DCA & RNR, 2011 [1]).

Ríos	Lagos
1.- Ecorregión.	1.- Ecorregión.
2.- Pendiente del Cauce.	2.- Altitud.
3.- Altitud.	3.- Tamaño (superficie).
4.- Geología.	4.- Geología.
5.- Sustrato.	5.- Profundidad.
6.- Caudal Medio Anual.	6.- Estratificación.
7.- Régimen de la cuenca.	7.- Estado Trófico.

Cabe destacar que el séptimo criterio se consideró sólo como información descriptiva para ambos sistemas límnicos, y no forma parte de los criterios utilizados para clasificar los distintos tipos de cuerpos de agua.

A continuación se describen los criterios abióticos que definen el Sistema de Tipología para la clasificación de ríos del territorio nacional, de acuerdo a lo señalado en el estudio “Clasificación de Cuerpos de Agua” desarrollado por el DCA & RNR (2010). El Sistema de Tipología para la clasificación de lagos no fue considerado en este trabajo dado los alcances que tiene esta propuesta, los cuales están principalmente enfocados a ríos, esteros, quebradas y canales.

3.3.1.1 Criterios de clasificación

Varios son los factores que ayudan a diferenciar entre un tipo de río y otro. La variación latitudinal y longitudinal de estos factores a lo largo y ancho del territorio nacional entregan a los ríos del país características que los hacen distintos unos de otros.

Tomando en cuenta la literatura revisada, las indicaciones de la Directiva Marco del Agua (DMA), la experiencia de Alemania en el tema y la observación en terreno de los cuerpos de agua en distintas ecorregiones, se determinó que los parámetros de clasificación para ríos son los que se muestran a continuación (DCA & RNR, 2010):

- **Altitud:** La altura es un criterio de importancia en el territorio chileno, que interviene en el clima y, con ello, en la temperatura, precipitación y patrones vegetacionales, factores que influyen, por ejemplo, en el ingreso de nutrientes al agua. Se determinaron cuatro clases de altitud con la ayuda de expertos, quienes relevaron las diferencias que pequeños gradientes de altura pueden producir en la biocenosis, influyendo en la composición y dominancia de los grupos funcionales de macroinvertebrados.
- **Pendiente:** La pendiente del cauce, o bien del terreno por el que pasa un río es determinante de sus características hidráulicas, se relaciona con varias características del río, y de la biocenosis que puede darse en él. La pendiente determina la velocidad de avance del agua en el río, y esta velocidad está relacionada con la cantidad de oxígeno disuelto, y de esta forma, con los nutrientes que es capaz de albergar. También influye en el sustrato del fondo del cauce, pudiendo variar desde grandes rocas y bolones en las zonas de alta pendiente, a sedimentos finos como arcillas, en las zonas donde la pendiente disminuye y la velocidad de la corriente desciende.
- **Sustrato:** Si bien es un criterio relacionado con la pendiente de los cauces, el sustrato del fondo del cauce es relevante para los macroinvertebrados, peces y otros organismos animales y vegetales que habitan en las aguas y riberas de los ríos. Pueden distinguirse al menos cuatro tipos de sustrato, en función del tamaño de la partícula dominante: limo, arena, grava y rocas.
- **Descarga:** La descarga, entendida como la escorrentía media anual de un río, es relevante para la biocenosis que se desarrolla en éste, porque explica condiciones de escurrimiento, humedad, temporalidad de la zona inundada y otras características. Los rangos de descarga fueron determinados en función de la experiencia del equipo de trabajo, e información secundaria.
- **Geología:** La geología entrega información sobre el contenido natural de minerales en las rocas, lo que se asocia tanto a los nutrientes que pueden encontrarse en el agua como a diferentes niveles de conductividad eléctrica. Las clases propuestas para este criterio fueron definidas a partir de una discusión entre los expertos alemanes, el equipo de trabajo y el MMA, en la que se determinó que la relevancia para diferenciar la biocenosis de los Tipos de cuerpo de agua está representada por la riqueza de minerales, y el tipo de mineral dominante (silíceo o calcáreo). De esta manera, las clases propuestas por la DMA fueron adaptadas para Chile en cuatro clases según recomendación experta: Silíceo con alto y bajo contenido de minerales, y Calcáreo con alto y bajo contenido de minerales.

3.3.1.2 Rangos de clasificación

Los rangos definidos para cada criterio de clasificación, fueron establecidos por el DCA & RNR (2011 [1]), en base a la opinión de los expertos e información de fuentes bibliográficas, recogida de publicaciones e informes del área de la biología.

En la Tabla 3.2 y 3.3 se muestran los rangos definidos para cada criterio de clasificación considerado para los ríos de Chile.

Tabla 3.2: Rangos de clasificación para criterios topográficos e hídricos de los ríos de Chile (Fuente: DCA & RNR, 2011 [1]).

Clase	Altitud (m.s.n.m)		Pendiente del cauce (%)		Descarga (m ³ /s)
1	Muy baja	< 100	Baja	< 1	< 5
2	Baja	100-800	Media	1-3	5-50
3	Media	800-1500	Alta	> 3	50-200
4	Alta	1500-3500			> 200
5	Muy Alta	> 3500			

Tabla 3.3: Rangos de clasificación para criterios pedológicos y geológicos de los ríos de Chile (Fuente: DCA & RNR, 2011 [1]).

Clase	Sustrato Predominante	Geología
1	Limo	Silíceo - Alto contenido de minerales
2	Arena	Silíceo - Bajo contenido de minerales
3	Grava	Calcáreo - Alto contenido de minerales
4	Rocas	Calcáreo - Bajo contenido de minerales

3.3.2 Tipología para cuerpos de agua de Chile

La Tipología corresponde al conjunto de Tipos de cuerpos de agua que en condiciones naturales podrían existir en un territorio. Es una herramienta práctica para agrupar la gran diversidad de Tipos de cuerpos de agua en unidades sinópticas y explotables.

En general, las Tipologías de los cuerpos de agua son elaboradas de manera interdisciplinaria por biólogos, geógrafos, químicos e hidrólogos. Además, en la Tipología se pueden incorporar tantos criterios como sea necesario, sin que haya límite para la información.

El DCA & RNR, en su estudio “Generación de información cartográfica para el sistema de tipología de ríos y lagos de Chile”, desarrolló una Tipología para la clasificación de cuerpos de agua del país, diferenciadamente, dependiendo del tipo de cuerpo de agua (río o lago). Los diferentes criterios incluidos en la tipología para clasificar ríos y lagos corresponden a los definidos en el Sistema de Tipología para Cuerpos de Agua de Chile, descritos en la sección anterior.

La tipificación resultante de la combinatoria de los criterios de clasificación y sus rangos, entregó un alto número de tipos de ríos y lagos que potencialmente pueden encontrarse en el país. No obstante, estos tipos deberán analizarse detalladamente en estudios futuros, estableciendo agrupaciones de tipos y disminuyendo la cantidad de categorías distintas, generando una tipología integrada que sea útil para la administración pública, y para el establecimiento futuro de Normas Secundarias de Calidad Ambiental (NSCA), que sean capaces de reflejar la diversidad natural del país.

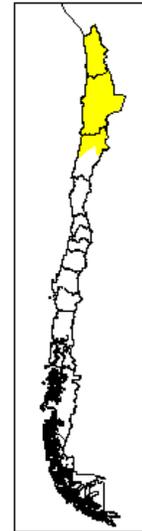
En la Tabla 3.4 se muestra la cantidad de tipos de ríos definidos por el DCA & RNR (2011 [2]) para clasificar las aguas del país. A su vez, en las Figuras 3.2 a 3.6 se puede ver en detalle la cartografía de la Tipología establecida en cada una de las cinco ecorregiones, respectivamente.

Tabla 3.4: Cantidad de ríos establecidos en Tipología (Fuente: DCA & RNR (2011 [2])).

Ecorregión	N° de Tipos de Ríos
Altiplano y Atacama	5
Mediterraneo	19
Lagos Valdivianos	5
Patagonia	11
Total	40

Finalmente, dada la gran variabilidad de tipos de cuerpos de agua determinadas en la Tipología propuesta por el DCA & RNR (2011 [2]), acompañada de la limitación temporal que posee el presente trabajo, se decidió utilizar como base para implementar la propuesta de índices de calidad del agua, los límites geográficos establecidos por las cinco ecorregiones del país.

Figura 3.2: Cartografía de la Tipología de Ríos Chilenos. Ecorregiones Altiplano y Atacama.

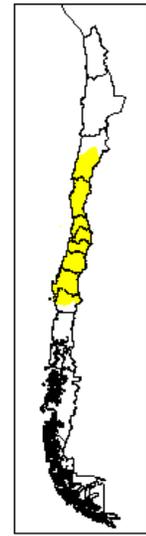
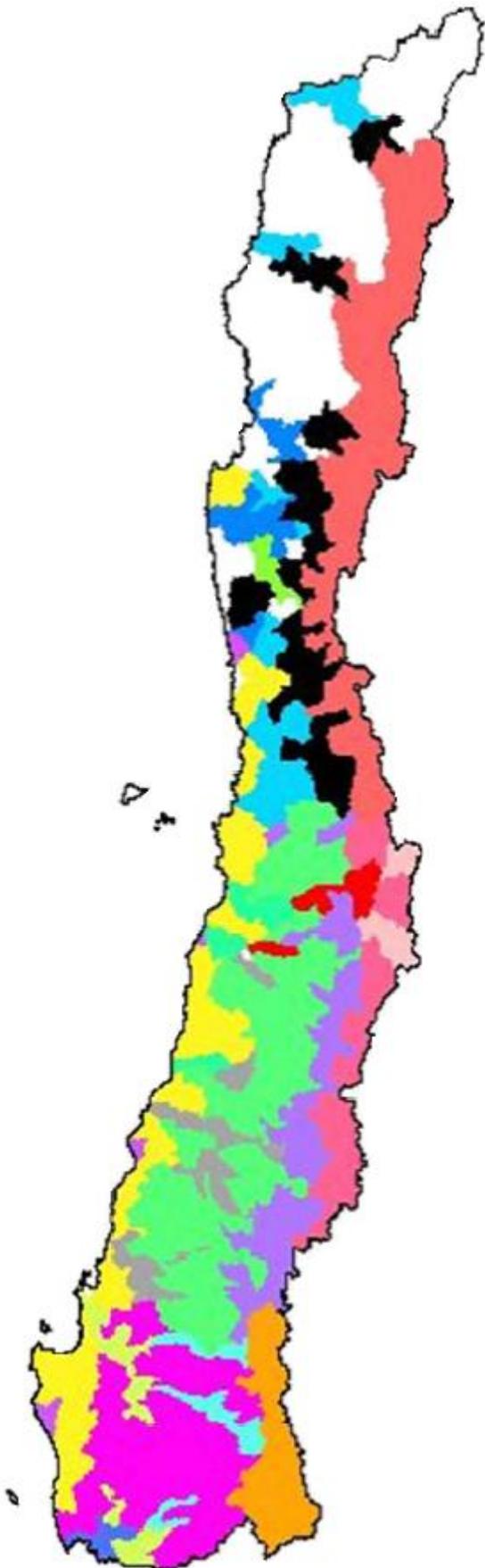


Fuente: DCA & RNR, 2011 [2].

LEYENDA

-  Tipo 1: Altiplano norte con dominancia silíceo
-  Tipo 2: Altiplano norte con dominancia calcáreo
-  Tipo 3: Altiplano sur
-  Tipo 4: Atacameños con dominancia calcáreo
-  Tipo 5: Atacameños con dominancia silíceo

Figura 3.3: Cartografía de la Tipología de Ríos Chilenos. Ecorregión Mediterráneo.

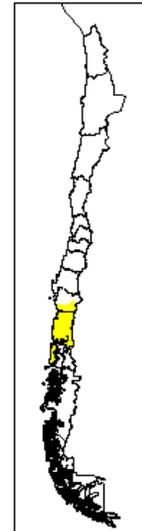


Fuente: DCA & RNR, 2011 [2].

Legenda

- Tipo 6: Andinos semiáridos
- Tipo 7: Transición semiáridos con dominancia silíceo
- Tipo 8: Desembocadura semiáridos con dominancia silíceo
- Tipo 9: Transición semiáridos con dominancia calcáreo
- Tipo 10: Desembocadura semiáridos con dominancia calcáreo
- Tipo 11: Andinos sub húmedos
- Tipo 12: Transición sub húmedos
- Tipo 13: Desembocadura sub húmedos
- Tipo 14: Desembocadura sub húmedos caudalosos
- Tipo 15: Andinos sub húmedos con dominancia calcáreo
- Tipo 16: Transición sub húmedos con dominancia calcáreo
- Tipo 17: Desembocadura sub húmedos con dominancia calcáreo
- Tipo 18: Andinos húmedos
- Tipo 19: De montaña húmedos
- Tipo 20: Transición húmedos
- Tipo 21: Desembocadura húmedos
- Tipo 22: Desembocadura húmedos con dominancia calcáreo
- Tipo 23: Costeros mediterráneos con dominancia calcáreo
- Tipo 24: Costeros mediterráneos con dominancia silíceo

Figura 3.4: Cartografía de la Tipología de Ríos Chilenos. Ecorregión Lagos Valdivianos.

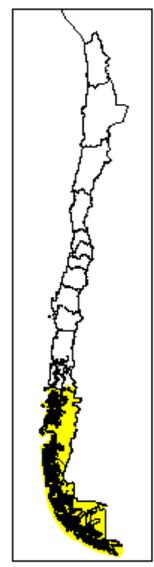
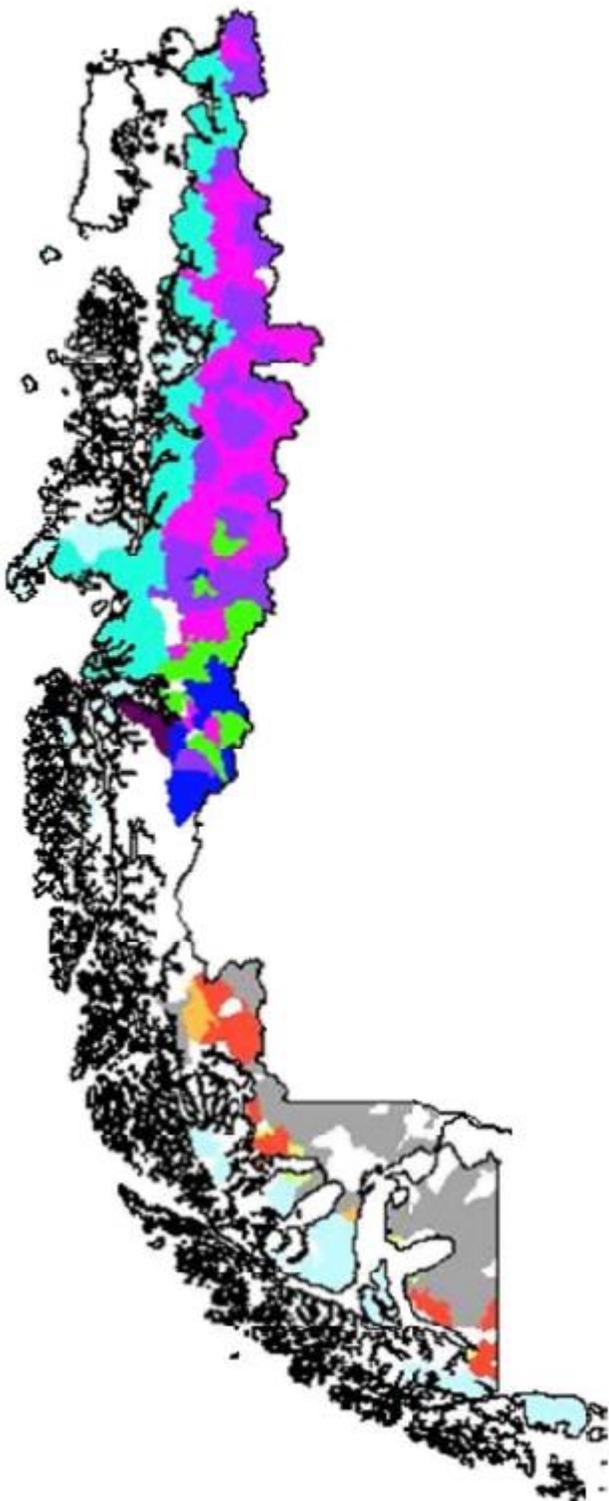


Fuente: DCA & RNR, 2011 [2].

Leyenda

-  Tipo 25: De montaña valdivianos
-  Tipo 26: De montaña con regulación lacustre
-  Tipo 27: Costeros valdivianos
-  Tipo 28: De montaña con regulación lacustre calcáreo
-  Tipo 29: Ríos de Chiloé

Figura 3.5: Cartografía de la Tipología de Ríos Chilenos. Ecorregión Patagonia.



Fuente: DCA & RNR, 2011 [2].

Leyenda

- Tipo 30: Costero patagónico con dominancia silícea
- Tipo 31: Costero patagónico con dominancia calcárea
- Tipo 32: Patagónicos
- Tipo 33: Patagónicos con dominancia calcárea
- Tipo 34: Patagónicos con dominancia calcárea de llanura
- Tipo 35: Patagónicos de llanura
- Tipo 36: Magallánicos con dominancia calcárea de llanura
- Tipo 37: Magallánicos de llanura
- Tipo 38: Magallánicos con dominancia de llanura con sustrato grueso
- Tipo 39: Magallánicos de llanura con sustrato grueso
- Tipo 40: Insulares

Capítulo 4: Análisis de Datos de Calidad de Aguas en Chile

4.1 Introducción

Para la generación de un índice de calidad de aguas para el país, es fundamental analizar exhaustivamente la información oficial entregada por el sistema de control hidrométrico de Chile. De esta manera, es posible determinar el comportamiento fisicoquímico de la matriz de agua de los sistemas hídricos que poseen estaciones de monitoreo y a su vez, agrupar aquellos sistemas que presenten características fisicoquímicas similares para generarles su propio índice de calidad.

Antes de que los datos de calidad química sean utilizados, es necesario realizar un análisis de consistencia de los datos y verificar que no existan errores. Su importancia radica en que el uso de información errónea puede llevar a tomar decisiones incorrectas y afectar directamente los resultados.

Existen procedimientos estándares destinados al examen de aguas de calidades comprendidas dentro de amplios márgenes, entre los que se incluyen aguas adecuadas para suministros domésticos e industriales, aguas de superficie, aguas subterráneas, aguas residuales y aguas saladas (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

En el presente capítulo se dará a conocer los resultados obtenidos del análisis exhaustivo realizado a los datos utilizados en este trabajo, luego de aplicar distintos procedimientos estándares destinados al análisis de consistencia de información de calidad de aguas. De esta manera se descartó aquella información que presentaba errores químicos, y se utilizó sólo aquella consistente para la construcción del índice.

4.2 Datos de calidad de aguas

La Dirección General de Aguas (DGA) es el organismo del Estado encargado de difundir la información generada por su red hidrométrica a través del sistema Banco Nacional de Aguas (BNA), con el objeto de contribuir a la competitividad del país y mejorar la calidad de vida de las personas (MOP, 2012).

El sistema Banco Nacional de Aguas proporciona información estadística, desagregada a diferentes niveles, de las más de 1800 estaciones de control hidrometeorológicas (Fluviometría, Meteorología, Sedimentos y Aguas Subterráneas) y de calidad del agua que administra la DGA a lo largo de todo el país (DGA, 2012). Actualmente se encuentran en vigencia alrededor de 350 estaciones de control de calidad del agua de las más de 700 que registra la DGA en su base histórica (1960-2010).

En la Tabla 4.1 se indican las cuencas hidrogeográficas definidas por la Dirección General de Aguas que presentan estaciones de monitoreo de calidad de aguas. En el anexo A es posible observar el nombre y ubicación de cada cuenca hidrográfica definida por la DGA que forman parte del análisis de esta propuesta.

Tabla 4.1: Cuencas hidrográficas, definidas por la DGA, que cuentan con estaciones de calidad química (Fuente: Elaboración propia).

Ecorregión	Cuenca	N° de Estaciones de Monitoreo	N° Total Estaciones
Altiplano	Altiplánicas	38	48
	Endorreicas entre Frontera y Vertiente del Pacífico	6	
	Río Loa	2	
	Salar de Atacama	2	
Atacama	Río Lluta	21	62
	Río San José	12	
	Costeras R. San José - Q. Camarones	5	
	Q. Río Camarones	4	
	Costeras R. Camarones-Pampa del Tamarugal	1	
	Pampa del Tamarugal	17	
	Costeras R. Loa - Q. Caracoles	1	
	Quebrada Caracoles	1	
Lagos Valdivianos	Río Toltén	12	55
	Río Valdivia	15	
	Río Bueno	19	
	Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo	6	
	Islas Chiloé y Circundantes	3	
Patagonia	Río Puelo	1	85
	Río Yelcho	2	
	Río Palena y Costeras Límite Décima Región	2	
	Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aisén	2	
	Río Aisén	15	
	Río Baker	24	
	Costeras entre Seno Andrew y R. Hollemberg e islas al oriente	13	
	Costeras e Islas entre R Hollemberg, Golfo Alte. Laguna Blanca	4	
	Vertiente del Atlántico	3	
	Tierra del Fuego	19	

Tabla 4.1 (Continuación): Cuencas hidrográficas, definidas por la DGA, para cada ecorregión del país (Fuente: Elaboración propia).

Ecorregion	Cuenca	N° de Estaciones de Monitoreo	N° Total Estaciones
Mediterráneo	Río Copiapó	16	512
	Río Huasco	12	
	Río Elqui	35	
	Costeras entre Elqui y Limarí	1	
	Río Limarí	47	
	Río Choapa	19	
	Costeras entre R. Choapa y R. Quilimari	1	
	Río QuiLimari	1	
	Río Petorca	7	
	Río Ligua	12	
	Costeras Ligua-Aconcagua	1	
	Río Aconcagua	54	
	Río Maipo	54	
	Costeras entre Maipo y Rapel	1	
	Río Rapel	71	
	Costeras Rapel - E. Nilahue	1	
	Costeras entre límite Región y R. Mataquito	1	
	Río Mataquito	40	
	Río Maule	45	
	Río Itata	28	
	Costeras e Islas entre Río Itata y Río Bio-Bio	4	
	Río Bio-Bio	31	
	Río Carampangue	3	
	Río Lebu	1	
Costeras Lebu - Paicavi	6		
Costeras e Islas entre R. Paicavi y Límite Región	1		
Río Imperial	19		

Las estaciones de calidad de la red hidrométrica de la DGA controlan diversos parámetros físico-químicos a través de sus campañas de monitoreo, las cuales se realizan usualmente dos a cuatro veces por año. El registro histórico de la DGA evidencia la medición de más de 40 parámetros, sin embargo en los últimos años sólo se contempla el control de no más de 30 variables en todas sus estaciones.

En la Tabla 4.2 se muestran los distintos parámetros físico-químicos monitoreados por las estaciones de control de calidad de agua que se encuentran registrados en la base histórica de la Dirección General de Aguas.

Tabla 4.2: Parámetros físico-químicos monitoreados por la DGA (Fuente: Elaboración propia).

Clasificación	Parámetros	Unidad de Medición
Nivel de Oxígeno	Oxígeno Disuelto (OD), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l O ₂
Metales	Al, As, B, Cd, Ca, Co, Cu, Cr, Fe, K, Li, Mg, Mn, Hg, Mo, Na, Ni, Ag, Pb, Se, Si, Zn	mg/l
Eutrofización	Nitrógeno total, nitrito, nitrato, nitrógeno amoniacal, fósforo total, fosfatos	mg/l
Microbiológicos	Coliformes fecales, coliformes totales	NMP/100 ml
Sustancias Disueltas	Conductividad Eléctrica (C.E) Cloruros, sulfatos, bicarbonatos pH	mhos/cm mg/l
Parámetros Físicos	Sólidos Suspendidos Totales (SST) Temperatura del agua Turbiedad Transparencia	mg/l °C unidad nefelometrica metros
Otros Parámetros	Clorofila a Dureza (CaCO ₃) Razón de Absorción de Sodio (RAS)	µg/l mg/l

Actualmente, parámetros como coliformes fecales, coliformes totales, dureza, SST, DBO y DQO no son monitoreados por la DGA. Los valores encontrados en su base histórica corresponden a campañas de monitoreo puntuales de ciertas estaciones de calidad. Por otro lado, variables como turbiedad, transparencia y clorofila a son sólo medidas en aquellas estaciones de calidad destinadas al monitoreo de lagos.

Finalmente, para determinar las características hidroquímicas de los cuerpos de agua del territorio nacional, se consideraron todas aquellas estaciones de control de la DGA que entregan información de calidad físico-química de todos los sistemas hídricos de agua superficial monitoreados a lo largo y ancho del país. Sin embargo, se descartó la información proveniente de aquellas estaciones destinadas a control de lagos, debido a que sus mediciones son realizadas a distintas profundidades y no contemplan la evaluación de los mismos parámetros medidos en el caso de las estaciones destinadas al

monitoreo de ríos, esteros, quebradas y canales, dando prioridad a la medición de indicadores de eutroficación.

Cabe destacar que toda la información utilizada en esta propuesta fue proporcionada por la División de Estudios del Ministerio del Medio Ambiente, quien cuenta con la base de datos completa de la DGA actualizada hasta el año 2010.

4.3 Análisis de consistencia de datos de calidad de aguas

A partir de las relaciones descritas en el Anexo B: “Procedimientos estándares destinados al análisis de datos de calidad”, se procedió a analizar químicamente la base de datos del Banco Nacional de Aguas de la DGA entregada por la División de Estudios del Ministerio del Medio Ambiente. De acuerdo a los resultados arrojados, se descartó aquella información químicamente inconsistente para efectos de la construcción del índice de calidad de aguas.

En la Tabla 4.3 se muestra un resumen de los resultados obtenidos por ecorregión, luego de aplicar la metodología estándar destinada a analizar la consistencia de la información entregada por las muestras de agua de todas las estaciones de monitoreo de la DGA.

Tabla 4.3: Resultados del balance químico y eléctrico por ecorregión (Fuente: Elaboración propia).

Ecorregión	Nº Total de Muestras	% de Muestras que se les puede aplicar Balance Iónico	% de Muestras Balanceadas Iónicamente	% de Muestras Desbalanceadas Eléctricamente
Altiplano	1469	79,9	68,4	17,3
Atacama	2292	60,5	51,3	8,6
Mediterráneo	31106	50,2	43,5	8,8
Lagos Valdivianos	2869	30,8	28,7	4,8
Patagonia	2480	33,9	31,6	6,1
Total (nivel país)	40216	49,5	43,1	8,6

Nota: Los valores porcentuales presentados en la Tabla 4.3 fueron medidos con respecto al número total de muestras de cada ecorregión.

Cabe destacar que para el análisis del balance iónico de los datos, se descartó toda aquella información que sobrepasara el 5% de error permitido para esta relación. Para el caso particular de la relación entre conductividad eléctrica y suma iónica, se descartó toda aquella información que no cumpliera con el criterio tanto para la suma catiónica como para la suma aniónica (Ver sección B.3). Por lo tanto, las muestras que

cumplieran con sólo una suma, catiónica o aniónica, fueron igualmente consideradas dentro del análisis hidroquímico de los sistemas monitoreados.

Por otro lado, en la Tabla 4.4 se muestra el porcentaje de muestras balanceadas correspondientes al total de estaciones vigentes por cada ecorregión.

Tabla 4.4: Resultados del balance químico y eléctrico por ecorregión para estaciones vigentes (Fuente: Elaboración propia).

Ecorregión	N° Total de Estaciones	N° Estaciones Vigentes hasta el año 2010	% de Muestras Balanceadas Iónicamente en Estaciones Vigentes	% de Muestras Desbalanceadas Eléctricamente en Estaciones Vigentes
Altiplano	48	17	41,3	11,6
Atacama	62	14	39,8	7,1
Mediterráneo	512	197	33,2	6,2
Lagos Valdivianos	55	49	28,7	4,8
Patagonia	85	82	30,8	5,7
Total (nivel país)	762	359	32,6	6,1

Nota: Los valores porcentuales presentados en la Tabla 4.4 fueron medidos con respecto al número total de muestras de cada ecorregión.

Finalmente, en la Tabla 4.5 se presenta un resumen de los valores característicos encontrados en cada ecorregión del país. Para ello, se consideró sólo la información de las muestras balanceadas, tanto iónica como eléctricamente, de las estaciones de monitoreo vigentes hasta el año 2010. Por otro lado, los valores que aquí se presentan fueron establecidos considerando la tendencia de más del 90% de los datos de cada ecorregión.

Tabla 4.5: Valores característicos encontrados en cada ecorregión del país (Fuente: Elaboración propia).

Ecorregión	pH	C.E [μ S/cm]	As Total [mg/l]	Cd Total [mg/l]	Hg Total [mg/l]	Pb Total [mg/l]	Grado de mineralización [meq/l]	Perfil Hidroquímico Predominante
Atacama	6,6 – 8,8	400 - 9000	≤ 2	$\leq 0,01$	$\leq 0,001$	$\leq 0,05$	8 - 200	Cl – Na
Altiplano	6,7 – 8,8	200 - 6500	≤ 1	$\leq 0,01$	$\leq 0,001$	$\leq 0,05$	4 - 135	Cl - Na
Mediterráneo Norte (Hasta Cuenca 56)	6,4 – 8,8	50 - 4000	≤ 1	$\leq 0,01$	$\leq 0,001$	$\leq 0,05$	< 100	HCO ₃ SO ₄ - Ca Na SO ₄ - Ca
Mediterráneo Sur	6,4 – 8,8	30 - 2000	$\leq 0,005$	$\leq 0,01$	$\leq 0,001$	$\leq 0,05$	< 40	HCO ₃ - Ca Na HCO ₃ - Na Ca SO ₄ - Ca
Lagos Valdivianos	6,2 – 8,5	20 - 200	$\leq 0,005$	$\leq 0,01$	$\leq 0,001$	$\leq 0,01$	< 5	HCO ₃ - Ca Na HCO ₃ - Na Ca
Patagonia	6,5 – 8,6	20 - 700	$\leq 0,005$	$\leq 0,01$	$\leq 0,001$	$\leq 0,01$	< 13	HCO ₃ - Ca HCO ₃ Cl - Ca Na

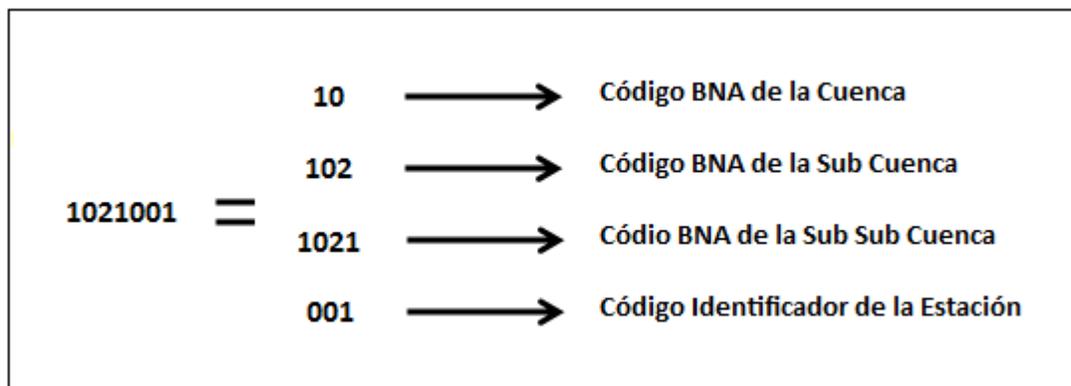
Donde: Grado de mineralización = \sum Iones mayoritarios (Cl, SO₄, HCO₃, Mg, Ca, Na, K).

4.4 Representación gráfica de datos de calidad de aguas

A partir de los datos químicamente consistentes, fue posible obtener el comportamiento químico de la matriz de agua de los sistemas hídricos de Chile que presentan estaciones de monitoreo de la DGA. Para ello, se desarrollaron mapas hidroquímicos de Stiff para mostrar la composición química principal de las aguas y mapas de círculos proporcionales para representar la conductividad eléctrica presente en las mismas. En el Anexo C se describe la metodología empleada para la construcción de estos mapas.

En las Figuras 4.2 a 4.21 se muestran los mapas obtenidos para cada ecorregión del país. El número que acompaña al diagrama de Stiff o círculo de cada mapa indica el código BNA de la estación que representa. Los primeros números de este código corresponden al código BNA de la cuenca a la cual pertenece la estación, seguido del código BNA de la Sub Cuenca y Sub Sub Cuenca, para finalmente agregar el dígito identificador de la estación. En la Figura 4.1 se muestra un ejemplo de un código BNA de una estación de monitoreo de la DGA.

Figura 4.1: Construcción código BNA de una estación de monitoreo de la DGA (Fuente: Elaboración propia).



En particular, en los mapas existen códigos representados con un mismo color para identificar aquellas estaciones de calidad que monitorean distintos puntos geográficos de un mismo sistema hídrico, con el fin de percibir la variabilidad química a lo largo del cauce. El resto de los códigos, en color negro, corresponden a estaciones de monitoreo únicas para el ecosistema en donde se encuentran ubicadas. En el Anexo E es posible encontrar la descripción de las estaciones de monitoreo asociadas a los códigos BNA indicados en los mapas.

Cabe destacar que la información presentada en estos mapas corresponde específicamente a estaciones de control de calidad vigentes en el año 2010, año hasta el cual se contó con información. A su vez, los valores representados en los mapas corresponden al promedio de las muestras consistentes de cada estación de monitoreo. En el caso de los diagramas de Stiff, se verificó caso a caso que los promedios iónicos representarían el mismo tipo hidroquímico que las muestras particulares de cada campaña de monitoreo.

Por otro lado, es importante mencionar que, debido a la gran variabilidad de concentraciones iónicas presentes a lo largo del país, fue imposible escoger una única escala hidroquímica para ser utilizada en todas las ecorregiones de Chile. La escala de cada mapa hidroquímico fue adaptada de acuerdo a las máximas concentraciones iónicas presentadas en la región. Sin embargo, en algunos casos particulares, el grado de mineralización presentado en ciertas estaciones de monitoreo era cuantitativamente mayor al resto de los sistemas hídricos de la región. Por esta razón, en algunos mapas se presentan dos escalas diferentes: una en color negro, utilizada para representar las estaciones con concentraciones iónicas semejantes (diagramas de Stiff en color amarillo) y otra en color rojo utilizada para graficar aquellos casos particulares con alto grado de mineralización (diagramas de Stiff en color rojo). Los mapas de conductividad eléctrica por su parte, poseen una misma escala uniforme sin excepción.

Sólo el mapa hidroquímico nacional (Figura 4.2) presenta una misma escala, con el objeto de demostrar de manera global la variabilidad de tipos hidroquímicos que poseen las aguas del país y el cambio gradual que se genera en la concentración iónica de norte a sur. Con este mapa se demuestra que el uso de una misma escala para todo el país dificulta enormemente la determinación del tipo hidroquímico (forma del polígono de Stiff) que presentan los cuerpos de agua con bajo contenido iónico. Por lo tanto, es relevante evaluar la escala que se va a aplicar antes de graficar los diagramas y construir los mapas.

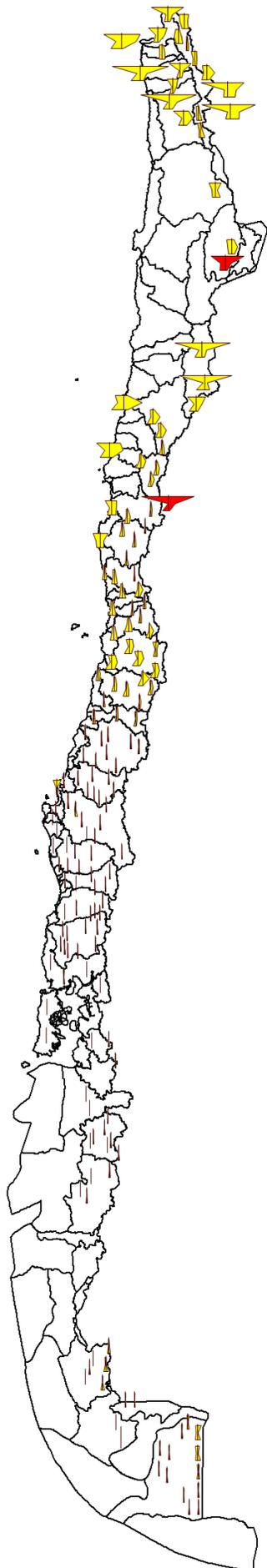
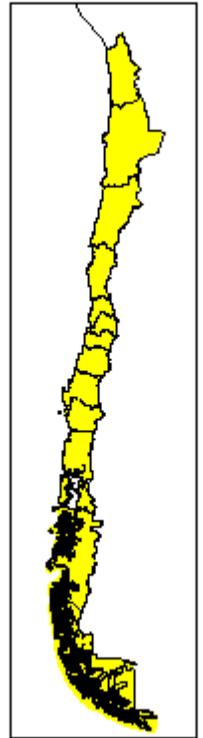


Figura 4.2:

Mapa Hidroquímico de Stiff para Chile.

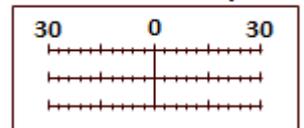


Fuente: Elaboración propia.

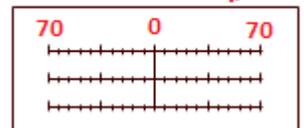
Simbología

Na+K	-----	Cl
Mg	-----	SO4
Ca	-----	HCO3

Escala 30 meq/l.



Escala 70 meq/l.

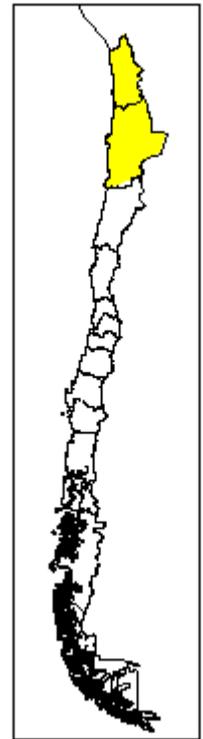
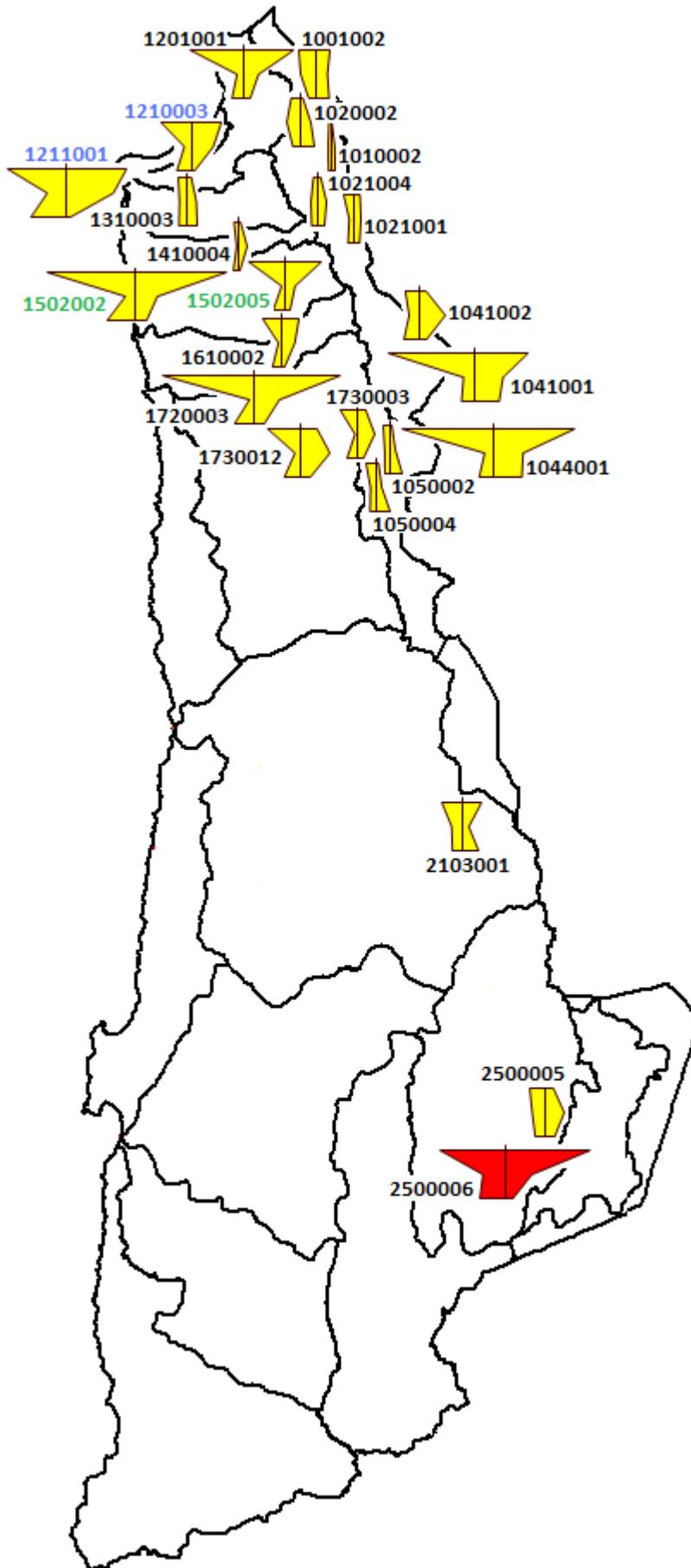


Nota: Simbología reducida al 43% en el mapa.

Figura 4.3:

Mapa Hidroquímico
Ecorregiones Altiplano
y Atacama.

Cuencas 10 a 29.

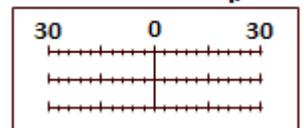


Fuente: Elaboración propia.

Simbología

Na+K	+++++	Cl
Mg	+++++	SO4
Ca	+++++	HCO3

Escala 30 meq/l.



Escala 50 meq/l.

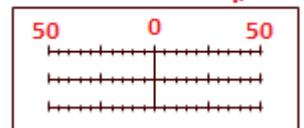
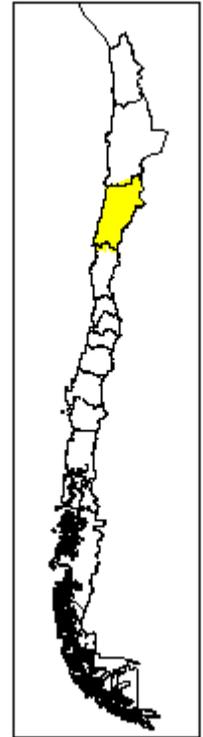
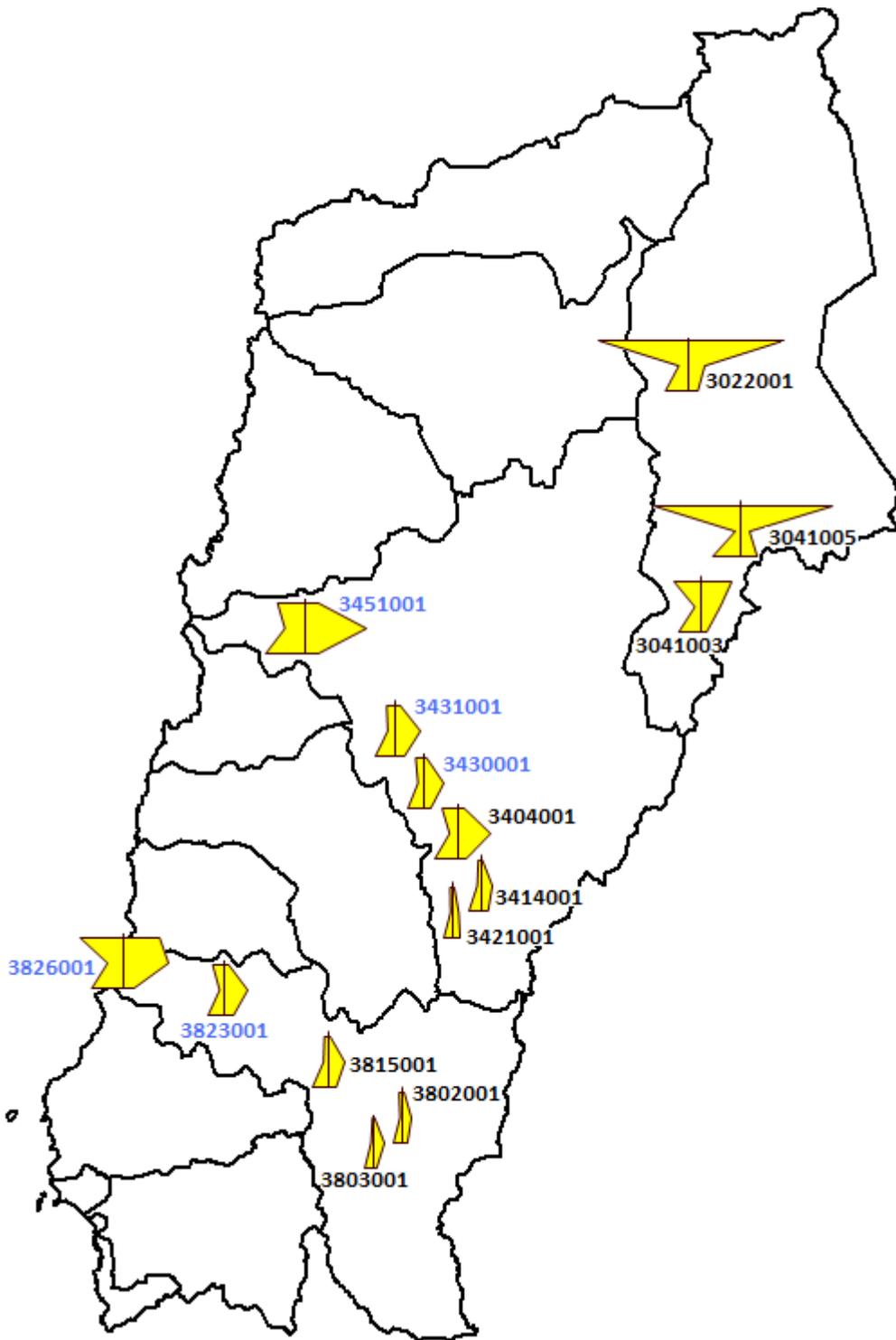


Figura 4.4:

Mapa Hidroquímico
Ecorregiones Altiplano
y Mediterráneo.

Cuencas 30 a 42.



Fuente: Elaboración propia.

Simbología

Na+K	+++++	Cl
Mg	+++++	SO4
Ca	+++++	HCO3

Escala 30 meq/l.

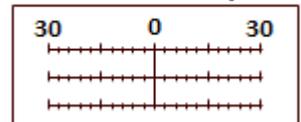
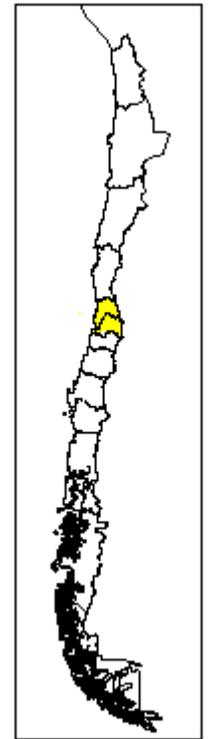
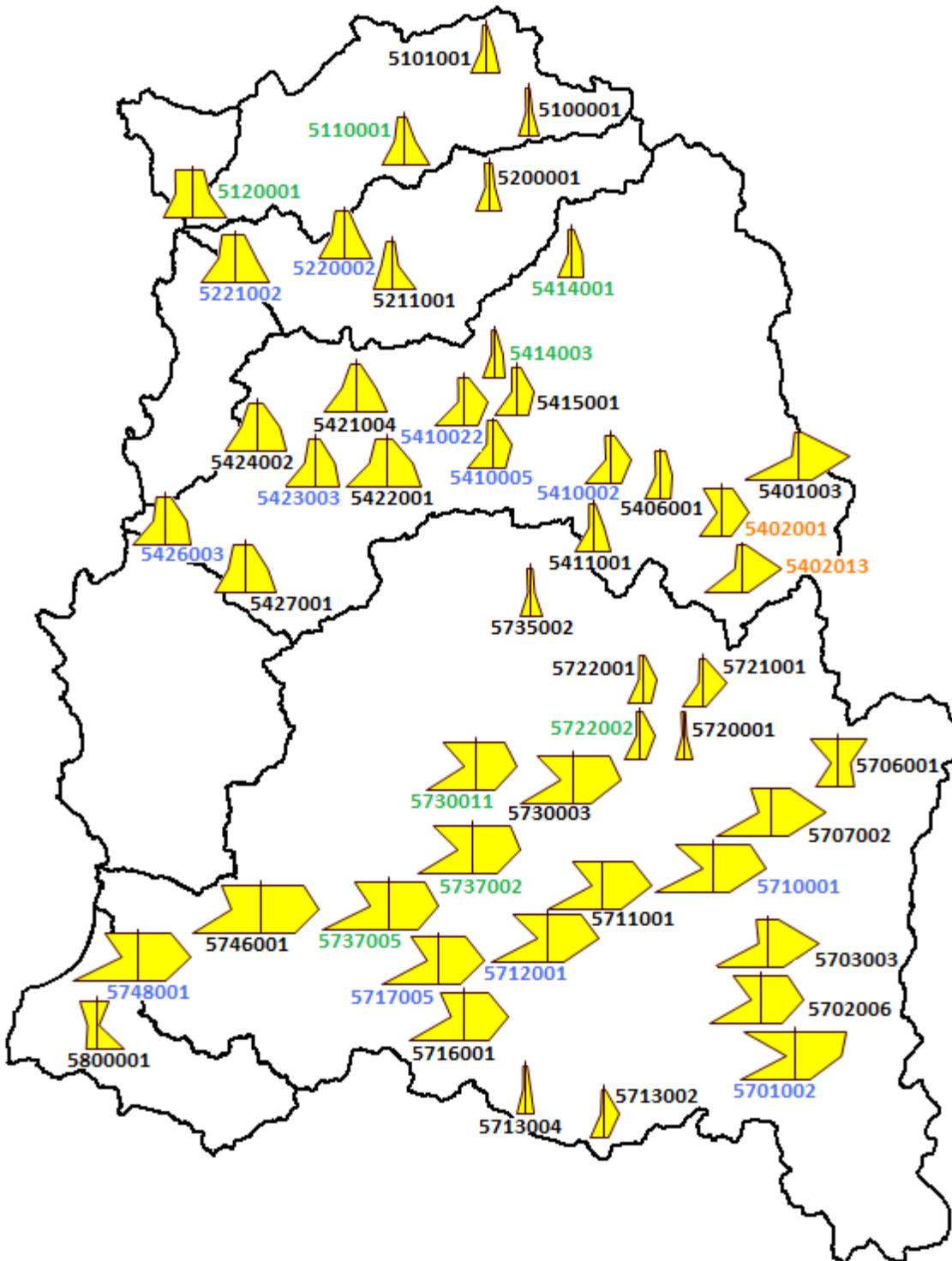


Figura 4.6:

Mapa Hidroquímico
Ecorregión
Mediterráneo.

Cuencas 50 a 59.



Fuente: Elaboración propia.

Simbología

Na+K	+++++	Cl
Mg	+++++	SO4
Ca	+++++	HCO3

Escala 10 meq/l.

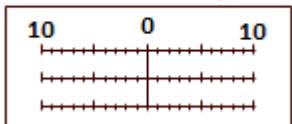
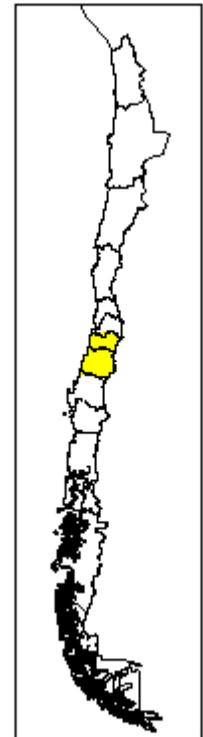
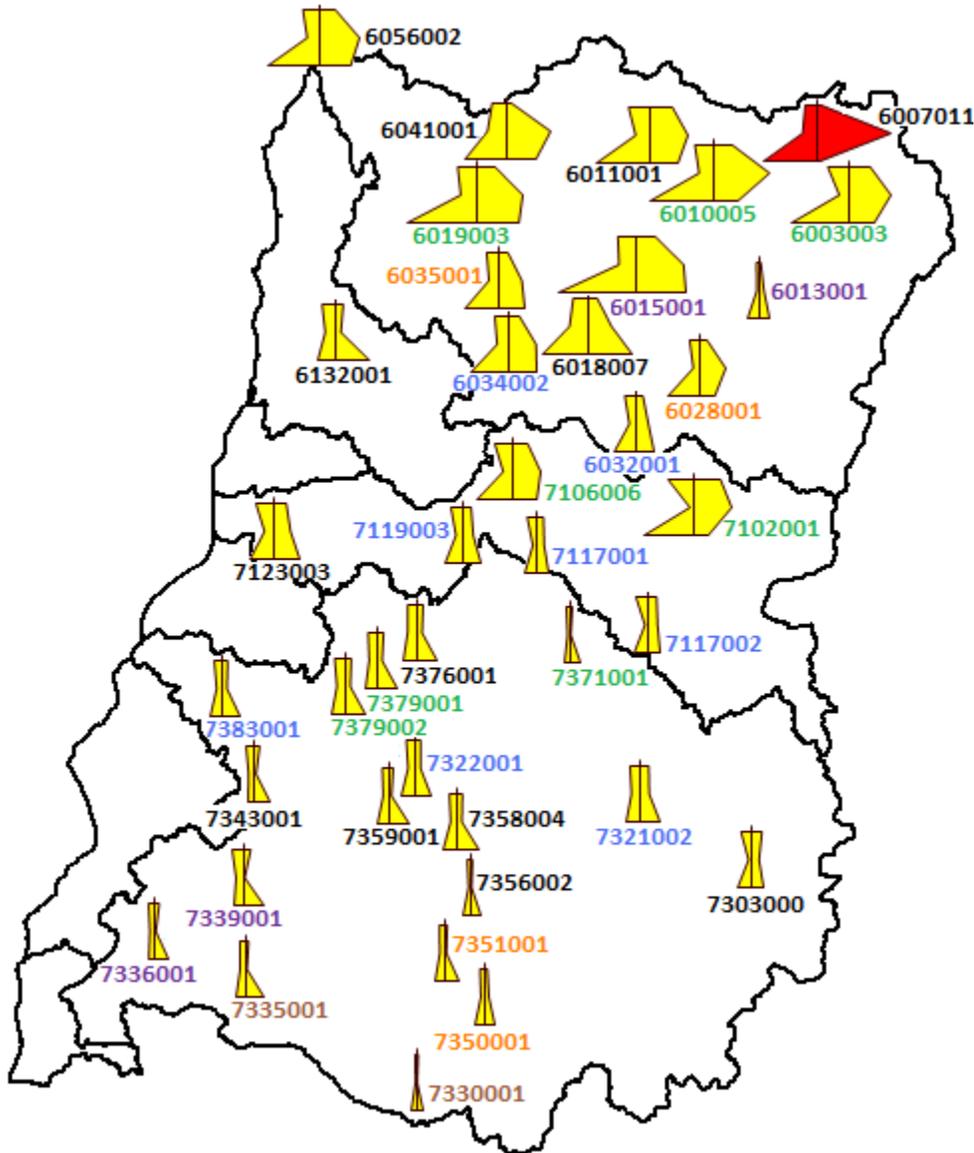


Figura 4.7:

Mapa Hidroquímico
Ecorregión
Mediterráneo.

Cuencas 60 a 80.

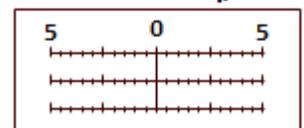


Fuente: Elaboración propia.

Simbología

Na+K	+++++	Cl
Mg	+++++	SO4
Ca	+++++	HCO3

Escala 5 meq/l.



Escala 10 meq/l.

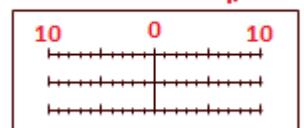
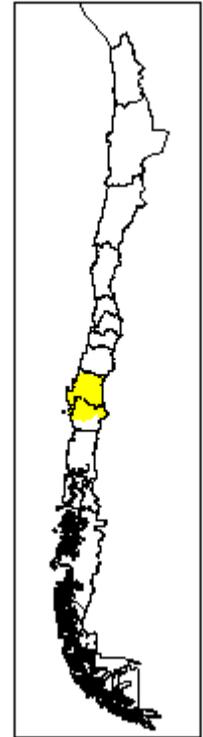
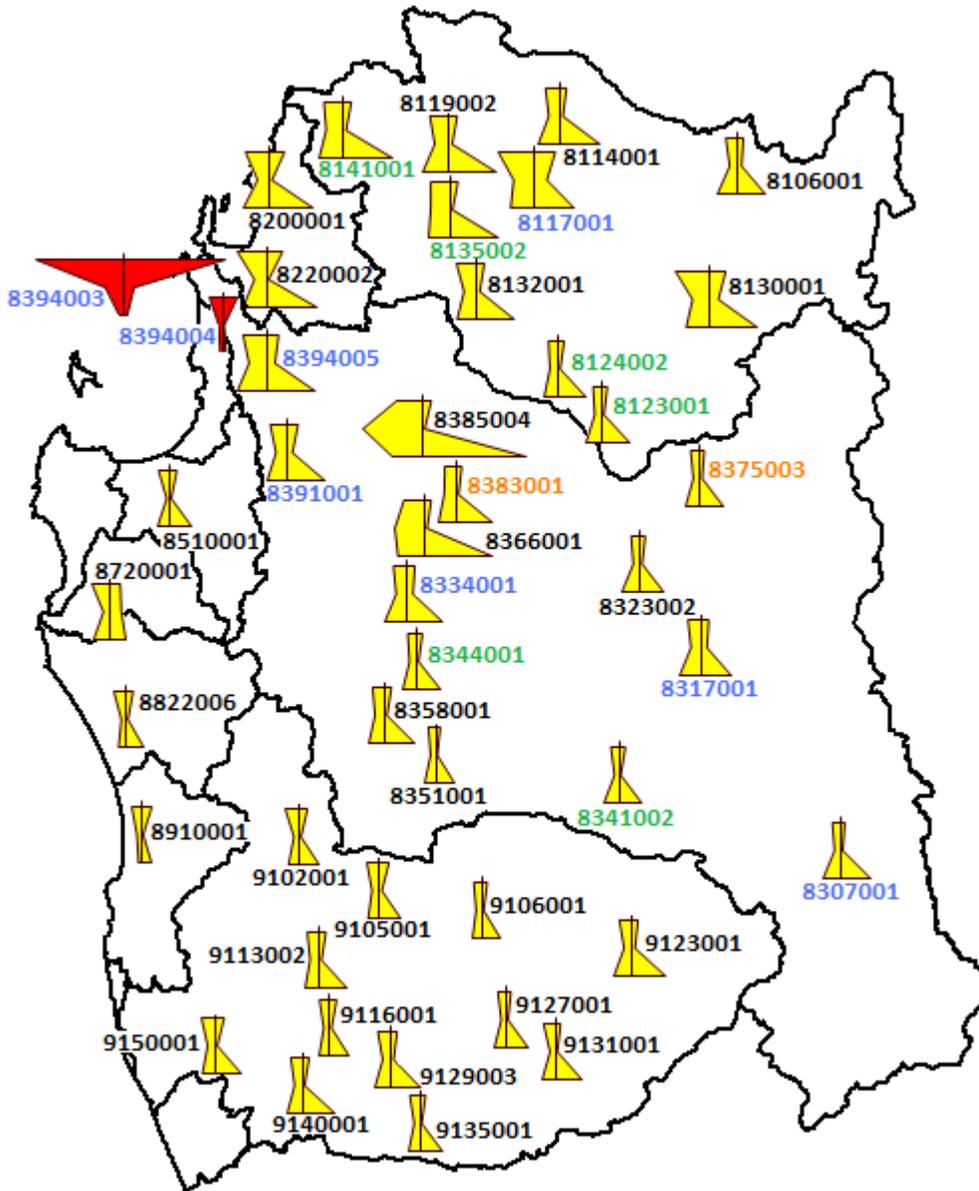


Figura 4.8:

Mapa Hidroquímico
Ecorregión
Mediterráneo.

Cuencas 81 a 92.

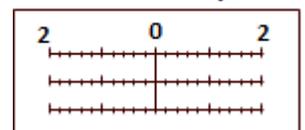


Fuente: Elaboración propia.

Simbología

Na+K	+++++	Cl
Mg	+++++	SO4
Ca	+++++	HCO3

Escala 2 meq/l



Escala 30 meq/l.

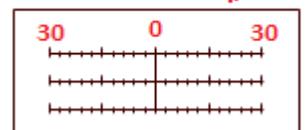
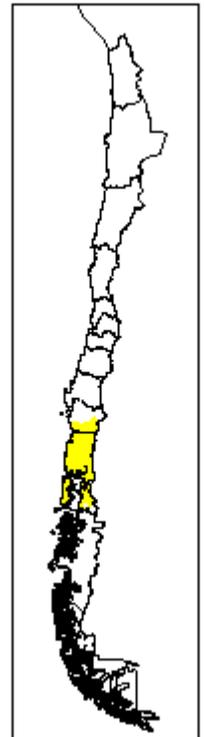
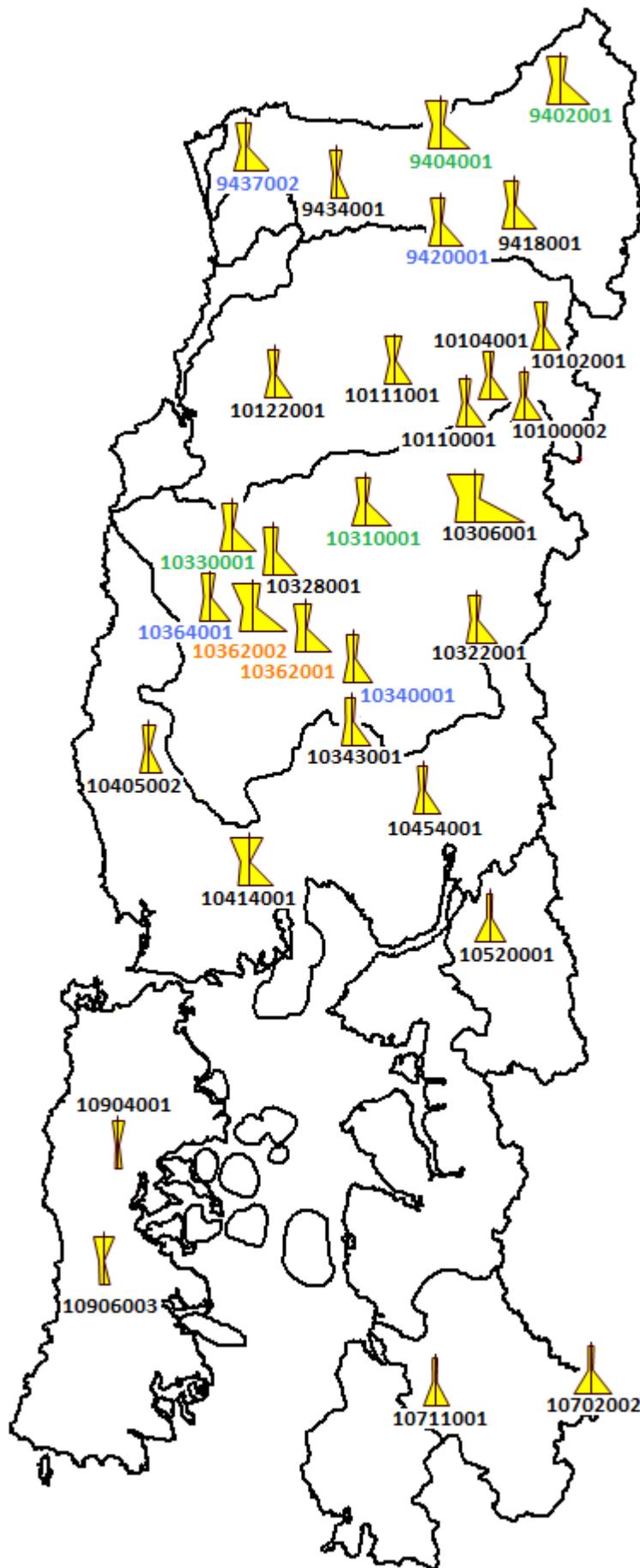


Figura 4.9:

Mapa Hidroquímico
Ecorregiones Lagos
Valdivianos y
Patagonia.

Cuencas 93 a 109.



Fuente: Elaboración propia.

Simbología

Na+K	+++++	Cl
Mg	+++++	SO4
Ca	+++++	HCO3

Escala 2 meq/l

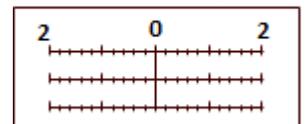
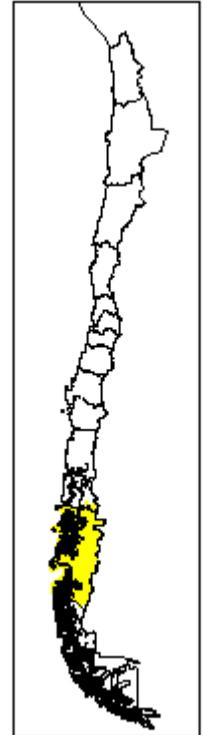
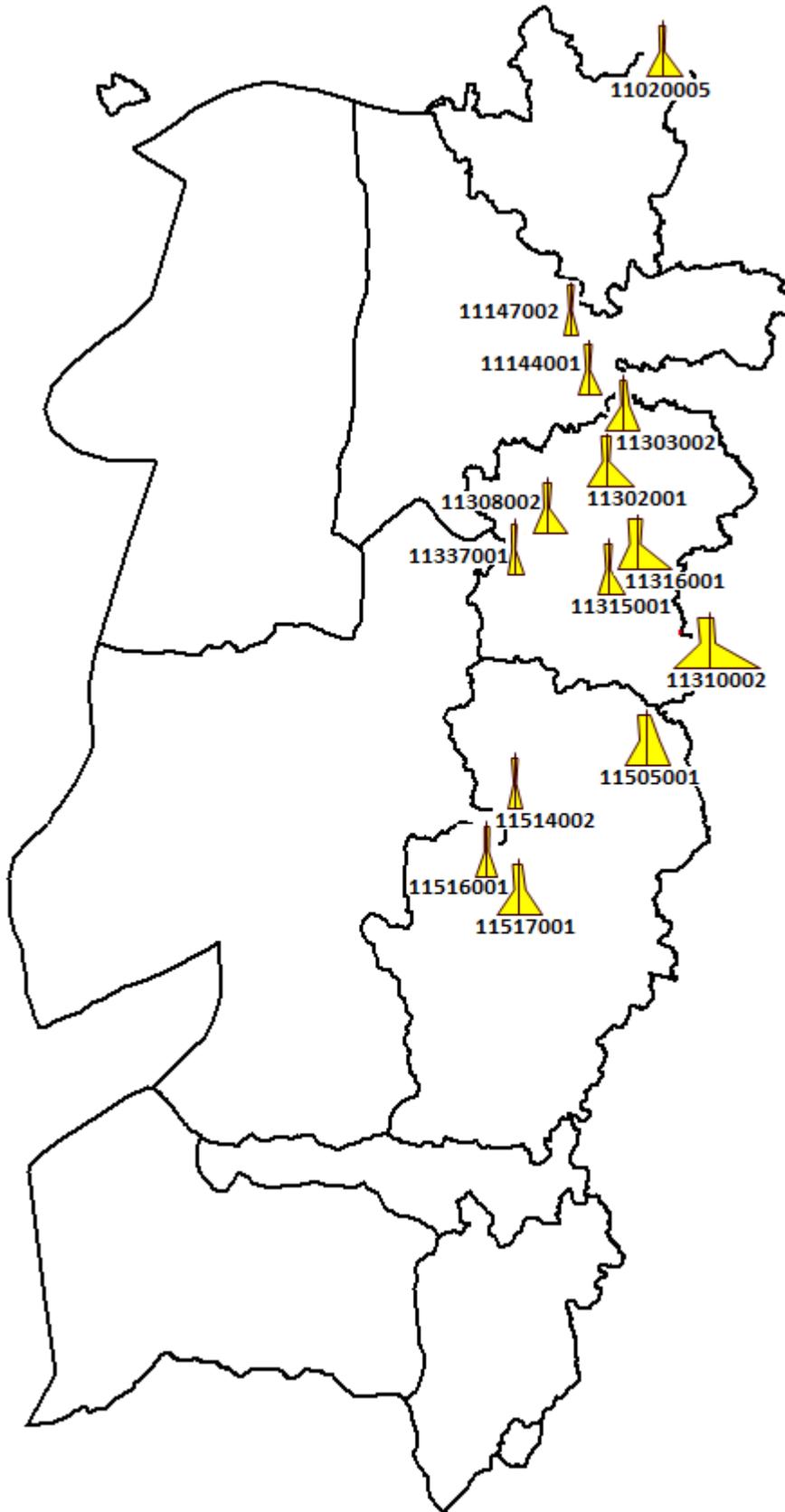


Figura 4.10:

Mapa Hidroquímico
Ecorregión Patagonia.

Cuencas 110 a 119.

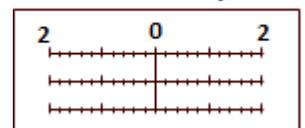


Fuente: Elaboración propia.

Simbología

Na+K	+++++	Cl
Mg	+++++	SO4
Ca	+++++	HCO3

Escala 2 meq/l



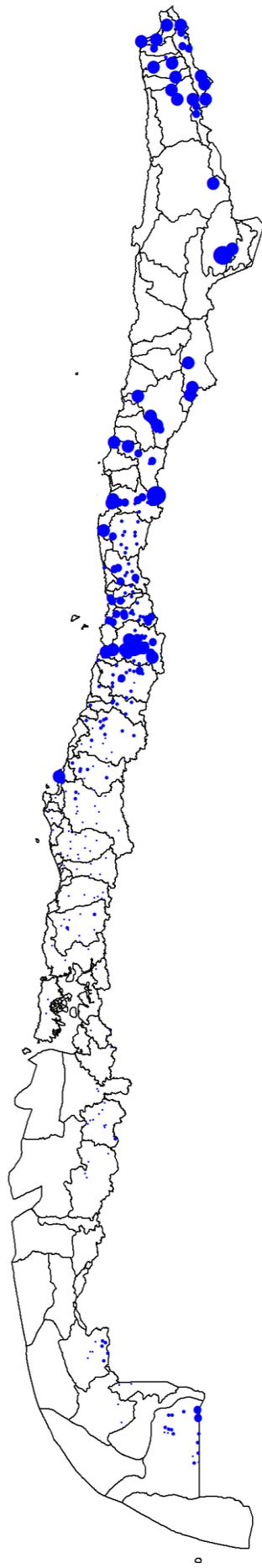
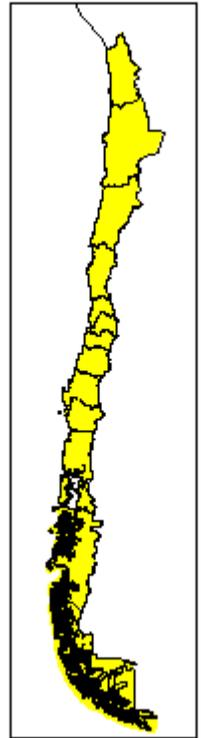


Figura 4.12:

Mapa de Conductividad Eléctrica para Chile.



Fuente: Elaboración propia.

Simbología

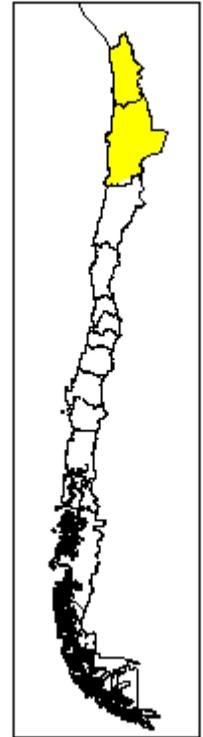
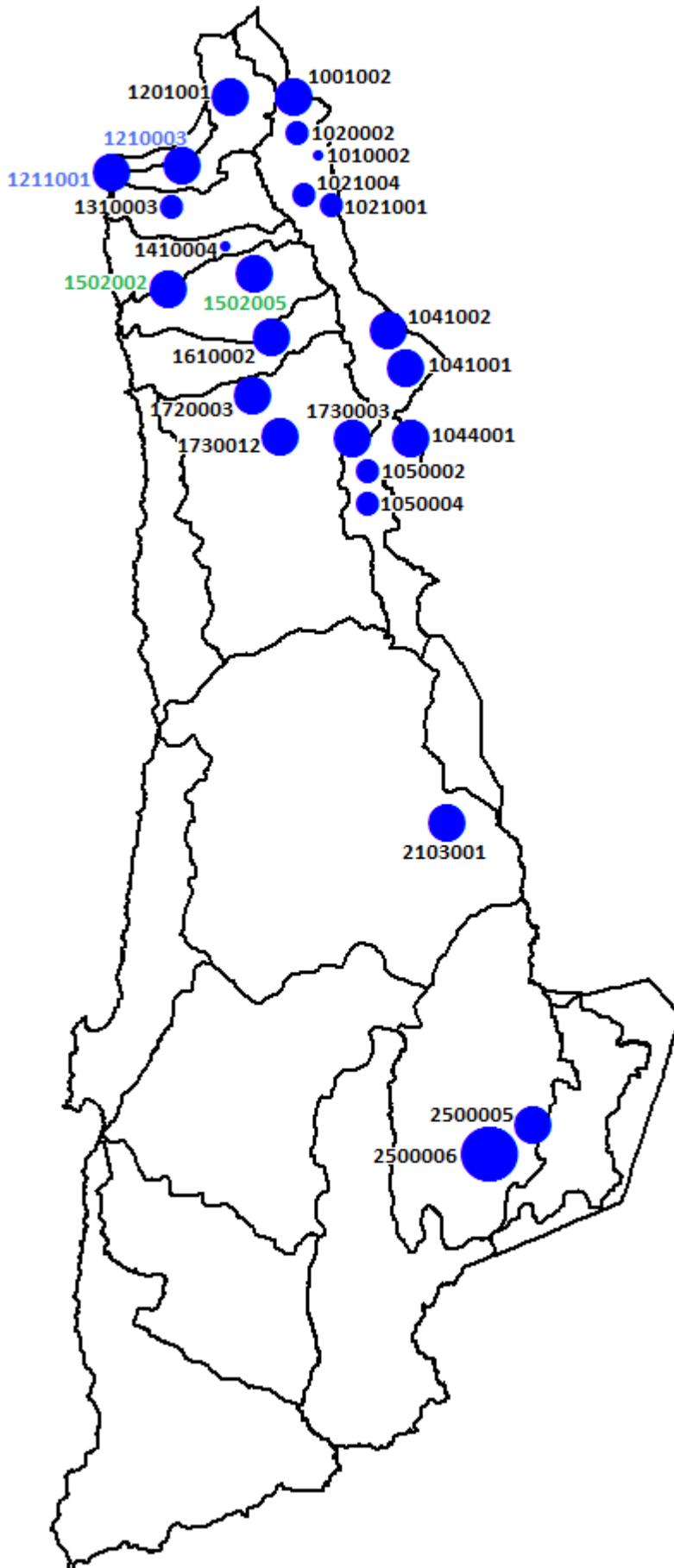
C.E en uS/cm	
•	0 - 100
•	101 - 500
●	501 - 1000
●	1001 - 5000
●	5001 - 9000

Nota: Simbología reducida al 35% en mapa.

Figura 4.13:

Mapa Conductividad Eléctrica Ecorregiones Altiplano y Atacama.

Cuencas 10 a 29.



Fuente: Elaboración propia.

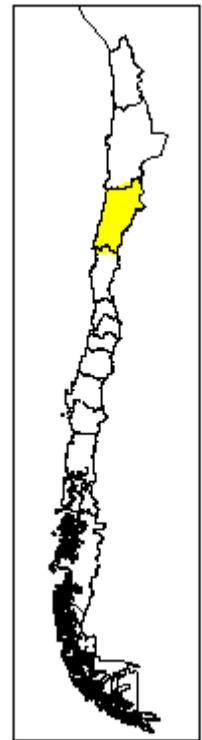
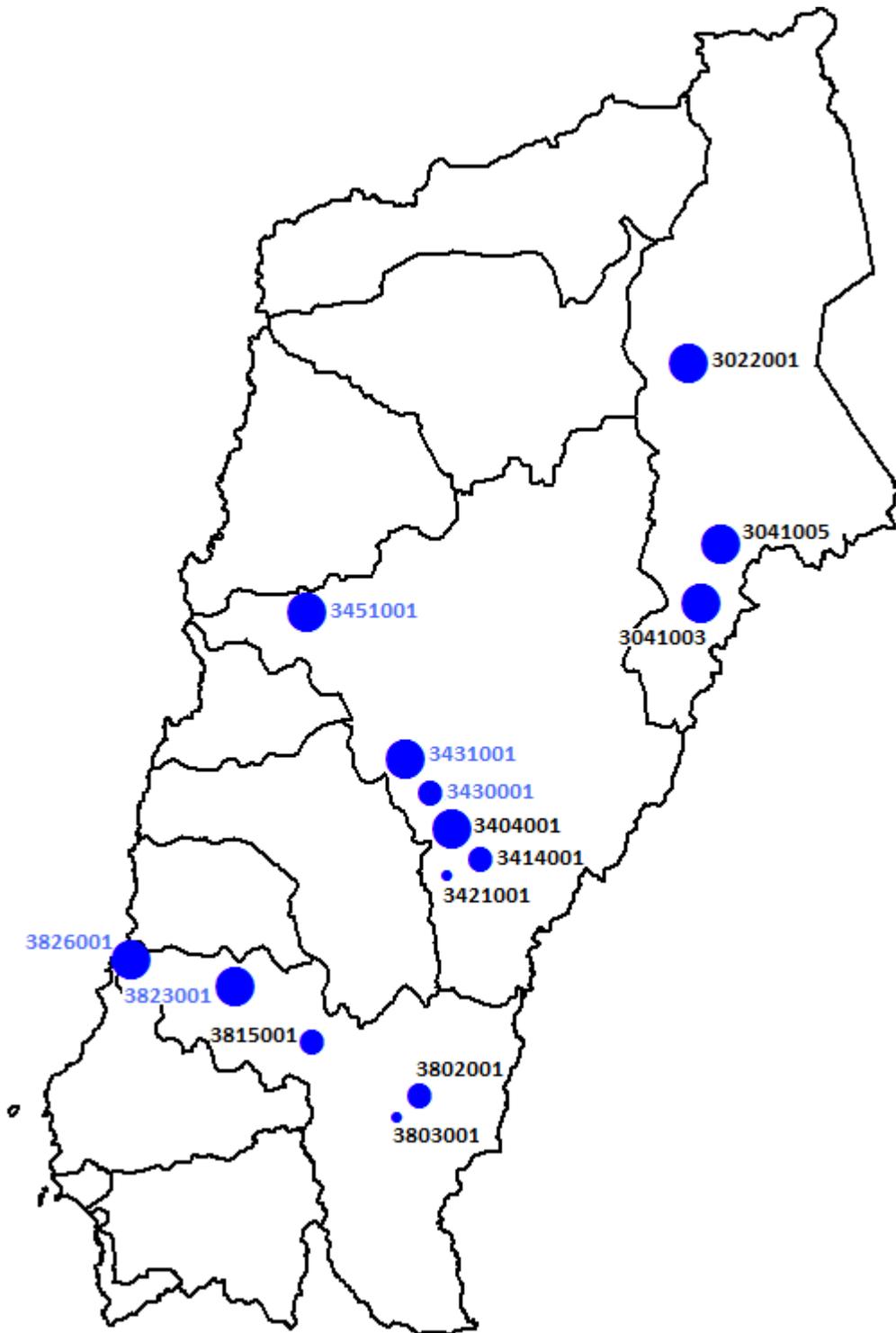
Simbología

C.E en uS/cm	
•	0 - 100
•	101 - 500
•	501 - 1000
•	1001 - 5000
•	5001 - 9000

Figura 4.14:

Mapa Conductividad Eléctrica Ecorregiones Altiplano y Mediterráneo.

Cuencas 30 a 42.



Fuente: Elaboración propia.

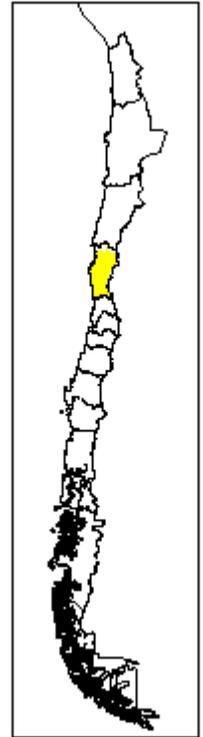
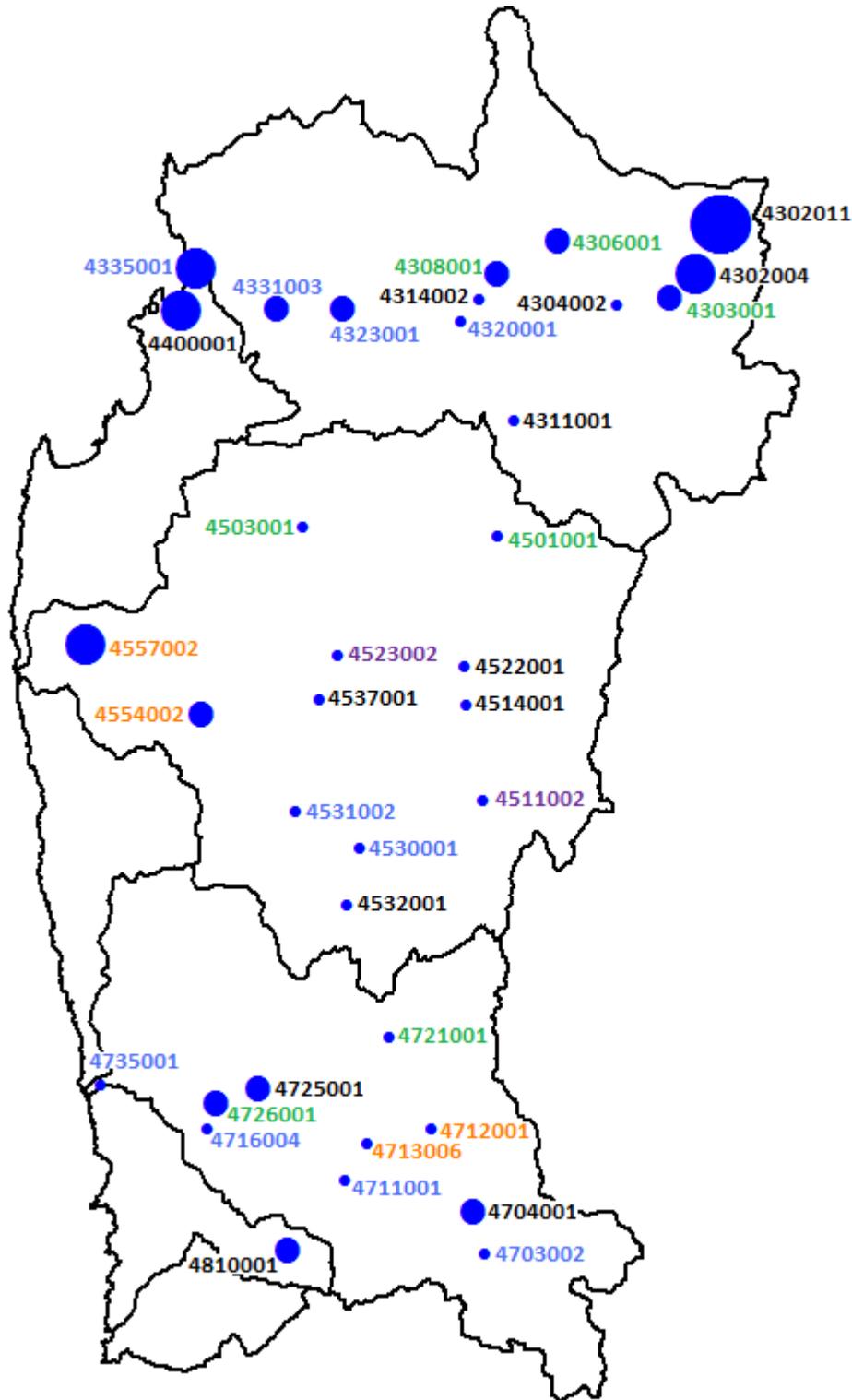
Simbología

C.E en $\mu\text{S}/\text{cm}$	
•	0 - 100
•	101 - 500
•	501 - 1000
•	1001 - 5000
•	5001 - 9000

Figura 4.15:

Mapa Conductividad Eléctrica Ecorregión Mediterráneo.

Cuencas 43 a 49.



Fuente: Elaboración propia.

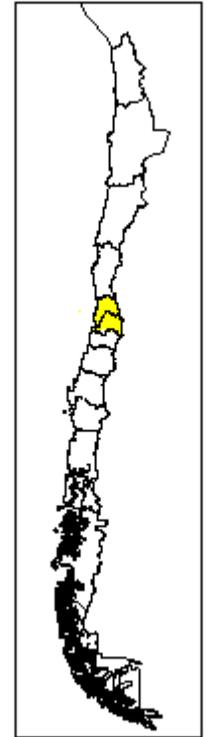
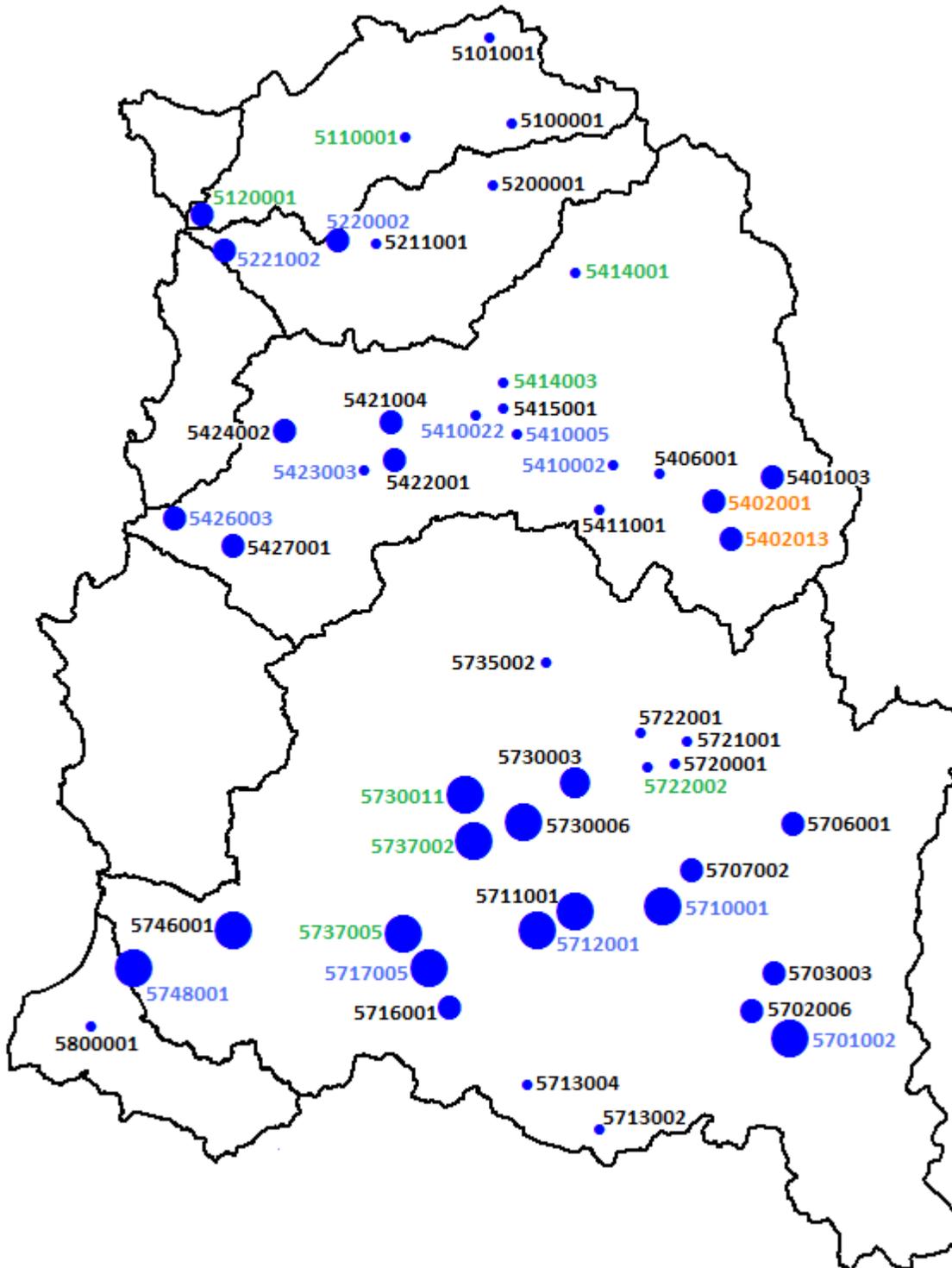
Simbología

C.E en uS/cm
• 0 - 100
• 101 - 500
• 501 - 1000
• 1001 - 5000
• 5001 - 9000

Figura 4.16:

Mapa Conductividad Eléctrica Ecorregión Mediterráneo.

Cuencas 50 a 59.



Fuente: Elaboración propia.

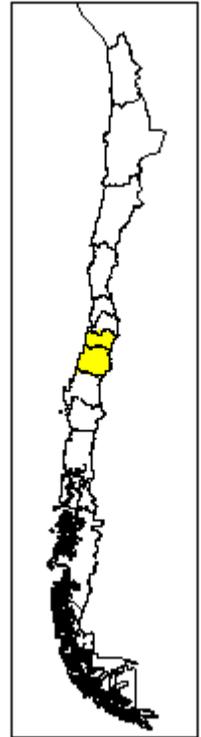
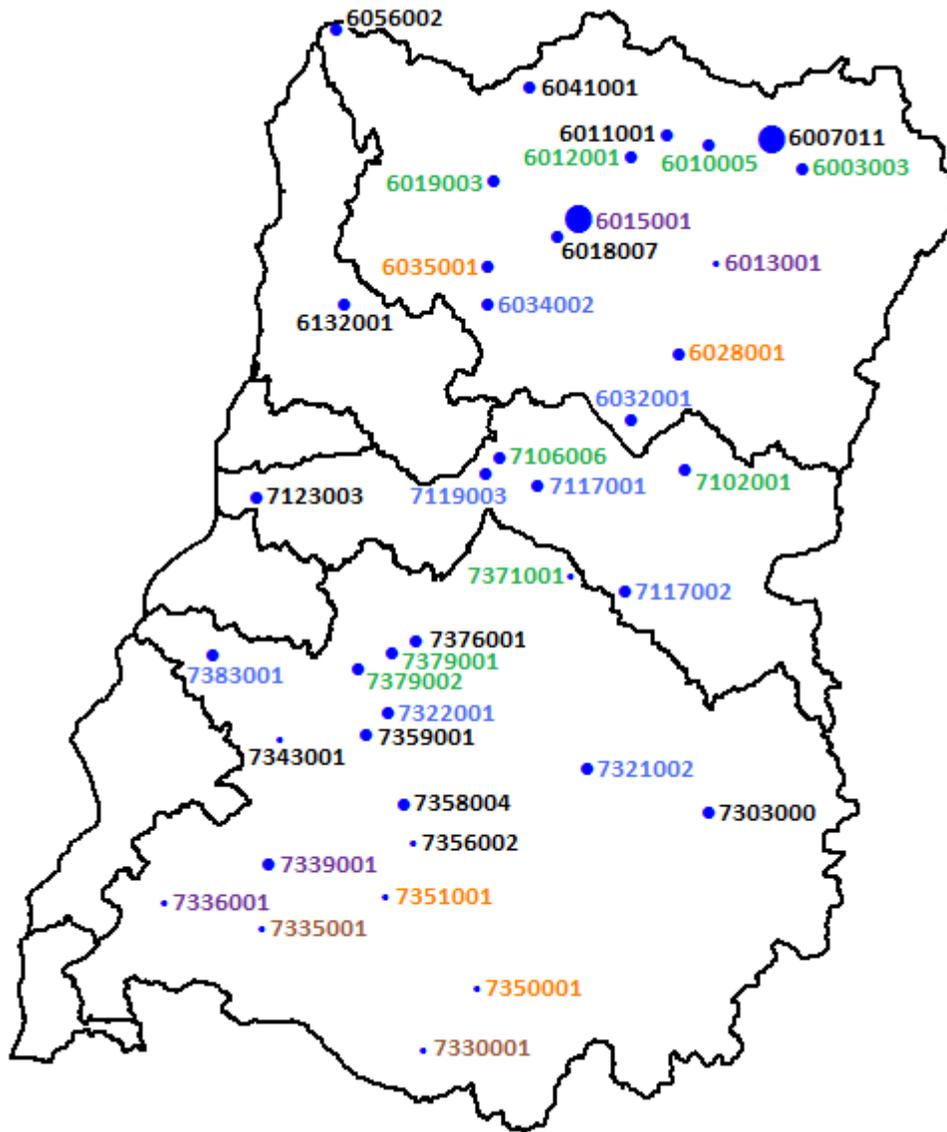
Simbología

C.E en uS/cm	
•	0 - 100
•	101 - 500
•	501 - 1000
•	1001 - 5000
•	5001 - 9000

Figura 4.17:

Mapa Conductividad Eléctrica Ecorregión Mediterráneo.

Cuencas 60 a 80.



Fuente: Elaboración propia.

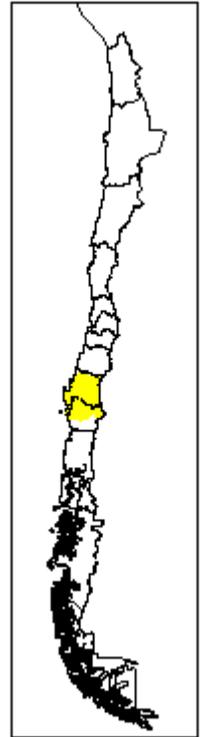
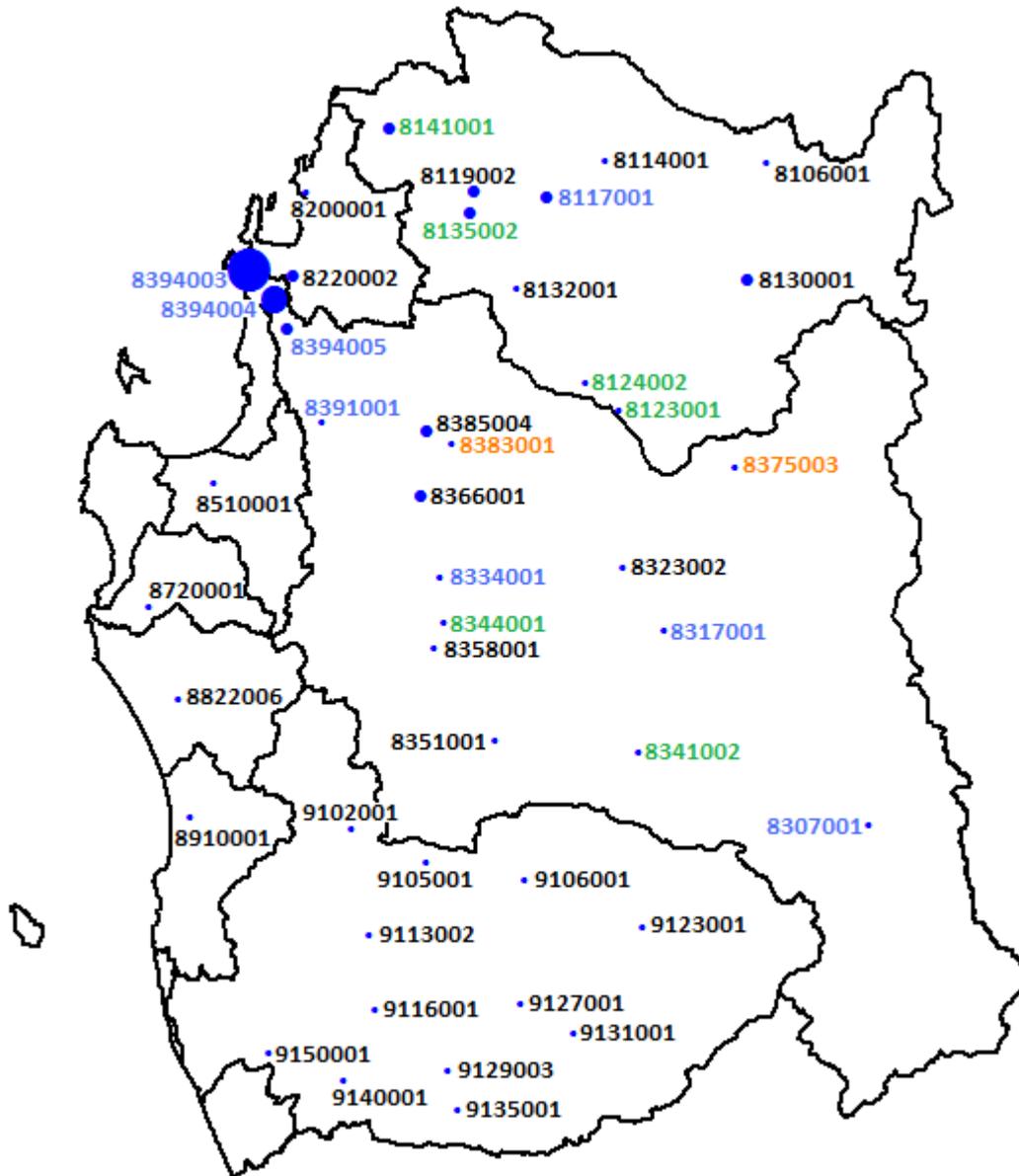
Simbología

C.E en uS/cm	
•	0 - 100
•	101 - 500
•	501 - 1000
•	1001 - 5000
•	5001 - 9000

Figura 4.18:

Mapa Conductividad Eléctrica Ecorregión Mediterráneo.

Cuencas 81 a 92.



Fuente: Elaboración propia.

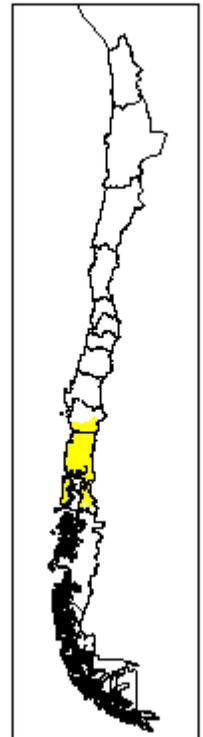
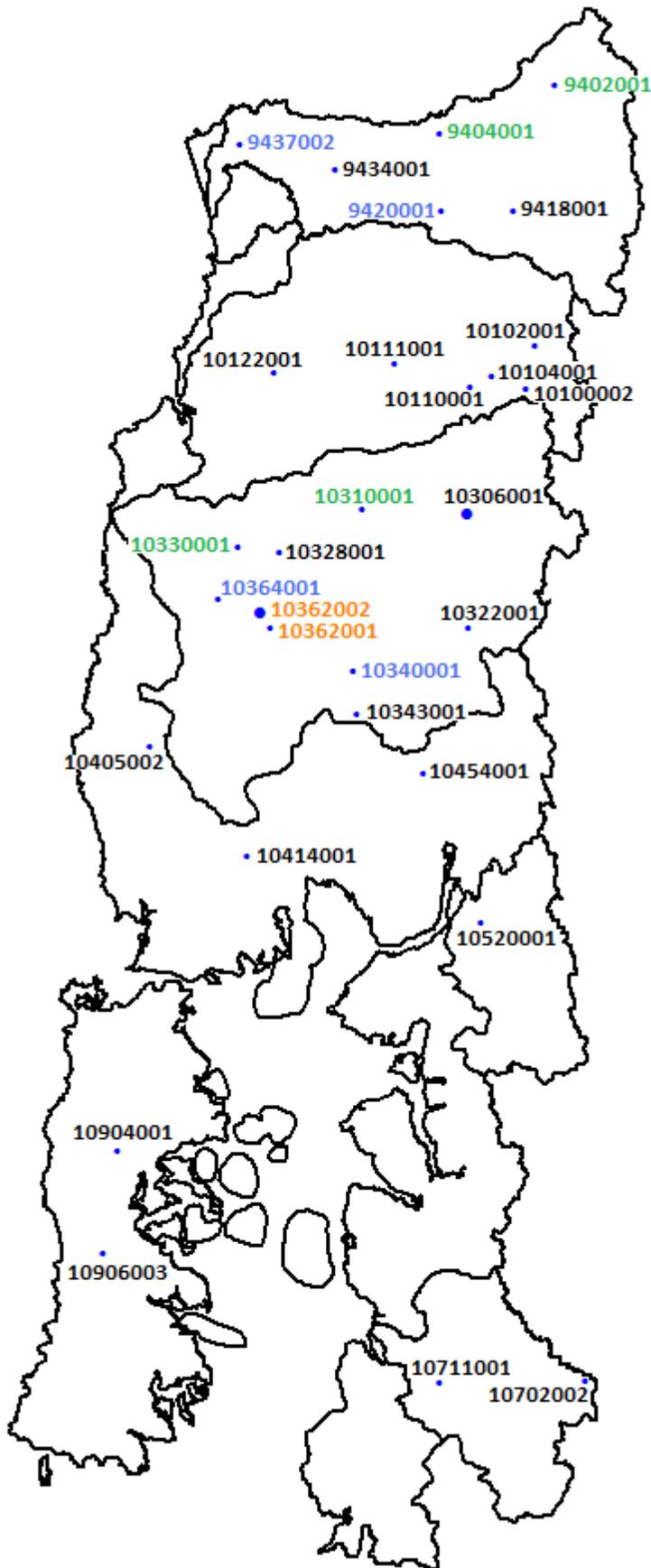
Simbología

C.E en uS/cm
• 0 - 100
• 101 - 500
• 501 - 1000
• 1001 - 5000
• 5001 - 9000

Figura 4.19:

Mapa Conductividad Eléctrica Ecorregiones Lagos Valdivianos y Patagonia.

Cuencas 93 a 109.



Fuente: Elaboración propia.

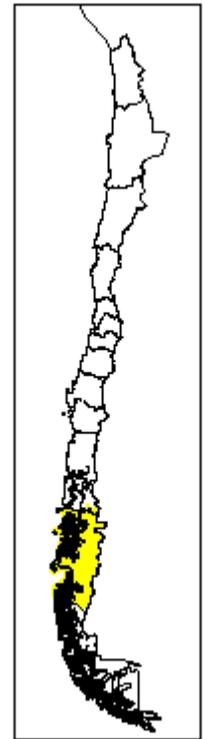
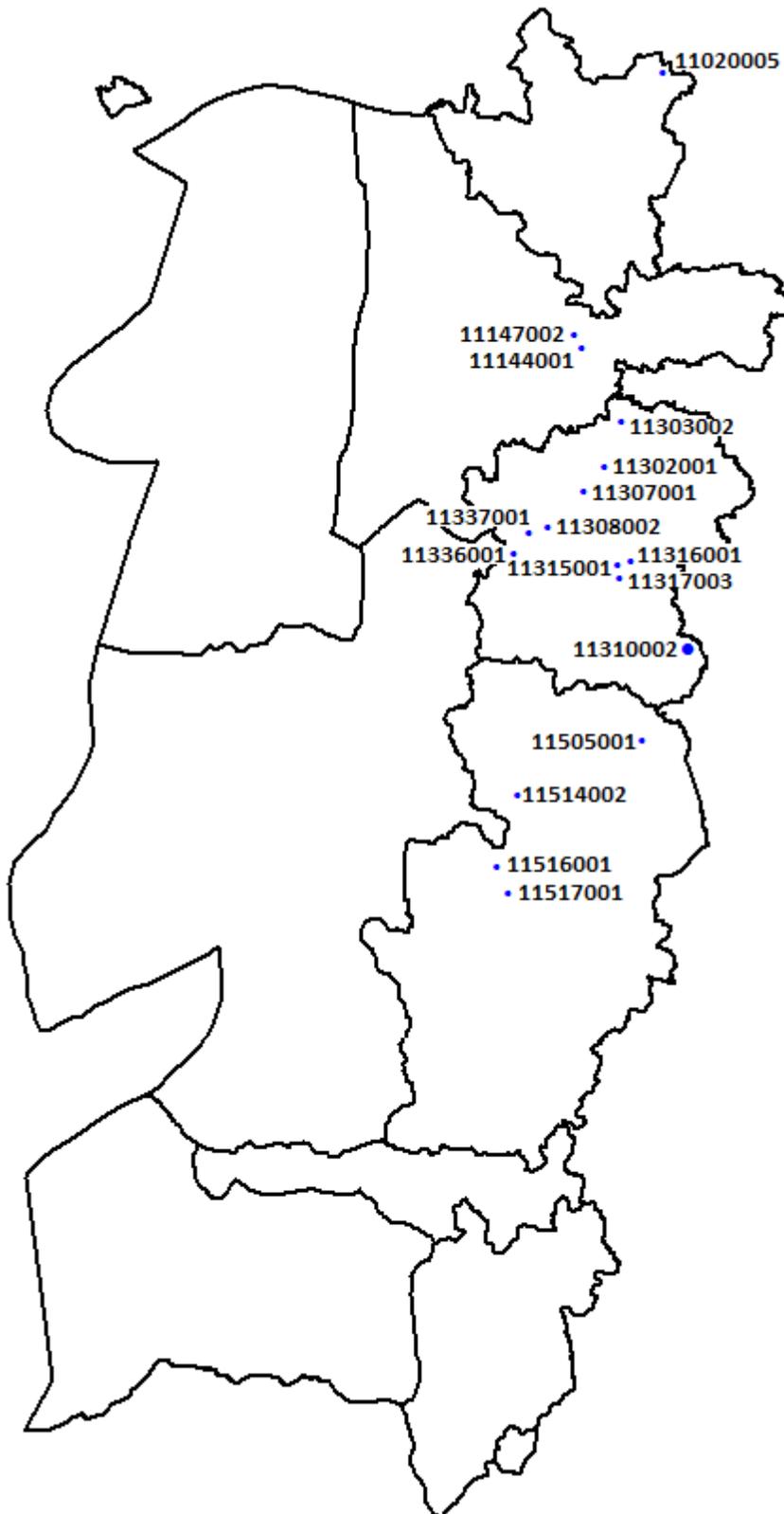
Simbología

C.E en uS/cm	
•	0 - 100
•	101 - 500
•	501 - 1000
•	1001 - 5000
•	5001 - 9000

Figura 4.20:

Mapa Conductividad Eléctrica Ecorregión Patagonia.

Cuencas 110 a 119.



Fuente: Elaboración propia.

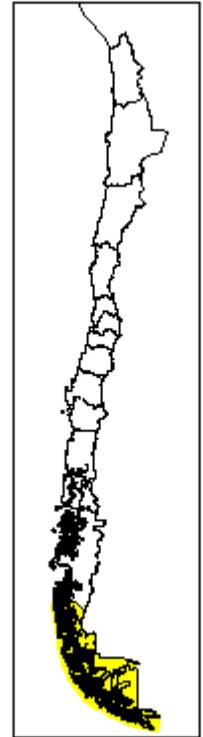
Simbología

C.E en uS/cm	
•	0 - 100
•	101 - 500
•	501 - 1000
•	1001 - 5000
•	5001 - 9000

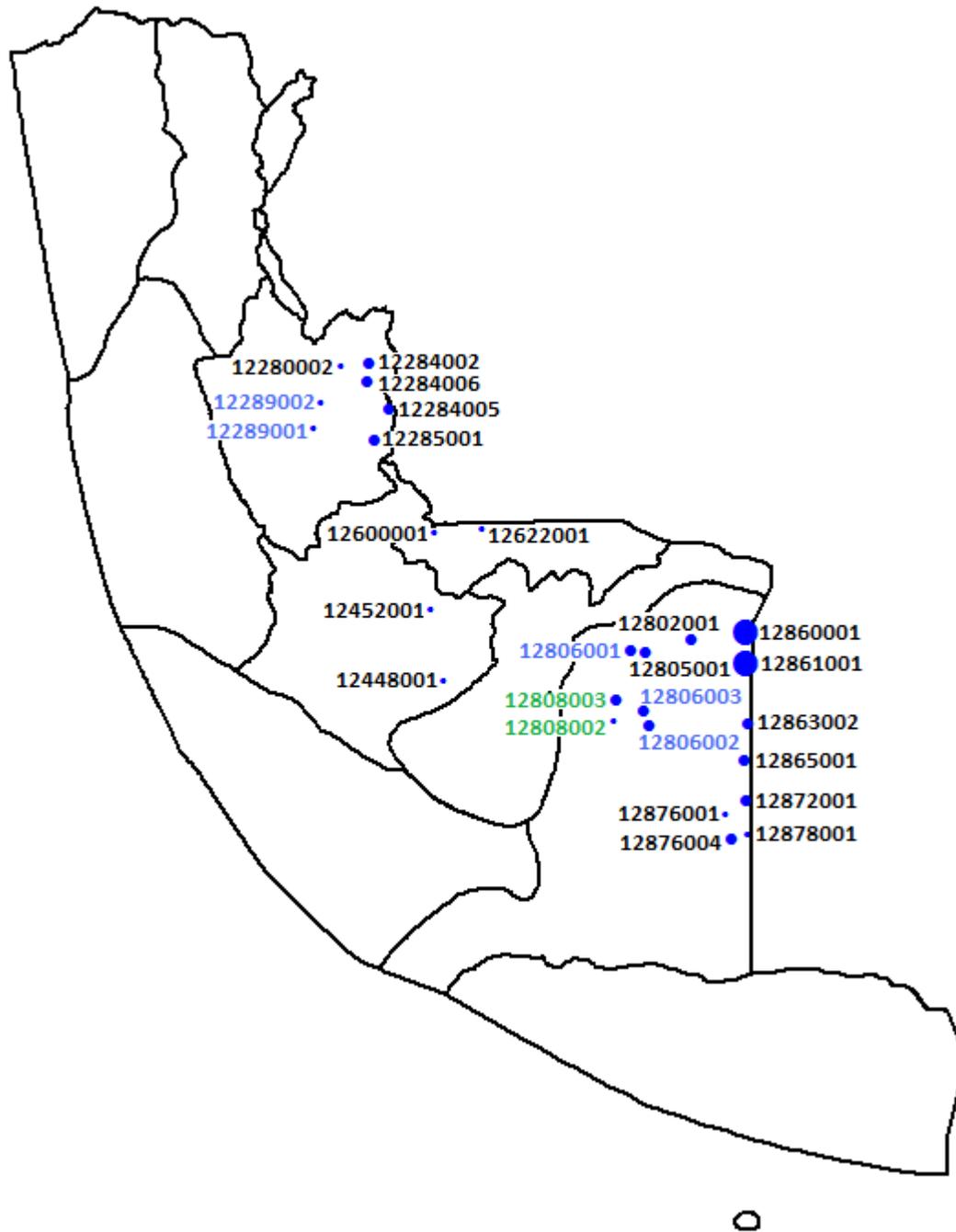
Figura 4.21:

Mapa Conductividad Eléctrica Ecorregión Patagonia.

Cuencas 120 a 128.



Fuente: Elaboración propia.



Simbología

C.E en uS/cm	
•	0 - 100
•	101 - 500
●	501 - 1000
●	1001 - 5000
●	5001 - 9000

Finalmente, al observar los mapas hidroquímicos de Stiff es posible reconocer la diversidad de hidrotipos (polígonos) que se pueden encontrar en todo el territorio nacional. Si bien ningún hidrotipo en particular se limita a una zona específica del país, es posible establecer tendencias predominantes de ciertos perfiles hidroquímicos en distintas regiones de Chile. Es así como hidrotipos de carácter clorurados-sódicos predominan en las ecorregiones de Atacama y Altiplano, perfiles hidroquímicos bicarbonatados-cálcicos en la ecorregión Patagónica e hidrotipos sulfatados en la ecorregión Mediterráneo. Por otro lado, se puede observar el grado de mineralización (ancho de polígonos) global que presentan las aguas del país y cómo éste va disminuyendo de norte a sur. En la zona norte del país predominan concentraciones iónicas (cationes y/o aniones mayoritarios) cercanas a los 30 meq/l, para luego disminuir paulatinamente hacia el sur hasta alcanzar concentraciones que no sobrepasan los 5 meq/l en la Patagonia.

Estas diferencias se deben a que el agua natural es una solución de diversos compuestos que se van incorporando al agua gracias a su elevado poder disolvente y a sus propiedades de combinación a través de los procesos del ciclo hidrológico, los cuales le dan un carácter diferente a las aguas naturales de acuerdo a la composición de los suelos, a su ubicación geográfica y a los procesos físicos y químicos que se realizan durante su paso. Estas interacciones agua-medio, que determinan la composición de las aguas, son procesos dinámicos que se desarrollan, a ritmo diverso, tanto en el espacio como en el tiempo. El agua posee entonces unas características variables que la hacen diferentes de acuerdo al sitio y al proceso de donde provenga.

Por lo tanto, como consecuencia de su composición y de acciones naturales externas, el agua presenta una serie de características fisicoquímicas que permiten definir el comportamiento de la matriz del recurso en un lugar y momento determinados.

Capítulo 5: Propuesta de Índice de Calidad de Aguas para Ecosistemas Hídricos de Chile

5.1 Introducción

Un índice de calidad bien diseñado que incorpora en su estructura, las características de sus aguas, una referencia a normas de calidad y criterios para usos específicos e información relevante a los usos potenciales y a los elementos tóxicos o fuentes de contaminación, puede proporcionar información de gran valor para el manejo operacional de la calidad de cuerpos de agua, así como permitir comunicar información al gobierno y a cualquier tipo de usuario que requiera de este tipo de información, de manera que pueda ser interpretado fácilmente tanto por expertos como por la comunidad en general.

Hasta la fecha se ha generado una gran cantidad de índices en el mundo. Diversos países han creado distintos índices de calidad para caracterizar los cuerpos de agua superficial presentes en su territorio. Muchos de estos índices, a pesar de haber sido desarrollados para las condiciones propias de una región o un país, han sido ampliamente utilizados en el mundo y varios autores y entidades de control ambiental han realizado modificaciones para adaptarlos a las condiciones específicas que presentan los ecosistemas hídricos de sus naciones.

Sin embargo, es importante conocer las bases metodológicas de cada índice de calidad antes de aplicarlo en un sistema acuático, porque en muchas ocasiones éstos son elaborados para problemas específicos de una región, los cuales no necesariamente guardan relación con las fuentes que van a ser estudiadas.

Los índices utilizados hasta el momento en Chile han mostrado restricciones para indicar la calidad de sus aguas, precisamente por aplicar metodologías que no se adaptan a las condiciones hídricas del país y que no consideran la variabilidad hidroquímica que presentan sus aguas a lo largo y ancho de todo su territorio.

Debido a lo anterior, se realizó un análisis detallado de las metodologías aplicadas en los índices de calidad desarrollados en el mundo, con el fin de proponer un ICA para Chile que considere las características particulares de sus ecosistemas hídricos.

En el presente capítulo se dará a conocer el detalle de la propuesta desarrollada para indicar la calidad de las aguas del país, con el fin de generar un primer lineamiento en la construcción de un ICA chileno que permita evaluar todos y cada uno de los diversos tipos de cuerpos de agua existentes en su territorio, respetando por sobre todo las características naturales presentes en cada zona del país.

5.2 Propuesta

Luego de realizar un análisis exhaustivo a las metodologías aplicadas por los índices de calidad ambiental más utilizados a nivel mundial, y considerando la realidad del territorio nacional, tanto por su diversidad de sistemas, como del tipo y cantidad de información monitoreada por la DGA, se optó por proponer un índice de calidad que incorporara en su estructura las características naturales de las aguas evaluadas y criterios para usos específicos de acuerdo a normas de calidad. Por lo tanto, el índice de calidad de aguas propuesto, ICA_{Global} , evalúa el estado de la calidad natural del recurso y su potencial uso como fuente de agua potable y de riego.

$$ICA_{Global} = \frac{ICA_{natural} + ICA_{potable} + ICA_{riego}}{3}$$

Donde:

$ICA_{natural}$: Índice calificador del estado de la calidad natural del agua evaluada.

$ICA_{potable}$: Índice calificador de la calidad del agua como fuente de agua potable.

ICA_{riego} : Índice calificador de la calidad del agua como fuente de agua para riego.

A continuación se detalla las principales características del ICA propuesto.

5.2.1 Objetivo del índice

ICA natural

Evaluar, en el tiempo y espacio, el estado de la calidad natural de las aguas de los ecosistemas hídricos superficiales del país, considerando las características hidroquímicas particulares de cada tipo de cuerpo de agua de Chile, con el objeto final de detectar cambios significativas en la matriz de agua y realizar a tiempo las gestiones necesarias para evitar desastres irreparables en el ecosistema.

ICA potable

Evaluar, en el tiempo y espacio, la calidad de las aguas de los sistemas hídricos superficiales del país para ser utilizadas como fuente de agua potable de acuerdo a los criterios establecidos en la norma chilena oficial 409 (NCh409).

ICA riego

Evaluar, en el tiempo y espacio, la calidad de las aguas de los sistemas hídricos superficiales del país para ser utilizadas como fuente de abastecimiento de regadío de acuerdo a los criterios establecidos en la norma chilena oficial 1333 (NCh1333).

5.2.2 Parámetros seleccionados

Usualmente, la literatura recomienda seleccionar parámetros de distintas categorías de clasificación ambiental para construir un ICA, de tal manera de cubrir todas las áreas que reflejen posibles cambios en la calidad del agua (Ver Tabla 2.2). Sin embargo, de acuerdo a la disponibilidad de parámetros monitoreados por la DGA en cada estación de calidad, es imposible considerar, para la realidad nacional, variables de todas las categorías sugeridas. Por lo tanto, la selección de parámetros constituyentes del ICA propuesto se vio directamente influenciada por la información monitoreada por la DGA, considerando sólo parámetros controlados actualmente por la red hidrométrica del MOP.

Para seleccionar los parámetros físico-químicos que integrarían el ICA_{natural}, se consideraron aquellas variables monitoreadas por la DGA que fueran capaces de entregar la máxima cantidad de información sobre cambios en la calidad natural del agua y aquellos indicadores representativos de las características propias de los ecosistemas a evaluar, tal que reflejaran los cambios ambientales que se desarrollaran en el sistema acuático a lo largo del tiempo y el espacio.

Para el caso de los ICA_{potable} e ICA_{riego}, las variables fisicoquímicas consideradas se seleccionaron de acuerdo a los criterios establecidos en las normas chilenas 409 y 1333, respectivamente.

De acuerdo a las razones mencionadas anteriormente, en la Tabla 5.1 se muestran los parámetros seleccionados para describir la calidad de los cuerpos de agua del territorio nacional a través del ICA propuesto.

Tabla 5.1: Parámetros seleccionados para ICA propuesto (Fuente: Elaboración propia).

ICA natural	ICA potable	ICA riego
C.E [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Sulfatos-Cloruros [mg/l]	C.E [$\mu\text{S}/\text{cm}$]
O.D [% Sat]	Metales [mg/l]: As, Cd, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Se, Zn.	Metales [mg/l]: As, B, Cd, Cu, Mn, Mo, Ni, Zn.
pH	pH	pH

Cabe destacar que para el caso particular del ICA_{potable} se seleccionaron todos los metales establecidos en la NCh409 que fueran monitoreados por la red hidrométrica de la DGA. En cambio para el ICA_{riego} se seleccionaron aquellos metales monitoreados por la

DGA que causaran mayores efectos negativos en los cultivos, de acuerdo a la descripción definida por la Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO, Food and Agriculture Organization) presentada en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2: Efectos producidos por los metales en los cultivos (Fuente: Avers et al, 1994).

Elemento	Efecto
Aluminio	Puede causar problemas de productividad en suelos ácidos (pH<5,5), pero en la mayoría de los suelos alcalinos precipitará eliminando la toxicidad.
Arsénico	La toxicidad a las plantas varía ampliamente, desde 0,05 mg/l para arroz hasta 12 mg/l para pasto.
Berilio	La toxicidad a las plantas varía ampliamente, desde 0,05 mg/l a 5 mg/l.
Boro	Para algunos cultivos 0,2 mg/l puede ser esencial, concentraciones entre 1-2 mg/l pueden ser tóxicas, pero existe un amplio rango de tolerancia entre los distintos cultivos.
Cadmio	Tóxico a porotos, betarragas y nabos a concentraciones tan bajas como 0,1 mg/l en solución. Se recomiendan límites conservadores debido a su potencial acumulación en plantas y suelos.
Cobalto	Tóxico a tomates a concentraciones de 0,1 mg/l. Tiende a ser inactivo por suelos neutros y alcalinos.
Cobre	Tóxico a varios cultivos en concentraciones entre 0,1 y 1 mg/l en solución.
Cromo	No está reconocido como un elemento esencial. Se recomiendan límites conservadores debido a la escasa información de su toxicidad en las plantas.
Fluoruro	Es inactivo por suelos neutros y alcalinos.
Hierro	No tóxico a las plantas en suelos aireados, pero puede contribuir a la acidificación de suelos y pérdida de la disponibilidad de P y Mo. Problemas estéticos en plantas, equipos e instalaciones.
Litio	Tolerado por la mayoría de los cultivos hasta 5 mg/l. Tóxico a cítricos.
Manganeso	Tóxico a cultivos, pero usualmente sólo en suelos ácidos.
Molibdeno	No tóxico a plantas a concentraciones normales en suelos y agua. Puede ser tóxico al ganado si el forraje se cultiva en suelos con alta concentración de Mo disponible.
Níquel	Tóxico a varias plantas desde 0,5 mg/l a 1 mg/l; reducida toxicidad a pH neutros o alcalinos.
Plomo	Puede inhibir el desarrollo del tejido vegetal a muy altas concentraciones.
Selenio	Tóxico a las plantas a concentraciones tan bajas como 0,025 mg/l y tóxico al ganado si el forraje proviene de suelos con alto contenido de selenio.
Vanadio	Tóxico a muchos cultivos a concentraciones relativamente bajas
Zinc	Tóxico a muchas plantas a variadas concentraciones; toxicidad reducida a pH>6,0 y en suelos de textura fina u orgánicos.

* La máxima concentración está basada en una tasa de aplicación de 10.000 m³/Ha/año y aplicación continua.

* Be, Cr, F, Li, V no son metales monitoreados frecuentemente por la DGA. Por otro lado, metales como el Al, Co, Fe, Pb, Se no se seleccionaron por generar daños muy específicos.

5.2.3 Ponderación de parámetros

El peso asignado a cada variable depende de la importancia del parámetro en relación al riesgo que implica el aumento o disminución de su concentración en el cuerpo de agua.

La ponderación elegida para cada variable seleccionada del ICA_{natural} , fue basada en el impacto producido por la variabilidad del parámetro frente a las características principales de la matriz de agua. Para el caso de los ICA_{potable} e ICA_{riego} el peso asignado a cada variable consideró su importancia dentro de los criterios exigidos en la normativa correspondiente.

A partir de las consideraciones anteriores se determinó la ponderación para todos los parámetros seleccionados. En la Tabla 5.3 se muestran los pesos asignados a cada una de las variables consideradas en el índice de calidad propuesto.

Tabla 5.3: Pesos asignados a los parámetros seleccionados del ICA propuesto (Fuente: Elaboración propia).

ICA natural		ICA potable		ICA riego	
Parámetro	Ponderación	Parámetro	Ponderación	Parámetro	Ponderación
C.E	0,33	Sulfatos-Cloruros	0,3	C.E	0,33
O.D	0,33	Metales	0,5	Metales	0,33
pH	0,33	pH	0,2	pH	0,33

5.2.4 Normalización de parámetros

El propósito que persigue la normalización de parámetros, es transformar las variables de una escala dimensional a una escala adimensional para permitir su agregación. De esta manera, cada parámetro, con su respectiva unidad, es llevado a una misma escala antes de ser agregada en un solo valor.

Para obtener valores de calidad comparables, al rango de valores óptimo de cada variable se le asignó el valor 1 y al malo el 3, quedando el 2 para los valores intermedios de calidad del parámetro.

Para el caso particular de los parámetros seleccionados en los ICA_{potable} e ICA_{riego} , el rango de valores establecido para definir la calidad de cada parámetro se basó en los valores máximos permitidos en la NCh 409 y NCh 1333, respectivamente.

Por otro lado, las calidades de cada parámetro seleccionado en el ICA_{natural} se determinaron a partir de criterios y procedimientos no establecidos en normas chilenas de calidad del agua. Para el caso de la conductividad eléctrica, el rango de valores establecido

para definir la calidad del parámetro, consideró la variabilidad natural que presenta el indicador dentro de los distintos cuerpos de agua del país, respetando las concentraciones reales encontradas en cada tipo hidroquímico existente en Chile. Para ello, se utilizó la función estadística Percentil 80% para establecer el rango natural de los valores presentados en las muestras de agua de cada estación de monitoreo, y a partir de este límite se estableció la calidad del parámetro. Por lo tanto, el rango de valores que define cada una de las tres categorías de calidad estandarizada de este parámetro, es propia del sistema evaluado, de acuerdo al percentil arrojado en cada estación de monitoreo, y no puede ser utilizada en otro cuerpo de agua.

Para establecer estos rangos (percentil 80) se debe analizar exhaustivamente la información histórica medida en la estación de calidad de la DGA, con el objeto de definir el comportamiento físico-químico de las aguas del ecosistema a lo largo de todo el periodo en que ha sido monitoreado. Además, es importante que las muestras de agua consideradas en cada estación de calidad, hayan sido sometidas a un análisis de consistencia química previa utilización, con el fin de descartar el uso de muestras mal medidas y evitar posibles errores en la confección de los rangos de calidad. Se recomienda, por lo tanto, aplicar procedimientos estándares definidos para tal efecto.

Por otro lado, los rangos establecidos para el pH y el oxígeno disuelto están enfocados a mantener condiciones idóneas para que se desarrolle la vida acuática en cualquier ecosistema, sin ser valores específicos asociados a las características particulares de un cuerpo de agua (como en el caso de la C.E). Para ello se tomaron en cuenta criterios como el de Lynch y Poole (1979) para el OD, normas de emisión como el DS90 y la experiencia de otros índices como el NSF-WQI, que consideran estos propósitos.

En la Tabla 5.4 se muestran los rangos de valores establecidos para las distintas categorías de calidad definidas.

Tabla 5.4: Estandarización de parámetros seleccionados en el ICA propuesto (Fuente: Elaboración propia).

ICA	Parámetro	Calidad 1	Calidad 2	Calidad 3
ICA natural	C.E [μS/cm]	$C.E \leq P_{80\%}$	$P_{80\%} < C.E \leq 1,5 \cdot P_{80\%}$	$C.E > 1,5 \cdot P_{80\%}$
	O.D [%Sat]	$O.D \geq 80$	$60 \leq O.D < 80$	$O.D < 60$
	pH	$7,5 \leq pH \leq 8,5$	$6,5 \leq pH < 7,5$ $8,5 < pH \leq 9,5$	$pH < 6,5$ $pH > 9,5$
ICA potable	SO ₄ -Cl [mg/l]	$\sum_{i=1}^N CA_i \leq N$	$N < \sum_{i=1}^N CA_i \leq 1,5 \cdot N$	$\sum_{i=1}^N CA_i > 1,5 \cdot N$
	Metales [mg/l]	$\sum_{i=1}^N CA_i \leq N$	$N < \sum_{i=1}^N CA_i \leq 1,5 \cdot N$	$\sum_{i=1}^N CA_i > 1,5 \cdot N$
	pH	$6,5 < pH < 8,5$	$6,0 \leq pH \leq 6,5$ $8,5 \leq pH \leq 8,0$	$pH < 6,0$ $pH > 8,5$
ICA riego	C.E [μS/cm]	$C.E \leq 750$	$750 < C.E \leq 2000$	$C.E > 2000$
	Metales [mg/l]	$\sum_{i=1}^N CA_i \leq N$	$N < \sum_{i=1}^N CA_i \leq 1,5 \cdot N$	$\sum_{i=1}^N CA_i > 1,5 \cdot N$
	pH	$5,5 \leq pH \leq 9,0$	$5,0 \leq pH < 5,5$ $9,5 \leq pH < 9,0$	$pH < 5,0$ $pH > 9,5$

Donde:

N: Cantidad total de variables i consideradas en el parámetro. En el caso del parámetro “Sulfatos-Cloruros”, N=2 (i=SO₄ y Cl) y en el caso del parámetro “Metales”, N=9 para ICA potable (i= As, Cd, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Se, Zn) y N=8 para ICA riego (i= As, B, Cd, Cu, Mn, Mo, Ni, Zn).

CA_i: Calidad ambiental de la variable i. Para determinarla se debe considerar la respectiva norma de calidad y las expresiones descritas en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5: Calidad ambiental de parámetros de acuerdo a normas NCh 409 y NCh 1333 (Fuente: Elaboración propia).

CA _i = 1	CA _i = 2	CA _i = 3
$\left(\frac{\text{Valor Medido}}{\text{Valor Norma}}\right)_i \leq 1$	$1 < \left(\frac{\text{Valor Medido}}{\text{Valor Norma}}\right)_i \leq 1,5$	$\left(\frac{\text{Valor Medido}}{\text{Valor Norma}}\right)_i > 1,5$

Nota: Para el caso de la ausencia de información de alguno de los metales considerados, se debe ajustar el N a la nueva cantidad de variables monitoreadas.

5.2.5 Agregación de parámetros

La integración de parámetros en el índice propuesto, considera una fórmula de agregación matemática del tipo promedio aritmético ponderado. A continuación se define la expresión matemática establecida.

$$ICA_{\text{natural}} = ICA_{\text{potable}} = ICA_{\text{riego}} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot W_i$$

Donde:

n: Número de parámetros seleccionados.

W_i : Calidad ambiental para el parámetro i.

P_i : Peso ponderado del parámetro i.

5.2.6 Rangos de calidad

Finalmente, luego de agregar los parámetros y obtener el índice de calidad se puede determinar el estado de las condiciones naturales del cuerpo de agua, de acuerdo a los rangos establecidos en la Tabla 5.6. En ella se presenta el ICA propuesto con rangos de calidad que varían entre 1 y 3, siendo el 1 un agua de muy buena calidad y el 3 un agua de mala calidad. Además se incorpora un color para asociar rápidamente los resultados entregados por la evaluación del índice. Si el estado de la calidad del agua se encuentra en color rojo, se debe estar alerta y tener principal preocupación por los cambios presentados en ese cauce.

Tabla 5.6: Rangos de calidad ICA propuesto (Fuente: Elaboración propia).

Valor ICA_{Global}	Calidad del Agua	Color
$ICA \leq 1,0$	Buena. Mantiene calidad natural del cuerpo de agua. Presenta condiciones favorables para ser utilizada como fuente de abastecimiento de agua potable y regadío.	
$1,0 < ICA \leq 1,5$	Regular. Cuerpo de agua puede presentar cambios con respecto a la calidad natural histórica de su sistema. Algunos criterios establecidos en la NCh 409 y/ó 1333 son excedidos, dificultando su uso como fuente de abastecimiento de agua potable y regadío.	
$1,5 < ICA \leq 3$	Mala. Sistema hídrico puede presentar alteraciones significativas en la calidad natural de sus aguas. Posee condiciones desfavorables para ser utilizada como fuente de abastecimiento de agua potable y/ó regadío.	

Es importante señalar que las características descritas en las categorías ambientales mencionadas anteriormente (Tabla 5.6) no deben cumplirse estrictamente a la vez para entregar como resultado una calidad determinada (buena, regular o mala) del cuerpo de agua evaluado. Por ejemplo, un sistema que arroje calidad “regular” o “mala” no necesariamente debe presentar alteraciones en cada uno de los tres ICA que componen el ICA_{Global}. Sólo basta que uno de ellos entregue una evaluación no deseada para que la calidad global del cuerpo de agua se vea alterada. Por lo tanto, es recomendable analizar los resultados entregados por los índices ICA_{natural}, ICA_{potable} e ICA_{riego} de manera independiente para identificar las características del sistema que son responsables de una evaluación global no deseada en sus aguas.

Por último, se debe tener en cuenta que las normas chilenas 409 y 1333 no corresponden jurídicamente a normas de calidad ambiental de acuerdo a lo establecido en la Ley de Bases del Medioambiente 19300. Estas normas fueron elaboradas y dictadas por el Instituto Nacional de Normalización (INN-Chile), organismo encargado del estudio y preparación de las normas técnicas a nivel nacional, y en ellas sólo se fijan criterios de calidad del agua de acuerdo a requerimientos científicos referidos a aspectos físicos, químicos y/o microbiológicos, según el uso determinado.

Capítulo 6: Aplicación del ICA Propuesto

6.1 Introducción

En base a los contenidos de cationes y aniones mayoritarios (calcio, sodio, magnesio, bicarbonato, cloruro y sulfato) presentes en las muestras estudiadas y mediante el empleo de diagramas de Stiff, se determinaron diferentes tipos hidroquímicos en los cuerpos de agua analizados (Capítulo 4). A partir de estos resultados, se seleccionaron tres tipos de ecosistemas con perfiles hidroquímicos diferentes y emplazados en distintas zonas geográficas del país, con el fin de aplicarles a sus aguas el índice de calidad propuesto y comparar sus resultados. El presente capítulo tiene como objetivo mostrar los resultados obtenidos luego de la aplicación de este índice.

6.2 Sistemas hídricos seleccionados

Para la selección de los cuerpos de agua, se tomó en cuenta aquellas zonas del país donde el comportamiento hidroquímico tuviera características similares, considerando el grado de mineralización y el tipo hidroquímico presentado por sus matrices de agua. De acuerdo a esto, se decidió aplicar el ICA propuesto a tres zonas del país, muy diferentes entre sí, que representaran claramente los distintos tipos hidroquímicos que existen en Chile. La Tabla 6.1 muestra un resumen de las principales características geográficas y químicas de los sistemas hídricos seleccionados.

Tabla 6.1: Sistemas hídricos seleccionados para aplicación de ICA propuesto (Fuente: Elaboración propia).

Ecorregión	Cuencas Consideradas	Perfil Hidroquímico Evaluado	Concentración iónica predominante [meq/l]	Estación Seleccionada
Altiplano y Atacama	10 – 17	Cl – Na Ca	< 30	1502002
Mediterráneo Sur	57	SO ₄ Cl – Ca Na	< 10	5711001
Patagonia	110 – 115	HCO ₃ - Ca	< 2	11302001

Por otro lado, en las Figuras 6.1 a 6.3 se muestran las ubicaciones y los perfiles hidroquímicos de las estaciones consideradas en la evaluación del ICA.

Figura 6.1: Estación de monitoreo seleccionada, Ecorregión Atacama (Fuente: Elaboración propia).

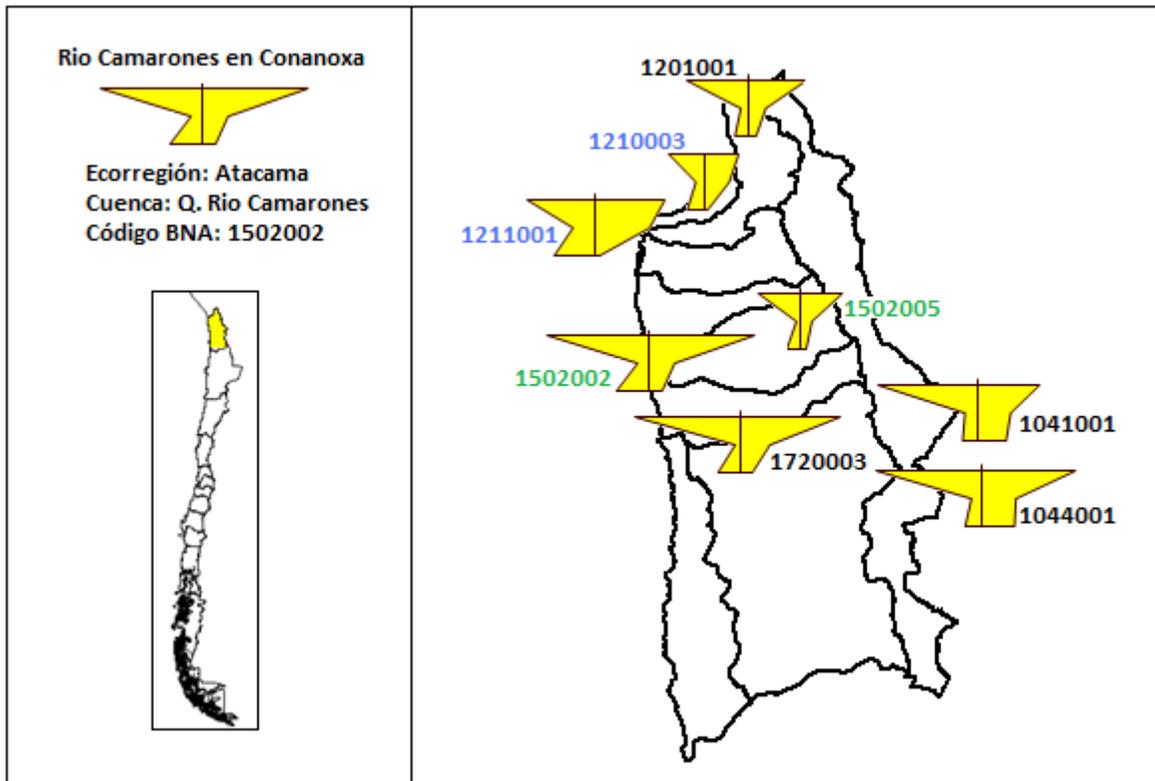


Figura 6.2: Estación de monitoreo seleccionada, Ecorregión Mediterráneo (Fuente: Elaboración propia).

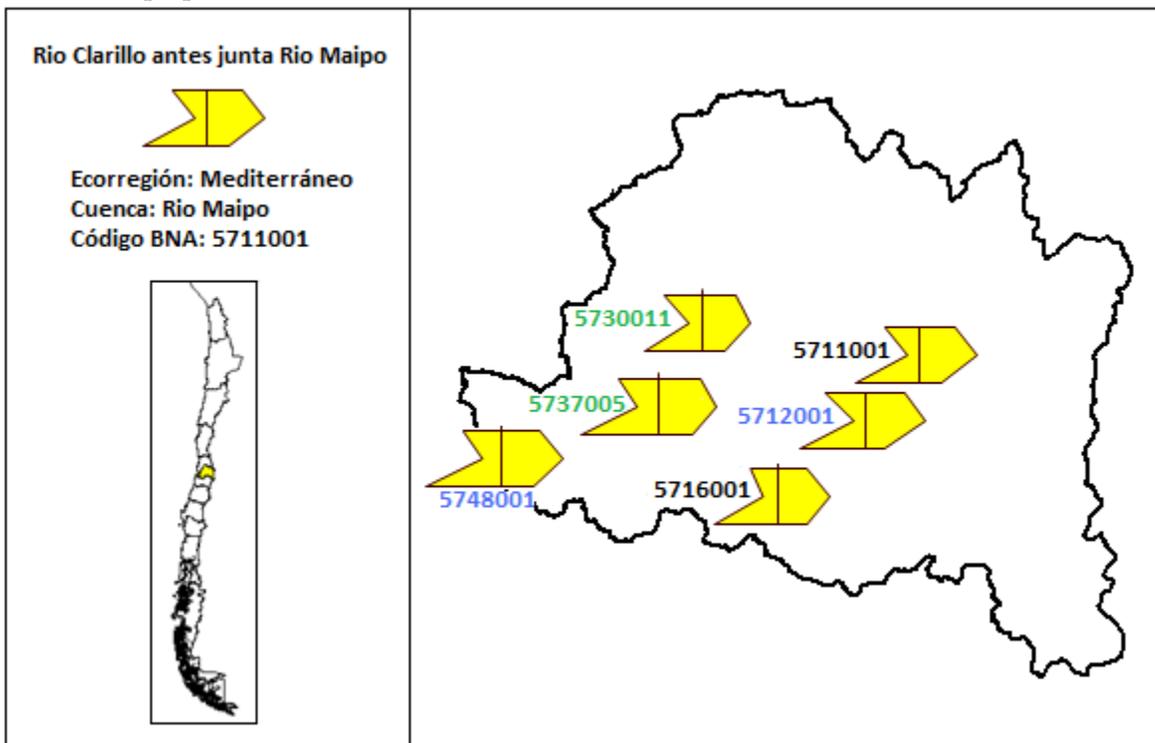
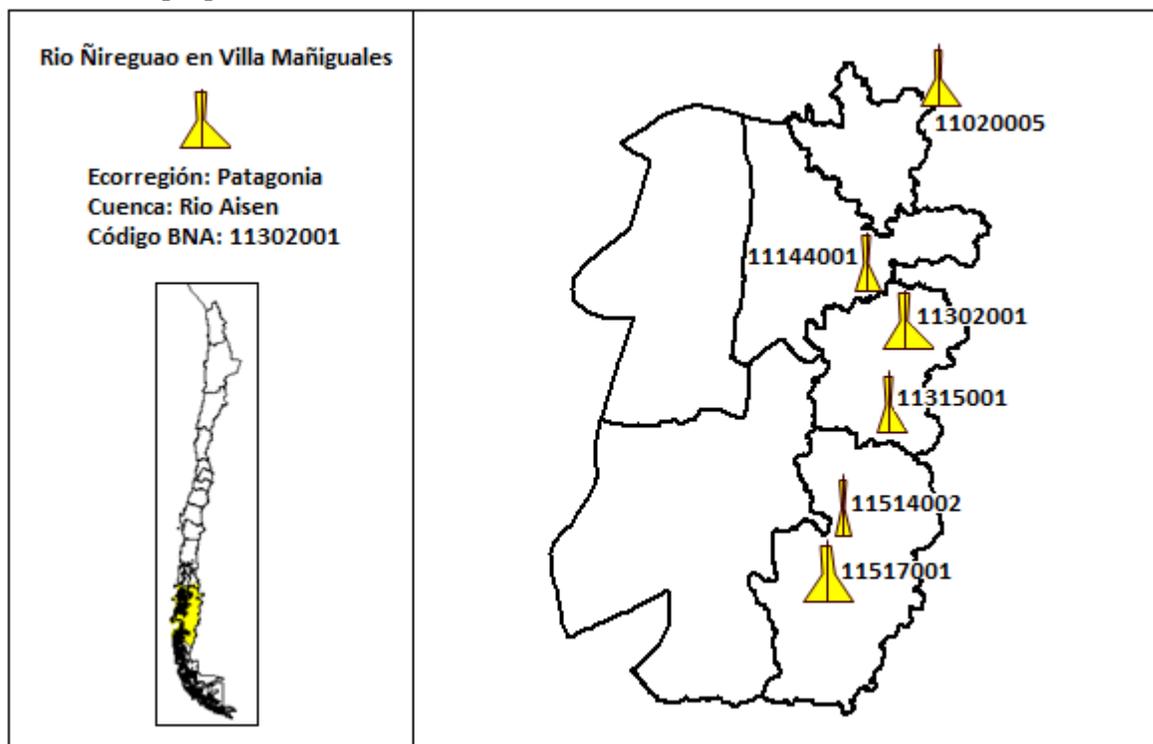


Figura 6.3: Estación de monitoreo seleccionada, Ecorregión Patagonia (Fuente: Elaboración propia).



6.3 Aplicación del ICA propuesto

De acuerdo a las mediciones históricas registradas en cada estación de monitoreo, se determinaron los rangos de valores que definen cada categoría de calidad para la conductividad eléctrica. En la Tabla 6.2 se muestran los valores establecidos para este parámetro, de cada estación seleccionada. Por otro lado, en el Anexo D es posible apreciar las curvas de percentiles de las tres estaciones de monitoreo.

Tabla 6.2: Categorías de calidad para estaciones seleccionadas (Fuente: Elaboración propia).

Estación de Monitoreo	Conductividad Eléctrica [$\mu\text{S}/\text{cm}$] Percentil 80%
1502002	5448
5711001	1285
11302001	75

Luego, es posible evaluar la calidad del cuerpo de agua en cualquier campaña de monitoreo con la que se cuenten registros de los parámetros seleccionados en el ICA propuesto. En la Tabla 6.3 y 6.4 se muestra la estandarización de parámetros seleccionados en el ICA potable e ICA riego, respectivamente, para las tres campañas de monitoreo en estudio.

Tabla 6.3: Aplicación de ICA potable para estandarización de parámetros seleccionados (Fuente: Elaboración propia).

ICA potable		Estación 1502002 Campaña: 28/04/2006			Estación 5711001 Campaña: 07/06/2006			Estación 11302001 Campaña: 31/03/2006		
Variable i	Valor NCh 409 [mg/l]	Valor Medido [mg/l]	$\frac{\text{Valor Medido}}{\text{Valor Norma}}$	CA _i	Valor Medido [mg/l]	$\frac{\text{Valor Medido}}{\text{Valor Norma}}$	CA _i	Valor Medido [mg/l]	$\frac{\text{Valor Medido}}{\text{Valor Norma}}$	CA _i
SO ₄	500,0	152	0,3	1	328,1	0,7	1	1,3	0,003	1
Cl	400,0	617,1	1,5	2	145,4	0,4	1	1,4	0,004	1
As	0,01	0,9	90,0	3	0,006	0,6	1	0,001	0,100	1
Cd	0,01	0,01	1,0	1	0,01	1,0	1	0,01	1,0	1
Cu	2,0	0,02	0,0	1	0,01	0,0	1	0,01	0,005	1
Fe	0,3	1,75	5,8	3	0,4	1,3	2	0,19	0,63	1
Hg	0,001	0,001	1,0	1	0,002	2,0	3	0,001	1,0	1
Mn	0,1	0,34	3,4	3	0,02	0,2	1	0,02	0,2	1
Pb	0,05	0,05	1,0	1	0,05	1,0	1	0,01	0,2	1
Se	0,01	0,001	0,1	1	0,001	0,1	1	0,001	0,1	1
Zn	3,0	0,03	0,0	1	0,01	0,0	1	0,01	0,003	1
		Suma SO ₄ -Cl		3	Suma SO ₄ -Cl		2	Suma SO ₄ -Cl		2
		Suma Metales		15	Suma Metales		12	Suma Metales		9

Tabla 6.4: Aplicación de ICA riego para estandarización de parámetros seleccionados (Fuente: Elaboración propia).

ICA riego		Estación 1502002 Campaña: 28/04/2006			Estación 5711001 Campaña: 07/06/2006			Estación 11302001 Campaña: 31/03/2006			
Variable i	Valor NCh 1333 [mg/l]	Valor Medido [mg/l]	$\frac{\text{Valor Medido}}{\text{Valor Norma}}$	CA _i	Valor Medido [mg/l]	$\frac{\text{Valor Medido}}{\text{Valor Norma}}$	CA _i	Valor Medido [mg/l]	$\frac{\text{Valor Medido}}{\text{Valor Norma}}$	CA _i	
As	0,1	0,9	9,0	3	0,006	0,1	1	0,001	0,01	1	
B	0,75	26,0	34,7	3	1,0	1,3	2	1,0	1,3	2	
Cd	0,01	0,01	1,0	1	0,01	1,0	1	0,01	1,0	1	
Cu	2,0	0,02	0,0	1	0,01	0,0	1	0,01	0,005	1	
Mn	0,2	0,34	1,7	3	0,02	0,1	1	0,02	0,1	1	
Mo	0,01	0,05	5,0	3	0,05	5,0	3	0,01	1,0	1	
Ni	0,2	0,02	0,1	1	0,02	0,1	1	0,01	0,05	1	
Zn	2,0	0,03	0,0	1	0,01	0,0	1	0,01	0,005	1	
Suma Metales				16	Suma Metales			11	Suma Metales		9

En las Tablas 6.5 a 6.7 se muestra el resultado de la evaluación de los tres ICA constituyentes del ICA_{Global} en las estaciones de control seleccionadas para las muestras de agua realizadas en las tres campañas de monitoreo en estudio.

Tabla 6.5: Evaluación ICA natural con data real (Fuente: Elaboración propia).

Parámetro	Estación 1502002 Campaña: 28/4/2006		Estación 5711001 Campaña: 7/6/2006		Estación 11302001 Campaña: 31/3/2006	
	Valor	Calidad	Valor	Calidad	Valor	Calidad
C.E [μ S/cm]	2630	1	1244	1	59	1
OD [%Sat]	86	1	106	1	106	1
pH	8,2	1	8,0	1	7,5	1
ICA natural	0,99		0,99		0,99	

Tabla 6.6: Evaluación ICA potable con data real (Fuente: Elaboración propia).

Parámetro	Estación 1502002 Campaña: 28/4/2006		Estación 5711001 Campaña: 7/6/2006		Estación 11302001 Campaña: 31/3/2006	
	Valor	Calidad	Valor	Calidad	Valor	Calidad
SO ₄ -Cl [Σ CA _i]	3	2	2	1	2	1
Metales [Σ CA _i]	15	3	12	2	9	1
pH	8,2	1	8,0	1	7,5	1
ICA potable	1,98		1,32		0,99	

Tabla 6.7: Evaluación ICA riego con data real (Fuente: Elaboración propia).

Parámetro	Estación 1502002 Campaña: 28/4/2006		Estación 5711001 Campaña: 7/6/2006		Estación 11302001 Campaña: 31/3/2006	
	Valor	Calidad	Valor	Calidad	Valor	Calidad
C.E [μ S/cm]	2630	3	1244	3	59	1
Metales [Σ Ca _i]	16	3	11	2	9	2
pH	8,2	1	8,0	1	7,5	1
ICA riego	2,31		1,98		1,32	

Por último, la Tabla 6.8 muestra la evaluación de la calidad de las aguas a través del ICA_{Global} de las estaciones de monitoreo seleccionadas.

Tabla 6.8: Evaluación ICA global con data real (Fuente: Elaboración propia).

ICA	Estación 1502002 Campaña: 28/4/2006	Estación 5711001 Campaña: 7/6/2006	Estación 11302001 Campaña: 31/3/2006
ICA natural	0,99	0,99	0,99
ICA riego	2,31	1,98	1,32
ICA potable	1,98	1,32	0,99
ICA Global	1,76	1,43	1,10

Finalmente, es posible observar la clara diferencia que existe entre los resultados obtenidos en los tres sistemas hídricos analizados. Si bien la calidad natural de los cuerpos de agua se mantiene invariable con respecto a su composición histórica, sus calidades como fuente de agua potable y riego entregan resultados no deseados. En los tres sistemas se observa que la evaluación negativa de los ICA_{riego} e ICA_{potable} no se ve afectada por los valores de pH que posee el cuerpo de agua, sino más bien por los otros parámetros seleccionados para cada ICA: metales-cloruros-sulfatos para el caso de ICA_{potable} y metales-conductividad para el ICA_{riego} .

Por otro lado, si se considera la ubicación geográfica de los cuerpos de agua analizados se aprecia que la calidad global de las aguas va mejorando paulatinamente de norte a sur. Lo mismo ocurre con la calidad arrojada por los ICA_{riego} e ICA_{potable} . Esto se debe principalmente a las características propias que presentan los cuerpos de agua del país, ya que de norte a sur la concentración de iones y metales va disminuyendo de manera natural en sus aguas.

Por lo tanto, es esperable que el ICA_{Global} entregue resultados de mala calidad en las aguas del norte del país puesto que estas poseen concentraciones naturales que suelen sobrepasar los límites establecidos en las normas NCh409 y NCh1333. A su vez, se espera que la calidad global de los sistemas ubicados en el resto del país vaya mejorando a medida que nos desplazamos hacia el sur del territorio nacional.

Capítulo 7: Conclusiones

Con respecto a la propuesta de índice de calidad.

Proponer un índice de calidad de agua en un país es algo complejo, particularmente si ese territorio cuenta con una amplia diversidad de tipos de cuerpos de agua como en el caso de Chile.

Luego de realizar un análisis exhaustivo a las metodologías aplicadas por los índices de calidad ambiental más utilizados a nivel mundial, se logró determinar la dificultad de aplicar, modificar y/o adaptar un ICA a la realidad nacional, tal que sus resultados fueran capaces de reflejar la calidad real presente en los sistemas acuáticos de todo el país.

Utilizar directamente las funciones y/o curvas de estandarización de parámetros ya creadas por los índices de calidad de otros países puede generar resultados erróneos en la evaluación de la calidad del cuerpo de agua, ya que son producto de las características propias de los ecosistemas acuáticos de esas naciones, y no deben ser aplicadas directamente en los sistemas hídricos de Chile.

Por otro lado, ciertos parámetros físico-químicos que se utilizan usualmente en los ICA internacionales, no pueden ser considerados para un índice nacional, debido a la falta de medición o la poca regularidad de medición de estas variables por parte de la red oficial de monitoreo del país (DGA). Este es el caso de parámetros como coliformes totales, fecales, SDT y DBO.

Por lo tanto, el índice propuesto se estableció teniendo presente las limitaciones anteriores, pero conservando el objetivo perseguido: evaluar el estado de la calidad del agua de los cauces del país, considerando las características hidroquímicas naturales existentes en los cuerpos de agua. Para ello se tomó en consideración normas y criterios de calidad nacionales e internacionales y se logró establecer la normalización de los parámetros seleccionados de acuerdo a metodologías adaptadas a la realidad nacional. En consecuencia, se propuso un índice de calidad que lograra evaluar los recursos hídricos superficiales de Chile de manera global (ICA_{Global}) considerando tanto su calidad natural ($ICA_{natural}$) como su potencial uso como fuente de agua potable ($ICA_{potable}$) y riego (ICA_{riego}).

Si se considera la ubicación geográfica de los cuerpos de agua de Chile se espera que, al aplicar el índice propuesto, la calidad global de las aguas vaya mejorando paulatinamente a medida que nos desplazamos hacia el sur del territorio nacional. Esto se debe principalmente a las características propias que presentan los cuerpos de agua del país, ya que de norte a sur la concentración de iones y metales va disminuyendo de manera natural en sus aguas, afectando directamente la evaluación de los $ICA_{potable}$ e

ICA_{riego}. Por lo tanto, es esperable que el ICA_{Global} entregue resultados de mala calidad particularmente en las aguas del norte del país puesto que estas poseen concentraciones naturales que suelen sobrepasar los límites establecidos en las normas NCh409 y NCh1333. Sin embargo, estos resultados no son limitantes sólo a esta región de Chile, puesto que la calidad arrojada por el índice depende de las características físico-químicas del sistema y no exclusivamente de la ubicación geográfica donde se encuentre localizado el cuerpo de agua.

Finalmente, se puede decir que al diseñar un índice de calidad de aguas se debe tener presente por lo menos las siguientes consideraciones:

1.- Definir el objetivo de calidad que se desea alcanzar con la aplicación del ICA. Con esto es posible establecer los criterios y normas de calidad que pueden servir para alcanzar tal objetivo, y determinar los parámetros que mejor representen la calidad deseada.

2.- Establecer las características físico-químicas naturales que presenta la matriz de agua de los sistemas hídricos que desean ser evaluados. De esta manera se puede determinar la metodología del ICA que mejor se adapte a las cualidades hidroquímicas de los cuerpos de agua a los que se les requiere determinar su calidad.

3.- Determinar el número y tipo de variables físico-químicas con las que se cuenta mediciones periódicas para definir cuál de ellas es posible seleccionar para construir el índice.

A partir de las tres consideraciones anteriores es posible diseñar un índice de calidad de aguas que permita evaluar la calidad real de los recursos hídricos superficiales de un país, teniendo en cuenta el comportamiento físico-químico natural presentado en sus aguas. De lo contrario, sucede lo descrito en el capítulo 2, donde se indicó las fallas encontradas en las metodologías propuestas de dos ICA chilenos (ICAOBJ y Cade-Idepe) producto precisamente de la omisión de alguna de las consideraciones anteriores. En ambos casos se seleccionaron parámetros que no suelen ser monitoreados por la red hidrométrica de la DGA por lo que aplicar el índice se ve prácticamente truncado. A su vez el ICA propuesto por Cade-Idepe no indica con claridad el objetivo de calidad que desea alcanzar y en el ICAOBJ se pierde el enfoque del objetivo al entregar la evaluación final de la calidad del recurso.

Por último, concluido este trabajo, se cree que la propuesta de aplicación de índices de calidad de agua sugerida para los distintos ecosistemas hídricos del país es un aporte significativo y beneficioso para el Departamento de Recursos Hídricos del Ministerio del Medio Ambiente, que ayudará a mejorar la evaluación físico-química de los cuerpos de agua de Chile y la gestión de sus recursos hídricos.

Con respecto a la variabilidad de ecosistemas presentes en Chile.

Al observar los resultados obtenidos del análisis químico de las muestras de las estaciones de monitoreo de la DGA de todo el país, es posible determinar la distribución de hidrotipos encontrados a lo largo y ancho del territorio nacional. Si bien, la variabilidad de tipos hidroquímicos existentes no se limitan a una zona específica del país, si es posible establecer tendencias predominantes de ciertos perfiles hidroquímicos en distintas regiones de Chile. Es el caso de hidrotipos de carácter clorurados-sódicos predominantes en las ecorregiones Atacama y Altiplano, y de perfiles hidroquímicos bicarbonatados-cálcicos en la ecorregión Patagónica. A su vez, la dominancia de aguas sulfatadas se concentra en la ecorregión Mediterránea, aproximadamente hasta la séptima región del país.

Por otro lado, gracias al análisis hidroquímico realizado, se logró establecer el grado de mineralización global (iones mayoritarios) que presentan las aguas del país. Esto permitió establecer límites geográficos claros con respecto a las máximas concentraciones de iones encontrados en una región. En la zona norte del país, hasta la tercera región aproximadamente, prevalecen grados de mineralización elevados en comparación al resto del territorio nacional, alcanzando concentraciones iónicas recurrentes de hasta 30 meq/l (cationes y/o aniones principales). Situación totalmente opuesta ocurre en la zona sur de Chile, donde las concentraciones iónicas no logran sobrepasar los 5 meq/l (cationes y/o aniones principales). En la zona centro por otro lado, se presenta una gran variabilidad de concentraciones, que van disminuyendo paulatinamente a medida que nos acercamos hacia la Patagonia. Sin embargo, es posible encontrar excepciones que sobresalen claramente de la tendencia general de mineralización que presenta el país a lo largo de su territorio. Es el caso de los cuerpos de agua de las estaciones de monitoreo Baños del Toro y Río Vacas Heladas en la cuarta Región, Río Coya antes junta Río Cachapoal en la sexta Región, Río Bio Bio en Boca Norte y Boca Sur de la octava región, y algunas estaciones del extremo sur en la cuenca Patagonia (Ver Figuras 4.2 a 4.11).

Finalmente, es posible percibir cambios significativos en el grado de mineralización y comportamiento hidroquímico de ciertos cauces a lo largo de su extensión. Es el caso de los ríos Lluta, Camarones y Huasco, donde se aprecia claramente el aumento de la concentración de sus minerales desde cordillera a mar; y el caso del río Bio Bio y Estero Punitaqui, donde se visualiza un cambio significativo del perfil hidroquímico en sus aguas cercanas al océano.

Con respecto a las campañas de monitoreo realizadas por la DGA.

Para poder evaluar la calidad de las aguas del país con el ICA_{Global} es necesario que la Dirección General de Aguas de prioridad a la medición de parámetros que conforman el ICA. Si bien la selección de parámetros del índice propuesto tomó en consideración sólo las variables controladas frecuentemente por la red hidrométrica del MOP, al analizar la base histórica de la DGA se evidenció una gran cantidad de campañas de monitoreo con análisis incompletos de los parámetros físico-químicos que suelen evaluar. Este es el caso de la medición de los iones mayoritarios (Ca, Mg, K, Na, SO₄, HCO₃ y Cl) donde sólo cerca del 50% de los datos históricos cuentan con un análisis iónico completo a nivel nacional. Este valor se acentúa dramáticamente en la zona sur del país (Ecorregiones Lagos Valdivianos y Patagonia) donde sólo el 30% de las muestras monitoreadas registra mediciones completas de iones mayoritarios (Ver Tabla 4.3).

Por otro lado, es importante que la DGA evalúe la consistencia de la información monitoreada antes de ser entregada a los usuarios, con el fin de detectar posibles errores en la medición de parámetros y mejorar la forma de tomar los datos o incluso considerar la posibilidad de utilizar nuevos instrumentos o técnicas de medición que reduzcan los errores producidos en la actualidad. Hasta el año 2010, sólo el 87% de las muestras históricas de la DGA, que contaban con análisis iónico completo, se encontraban balanceadas (Ver Tabla 4.3).

Finalmente, al analizar la base histórica de la DGA es notoria la disminución en la cantidad de información físico-química monitoreada a lo largo y ancho del país. De las más de 760 estaciones de calidad que posee el Banco Nacional de Aguas en sus registros, sólo cerca del 47% se encuentra vigente en la actualidad. Esto dificulta enormemente la evaluación de la calidad de las aguas de todo el país, puesto que muchos sistemas hídricos no poseen mediciones físico-químicas que permitan aplicar el índice propuesto. Esta realidad se manifiesta en gran magnitud en la zona norte del país (Ecorregiones Atacama y Altiplano), puesto que menos del 30% de las estaciones existentes en esta región de Chile se encuentran vigentes actualmente (ver Tabla 4.4).

Con respecto a la clasificación de ecorregiones y tipología propuesta por el Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables (DCA & RNR) de la Universidad de Chile.

Al comparar la distribución de los diversos tipos hidroquímicos que se presentan en el mapa hidroquímico de Stiff (Figuras 4.2 a 4.11) con la cartografía de la tipología propuesta por el DCA & RNR (Figuras 3.2 a 3.5), se evidencia la falta de compatibilidad que existe entre la clasificación sugerida para los ríos del país y los

resultados arrojados producto del análisis del comportamiento químico presentado en la matriz de agua de los sistemas considerados en este trabajo.

El perfil hidroquímico de un sistema define el comportamiento de la matriz de agua en un espacio y tiempo determinados, contribuyendo de manera directa en la caracterización de los cuerpos de agua y su clasificación. Por lo tanto, se recomienda considerar las características hidroquímicas de los sistemas de aguas superficiales del país para complementar la propuesta tipológica de los ecosistemas acuáticos presentes en Chile.

Bibliografía

- Abell, R. Thieme, M. Revenga, C. Bryer, M. Kottelat, M. Bogutskaya, N. Coad, B. Mandrak, N. Contreras, S. Bussing, W. Stiassny, M. Skelton, P. Allen, G. Unmack, P. Naseka, A. Ng, R. Sindorf, N. Robertson, J. Armijo, E. Higgins, J. Heibel, T. Wikramanayake, E. Olson, D. López, H. Reis, R. Lundberg, J. Sabaj, M. Petry, P. 2008. Freshwater Ecoregions of the World: a new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation. *Revista BioScience*. Volumen 58, número 5, pp 403-414.
- Agua y Sig. 2010. Diagramas Hidroquímicos de Stiff. [En línea]. Consulta: Agosto, 2012.
<<http://www.aguaysig.com/2010/12/tutorial-de-aquachem-40-hidroquimica-de.html>>
- Aguilar, M. 2009. Introducción a los equilibrios iónicos. Segunda Edición. Editorial Reverté, S.A. Barcelona, España.
- APHA-AWWA-WPCF. 1992. Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Editorial Díaz de Santos, S.A. Madrid, España. [En línea]. Consulta: Julio, 2012.
<<http://es.scribd.com/doc/34123421/Metodos-Normalizados-Analisis-Agua>>
- Base de Datos Hídricos (BDH) La Pampa. Diagramas Hidroquímicos. Provincia de la Pampa, Argentina. [En línea]. Consulta: Agosto, 2012.
<http://www.bdh.lapampa.gov.ar/lapampa/common/themes/azul/help/Diagramas_Hidroquimicos.htm>
- Behar, R. Zúñiga, M. Rojas, O. 1997. Análisis y valoración del índice de calidad de agua (ICA) de la NSF: Caso Ríos Cali y Meléndez. *Ingeniería y Competitividad, Revista de Divulgación del Desarrollo Científico y Tecnológico*. Volumen 1, número 1, pp 17-27. Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Colombia.
- Cade-Idepe. 2005. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile, Chile.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. 2001. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, Technical Report. Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg. Canadá.
- Castañeda, M. 2011. Análisis Hidrogeoquímico de la cuenca del río Mischca. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Escuela Académico Profesional de Geología. Lima, Perú. [En línea]. Consulta: Julio, 2012.
<<http://es.scribd.com/doc/72060124/64/BALANCE-IONICO>>
- Centro de Análisis de Políticas Públicas. Instituto de Asuntos Públicos. Universidad de Chile. 2010. Informe País: Estado del Medio Ambiente en Chile 2008. Geo Chile, Chile.

- CETESB, Companhia Ambiental do Estado de Sao Paulo. IQA, Índice de qualidade das águas. Brasil. [En línea]. Consulta: Mayo, 2012. <[http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/42-%C3%8Dndice-de-Qualidade-das-%C3%81guas-\(iqa\)](http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/42-%C3%8Dndice-de-Qualidade-das-%C3%81guas-(iqa))>
- Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). 2004. Guía Conama para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas. Gobierno de Chile. Chile. [En línea]. Consulta: Marzo, 2012. <http://www.bcn.cl/carpeta_temas/temas_portada.2005-12-27.4449440028/GuiaNormaPract.pdf>
- Cortés, I. Montalvo, S. 2010. Aguas: Calidad y Contaminación. Un enfoque químico ambiental. Santiago, Chile.
- Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables (DCA & RNR). 2010. Clasificación de Cuerpos de Agua, Informe Final. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables (DCA & RNR). 2011 [1]. Definición de la Clasificación de Cuerpos de Agua, Informe Final. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables (DCA & RNR). 2011 [2]. Generación de Información Cartográfica para el Sistema de Tipología de Ríos y Lagos de Chile, Informe Final. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Díaz, L. 2010. “Estudio comparativo de índices de calidad del agua mediante la aplicación y evaluación de un modelo armonizado en Latinoamérica, caso de estudio río Loa”. Memoria para optar al grado de Magister en Ciencias M/Químicas, Facultad de Ciencias, Universidad Católica del Norte, Chile.
- Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile. [En línea]. Consulta: Junio, 2012. <<http://www.dga.cl/Paginas/default.aspx>>
- Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico, DGAR. 2010. Estudio geoambiental de la cuenca del río Huaura. Boletín N°41, serie C. Geodinámica e ingeniería geológica. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Ministerio de Energía y Minas. Lima, Perú.
- Dyer, B. 2001. The freshwater ecoregions of Chile. Final report Freshwater Ecoregions of the World, World Wildlife Fund.
- EcuRed. Diagrama hidroquímico para modelos de agua. [En línea]. Consulta: Agosto, 2012. <http://www.ecured.cu/index.php/Diagrama_hidroqu%C3%ADmico_para_modelos_de_agua>
- Ayers, R. Westcot, D. 1994. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper, 29 Rev.1. California, USA.

- Fernández, N. Ramírez, A. Solano, F. Índices fisicoquímicos de calidad del agua, un estudio comparativo. 2003. Conferencia Internacional Usos Múltiples del Agua: Para la Vida y el Desarrollo Sostenible. Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- Gisurban. La variable tamaño en cartografía, símbolos proporcionales. [En línea]. Consulta: Agosto, 2012. <<http://www.gisurban.com/2012/07/la-variable-tamano-en-cartografia.html>>
- Grupo de estudios en recursos hidrobiológicos continentales. Los ICA y la calidad de las aguas. Universidad del Cauca. [En línea]. Consulta: Abril, 2012. <<http://attachments.wetpaintserv.us/qEGuFAEEV9dRQQjIjN1pA%3D%3D450156>>
- Instituto Nacional de Normalización (INN). 2005. Norma chilena oficial NCh409/1.Of2005, Agua potable Parte 1 Requisitos. Chile.
- Instituto Nacional de Normalización (INN). 1978. Norma chilena oficial NCh1333.Of78. Modificada en 1987, Requisitos de calidad del agua para diferentes usos. Chile.
- Jiménez, M., Vélez, M. 2006. Análisis comparativo de indicadores de la calidad de agua superficial. Avances en Recursos Hidráulicos, número 14, pp. 53-70. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- Castillo, G. 2008. Microbiología de Aguas, Tema I: Agua y Salud. Programa de Diplomado en Contaminación Ambiental. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente. 2004. Guía Conama para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas. Gobierno de Chile. [En línea]. Consulta: Septiembre, 2012. <http://www.bcn.cl/carpeta_temas/temas_portada.2005-12-27.4449440028/Guia NormaPract.pdf>
- León, L. 1998. Índices de calidad del agua (ICA), Forma de estimarlos y Aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Morelos, México. [En línea]. Consulta: Mayo, 2012. <<http://www.science.uwaterloo.ca/~lfleonvi/artics/art09.pdf>>
- Lillo, J. 2012. Técnicas Hidrogeoquímicas. Universidad Rey Juan Carlos. España. [En línea]. Consulta: Agosto, 2012. <http://www.escet.urjc.es/~jlillo/Tecnicas_Hidrogeoquimicas.pdf>
- Lynch, J.M. y N.J. Poole. 1979. Microbial ecology: a conceptual approach. Blackwell Scientific Publications.
- Mena, M. 2012. Apuntes del Curso Calidad de Aguas CI5102. Departamento de Ingeniería Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile. [En línea]. Consulta: Junio, 2012.

<http://www.mop.cl/Direccionesyareas/DireccionGeneraldeAguas/Paginas/default.aspx>

- Patiño, P. Holguín, J. Barba Ho, L. Cruz, C. Ramírez, C. Duque, A. Baena, L. 2005. Metodología para la adaptación de un índice de calidad del agua a las condiciones medioambientales del río Cauca en el tramo Salvajina-La Virginia. Seminario Internacional: Visión integral en el mejoramiento de la calidad del agua. Cali, Colombia.
- Pérez, A. Rodríguez, A. 2008. Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. Revista de Biología Tropical. Volumen 56, pp. 1905-1918. Costa Rica.
- Red de Laboratorios de Tecnologías de la Información Geográfica, Red LatinGeo. Capítulo 3: Mapas de símbolos proporcionales. [En línea]. Consulta: Agosto, 2012. <http://redgeomatica.rediris.es/carto2/pdf/pdfT/tema3t.pdf>
- Reolon, L. 2010. Índices de Calidad de Agua. Programa de Formación Iberoamericano en Materias de Aguas. Dirección Nacional de Medio Ambiente. Buenos Aires, Argentina.
- Ros, A. 2011. Capítulo 4: Índice de Calidad General (ICG). Curso El Agua, Calidad y Contaminación. [En línea]. Consulta: Mayo 2012. <http://www.mailxmail.com/curso-agua-calidad-contaminacion-2-2/indice-calidad-general-icg>
- Salas, Juan F. 2004. “Diagnóstico y clasificación de la calidad de agua en la cuenca del rio Baker según objetivos de calidad”. Memoria para optar por el título de ingeniero civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Chile.
- Samboni, N., Carvajal, Y., Escobar, J. C. 2007. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. Revista de Ingeniería e Investigación, volumen 27, pp. 172-181. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Sancha, A. Espinoza, C. 2001. Determinación de contenido natural e índices de calidad: ¿Presente y futuro de calidad de aguas?. XIV Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, AIDIS-CHILE. Santiago, Chile.
- Sancha, A. 2002. Apuntes Curso CI51I Calidad de las Aguas. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Sánchez, F. Gráficos hidroquímicos: Piper y Stiff. Departamento de Geología, Universidad de Salamanca. España. [En línea]. Consulta: Agosto, 2012. http://hidrologia.usal.es/Complementos/Representar_Piper_y_Stiff.pdf
- Serrano, R. 2003. Introducción al análisis de datos experimentales: tratamiento de datos en bioensayos. Editorial Universitat Jaume. Castellón de la Plana, España.
- Torres, P. Cruz, C. Patiño, P. 2009. Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano: una revisión

crítica. Revista Ingenierías Universidad de Medellín, volumen 8, número 15, pp. 79-94. Medellín, Colombia.

- Universidad de Pamplona. Capítulo II: Indicadores de Calidad del Agua, Generalidades. Colombia. [En línea]. Consulta: Mayo, 2012. <http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo2.pdf>
- Universidad de Pamplona. Capítulo III: ICAs e ICOs de Importancia Mundial. Colombia. [En línea]. Consulta: Mayo, 2012. <http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo3.pdf>
- Universidad de Pamplona. Capítulo IV: Análisis Comparativo de los Índices de Calidad (ICAs) y de los Índices de Contaminación (ICOs) del Agua. Colombia. [En línea]. Consulta: Mayo, 2012. <http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallIG/home_10/recursos/general/pag_contenido/libros/06082010/icatest_capitulo4.pdf>
- Universitat Rovira i Virgili. Quimiometría, una disciplina útil para el análisis químico. Grupo de Quimiometría y Cualimetría de Tarragona. Departamento de Química analítica y Química orgánica. Tarragona, España. [En línea]. Consulta: Junio, 2012. <<http://www.quimica.urv.es/quimio/general/quimio.pdf>>
- Valcarcel, L. Alberro, N. Frías, D. 2009. El índice de calidad de agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos. Revista Electrónica de la Agencia de Medio Ambiente, año 9, número 16. Cuba.

ANEXO A: Cuencas hidrográficas de Chile definidas por la DGA

Tabla A.1: Cuencas hidrográficas definidas por la Dirección General de Aguas
(Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Código Cuenca	Nombre Cuenca
10	Altiplánicas
11	Quebrada de la Concordia
12	Río Lluta
13	Río San José
14	Costeras R. San José - Q. Camarones
15	Q. Río Camarones
16	Costeras R. Camarones-Pampa del Tamarugal
17	Pampa del Tamarugal
18	Costeras Tilviche - Loa
20	Fronterizas Salar Michincha - R. Loa
21	Río Loa
22	Costeras R. Loa - Q. Caracoles
23	Fronterizas Salares Atacama - Socompa
24	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama
25	Salar de Atacama
26	Endorreicas Salar Atacama-Vertiente Pacífico
27	Quebrada Caracoles
28	Quebrada la Negra
29	Costeras entre Q. la Negra y Q. Pan de Azúcar
30	Endorreicas entre Frontera y Vertiente del Pacífico
31	Costeras Q. Pan de Azúcar - R. Salado
32	Río Salado
33	Costeras e Islas R. Salado - R. Copiapó
34	R. Copiapó
35	Costeras entre R. Copiapó y Q. Totoral
36	Q. Totoral y Costeras hasta Q. Carrizal
37	Quebrada Carrizal y Costeras hasta R. Huasco
38	Río Huasco
39	Costeras e Islas entre R. Huasco y Cuarta Región
40	Costeras e Islas entre Tercera Región y Q. Los Choros
41	Río los Choros
42	Costeras entre R. Los Choros y R. Elqui
43	Río Elqui
44	Costeras entre Elqui y Limari
45	Río Limari

Tabla A.1 (Continuación): Cuencas hidrográficas definidas por la Dirección General de Aguas (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Código Cuenca	Nombre Cuenca
46	Costeras entre R. Limari y R. Choapa
47	Río Choapa
48	Costeras entre R. Choapa y R. Quilimari
49	Río QuiLimari
50	Costeras Quilimari - Petorca
51	Río Petorca
52	Río Ligua
53	Costeras Ligua - Aconcagua
54	Río Aconcagua
55	Costeras entre Aconcagua y Maipo
56	Islas del Pacífico
57	Río Maipo
58	Costeras entre Maipo y Rapel
60	Río Rapel
61	Costeras Rapel - E. Nilahue
70	Costeras entre límite Región y R. Mataquito
71	Río Mataquito
72	Costeras Mataquito - Maule
73	Río Maule
74	Costeras Maule y Límite Región
80	Costeras entre límite Región y R. Itata
81	Río Itata
82	Costeras e Islas entre Río Itata y Río Bio-Bio
83	Río Bio-Bio
84	Costeras e Islas entre Ríos Bio-Bio y Carampangue
85	Río Carampangue
86	Costeras Carampangue - Lebu
87	Río Lebu
88	Costeras Lebu - Paicavi
89	Costeras e Islas entre R. Paicavi y Límite Región
90	Costeras Límite Región y R. Imperial
91	Río Imperial
92	Río Budi
93	Costeras Entre Río Budi y Río Toltén
94	Río Toltén
95	Río Queule
100	Costeras entre límite Región y R. Valdivia

Tabla A.1 (Continuación): Cuencas hidrográficas definidas por la Dirección General de Aguas (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Código Cuenca	Nombre Cuenca
101	Río Valdivia
102	Costeras entre R. Valdivia y R. Bueno
103	Río Bueno
104	Cuencas e Islas entre R. Bueno y R. Puelo
105	Río Puelo
106	Costeras entre R. Puelo y R. Yelcho
107	Río Yelcho
108	Costeras entre R. Yelcho y límite Regional
109	Islas Chiloé y Circundantes
110	Río Palena y Costeras Límite Décima Región
111	Costeras e Islas entre R. Palena y R. Aisén
112	Archipiélagos de Las Guaitecas y de los Chonos
113	Río Aisén
114	Costeras e Islas entre R. Aisén y R Baker y Canal Gral. Martínez
115	Río Baker
116	Costeras e Islas entre R. Baker y R. Pascua
117	Río Pascua
118	Costeras entre R. Pascua Límite Región y Archipiélago Guayeco
119	Cuenca del Pacífico
120	Costeras entre Límite Región y Seno Andrew
121	Islas entre límite Región y Canal Ancho y Estrecho de la Concepción
122	Costeras entre Seno Andrew y R. Hollemberg e islas al oriente
123	Islas entre Canales Concepción, Sarmiento y E. de Magallanes
124	Costeras e Islas entre R Hollemberg, Golfo Alte. Laguna Blanca
125	Costeras entre Lag. Blanca (inc), Seno Otway, canal Jerónimo y Magallanes
126	Vertiente del Atlántico
127	Islas al Sur Estrecho de Magallanes
128	Tierra del Fuego
129	Islas al sur del Canal Beagle y Territorio Antártico

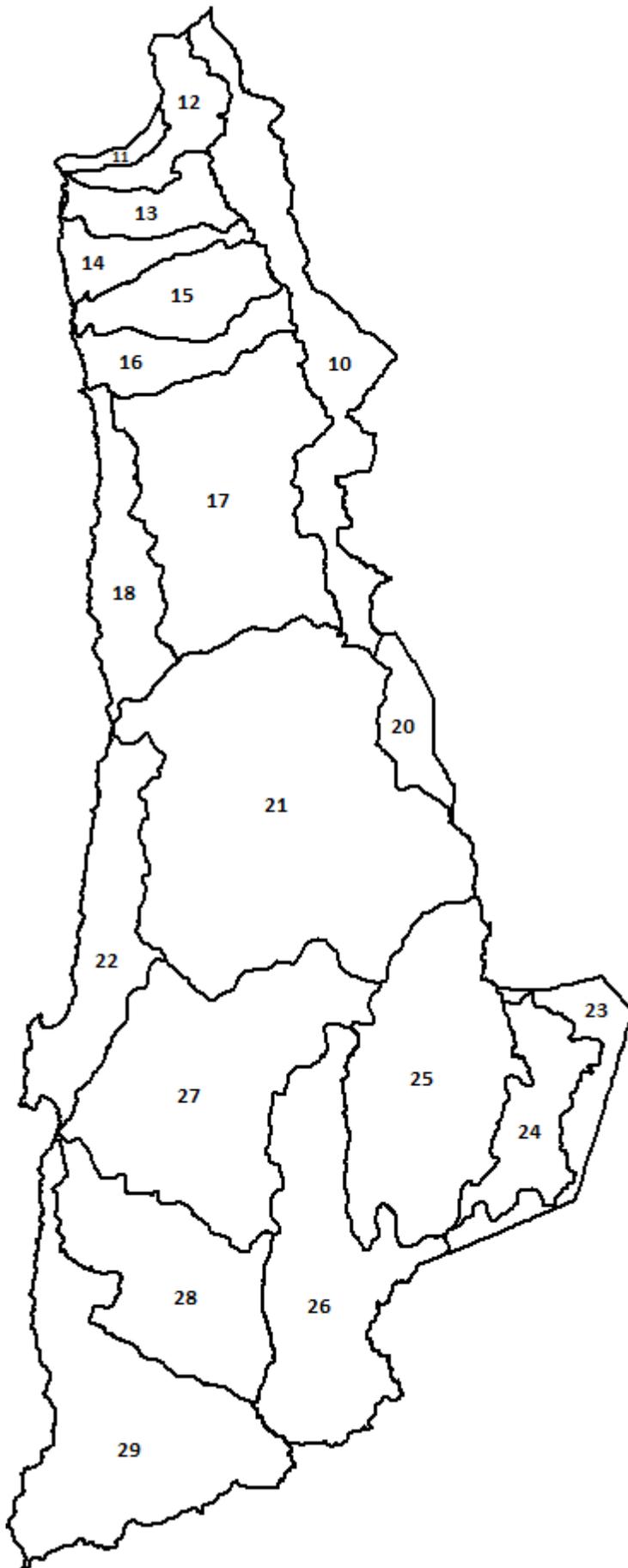
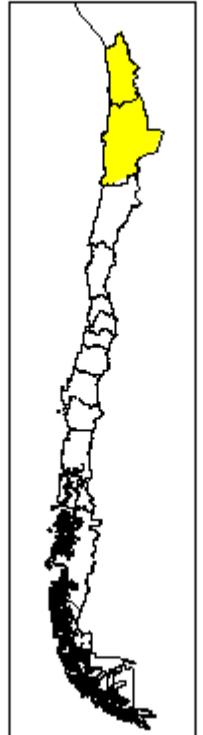


Figura A1:

Cuencas hidrográficas definidas por la DGA.

Cuencas 10 a 29.



Fuente: Departamento de Asuntos Hídricos, MMA, 2012.

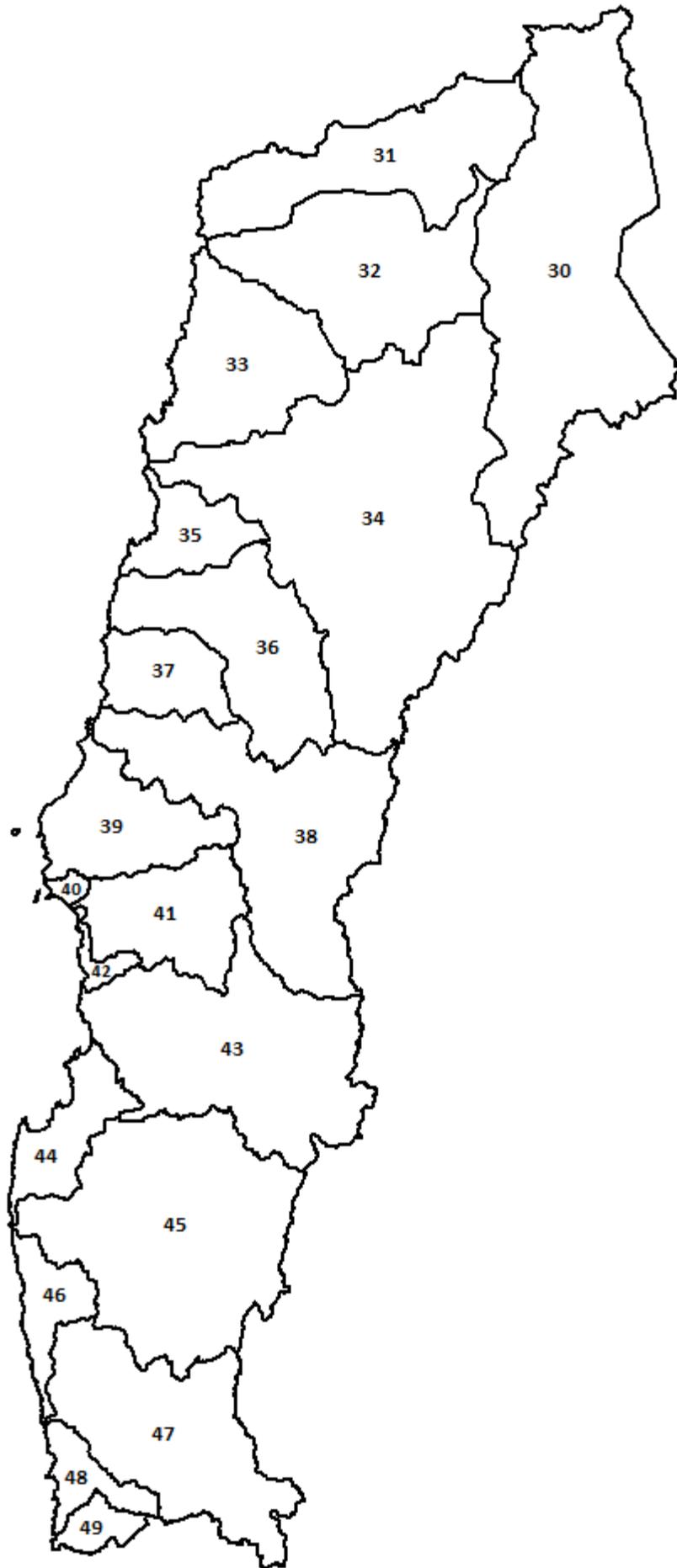
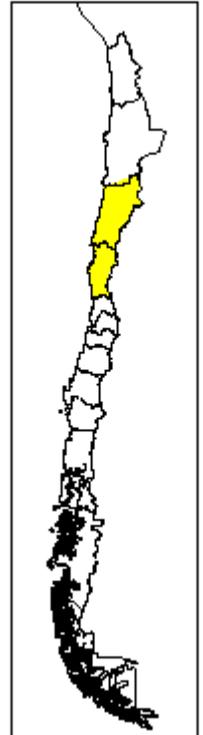


Figura A2:

Cuencas hidrográficas definidas por la DGA.

Cuencas 30 a 49.

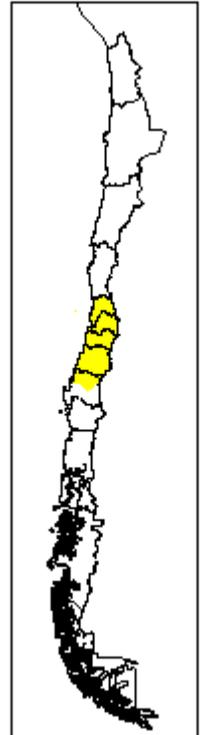
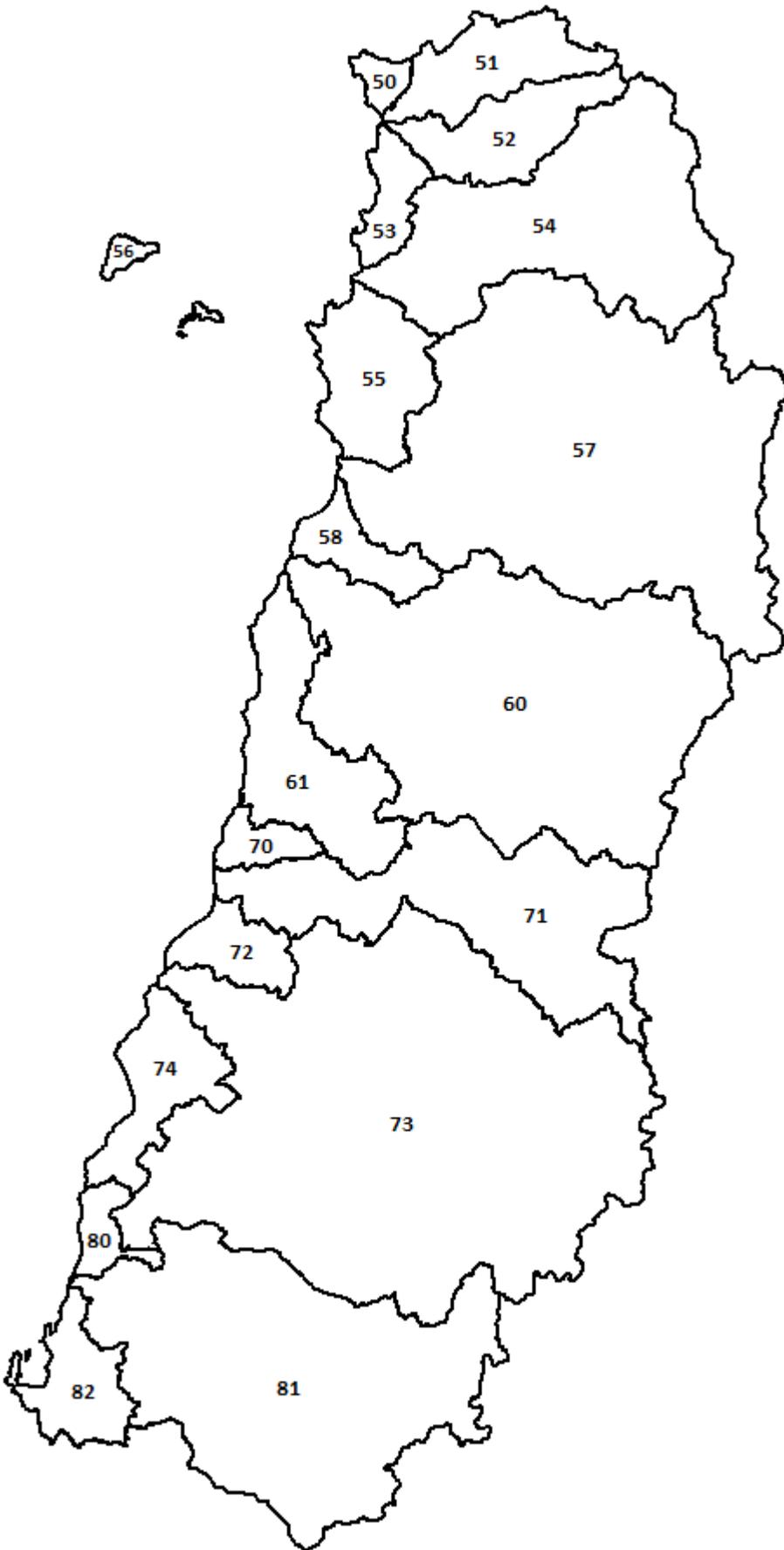


Fuente: Departamento de Asuntos Hídricos, MMA, 2012.

Figura A3:

Cuencas hidrográficas definidas por la DGA.

Cuencas 50 a 82.

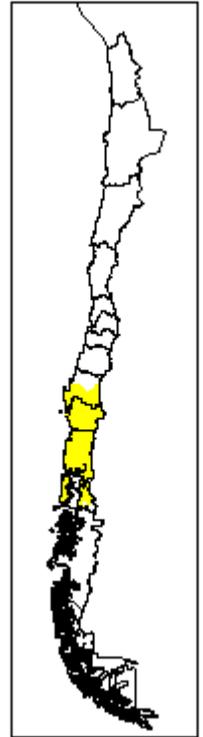
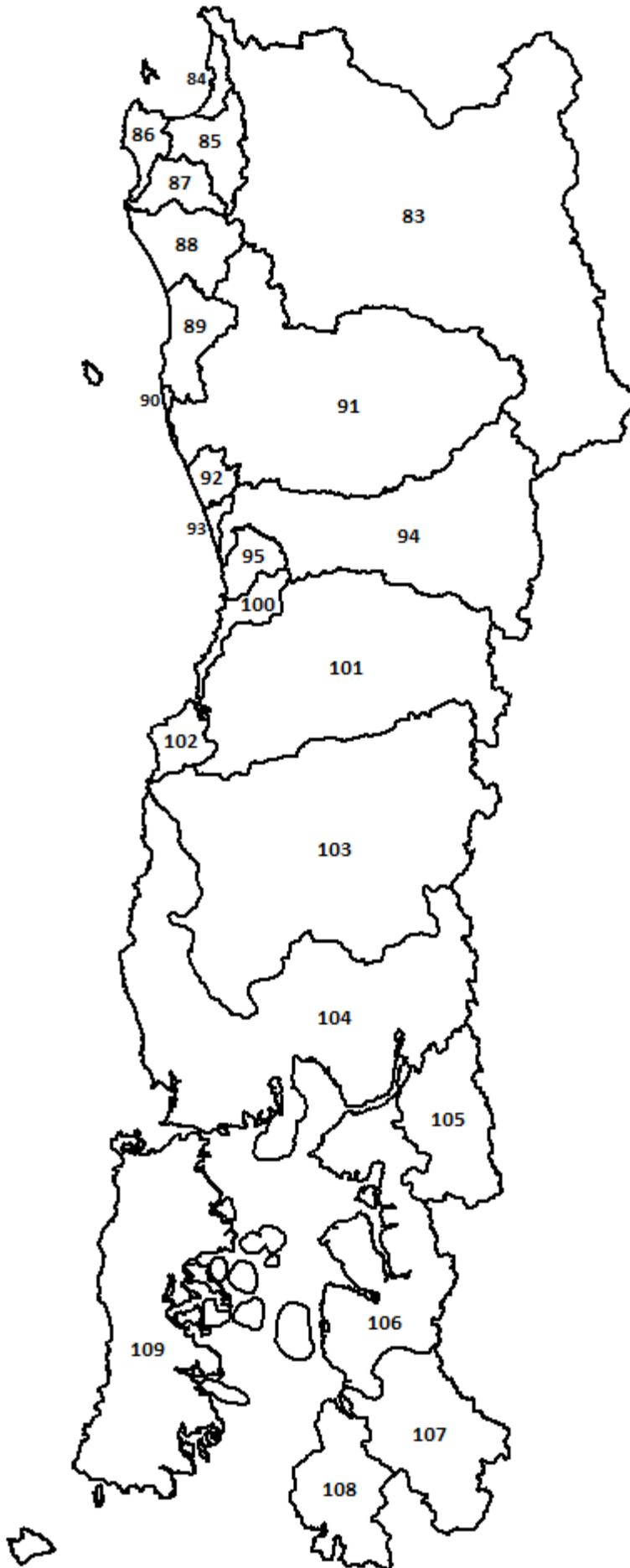


Fuente: Departamento de Asuntos Hídricos, MMA, 2012.

Figura A4:

Cuencas hidrográficas definidas por la DGA.

Cuencas 83 a 109.



Fuente: Departamento de Asuntos Hídricos, MMA, 2012.

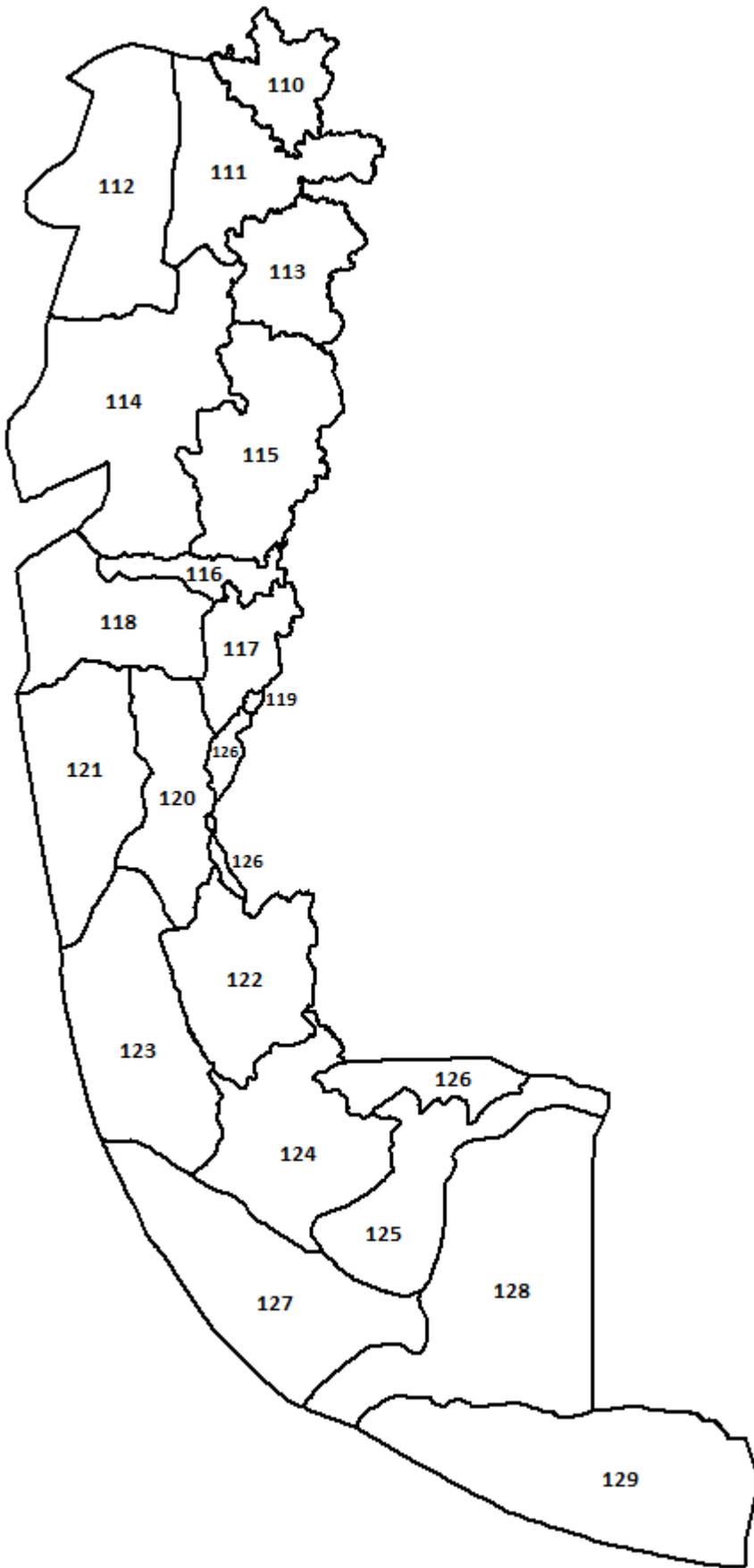
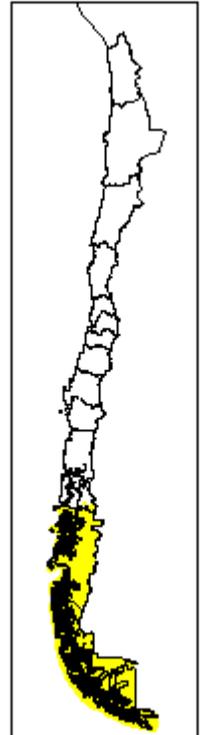


Figura A5:

Cuencas hidrográficas definidas por la DGA.

Cuencas 110 a 129.



Fuente: Departamento de Asuntos Hídricos, MMA, 2012.

ANEXO B: Procedimientos estándares destinados al análisis de consistencia de datos de calidad de aguas

B.1 Consistencia de la información

Antes de que los datos de calidad química sean utilizados, es necesario realizar un análisis de consistencia de los datos y verificar que no existan errores.

Los procedimientos que se exponen a continuación para la valoración de la corrección de los análisis son aplicables de forma específica a las muestras de agua para las que se han realizado análisis relativamente completos. Entre ellos se incluyen el pH, la conductividad, los sólidos de disolución total (SDT) y los principales componentes aniónicos y catiónicos, que son indicadores de la calidad general del agua (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

De acuerdo a APHA-AWWA-WPCF (1992), las comprobaciones descritas no requieren análisis adicionales de laboratorio y por lo tanto, son suficientes para determinar posibles errores en la toma de las muestras de agua.

B.2 Balance iónico

Corresponde al balance entre cationes y aniones. Este cálculo se basa en el Principio de Electroneutralidad, es decir, la suma de aniones equivalentes debe ser igual a la suma de los cationes equivalentes.

De acuerdo a Aguilar (2009), el Principio de Electroneutralidad se presenta como una condición que debe cumplir cualquier disolución iónica: la de ser eléctricamente neutra. En su forma más elemental, el principio de electroneutralidad podría presentarse diciendo que en un volumen dado de una disolución iónica la carga total de los iones positivos tiene que ser igual a la carga total de los iones negativos.

El cálculo del error en el balance de cargas es una práctica estándar para evaluar la exactitud del análisis de aguas. Para que este sea posible, se debe contar con análisis completos que incluyan los iones disueltos principales (Castañeda, 2011). Los iones menores raramente influyen en el resultado. Los cationes principales considerados son Na^+ , K^+ , Ca^{+2} y Mg^{+2} ; y los aniones principales corresponden a Cl^- , SO_4^{-2} y HCO_3^- .

A continuación se muestran dos expresiones que permiten determinar el balance iónico de una muestra de agua:

$$\text{Error Balance (\%)} = \frac{\sum \text{Cationes} - \sum \text{Aniones}}{\sum \text{Cationes} + \sum \text{Aniones}} \cdot 100$$

$$\text{Error Balance (\%)} = \frac{\sum \text{Cationes}}{\sum \text{Aniones}} \cdot 100$$

Se acepta un error de balance inferior a 5% en el primer caso y hasta un 10% en el segundo caso (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

Para hacer uso de las expresiones anteriores es necesario transformar las concentraciones de los iones a meq/l:

Elementos:

$$\text{meq/l} = \text{mg/l} \cdot \frac{\text{Valencia}}{\text{Peso Atómico}} = \frac{\text{mg/l}}{\text{Peso Equivalente}}$$

Moléculas:

$$\text{meq/l} = \text{mg/l} \cdot \frac{\text{Carga Eléctrica}}{\text{Peso Molecular}} = \frac{\text{mg/l}}{\text{Peso Equivalente}}$$

B.3 Relación entre conductividad eléctrica medida y suma iónica

La suma tanto de aniones como de cationes debe ser 1/100 de la conductividad eléctrica medida (APHA-AWWA-WPCF, 1992). El criterio aceptable se describe como:

$$0.9 < \frac{100 \cdot (\sum \text{Cationes ó Aniones [meq/l]})}{\text{CE}_{\text{medida}}} < 1.1$$

Si alguna de las dos sumas no cumple este criterio, dicha suma no es fiable y debería analizarse de nuevo la muestra (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

Cabe destacar que si se desea analizar la confiabilidad de la muestra con respecto a la conductividad eléctrica medida, se debe comprobar con anterioridad el correcto balance iónico de la muestra de agua. De lo contrario, la relación siempre se encontrará fuera del rango de valores aceptable y por consiguiente la muestra será inconsistente eléctricamente.

ANEXO C: Representaciones gráficas de datos de calidad

C.1 Representación gráfica de datos

Una alternativa simple para mostrar la información obtenida o generada luego de analizar una base de datos, es utilizando representaciones gráficas. En el caso del agua, existen representaciones gráficas específicas que permiten mostrar la composición química de sus muestras.

Por un lado se encuentran las representaciones gráficas de variación muestral, que permiten visualizar la composición química particular que posee cada muestra de agua, y por otro lado están las representaciones gráficas de variación espacial, las cuales permiten determinar los cambios químicos que se presentan entre muestras de agua ubicadas en distintos puntos geográficos.

A continuación se describen las representaciones gráficas empleadas en el análisis de datos utilizados en esta propuesta.

C.2 Representaciones gráficas de variación muestral

C.2.1 Diagramas hidroquímicos

Los diagramas hidroquímicos son representaciones gráficas que muestran sintéticamente las características químicas principales de un agua, facilitando su clasificación (BDH, 2012). Se utilizan para obtener una visualización sencilla y lo más completa posible de la composición química de las aguas (Lillo, 2012).

La representación gráfica de los datos hidroquímicos constituye una herramienta de trabajo muy eficiente en la interpretación de las propiedades de un agua, así como para hacer comparaciones o correlaciones. También permite ver con facilidad el comportamiento y evolución de un agua en un territorio determinado y a través del tiempo (EcuRed, 2012).

Actualmente, existen diversos tipos de diagramas hidroquímicos, siendo el de Stiff uno de los más utilizados para representar la composición química de muestras de aguas en estudio.

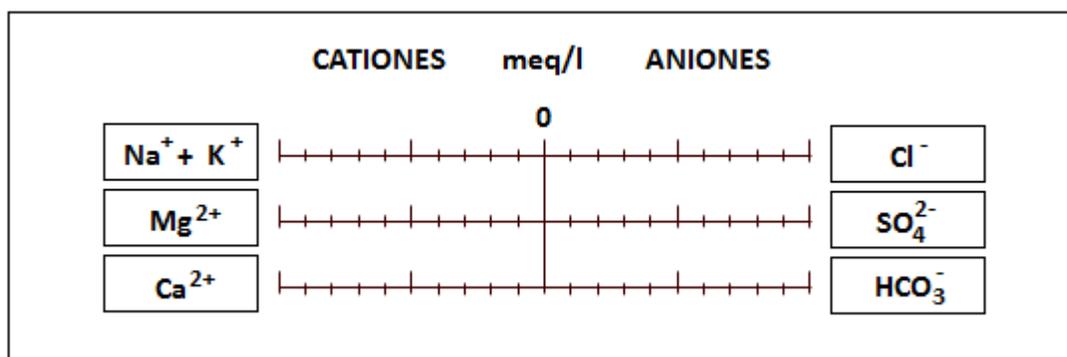
A continuación se describen las principales características de este tipo de diagrama hidroquímico.

C.2.1.1 Diagramas hidroquímicos de Stiff

Dos características sobresalen en este tipo de diagrama hidroquímico. Por un lado permite visualizar claramente diferentes tipos de agua (cada una con una configuración particular) y, en forma simultánea, permite dar idea del grado de mineralización (ancho de la gráfica) que posee la muestra (Agua y Sig, 2010).

Esta gráfica está compuesta por tres ejes horizontales, cada uno de ellos uniendo un catión y un anión. Todos los cationes se disponen al costado izquierdo del diagrama, y los aniones al derecho. Siempre el Na se confronta con el Cl, el Ca con el HCO₃ y el Mg con el SO₄. Aunque la disposición de los iones en cada semirrecta es opcional, suele utilizarse la que se presenta en la Figura C.1.

Figura C.1: Estructura de un diagrama hidroquímico de Stiff (Fuente: Elaboración propia).



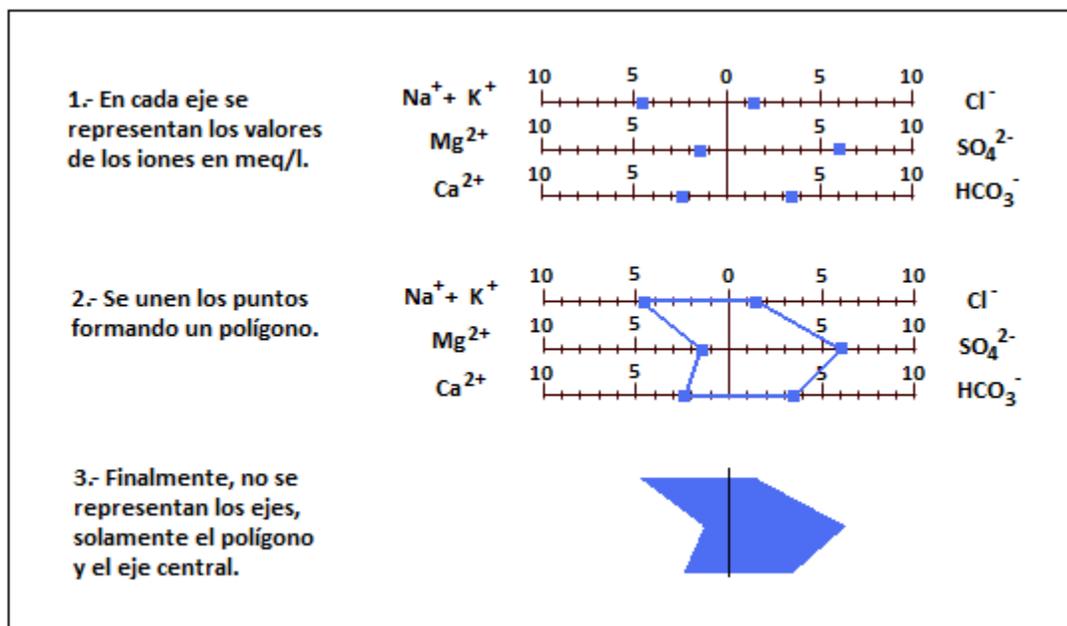
A veces también se pueden mostrar otros dos iones, como el Fe contra el NO₃ (Agua y Sig, 2010). Sin embargo, de acuerdo a Sánchez (2012), es absolutamente desaconsejable añadir más líneas horizontales al diagrama de tres ejes. Al mostrar más información en el mismo polígono se pierde su principal ventaja: captar en un instante la composición química del agua y apreciar fácilmente las semejanzas y diferencias entre polígonos de diferentes muestras.

La distancia entre los ejes horizontales es arbitraria, simplemente estética, y la escala elegida en horizontal (1,2,3,... ó bien 5, 10, 15,...) dependerá de la salinidad de las aguas de la región estudiada. Por lo tanto, la longitud y escala se establecerán a partir del análisis de concentraciones más elevadas (Sánchez, 2012). Sin embargo, todos los ejes horizontales deben tener la misma escala (lineal) y las concentraciones deben estar dadas en meq/L (Agua y Sig, 2010).

Su construcción consiste en situar la concentración de cada ión (en meq/L) sobre los ejes horizontales, para luego unirlos formando un polígono (Sánchez, 2012). En la Figura

C.2 se observa paso a paso la construcción de un polígono de una muestra de agua en particular.

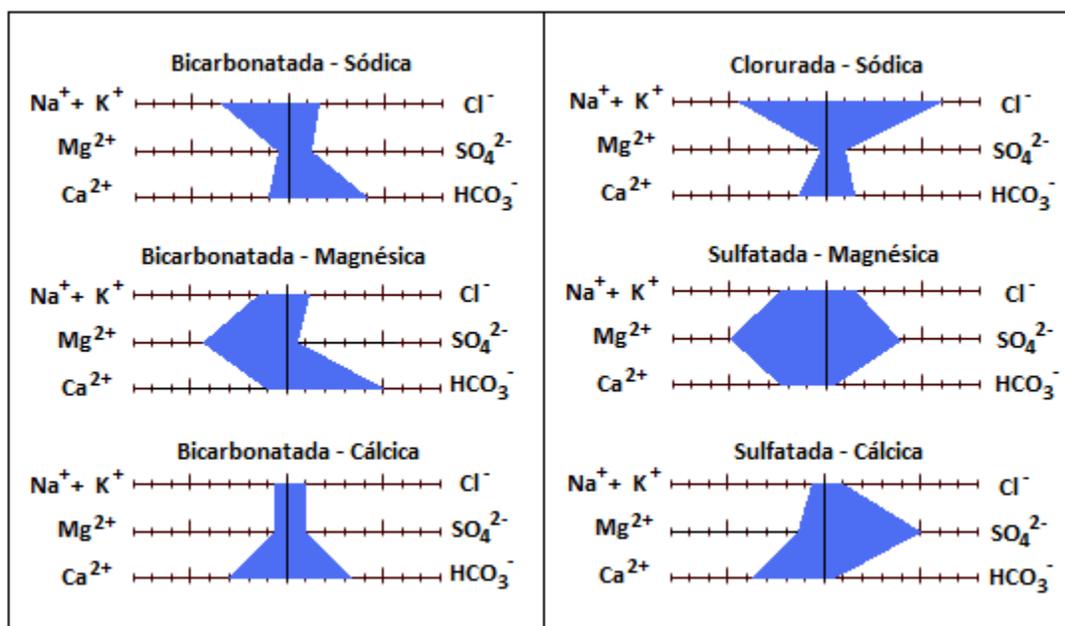
Figura C.2: Etapas de construcción de un polígono de Stiff (Fuente: Elaboración propia).



La forma de las figuras o polígonos resultantes orienta sobre el tipo de agua, y su tamaño da una idea relativa del contenido iónico total del agua. Además, permite apreciar la variación de las relaciones entre cationes y aniones de una muestra (Lillo, 2012).

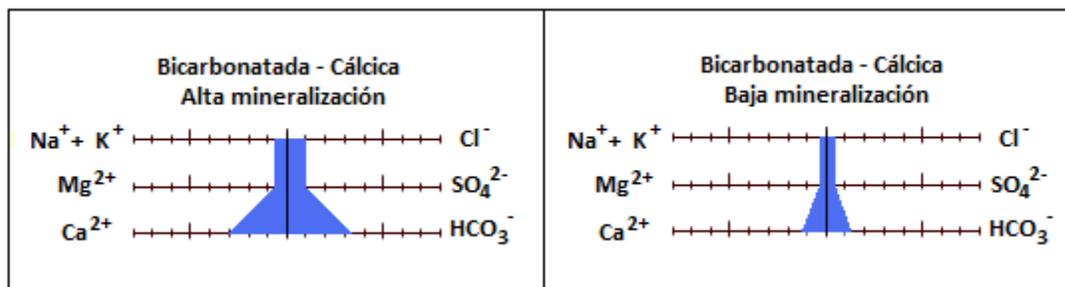
En la Figura C.3 se muestran diferentes tipos usuales de polígonos resultantes en un análisis químico de una muestra de agua.

Figura C.3: Tipos de polígonos en un diagrama hidroquímico de stiff (Fuente: Elaboración propia).



Por otro lado, en la Figura C.4 se observan dos muestras de agua con el mismo tipo hidroquímico (igual forma poligonal), pero con diferente concentración iónica (distinto ancho).

Figura C.4: Diferentes grados de mineralización en un mismo tipo químico de agua (Fuente: Elaboración propia).



La interpretación de los polígonos se realiza de aniones a cationes, teniendo en cuenta las mayores concentraciones en meq/l (DGAR, 2010). Es decir, el tipo de agua que describe la forma del polígono de un diagrama de stiff se determina identificando el anión con la mayor concentración en meq/l y luego se añade el catión que se encuentra en mayor proporción, tal como lo describen los polígonos de las Figuras C.3 y C.4.

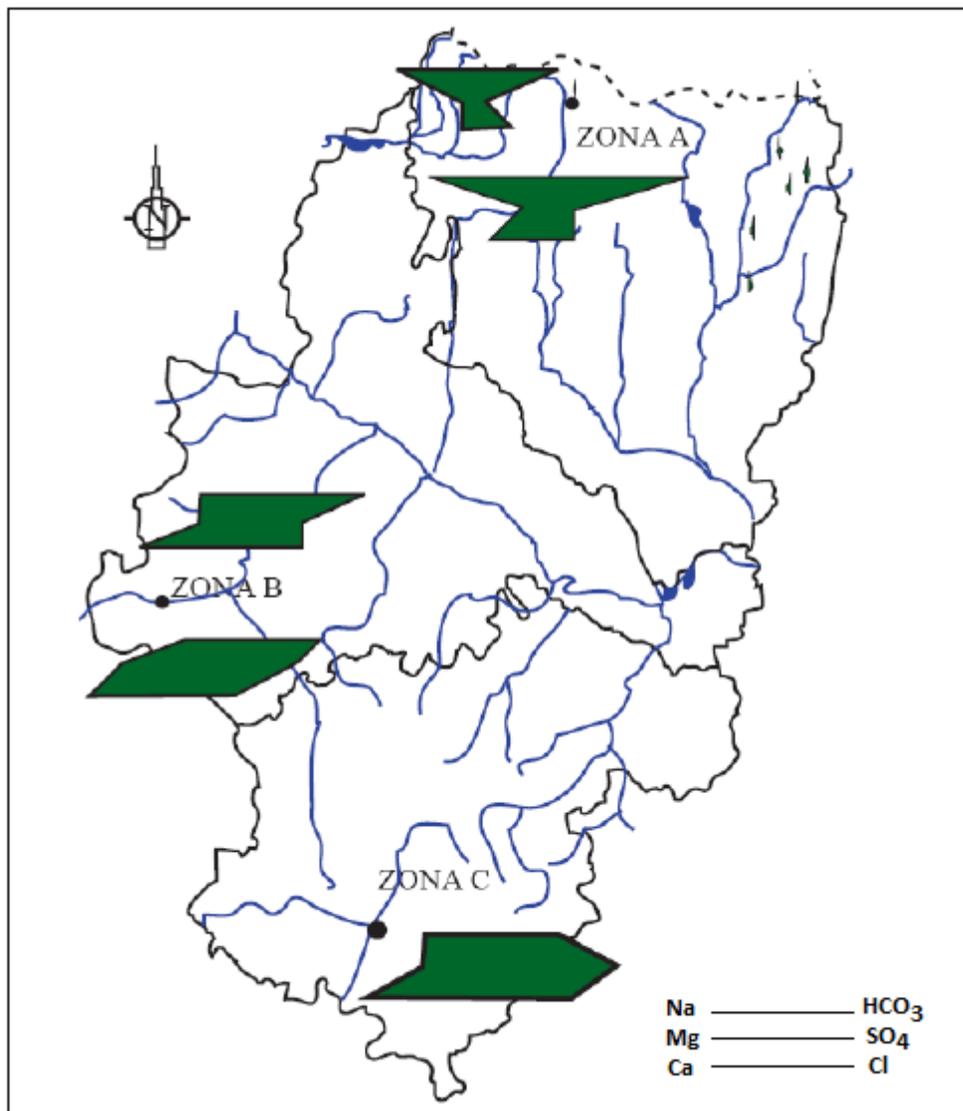
C.3 Representaciones gráficas de variación espacial

C.3.1 Mapas hidroquímicos

Corresponde a la inserción de diagramas hidroquímicos en mapas geográficos, permitiendo visualizar de forma rápida las variaciones espaciales de la composición de las aguas de una región.

Para el caso de mapas hidroquímicos de Stiff, en la leyenda del mapa es preciso dibujar los ejes con los iones y la escala empleados, dado que no existe unanimidad en la ubicación de los ejes (Sánchez, 2012). En la Figura C.5 se observa un ejemplo de un mapa hidroquímico de Stiff.

Figura C.5: Ejemplo Mapa hidroquímico de Stiff (Fuente: Lillo, 2012).



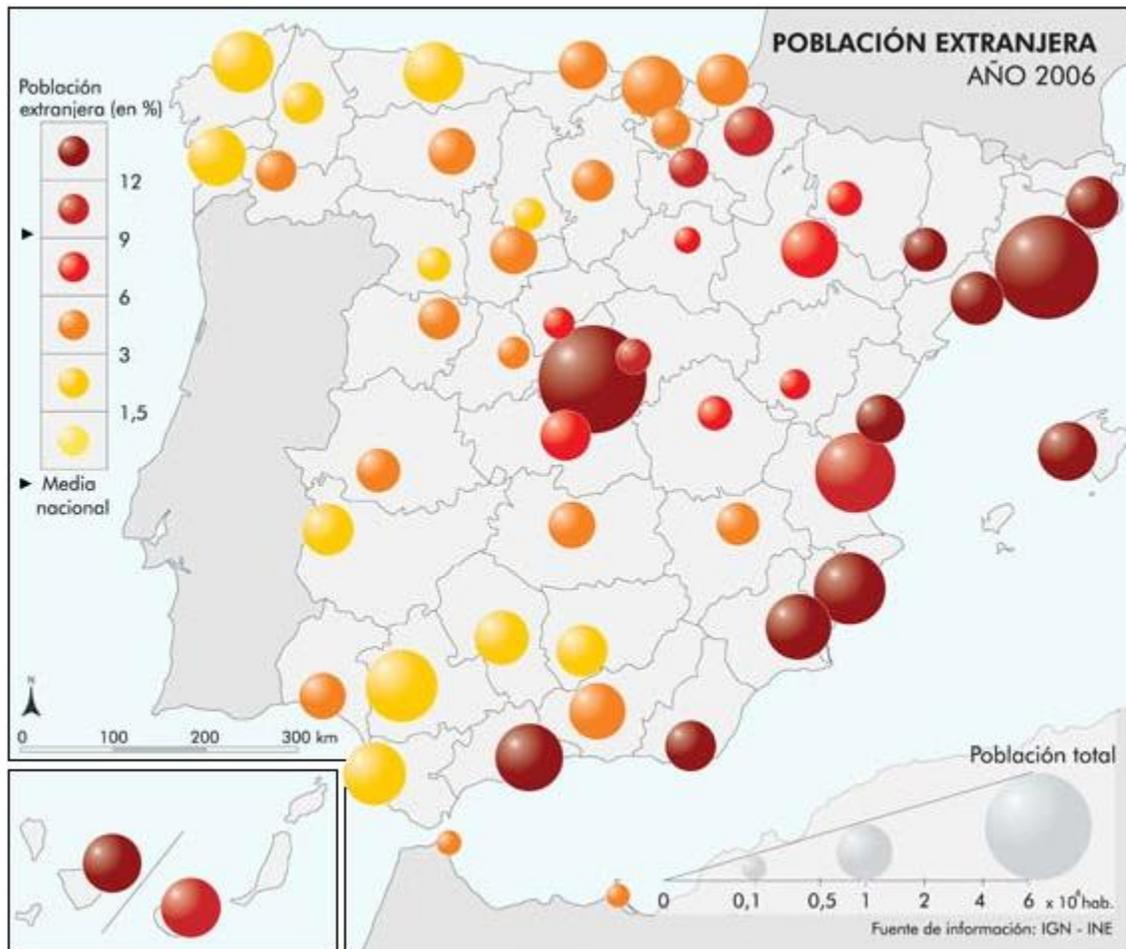
C.2.2 Mapas de símbolos proporcionales

Se utilizan para representar la variación espacial de un parámetro dentro de una región geográfica específica. Se basan fundamentalmente en seleccionar una forma e ir variando su tamaño en proporción al valor del parámetro que se desea representar.

La forma elegida puede ser un símbolo lineal (barras), superficial (círculos, cuadrados, triángulos) o volumétrico (esferas, cubos), y se utiliza para representar cantidades totales asociadas a puntos o superficies (Red LatinGeo, 2012). Una variante de este tipo de mapas es la representación de rangos de valores mediante diferentes colores (Lillo, 2012).

En la Figura C.6 se muestra un ejemplo de un mapa de símbolos proporcionales realizado para cuantificar la población extranjera en España en el año 2006.

Figura C.6: Ejemplo mapa de símbolos proporcionales (Fuente: Gisurban, 2012).



ANEXO D: Aplicación ICA propuesto

Figura D.1: Curva de calidad conductividad eléctrica, Estación Río Camarones en Conanoxa (Fuente: Elaboración propia).

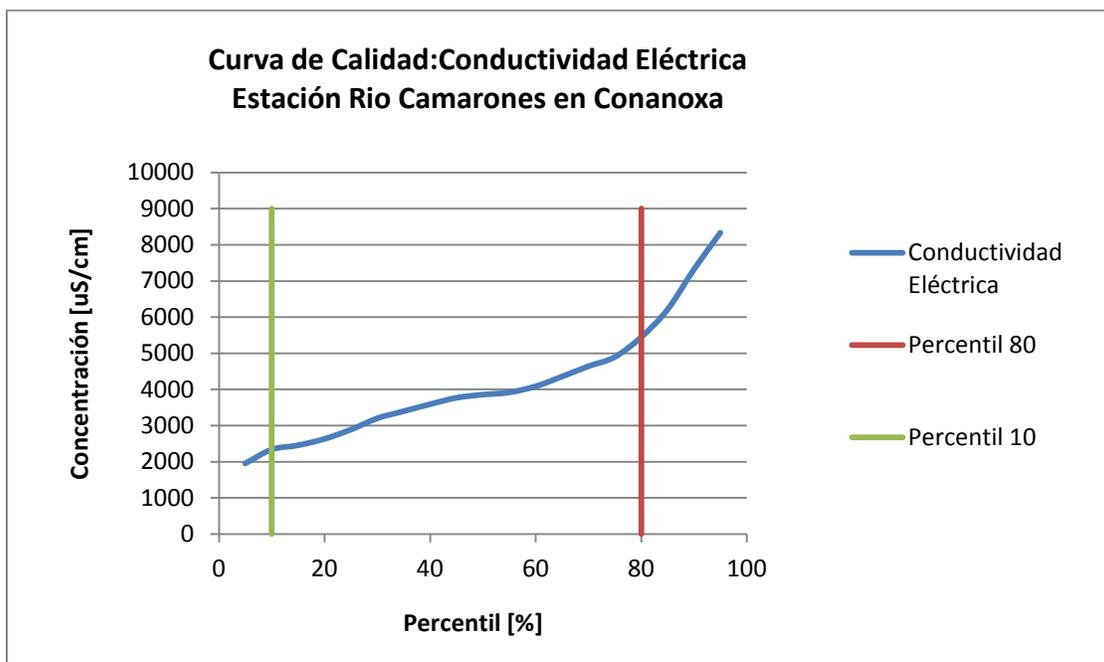


Figura D.2: Curva de calidad conductividad eléctrica, Estación Río Clarillo antes junta Río Maipo (Fuente: Elaboración propia).

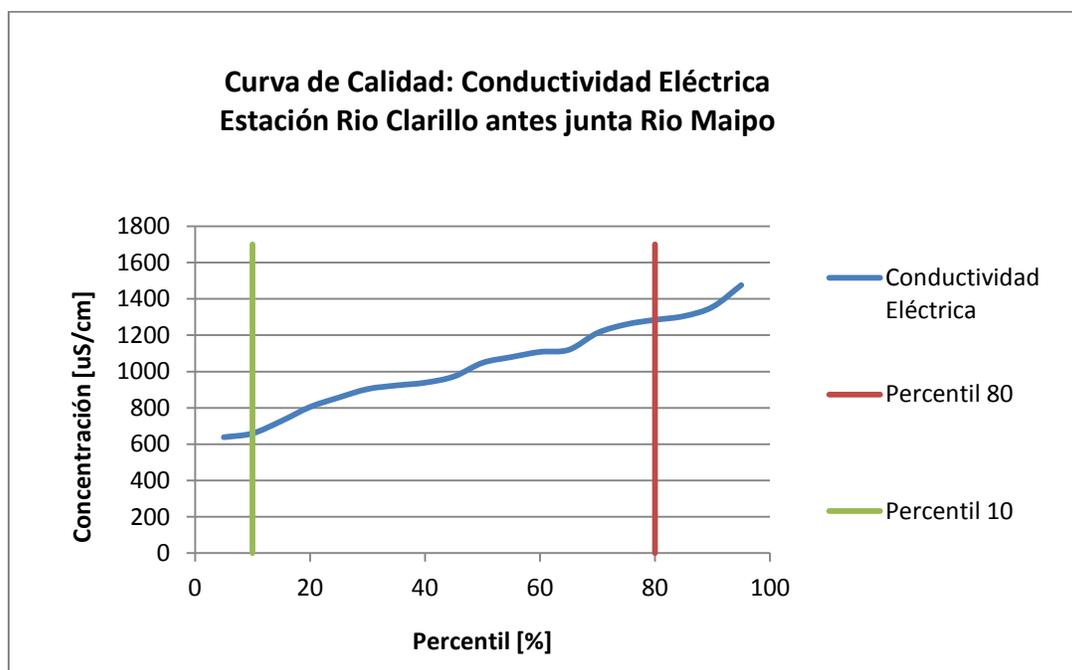
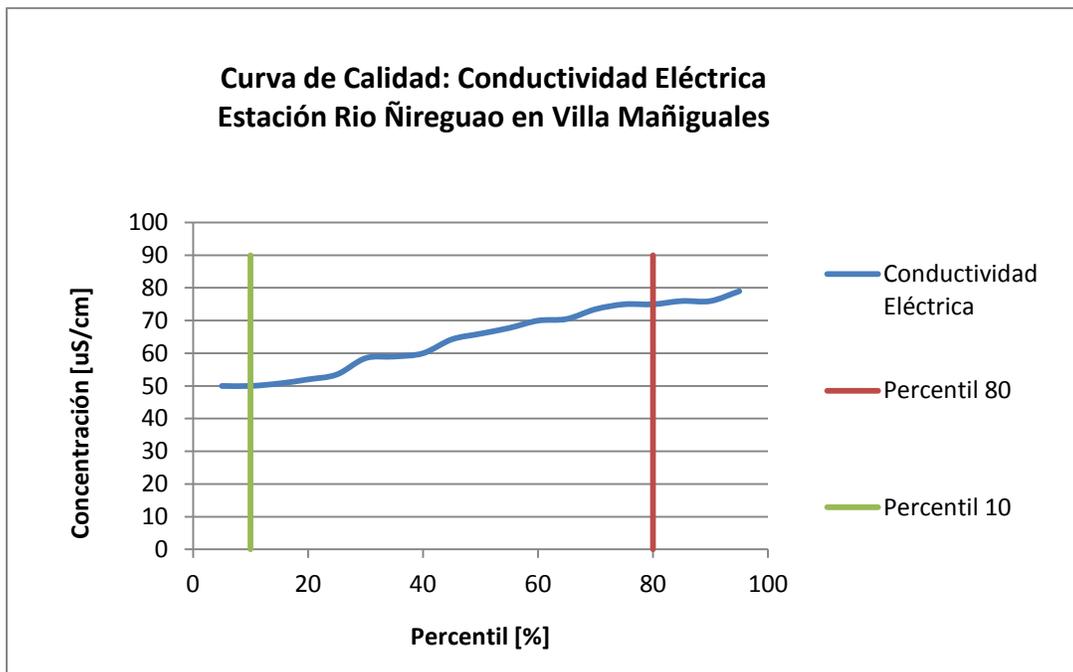


Figura D.3: Curva de calidad conductividad eléctrica, Estación Río Ñireguao en Villa Mañiguales (Fuente: Elaboración propia).



ANEXO E: Estaciones de monitoreo de calidad de la DGA

Tabla E1: Estaciones de monitoreo de calidad de la Dirección General de Aguas, Ecorregión Altiplano. (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012)

Ecorregión Altiplano				
Código Cuenca	Código Estación	Nombre Estación	UTM Norte	UTM Este
10	1000001	RIO CAQUENA EN GUACOLLO (CA)	8037417	464661
10	1000002	RIO COSAPILLA EN COSAPILLA (CA)	8037404	457593
10	1000003	RIO COLPAS EN VISVIRI (CA)	8055818	446943
10	1000004	RIO PUTANI EN VISVIRI (CA)	8052130	446952
10	1001002	RIO CAQUENA EN VERTEDERO	8010417	473002
10	1001004	RIO CAQUENA EN CAQUENA (CA)	8006090	478830
10	1010001	LAGO CHUNGARA	8013452	468233
10	1010002	RIO CHUNGARA EN DESEMBOCADURA	7978437	485907
10	1010003	ESTERO SOPOCALANE (CA)	7983972	491189
10	1010004	RIO CHUNGARA EN JARSURI (CA)	7976594	487669
10	1010005	VERTIENTE MAL PASO (CA)	7985806	478852
10	1010006	VERTIENTE AJATA (CA)	7983964	480616
10	1020001	LAGUNA COTACOTANI	7989494	478848
10	1020002	RIO DESAGUADERO COTACOTANI	7988352	474002
10	1020003	RIO LAUCA EN ESTANCIA EL LAGO	7984035	464904
10	1020004	CANAL LAUCA EN SIFON N° 1 (Km. 3.3)	7984373	464991
10	1020005	RIO LAUCA EN UNGALLIRI (CA)	7945247	491207
10	1020006	RIO LAUCA EN HUNTUME (CA)	7980254	464764
10	1020007	RIO BENEDICTO MORALES (CA)	7987646	475325
10	1020009	VERTIENTE CHACARPUJO (CA)	7989490	475323
10	1020010	VERTIENTE COPARPUJO (CA)	7989490	475323
10	1020011	VERTIENTE CHUBIRE (CA)	7987646	475325
10	1021001	RIO LAUCA EN JAPU (O EN EL LIMITE)	7945249	495076
10	1021002	RIO GUALLATIRE EN GUALLATIRE	7955232	484223
10	1021003	RIO GUALLATIRE EN NACIMIENTO (CA)	7959997	487680
10	1021004	RIO GUALLATIRE EN DESEMB. RIO LOA (CA)	7948930	484169
10	1021006	ESTERO PAQUISA EN PAQUISA (CA)	7934180	487697
10	1030001	RIO SURIRE EN SURIRE (CA)	7912054	492978
10	1030002	VERTIENTE SURIRE No 1 (CA)	7921275	503512
10	1041001	RIO CARIQUIMA EN CARIQUIMA	7849344	537642
10	1041002	RIO ISLUGA EN BOCATOMA	7869117	533655
10	1044001	RIO CANCOSA EN EL TAMBO	7804084	543364

Tabla E1 (Continuación): Estaciones de monitoreo de calidad de la Dirección General de Aguas, Ecorregión Altiplano (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Ecorregión Altiplano				
Código Cuenca	Código Estación	Nombre Estación	UTM Norte	UTM Este
10	1050002	RIO PIGA EN COLLACAGUA	7784670	517663
10	1050004	RIO COLLACAGUA EN PEÑABLANCA	7776095	516638
10	1050006	VERTIENTE LAGUNILLA (CA)	7795862	513953
10	1051001	VERTIENTE EL ERMITAÑO EN LAG. HUASCO	7756763	511747
10	1051002	VERTIENTE HUASCO NORTE LAG. HUASCO	7757131	512182
10	1070001	VERTIENTE COPOSA (CA)	7714684	531248
21	2103001	RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N°1	7570727	565449
21	2103005	RIO SILOLI (CA)	7561302	598032
25	2500005	CANAL CUNO EN SOCAIRE	7388227	617637
25	2500006	CANAL TILOMONTE ANTES REPRESA	7367957	592170
30	3022001	RIO LA OLA EN VERTEDERO	7070695	493826
30	3041001	RIO BARROS NEGROS ANTES JUNTA VALLE ANCHO	6983926	500044
30	3041003	RIO VALLE ANCHO ANTES RIO BARROS NEGROS	6984129	499515
30	3041004	RIO VALLE ANCHO EN LA BARRERA	6997785	499512
30	3041005	RIO LAMAS EN EL SALTO	7004311	506672
30	3050001	RIO ASTABURUAGA EN CONO	6962256	495329

Tabla E2: Estaciones de monitoreo de calidad de la Dirección General de Aguas, Ecorregión Atacama (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Ecorregión Atacama				
Código Cuenca	Código Estación	Nombre Estación	UTM Norte	UTM Este
12	1201001	RIO COLPITAS EN ALCERRECA	8010570	433770
12	1201002	RIO CARACARANI EN ALCERRECA	8011521	433472
12	1201003	RIO LLUTA EN ALCERRECA	8009276	432980
12	1201005	RIO CARACARANI EN HUMAPALCA	8027046	425885
12	1201008	RIO AZUFRE ANTES RIO CARACARANI (CA)	8031772	424042
12	1201009	RIO CARACARANI EN SICA SICA (CA)	8011519	432943
12	1202002	VERTIENTE TAIPICAGUA (CA)	7985720	438319
12	1202003	VERTIENTE LLAUCOMA EN LLAUCONA (CA)	7985708	434794
12	1202004	VERTIENTE LLAUCONA EN PUTRE (CA)	7983864	434800
12	1202005	VERTIENTE TOJOTOJONI (CA)	7985720	438319
12	1202006	RIO CUBRINANI EN PUTRE (CA)	7985720	438319
12	1202007	CANAL LLUSCUMA EN PUTRE (CA)	7985720	438319
12	1202008	QUEBRADA SOCOROMA EN COCA (CA)	7978343	438342

Tabla E2 (Continuación): Estaciones de monitoreo de calidad de la Dirección General de Aguas, Ecorregión Atacama (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Ecorregión Atacama				
Código Cuenca	Código Estación	Nombre Estación	UTM Norte	UTM Este
12	1210001	RIO LLUTA EN TOCONTASI	7968987	404886
12	1210002	RIO LLUTA EN EL MOLINO	7968009	399989
12	1210003	RIO LLUTA EN CHAPISCA	7968994	406412
12	1210004	RIO LLUTA EN POCONCHILE (CA)	7959670	387359
12	1211001	RIO LLUTA EN PANAMERICANA	7965042	362677
12	1211003	RIO LLUTA EN ROSARIO (CA)	7963326	382056
12	1211004	RIO LLUTA EN PUENTE CHACABUCO (CA)	7965160	380284
12	1211005	RIO LLUTA EN SANTA LUCIA (CA)	7965091	369720
13	1300003	RIO BELEN EN MISANA (CA)	7959924	445441
13	1310002	RIO SAN JOSE EN AUSIPAR	7944933	414385
13	1310003	RIO SAN JOSE ANTES BOCATOMA AZAPA	7944975	397999
13	1310004	ACUEDUCTO AZAPA EN BOCATOMA	7944773	406443
13	1310006	RIO SAN JOSE EN SAUCACHE (CA)	7953988	364516
13	1310007	VERTIENTE PENABLANCA (CA)	7950394	378617
13	1310008	VERTIENTE LA CONCEPCION (CA)	7952216	375086
13	1310009	VERTIENTE SAN MIGUEL DE AZAPA (CA)	7950359	373339
13	1310010	VERTIENTE LOS ALBARRACINES (CA)	7950348	371580
13	1310011	RIO SAN JOSE EN PUENTE LAS MAITAS (CA)	7952204	373327
13	1310012	VERTIENTE MEDIA LUNA (CA)	7952180	369808
13	1310013	VERTIENTE LA MITA CHICA (CA)	7952180	369808
14	1410001	RIO UMIRPA EN UMIRPA	7924917	457839
14	1410002	RIO CODPA EN CHITITA	7918494	427999
14	1410004	RIO CODPA EN CALA-CALA	7918163	429727
14	1410007	RIO CODPA EN CODPA (CA)	7919293	427996
14	1410008	RIO CHACA EN CHACA (CA)	7919039	378819
14	1410009	RIO CODPA EN GUAGNACAGUA (CA)	7917428	422735
14	1410010	QUEBRADA CHACA EN SECTOR LISBOA (CA)	7915373	382355
15	1502001	RIO CAMARONES EN TALTAPE	7901168	422744
15	1502002	RIO CAMARONES EN CONANOXA	7893938	396435
15	1502003	RIO CAMARONES EN LA HACIENDA (CA)	7898921	408776
15	1502004	RIO CAMARONES EN ESQUINA (CA)	7906438	443841
15	1502005	RIO CAMARONES EN CONDUMAYA (CA)	7902765	449116
16	1610002	QUEBRADA CAMIÑA EN ALTUSA	7866366	459169
17	1700001	VERTIENTE ANIMAS (CA)	7733123	465241
17	1700002	VERTIENTE RESBALADERO (CA)	7734971	466975
17	1700003	VERTIENTE CONCOVA (CA)	7734971	466975

Tabla E2 (Continuación): Estaciones de monitoreo de calidad de la Dirección General de Aguas, Ecorregión Atacama (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Ecorregión Atacama				
Código Cuenca	Código Estación	Nombre Estación	UTM Norte	UTM Este
17	1700004	VERTIENTE MIRAFLORES (CA)	7734967	465237
17	1700005	VERTIENTE EL CARMEN (CA)	7733123	465241
17	1700006	VERTIENTE JESUS-MARIA (CA)	7733123	465241
17	1700007	VERTIENTE PUGIO-CUMIGNA (CA)	7733115	461765
17	1720003	RIO AROMA EN ARIQUILDA (CA)	7827766	440005
17	1730001	RIO COSCAYA EN PAMPA LIRIMA	7802169	504274
17	1730003	RIO COSCAYA EN SAITOCO	7803521	507358
17	1730005	QUEBRADA TARAPACA EN PACHICA	7803246	453583
17	1730006	QUEBRADA TARAPACA EN MOCHA	7810109	471807
17	1730010	RIO COSCAYA EN MOSQUITO DE ORO (CA)	7805089	496509
17	1730012	Q. TARAPACA EN LAONSANA	7804715	463963
17	1730013	VERTIENTE CHAIVIRI N 1 (CA)	7806931	510471
17	1730014	VERTIENTE CHAIVIRI N 2 (CA)	7806931	510471
17	1750001	VERTIENTE EL TAMBO EN MANIÑA (CA)	7781100	479086
22	2210001	AGUA POTABLE TOCOPILLA (CA)	7554352	375904
27	2710001	AGUA POTABLE ANTOFAGASTA	7383646	357013

Tabla E3: Estaciones de monitoreo de calidad de la Dirección General de Aguas, Ecorregión Mediterráneo (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Ecorregión Mediterráneo				
Código Cuenca	Código Estación	Nombre Estación	UTM Norte	UTM Este
34	3401001	RIO FIGUEROA ANTES DE RIO TURBIO (CA)	6935865	445770
34	3403001	RIO TURBIO ANTES RIO FIGUEROA	6935865	445770
34	3404001	RIO JORQUERA EN VERTEDERO	6897615	405969
34	3414001	RIO PULIDO EN VERTEDERO	6892888	407562
34	3421001	RIO MANFLAS EN VERTEDERO	6885984	402405
34	3430001	RIO COPIAPO EN LAUTARO	6905153	401866
34	3430004	VERTIENTES LOS LOROS (CA)	6920745	393312
34	3431001	RIO COPIAPO EN LA PUERTA	6923908	388987
34	3434004	RIO COPIAPO EN MAL PASO (CA)	6955655	374895
34	3450001	RIO COPIAPO EN CIUDAD DE COPIAPO	6972537	367552
34	3450003	RIO COPIAPO EN PUENTE BODEGA (CA)	6976843	361760
34	3451001	RIO COPIAPO EN PIEDRA COLGADA (CA)	6979422	353207
34	3451002	RIO COPIAPO EN MOMTE AMARGO (CA)	6973586	330189

Tabla E3 (Continuación): Estaciones de monitoreo de calidad de la Dirección General de Aguas, Ecorregión Mediterráneo (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Ecorregión Mediterráneo				
Código Cuenca	Código Estación	Nombre Estación	UTM Norte	UTM Este
34	3453001	RIO COPIAPO EN ANGOSTURA	6976801	318130
34	3453003	RIO COPIAPO EN HACIENDA MARIA ISABEL (CA	6975364	325216
34	3453004	RIO COPIAPO EN DESEMBOCADURA (CA)	6976991	310344
38	3802001	RIO CONAY EN LAS LOZAS	6797163	392481
38	3803001	RIO CHOLLAY ANTES RIO CONAY	6794224	387435
38	3806001	RIO TRANSITO ANTES JUNTA RIO CARMEN	6818385	355004
38	3815001	RIO CARMEN EN RAMADILLAS	6818419	354634
38	3815003	RIO CARMEN ANTES RIO TRANSITO	6817584	355191
38	3820001	RIO HUASCO EN ALGODONES	6820840	352896
38	3820003	RIO HUASCO EN SANTA JUANA	6826870	338922
38	3823001	RIO HUASCO EN PUENTE PANAMERICANA	6838725	325629
38	3825001	RIO HUASCO EN PUENTE NICOLASA	6844064	303435
38	3825002	RIO HUASCO EN BODEGUILLA	6843531	306589
38	3825003	RIO HUASCO EN FREIRINA	6844708	297335
38	3826001	RIO HUASCO EN HUASCO BAJO	6848992	286521
43	4301001	RIO LA LAGUNA ANTES JUNTA RIO DEL TORO	6683237	394276
43	4301002	RIO LA LAGUNA EN SALIDA EMBALSE LA LAGUNA	6657927	400061
43	4301004	RIO LA LAGUNA DESPUES RIO SECO	6678479	394928
43	4302001	RIO TORO ANTES RIO LA LAGUNA	6683646	394586
43	4302002	RIO MALO AGUAS ABAJO TRANQUE RELAVES EL INDIO	6702445	402704
43	4302003	DREN G TRANQUE EL INDIO	6704220	403852
43	4302004	RIO VACAS HELADAS ANTES JUNTA RIO MALO	6691139	398676
43	4302005	RIO MALO ANTES JUNTA RIO VACAS HELADAS	6691277	398661
43	4302007	RIO MALO DESPUES TRANQUE RELAVE MINERA EL INDIO	6703181	402977
43	4302008	RIO MALO ANTES ESTERO NEGRO	6704365	403740
43	4302009	ESTERO NEGRO ANTES RIO MALO	6703841	403131
43	4302010	RIO TORO DESPUES ESTERO NEGRO Y RIO MALO	6699303	401050
43	4302011	BAÑOS DEL TORO	6699004	401093
43	4302012	RIO TORO ANTES RIO VACAS HELADAS	6691613	399053
43	4302013	RIO VACAS HELADAS ANTES RIO TORO	6690958	399210
43	4303001	RIO TURBIO DESPUES RIO TORO Y RIO LA LAGUNA	6683883	392498
43	4303002	RIO TURBIO ANTES RIO INCAGUAZ	6682357	380647
43	4304002	RIO INCAGUAZ ANTES JUNTA RIO TURBIO	6681694	379529
43	4306001	RIO TURBIO EN HUANTA	6697429	365885
43	4308001	RIO TURBIO EN VARILLAR	6685852	351864
43	4308002	RIO TURBIO ANTES RIO CLARO	6683370	350827

Tabla E3 (Continuación): Estaciones de monitoreo de calidad de la Dirección General de Aguas, Ecorregión Mediterráneo (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Ecorregión Mediterráneo				
Código Cuenca	Código Estación	Nombre Estación	UTM Norte	UTM Este
43	4311001	ESTERO DERECHO ALCAHUAZ	6655455	356129
43	4311002	RIO DERECHO ANTES RIO COCHIGUAS	6667996	355993
43	4313002	RIO COCHIGUAZ ANTES ESTERO DERECHO	6668924	356769
43	4314001	RIO CLARO EN MONTEGRANDE	6669943	355935
43	4314002	RIO CLARO EN RIVADAVIA	6682248	350021
43	4320001	RIO ELQUI EN ALGARROBAL	6680286	346752
43	4320002	RIO ELQUI EN VICUÑA	6675490	334244
43	4323001	RIO ELQUI EN ALMENDRAL	6681424	316671
43	4323004	RIO ELQUI DESPUES MINERA ALMENDRAL	6683009	316462
43	4323006	RIO ELQUI EN PUENTE MARQUEZA	6683378	310065
43	4331001	RIO ELQUI EN PUNTA DE PIEDRA	6693757	296957
43	4331002	RIO ELQUI EN PUENTE ALTOVALSOL	6685215	294712
43	4331003	RIO ELQUI EN PUENTE LAS ROJAS	6681466	301110
43	4335001	RIO ELQUI EN LA SERENA	6690547	282379
44	4400001	ESTERO CULEBRON EN EL SIFON	6680974	279213
45	4501001	RIO HURTADO EN SAN AGUSTIN	6628615	352307
45	4501002	RIO HURTADO EN LAS BREAS	6637989	345980
45	4502001	RIO HURTADO EN LA CORTADERA	6640533	329187
45	4503001	RIO HURTADO EN ANGOSTURA DE PANGUE	6630518	307506
45	4506001	RIO HURTADO EN SALIDA EMBALSE RECOLETA	6624116	299218
45	4506002	RIO HURTADO EN ENTRADA EMBALSE RECOLETA	6626130	301172
45	4511002	RIO GRANDE EN LAS RAMADAS	6567643	348861
45	4512001	RIO TASCADERO EN DESEMBOCADURA	6567506	340904
45	4513001	RIO GRANDE EN CUYANO	6577075	330379
45	4513002	RIO GRANDE ANTES RIO MOSTAZAL	6585392	330312
45	4514001	RIO MOSTAZAL EN CUESTECITA	6589655	345524
45	4514002	RIO MOSTAZAL EN EL MAITEN	6590674	347325
45	4515003	RIO MOSTAZAL ANTES RIO GRANDE	6586244	331051
45	4516001	RIO GRANDE EN COIPO	6592673	325425
45	4520003	RIO LOS MOLLES EN BOCATOMA	6597852	363907
45	4522001	RIO RAPEL EN PALOMA	6598455	345017
45	4522002	RIO RAPEL EN JUNTA	6600876	320448
45	4523001	RIO GRANDE EN AGUA CHICA	6601479	317829
45	4523002	RIO GRANDE EN PUNTILLA SAN JUAN	6601166	315494
45	4523003	RIO GRANDE DESPUES RIO RAPEL	6600621	319152
45	4530001	RIO COGOTI EN FRAGUITA	6556086	320035

Tabla E3 (Continuación): Estaciones de monitoreo de calidad de la Dirección General de Aguas, Ecorregión Mediterráneo (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Ecorregión Mediterráneo				
Código Cuenca	Código Estación	Nombre Estación	UTM Norte	UTM Este
45	4531001	RIO COGOTI EN COGOTI 18	6559140	313249
45	4531002	RIO COGOTI ENTRADA EMBALSE COGOTI	6564631	305074
45	4532001	RIO COMBARBALA EN RAMADILLAS	6543153	317622
45	4532002	RIO COMBARBALA EN COMBARBALA	6548562	310078
45	4532003	RIO COMBARBALA EN CAMINO COGOTI 18	6549522	309477
45	4532004	RIO COMBARBALA DESPUES PLANTA ENAMI	6553458	305889
45	4532005	RIO COMBARBALA EN CAMINO PUNITAQUI	6552696	306621
45	4534001	RIO PAMA ANTES EMBALSE COGOTI	6558947	302646
45	4535002	RIO GUATULAME EN SALIDA EMBALSE COGOTI	6568298	300245
45	4535004	RIO GUATULAME EN SAN MARCOS	6573784	302178
45	4537001	RIO GUATULAME EN EL TOME	6590471	311350
45	4540001	RIO GRANDE EN PALOMA 1	6603319	303422
45	4540003	CANAL CAMARICO AGUAS ABAJO COMPUERTAS	6601549	304159
45	4540004	RIO LIMARI DESPUES EMBALSE PALOMA	6601501	305052
45	4550001	RIO LIMARI EN PUNTILLA DE OVALLE	6610437	288905
45	4550003	RIO LIMARI EN PENONES BAJOS	6613420	291600
45	4551001	ESTERO INGENIO ANTES MINA COCINERA	6618372	291434
45	4551002	ESTERO EL INGENIO FRENTE MINA LA COCINERA	6617827	291216
45	4551003	ESTERO EL INGENIO DESPUES MINA LA COCINERA	6616038	290221
45	4552001	RIO LIMARI EN SAN JULIAN	6608331	276159
45	4553001	RIO LIMARI EN BARRAZA	6606175	261819
45	4553002	RIO LIMARI ANTES ESTERO PUNITAQUI	6604257	258665
45	4554002	ESTERO PUNITAQUI EN PUNITAQUI	6587159	283458
45	4556001	ESTERO PUNITAQUI EN CHALINGA	6595698	268751
45	4557002	ESTERO PUNITAQUI ANTES JUNTA RIO LIMARI	6603607	257720
45	4558001	RIO LIMARI EN PANAMERICANA	6604221	257067
47	4702001	RIO DEL VALLE ANTES RIO TOTORAL	6458244	350698
47	4703002	RIO CHOAPA EN CUNCUMEN	6461848	349600
47	4704001	RIO CUNCUMEN ANTES JUNTA CHOAPA	6471983	347080
47	4704002	RIO CUNCUMEN ANTES BOCATOMA CANALES	6477042	348646
47	4711001	RIO CHOAPA EN SALAMANCA	6478445	317088
47	4712001	RIO CHALINGA EN LA PALMILLA	6491635	337190
47	4713001	RIO CHALINGA EN SAN AGUSTIN	6488905	325069
47	4713003	RIO CHALINGA EN CHALINGA	6486253	314863
47	4713006	RIO CHALINGA EN BOCATOMA CANAL CUNLAGUA	6487635	322046
47	4714001	ESTERO CAMISAS EN DESEMBOCADURA	6482666	304354

Tabla E3 (Continuación): Estaciones de monitoreo de calidad de la Dirección General de Aguas, Ecorregión Mediterráneo (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Ecorregión Mediterráneo				
Código Cuenca	Código Estación	Nombre Estación	UTM Norte	UTM Este
47	4716001	RIO CHOAPA EN LAMAHUIDA	6485760	296197
47	4716004	RIO CHOAPA EN PUENTE NEGRO	6491534	285012
47	4721001	RIO ILLAPEL EN LAS BURRAS	6512407	327666
47	4723001	RIO ILLAPEL EN HUINTIL	6506196	313340
47	4725001	ESTERO AUOCO ANTES RIO ILLAPEL	6500162	296645
47	4726001	RIO ILLAPEL EN EL PERAL	6494144	286020
47	4730002	RIO CHOAPA EN DOÑA JUANA	6495890	278534
47	4730003	RIO CHOAPA EN LA CANELA	6502783	264810
47	4735001	CHOAPA EN HUENTELAUQUEN	6502105	259957
48	4810001	ESTERO PUPIO EN EL ROMERO	6463078	303684
49	4901001	RIO QUILIMARI EN LOS CONDORES	6446052	282376
51	5100001	RIO SOBRANTE EN PIÑADERO	6432946	338482
51	5100002	RIO SOBRANTE ANTES RIO PEDERNAL	6434108	328172
51	5101001	RIO PEDERNAL EN TEJADA	6449975	334016
51	5101003	RIO PEDERNAL ANTES RIO SOBRANTE	6435570	328527
51	5110001	RIO PETORCA EN PETORCA	6429835	317660
51	5120001	RIO PETORCA EN LONGOTOMA O PUENTE FF	6414839	276645
51	5120002	RIO PETORCA ANTES PUEBLO PEDEGUA	6417106	304160
52	5200001	RIO ALICAHUE EN COLLIGUAY	6420690	334805
52	5200002	RIO ALICAHUE EN ALICAHUE	6420892	335084
52	5200003	RIO ALICAHUE ANTES ESTERO CASA DE PIEDRA	6420840	331946
52	5200004	RIO CASA DE PIEDRA ANTES RIO ALICAHUE	6420840	331946
52	5211001	ESTERO LOS ANGELES ANTES JUNTA RIO LA LIGUA	6409000	311466
52	5220002	RIO LIGUA EN CABILDO	6410134	304151
52	5220003	RIO LIGUA ANTES FILTRACION	6409629	303859
52	5220004	RIO LIGUA DESPUES FILTRACION	6408770	302823
52	5221001	RIO LIGUA EN PLACILLA	6408105	284759
52	5221002	RIO LIGUA EN QUINQUIMO	6407890	282250
52	5221003	RIO LIGUA EN LA LIGUA	6408548	291384
52	5221004	RIO LA LIGUA EN PANAMERICANA	6408428	281592
53	5320004	ESTERO QUINTERO EN DESEMBOCADURA	6358856	265803
54	5400001	RIO JUNCAL ANTES RIO JUNCALILLO	6362607	391877
54	5400003	RIO JUNCALILLO ANTES RIO JUNCAL	6363013	392066
54	5401002	RIO JUNCAL ANTES RIO BLANCO	6358183	378783
54	5401003	RIO JUNCAL EN JUNCAL	6362980	390561
54	5402001	RIO BLANCO EN RIO BLANCO	6357861	378429

Tabla E3 (Continuación): Estaciones de monitoreo de calidad de la Dirección General de Aguas, Ecorregión Mediterráneo (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Ecorregión Mediterráneo				
Código Cuenca	Código Estación	Nombre Estación	UTM Norte	UTM Este
54	5402004	RIO BLANCO ANTES RIO JUNCAL	6357565	378497
54	5402005	RIO BLANCO ANTES TRANQUE RELAVE	6346871	382892
54	5402006	RIO LOS LEONES EN ENTRADA TUNEL	6348752	387669
54	5402007	ESTERO POLVAREDA ANTES RIO BLANCO	6355544	380356
54	5402008	RIO BLANCO EN PSCICULTURA	6355655	380030
54	5402009	RIO BLANCO DESPUES TRANQUE RELAVE	6350232	382218
54	5402010	RIO BLANCO ANTES RIO LEONES	6351372	381799
54	5402011	RIO LOS LEONES ANTES RIO BLANCO	6351431	382102
54	5402013	RIO BLANCO EN BOCATOMA CENTRAL HIDROELECTRICA	6350714	381922
54	5403002	RIO ACONCAGUA EN RIO BLANCO	6357929	377882
54	5403003	RIO ACONCAGUA EN LOS QUILOS	6363073	366601
54	5403004	RIO ACONCAGUA BOCATOMA CANAL CHACABUCO	6356885	375091
54	5403005	RIO RIECILLOS ANTES RIO ACONCAGUA	6356032	373321
54	5406001	RIO COLORADO EN COLORADO	6363274	367650
54	5406002	RIO COLORADO ANTES JUNTA RIO ACONCAGUA	6363466	367927
54	5410002	RIO ACONCAGUA EN CHACABUQUITO	6364602	358736
54	5410004	RIO ACONCAGUA EN LOS ANDES	6366033	351604
54	5410005	RIO ACONCAGUA EN SAN FELIPE	6374530	337462
54	5410022	RIO ACONCAGUA EN LAS TINAJAS	6376322	334987
54	5411001	ESTERO POCURO EN EL SIFÓN	6356550	355770
54	5411002	ESTERO POCURO ANTES JUNTA RIO ACONCAGUA	6373214	338224
54	5411003	ESTERO POCURO EN ASENTAMIENTO CRISTO REDECTOR	6360158	351682
54	5413001	ESTERO CHALACO EN LOS PATOS	6403481	351565
54	5414001	RIO PUTAENDO EN RESGUARDO LOS PATOS	6402620	351351
54	5414002	RIO PUTAENDO EN PUTAENDO	6389529	338728
54	5414003	RIO PUTAENDO EN EL BADEN	6379351	336606
54	5415001	ESTERO QUILPUE ANTES JUNTA RIO ACONCAGUA	6377009	336120
54	5415003	ESTERO SAN FRANCISCO ANTES ESTERO JAHUEL	6375729	346516
54	5420002	ESTERO DE LOS CAMPOS EN ANTES JUNTA RIO ACONCAGUA	6368644	319136
54	5420003	RIO ACONCAGUA EN PUENTE CATEMU	6369518	316710
54	5421001	ESTERO CATEMU ANTES JUNTA RIO ACONCAGUA	6369459	313845
54	5421004	ESTERO CATEMU EN CATEMU	6371446	314694
54	5422001	ESTERO LAS VEGAS EN DESEMBOCADURA	6364884	312753
54	5423003	RIO ACONCAGUA EN ROMERAL	6364673	310828

Tabla E3 (Continuación): Estaciones de monitoreo de calidad de la Dirección General de Aguas, Ecorregión Mediterráneo (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Ecorregión Mediterráneo				
Código Cuenca	Código Estación	Nombre Estación	UTM Norte	UTM Este
54	5423004	ESTERO ROMERAL ANTES JUNTA RIO ACONCAGUA	6365054	303573
54	5423005	RIO ACONCAGUA EN PANAMERICANA	6363650	301727
54	5423006	ESTERO RABUCO EN FUNDO RABUCO	6361132	301899
54	5423007	ESTERO RABUCO ANTES RIO ACONCAGUA	6363078	301214
54	5424002	ESTERO EL LITRE ANTES RIO ACONCAGUA	6371928	293188
54	5424003	ESTERO EL COBRE EN PUENTE MINA	6384404	297973
54	5426001	RIO ACONCAGUA EN PUENTE BOCO	6360280	288050
54	5426002	RIO ACONCAGUA EN TABOLANGO	6353586	281353
54	5426003	RIO ACONCAGUA EN PUENTE COLMO	6354659	271671
54	5427001	ESTERO LIMACHE EN ENTRADA EMB. LOS AROMOS	6349118	283308
54	5427002	ESTERO LIMACHE EN LIMACHE	6347308	286832
54	5427003	ESTERO DE LIMACHE ANTES JUNTA RIO ACONCAGUA	6354092	271273
54	5427004	ESTERO LIMACHE DESPUES EMBALSE AROMOS	6351280	275927
54	5428001	RIO ACONCAGUA EN DESEMBOCADURA	6354800	266001
54	5428002	CONTAMINACION DEL RIO ACONCAGUA CON MAR	6356649	265957
57	5701002	RIO MAIPO EN LAS MELOSAS	6254746	387964
57	5702004	ESTERO MORALES ANTES RIO VOLCAN	6257300	401542
57	5702005	RIO VOLCAN EN PUENTE BAÑOS MORALES	6256722	401800
57	5702006	RIO VOLCAN ANTES JUNTA RIO MAIPO	6258500	387471
57	5703002	RIO YESO EN EMBALSE EL YESO	6273900	399357
57	5703003	RIO YESO ANTES JUNTA RIO MAIPO	6260484	387612
57	5703005	EMBALSE EL YESO (LM)	6274510	399373
57	5704001	RIO MAIPO EN EL INGENIO	6262617	382496
57	5704002	RIO MAIPO EN SAN ALFONSO	6266504	379439
57	5704003	ESTERO SAN ALFONSO ANTES RIO MAIPO	6266986	380115
57	5706001	RIO OLIVARES ANTES JUNTA RIO COLORADO	6293679	394207
57	5707002	RIO COLORADO ANTES JUNTA RIO MAIPO	6282372	372945
57	5710001	RIO MAIPO EN EL MANZANO	6281637	371829
57	5710003	RIO MAIPO EN LAS LAJAS	6283731	367298
57	5710004	RIO MAIPO EN LA OBRA	6282174	363158
57	5710005	RIO MAIPO EN PUENTE SAN RAMON	6278285	354113
57	5711001	RIO CLARILLO ANTES JUNTA RIO MAIPO	6275811	348871
57	5712001	RIO MAIPO EN LOS MORROS	6274963	346000
57	5712002	RIO MAIPO EN PANAMERICANA	6271255	340666
57	5712003	RIO MAIPO EN VILUCO	6263703	331525
57	5713002	ESTERO CODEGUA EN LA LEONERA	6233306	355727

Tabla E3 (Continuación): Estaciones de monitoreo de calidad de la Dirección General de Aguas, Ecorregión Mediterráneo (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Ecorregión Mediterráneo				
Código Cuenca	Código Estación	Nombre Estación	UTM Norte	UTM Este
57	5713003	ESTERO CODEGUA EN PANAMERICANA	6233276	342512
57	5713004	RIO PEUCO EN PANAMERICANA	6242342	341734
57	5716001	RIO ANGOSTURA EN VALDIVIA DE PAINE	6257282	326050
57	5717003	RIO MAIPO EN EL ROSARIO	6262405	322296
57	5717005	RIO MAIPO EN NALTAHUA	6266256	322257
57	5720001	RIO MOLINA ANTES JUNTA SAN FRANCISCO	6306352	370526
57	5721001	ESTERO YERBA LOCA ANTES JUNTA SAN FRANCISCO	6309840	373202
57	5721002	RIO SAN FRANCISCO ANTES ESTERO YERBA LOCA	6309774	372995
57	5721003	RIO SAN FRANCISCO DESPUES ESTERO YERBA LOCA	6309525	373026
57	5721004	RIO SAN FRANCISCO ANTES RIO MOLINA	6306921	370106
57	5721005	RIO SAN FRANCISCO ANTES RIO PLOMO	6329640	375759
57	5721006	RIO PLOMO ANTES LAGUNA DE CAPTACION	6332147	375637
57	5721007	RIO PLOMO SALIDA LAGUNA DE CAPTACION	6330895	375669
57	5721009	RIO SAN FRANCISCO DESPUES TRANQUE DE RELAVES	6322882	374695
57	5722001	ESTERO ARRAYAN EN LA MONTOSA	6311312	364266
57	5722002	RIO MAPOCHO EN LOS ALMENDROS	6306686	365332
57	5722006	ESTERO ARRAYAN EN DESEMBOCADURA	6307637	361840
57	5730003	CANAL SAN CARLOS EN DESEMBOCADURA RIO MAPOCHO	6301460	350585
57	5730006	ZANJON DE LA AGUADA EN PAJARITOS	6293873	339423
57	5730011	RIO MAPOCHO EN PUENTE PUDAHUEL	6298819	330909
57	5734001	ESTERO POLPAICO EN CHICAUMA	6324748	323102
57	5735002	CANAL COLINA EN COMPUERTA VARGAS	6325907	345537
57	5736001	ESTERO LAMPA ANTES JUNTA RIO MAPOCHO	6298544	330232
57	5737002	RIO MAPOCHO RINCONADA DE MAIPU	6292006	330982
57	5737005	RIO MAPOCHO EN EL MONTE	6271439	316950
57	5740001	RIO MAIPO CHIGNIGUE	6269081	305450
57	5741001	ESTERO PUANGUE EN BOQUERON	6327807	301122
57	5742001	ESTERO PUANGUE EN CURACAVI	6301959	299510
57	5746001	ESTERO PUANGUE EN RUTA 78	6272865	283352
57	5748001	RIO MAIPO EN CABIMBAO	6265360	263039
57	5748002	RIO MAIPO EN DESEMBOCADURA	6276899	257034
58	5800001	ESTERO YALI EN BUCALEMU	6253554	255220
60	6003002	RIO CACHAPOAL ANTES RIO PANGAL	6210440	363743
60	6003003	RIO CACHAPOAL EN BOCATOMA CHACAYES	6206109	366458
60	6005001	MINA LA JUANITA	6216356	378459
60	6005002	RIO BLANCO ANTES RIO PAREDONES	6211131	377970

Tabla E3 (Continuación): Estaciones de monitoreo de calidad de la Dirección General de Aguas, Ecorregión Mediterráneo (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Ecorregión Mediterráneo				
Código Cuenca	Código Estación	Nombre Estación	UTM Norte	UTM Este
60	6006002	RIO PANGAL DESPUES BLANCO Y PAREDONES	6208542	376799
60	6006003	QUEBRADA CERILLOS ANTES RIO PANGAL	6210073	373544
60	6006004	RIO PANGAL ANTES RIO CACHAPOAL	6210813	364745
60	6006005	QUEBRADA EL PEUMO ANTES RIO PANGAL	6209750	368065
60	6007001	ESTERO TENIENTE AGUAS ARRIBA DE VERTEDERO MINA	6229154	375402
60	6007002	VERTEDERO MINA ANTES ESTERO EL TENIENTE	6229872	375787
60	6007003	ESTERO EL TENIENTE DESPUES VERTEDERO MINA	6228487	374851
60	6007004	ESTERO EL TENIENTE ANTES RIO COYA	6227443	372672
60	6007005	RIO COYA ANTES ESTERO EL TENIENTE	6227586	372196
60	6007006	RIO COYA DESPUES ESTERO EL TENIENTE	6227110	371768
60	6007007	VERTEDERO BOCATOMA MALA PASADA	6225537	368718
60	6007008	RIO COYA ANTES ESTERO SAPO	6225056	366975
60	6007009	ESTERO SAPO ANTES RIO COYA	6224438	366943
60	6007010	RIO COYA DESPUES ESTERO SAPO	6224644	365944
60	6007011	RIO COYA ANTES JUNTA RIO CACHAPOAL	6214257	358540
60	6008002	RIO CACHAPOAL EN COYA	6214078	359349
60	6008005	RIO CACHAPOAL EN PTE TERMAS DE CAUQUENES	6208637	355532
60	6008006	RIO CACHAPOAL DESPUES RIO PANGAL	6211184	362675
60	6008007	ESTERO CLONQUI ANTES RIO CACHAPOAL	6212025	362729
60	6008008	TERMAS DE CAUQUENES	6210509	357039
60	6009002	RIO CLARO ANTES RIO CACHAPOAL	6206679	353882
60	6010001	CANAL SAUZAL ANTES RIO CACHAPOAL	6208277	350116
60	6010002	CANAL ENTRADA PLANTA LAS ROSAS	6209639	348585
60	6010003	CANAL SALIDA PLANTA LAS ROSAS	6210379	347140
60	6010004	ESTERO CAUQUENES ANTES RIO CACHAPOAL	6207063	351397
60	6010005	RIO CACHAPOAL EN BOCATOMA CANALES RIBERA SUR	6212933	340556
60	6010006	ESTERO CAUQUENES ANTES TRANQUE PARRON	6205172	347236
60	6010007	TRANQUE PARRON	6205110	345509
60	6010008	FILTRACIONES TRANQUE PARRON	6205535	345573
60	6010009	JUNTA SALIDA Y FILTRACIONES TRANQUE PARRON	6204761	345690
60	6010010	TRANQUE RELAVE COLIHUES	6208437	346755
60	6010011	SALIDA TRANQUE COLIHUES	6208923	346377
60	6010012	CANAL SALIDA TRANQUE PARRON	6205791	345479
60	6010013	RIO CACHAPOAL EN PANAMERICANA	6215118	338277

Tabla E3 (Continuación): Estaciones de monitoreo de calidad de la Dirección General de Aguas, Ecorregión Mediterráneo (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Ecorregión Mediterráneo				
Código Cuenca	Código Estación	Nombre Estación	UTM Norte	UTM Este
60	6011001	ESTERO DE LA CADENA ANTES JUNTA RIO CACHAPOAL	6215518	329887
60	6011002	ESTERO LA CADENA EN PANAMERICANA	6224792	341178
60	6012001	RIO CACHAPOAL EN PUENTE COINCO	6209708	320402
60	6012002	RIO CACHAPOAL ANTES RIO CLARO DE RENGO	6191899	303567
60	6013001	RIO CLARO EN HACIENDA LAS NIEVES	6181566	343441
60	6013003	RIO CLARO DE RENGO EN PANAMERICANA	6194661	329079
60	6013004	RIO CLARO DE RENGO DESPUES EMBALSE CRISTAL	6182537	342156
60	6014002	ESTERO CALABOZO EN PANAMERICANA	6196049	329854
60	6015001	RIO CLARO EN TUNCA	6193076	306749
60	6016001	ESTERO ANTIVERO EN PANAMERICANA	6170562	319115
60	6016002	ESTERO ANTIVERO DESPUES ESTERO CHARQUICAN	6178422	319268
60	6017001	ESTERO MAQUI EN PANAMERICANA	6184085	325285
60	6018005	ESTERO ZAMORANO EN SAN VICENTE DE TAGUA	6186284	309167
60	6018007	ESTERO ZAMORANO EN PENCAHUE	6187536	300569
60	6019001	RIO CACHAPOAL DESPUES RIO CLARO DE RENGO	6189204	303734
60	6019002	RIO CACHAPOAL EN PUENTE CODAO	6193431	293780
60	6019003	RIO CACHAPOAL EN PUENTE ARQUEADO	6203551	283474
60	6019004	RIO CACHAPOAL EN EL CARMEN	6205921	279324
60	6028001	RIO TINGUIRIRICA BAJO LOS BRIONES	6156761	332806
60	6030001	RIO TINGUIRIRICA EN PANAMERICANA	6167887	317498
60	6032001	ESTERO CHIMBARONGO EN PUENTE HUEMUL	6139791	320395
60	6033001	ESTERO CHIMBARONGO EN CONVENTO VIEJO	6150175	306000
60	6033002	ESTERO CHIMBARONGO EN PANAMERICANA	6148046	312518
60	6033003	ESTERO CHIMBARONGO EN QUINTA	6148636	307690
60	6034002	ESTERO CHIMBARONGO EN PUENTE LOS MAQUIS	6170868	281950
60	6035001	RIO TINGUIRIRICA EN LOS OLMOS	6180327	281899
60	6038001	RIO TINGUIRIRICA EN DESEMBOCADURA	6203371	275802
60	6041001	ESTERO ALHUE ANTES ESTERO CAREN	6228927	294168
60	6043001	ESTERO ALHUE EN QUILAMUTA	6228347	292861
60	6053001	LAGO RAPEL EN LLALLAUQUEN	6209804	274111
60	6055001	RIO RAPEL DESPUES DEL MURO	6230754	261032
60	6055002	RIO RAPEL EN CORNECHE	6237918	251860
60	6056001	RIO RAPEL EN RAPEL	6241050	245599
60	6056002	RIO RAPEL EN NAVIDAD	6243753	240846
61	6132001	ESTERO NILAHUE EN SANTA TERESA	6170730	243750
70	7000001	ESTERO PICHIBUDI EN DUAO (PUENTE PICHIBUDI)	6135380	211823

Tabla E3 (Continuación): Estaciones de monitoreo de calidad de la Dirección General de Aguas, Ecorregión Mediterráneo (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Ecorregión Mediterráneo				
Código Cuenca	Código Estación	Nombre Estación	UTM Norte	UTM Este
71	7100002	RIO TENO ANTES RIO DEL PELLEJO	6114563	364342
71	7100003	RIO TENO ANTES RIO MALO	6112968	364759
71	7100004	RIO MALO ANTES RIO TENO	6113260	364467
71	7101001	RIO TENO ANTES RIO INFIERNILLO	6120654	354087
71	7101002	RIO TENO ANTES RIO LOS MAITENES	6120258	361706
71	7101003	RIO INFIERNILLO ANTES RIO TENO	6120158	353677
71	7101004	RIO LOS MAITENES ANTES RIO TENO	6120862	361804
71	7101005	QUEBRADA SANTA RITA ANTES RIO TENO	6120386	358841
71	7101006	ESTERO PICHUANTE ANTES RIO TENO	6116136	363652
71	7102001	RIO TENO EN LOS QUEÑES	6125856	334629
71	7102002	RIO TENO ANTES RIO CLARO	6125497	335187
71	7102003	RIO TENO ANTES JUNTA RIO PEJERREYES	6125282	339575
71	7102004	RIO PEJERREYES ANTES RIO TENO	6126157	339500
71	7103001	RIO CLARO EN LOS QUEÑES	6125271	334665
71	7104002	RIO TENO DESPUES DE JUNTA CON CLARO	6125790	333619
71	7104003	ESTERO EL MANZANO EN LA MONTAÑA	6129251	322991
71	7104004	RIO TENO EN LA VUELTA LOS MILITARES	6126838	329411
71	7105001	ESTERO COMALLE ANTES JUNTA RIO TENO	6129386	284886
71	7106003	RIO TENO EN PANAMERICANA	6135477	303023
71	7106004	RIO TENO EN PUENTE RAUCO	6132003	292220
71	7106005	RIO TENO ANTES JUNTA RIO LONTUE	6127381	283073
71	7106006	RIO TENO ANTES JUNTA RIO MATAQUITO	6127959	283385
71	7112001	RIO COLORADO ANTES JUNTA RIO PATOS	6093870	317655
71	7115001	RIO PATOS ANTES JUNTA RIO COLORADO	6094127	316490
71	7116001	ESTERO UPEO EN UPEO	6105384	309373
71	7116002	ESTERO POTRERO GRANDE ANTES RIO LONTUE	6104452	309573
71	7117001	RIO LONTUE EN LONGITUDINAL	6121685	294744
71	7117002	RIO LONTUE DESPUES JUNTA RIO PALOS Y COLORADO	6094995	316559
71	7118001	RIO GUAQUILLO EN PANAMERICANA	6124734	296152
71	7118002	CANAL ENTRADA TRANQUE IANSA (CURICO)	6120604	296061
71	7119003	RIO LONTUE EN SAGRADA FAMILIA	6125823	281735
71	7119004	CANAL SALIDA TRANQUE IANSA (CURICO)	6120466	289978
71	7119005	RIO SECO EN PUENTE CAMINO VILLA PRAT	6125007	285678
71	7119006	RIO SECO EN PUENTE HUALEMO	6123794	286991
71	7121001	RIO MATAQUITO EN PALQUIBUDIS	6118063	267215
71	7121002	RIO MATAQUITO EN LA HUERTA	6112237	256719

Tabla E3 (Continuación): Estaciones de monitoreo de calidad de la Dirección General de Aguas, Ecorregión Mediterráneo (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Ecorregión Mediterráneo				
Código Cuenca	Código Estación	Nombre Estación	UTM Norte	UTM Este
71	7123001	RIO MATAQUITO EN LICANTEN	6124577	225276
71	7123002	RIO MATAQUITO EN HUALAÑE	6125257	243350
71	7123003	MATAQUITO EN PUENTE LAUTARO	6118219	220159
71	7125001	RIO MATAQUITO EN NAICURA	6118578	214819
73	7303000	RIO MAULE EN LOS BAÑOS	6034239	340750
73	7320001	RIO CLARO ANTES RIO MAULE EN ARMERILLO	6046982	312812
73	7321002	RIO MAULE EN ARMERILLO	6046395	308400
73	7321003	CANAL MAULE NORTE EN AFORADOR	6046456	308349
73	7322001	RIO MAULE EN LONGITUDINAL	6061383	254460
73	7322002	CANAL MAULE SUR EN AFORADOR	6053110	283941
73	7322004	RIO MAULE EN COLBUN	6050337	287144
73	7330001	RIO PERQUILAUQUEN EN SAN MANUEL	5971198	264651
73	7331001	RIO CATO EN DIGUA	5985146	269394
73	7335001	RIO PERQUILAUQUEN EN QUELLA	6003504	221852
73	7336001	RIO CAUQUENES EN EL ARRAYAN	6010445	195755
73	7336002	RIO CAUQUENES EN CAUQUENES	6013996	200662
73	7339001	RIO CAUQUENES EN DESEMBOCADURA	6020590	223620
73	7340001	ESTERO CARDO VERDE EN LO UBALDO	6024413	228846
73	7341001	RIO PURAPEL EN NIRIVILO	6060155	218728
73	7343001	RIO PURAPEL EN SAUZAL	6054067	226679
73	7350001	RIO LONGAVI EN LA QUIRIQUINA	5988001	279340
73	7350002	RIO BULLILEO EN SANTA FILOMENA	5985881	282390
73	7350003	RIO LONGAVI EN EL CASTILLO	5984768	289785
73	7351001	RIO LONGAVI EN LONGITUDINAL	6012248	254366
73	7354001	RIO ACHIBUENO EN LOS PEÑASCOS	6016838	275413
73	7355001	RIO ANCOA EN EL LLEPO	6023841	272661
73	7355002	RIO ANCOA EN EL MORRO	6023374	292417
73	7355003	RIO ANCOA ANTES TUNEL CANAL MELADO	6028396	308664
73	7356001	RIO ACHIBUENO EN SAN FRANCISCO	6029030	258969
73	7356002	RIO ACHIBUENO EN PANAMERICANA	6026392	261777
73	7357001	RIO LONCOMILLA EN EMBOQUE	6038235	257210
73	7358001	RIO PUTAGAN EN YERBAS BUENAS	6037880	266111
73	7358004	RIO PUTAGAN EN BOCATOMA CANAL MELOZAL	6036691	259389
73	7358005	RIO PUTAGAN EN PANAMERICANA	6036829	259438
73	7359001	RIO LONCOMILLA EN LAS BRISAS	6055011	249348
73	7359002	RIO LONCOMILLA EN LA PALMILLA	6050672	249991

Tabla E3 (Continuación): Estaciones de monitoreo de calidad de la Dirección General de Aguas, Ecorregión Mediterráneo (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Ecorregión Mediterráneo				
Código Cuenca	Código Estación	Nombre Estación	UTM Norte	UTM Este
73	7359003	RIO LONCOMILLA EN SAN JAVIER	6058481	249910
73	7359004	RIO LONCOMILLA EN LONCOMILLA	6051615	250867
73	7371001	RIO CLARO EN FUENTE DE AGUA	6097655	303810
73	7372001	RIO CLARO EN CAMARICO	6104201	282636
73	7372003	RIO CLARO DE TALCA EN PANAMERICANA	6104105	282258
73	7373001	RIO PANGUE EN PANAMERICANA	6084791	266107
73	7373002	RIO PANGUE EN PANGUE	6088253	281964
73	7374001	RIO LIRCAY EN PUENTE LAS RASTRAS	6070308	291746
73	7376001	RIO LIRCAY EN PANAMERICANA	6079781	262176
73	7378001	ESTERO PIDUCO EN PANAMERICANA	6074366	260449
73	7379001	RIO CLARO EN TALCA	6077072	256353
73	7379002	RIO CLARO EN RAUQUEN	6072475	247394
73	7383001	RIO MAULE EN FOREL	6076938	208425
73	7384001	RIO MAULE EN DESEMBOCADURA	6074074	216851
81	8104001	RIO SAUCES ANTES JUNTA CON RIO DUBLE	5939477	296573
81	8105001	RIO DUBLE EN LA PUNILLA	5940146	292358
81	8106001	NUBLE EN SAN FABIAN N°1	5949371	271196
81	8112001	RIO NIBLINTO ANTES CANAL ALIMENTADOR EMB. COIHUECO	5939510	253467
81	8114001	RIO CATO EN PUENTE CATO	5949902	227552
81	8115001	RIO DUBLE EN LONGITUDINAL	5950760	223028
81	8117001	RIO CHILLAN EN LONGITUDINAL	5940078	211923
81	8117004	RIO CHILLAN EN ESPERANZA	5924895	254527
81	8117005	RIO CHILLAN EN CAMINO A CONFLUENCIA	5942981	202520
81	8117007	RIO CHILLAN EN PINTO	5935962	240662
81	8117008	RIO QUILMO EN CAMINO A YUNGAY	5937107	218262
81	8118001	RIO CHANGARAL CAMINO A PORTEZUELO	5949655	206304
81	8119001	RIO DUBLE EN CUCHA COX	5941786	195371
81	8119002	RIO ÑUBLE EN CONFLUENCIA	5939782	191680
81	8122001	CANAL ZAÑARTU SALIDA LAGUNA TRUPAN	5870584	249860
81	8123001	RIO ITATA EN CHOLGUAN	5883232	227515
81	8123002	CANAL ZAÑARTU BOCATOMA ITATA	5881956	230460
81	8124001	RIO ITATA EN GENERAL CRUZ	5906907	201413
81	8124002	RIO ITATA EN TRILALEO	5889587	222233
81	8130001	RIO RENEGADO EN INVERNADA	5917007	265756
81	8130002	RIO DIGUILLIN EN SAN LORENZO (ATACALCO)	5910893	270063
81	8132001	RIO DIGUILLIN EN LONGITUDINAL	5914747	203540

Tabla E3 (Continuación): Estaciones de monitoreo de calidad de la Dirección General de Aguas, Ecorregión Mediterráneo (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Ecorregión Mediterráneo				
Código Cuenca	Código Estación	Nombre Estación	UTM Norte	UTM Este
81	8133001	RIO ITATA EN CERRO NEGRO	5916049	198119
81	8135002	RIO ITATA EN Balsa Nueva Aldea	5938032	191367
81	8140003	RIO ITATA AGUAS ARRIBA (2000 M) DESCARGA CELULOSA NUEVA ALDEA	5939871	189287
81	8140004	RIO ITATA AGUAS ABAJO (200 M) DESCARGA CELULOSA NUEVA ALDEA	5941017	187702
81	8141001	RIO ITATA EN COELEMU	5958301	168989
82	8200001	ESTERO COLLEN EN TOME	5940339	146499
82	8220001	RIO ANDALIEN CAMINO A PENCO	5919601	140523
82	8220002	RIO ANDALIEN EN PUCHACAY	5917971	141517
82	8220003	RIO ANDALIEN EN CAMINO A CONCEPCION	5919888	146116
83	8307001	RIO BIO-BIO ANTES LLANQUEN	5769355	298618
83	8317001	RIO BIO-BIO EN RUCALHUE	5822557	243987
83	8317002	RIO LIRQUEN EN CERRO EL PADRE	5814855	247662
83	8319001	RIO BIO-BIO EN LONGITUDINAL	5832920	210372
83	8323001	RIO DUQUECO EN CERRILLOS	5838925	217098
83	8323002	RIO DUQUECO EN VILLUCURA	5839251	232123
83	8330001	RIO MULCHEN EN MULCHEN	5819930	213535
83	8332001	RIO BUREO EN MULCHEN	5820572	215250
83	8334001	RIO BIO-BIO EN COIHUE	5837009	182971
83	8341002	RIO RENAICO EN EL MORRO	5789564	236371
83	8342001	RIO RENAICO EN LONGITUDINAL	5805924	201804
83	8343001	RIO MININCO EN LONGITUDINAL	5803968	201377
83	8344001	RIO RENAICO EN RENAICO	5824756	183709
83	8350001	RIO MALLECO EN LA LAGUNA	5766269	252176
83	8351001	RIO MALLECO EN COLLIPULLI	5792718	197975
83	8352002	RIO MALLECO EN CAMINO HUEQUEN-RENAICO	5810088	178564
83	8358001	RIO VERGARA EN TIJERAL	5817612	180846
83	8363001	RIO BIO-BIO BAJO JUNTA RIO VERGARA	5844816	175564
83	8366001	RIO HUAQUI EN DIUQUIN	5858450	177771
83	8375003	RIO LAJA BAJO DESCARGA CENTRAL ANTUCO	5866808	262499
83	8380001	RIO LAJA EN TUCAPEL	5869822	235109
83	8380002	CANAL LAJA CAMINO A TUCAPEL	5867306	236526
83	8380004	CANAL LAJA EN LA LANCHA	5869007	230868
83	8381010	RIO LAJA EN PUENTE LONGITUDINAL (REC. LAJA)	5875456	199835
83	8383001	RIO LAJA EN PUENTE PERALES	5873090	186057
83	8385004	RIO CLARO EN PUENTE FERROVIARIO	5876398	178843

Tabla E3 (Continuación): Estaciones de monitoreo de calidad de la Dirección General de Aguas, Ecorregión Mediterráneo (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Ecorregión Mediterráneo				
Código Cuenca	Código Estación	Nombre Estación	UTM Norte	UTM Este
83	8386001	RIO LAJA EN SAN ROSENDO	5868694	170194
83	8391001	RIO BIO-BIO EN SANTA JUANA	5879020	150505
83	8394003	RIO BIO-BIO EN BOCA NORTE	5917824	135558
83	8394004	RIO BIO-BIO EN BOCA SUR	5915456	135589
83	8394005	RIO BIO-BIO ANTES PLANTA LA MOCHITA	5915583	138569
85	8510001	RIO CARAMPANGUE EN RAMADILLA	5862811	121750
85	8530001	RIO CARAMPANGUE EN CARAMPANGUE	5868482	121312
85	8530003	RIO CARAMPANGUE EN CAMINO A ARAUCO	5870331	121228
87	8720001	RIO LEBU EN LAS CORRIENTES	5828861	103747
88	8820001	RIO CARAMAVIDA EN CARAMAVIDA	5828731	103933
88	8821001	RIO CAYUCUPIL EN CAYUCUPIL	5805636	125639
88	8821002	RIO BUTAMALAL EN BUTAMALAL	5805636	125640
88	8821003	RIO REPUTO EN REPUTO	5802283	118617
88	8822001	RIO TUCAPEL EN CAÑETE	5806822	111720
88	8822006	RIO PELECO EN PUENTE PONOTRO	5803872	111880
89	8910001	RIO LLEU-LLEU EN DESAGUE LAGO LLEU-LLEU	5772069	115103
91	9101001	RIO PUREN EN TRANAMAN	5784457	147748
91	9102001	RIO LUMACO EN LUMACO	5768572	158288
91	9104001	RIO TRAIGUEN EN VICTORIA	5763438	209229
91	9105001	RIO TRAIGUEN EN TRAIGUEN	5759710	178914
91	9106001	RIO QUINO EN LONGITUDINAL	5754877	206056
91	9107001	ESTERO CHUFQUEN EN CHUFQUEN	5754162	179132
91	9111001	RIO QUILLEN EN LONGITUDINAL	5737109	201276
91	9113001	RIO QUILLEN EN GALVARINO	5742059	170055
91	9113002	RIO QUILLEN EN BOTROLHUE	5739913	163778
91	9116001	RIO CHOLCHOL EN CHOLCHOL	5719788	164994
91	9123001	RIO CAUTIN EN RARI-RUCA	5742185	237732
91	9127001	RIO MUCO EN PUENTE MUCO	5721565	204626
91	9129002	RIO CAUTIN EN CAJON	5711796	195105
91	9129003	RIO CAUTIN BAJO TEMUCO	5703095	184622
91	9131001	RIO QUEPE EN VILCUN	5713065	219184
91	9132001	RIO QUEPE DESPUES ESTERO PUELO	5697218	199804
91	9135001	RIO QUEPE EN QUEPE	5692310	187781
91	9140001	RIO CAUTIN EN ALMAGRO	5700479	156475
91	9150001	RIO IMPERIAL EN CARAHUE	5708053	136990

Tabla E4: Estaciones de monitoreo de calidad de la Dirección General de Aguas, Ecorregión Lagos Valdivianos (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Ecorregión Lagos Valdivianos				
Código Cuenca	Código Estación	Nombre Estación	UTM Norte	UTM Este
94	9402001	RIO ALLIPEN EN MELIPEUCO	5694730	262828
94	9404001	RIO ALLIPEN EN LOS LAURELES	5677493	220373
94	9412001	RIO TRANCURA EN CURARREHUE	5639727	277445
94	9414001	RIO TRANCURA ANTES RIO LLAFENCO	5642643	257002
94	9416001	RIO LIUCURA EN LIUCURA	5650644	256084
94	9417006	LAGO CABURGA EN RIO BLANCO	5672471	267023
94	9418001	RIO PUCON EN PUCON	5649084	247628
94	9420001	RIO TOLTEN EN VILLARICA	5647770	220983
94	9423001	RIO TOLTEN EN COIPUE	5668444	201935
94	9433001	RIO PUYEHUE EN QUITRATUE	5659764	183877
94	9434001	RIO DONGUIL EN GORBEA	5663675	182006
94	9437002	RIO TOLTEN EN TEODORO SCHIDT	5673772	146441
101	10100002	RIO FUI EN DESAGUE LAGO PIRIHUEICO	5582206	252454
101	10102001	RIO LIQUINE EN LIQUINE	5598313	255555
101	10104001	RIO LLANQUIHUE ANTES LAGO PANGUIPULLI	5587250	239563
101	10105002	RIO COÑARIPE EN LAGO CALAFQUEN	5613839	240993
101	10106007	RIO MELILAHUEN EN LAGO CALAFQUEN	5624927	228516
101	10107001	RIO HUENEHUE ANTES LAGO PANGUIPULLI	5610261	222438
101	10110001	RIO ENCO EN CHANCHAN	5583161	231774
101	10111001	RIO SAN PEDRO EN DESAGUE LAGO RINIHUE	5591509	203851
101	10122001	RIO CALLE CALLE EN BALSA SAN JAVIER	5588573	159047
101	10130002	RIO CRUCES EN LONCOCHE	5635484	188565
101	10134001	RIO CRUCES EN RUCACO	5614531	164795
101	10134003	RIO CRUCES EN CAHUINCURA	5614421	151739
101	10134004	RIO CRUCES ANTE CELCO	5614504	166200
101	10137001	RIO INAQUE EN MAFIL	5601077	158089
101	10144001	RIO VALDIVIA EN TRANSBORDADOR	5581445	134953
103	10303001	LAGO MAIHUE EN RIO MELPUE	5531378	245553
103	10304001	RIO CALCURRUPE EN DESEMBOCADURA	5541432	222391
103	10304005	LAGO MAIHUE EN RIO BLANCO	5539276	241738
103	10304006	LAGO MAIHUE EN RIO CALCURRUPE	5542180	232077
103	10306001	RIO NILAHUE EN MAYAY	5535209	230483
103	10310001	RIO BUENO EN PUERTO LAPI	5537938	192176
103	10313002	RIO LLOLLELHUE ANTE RIO BUENO	5526890	150462
103	10322001	RIO GOL-GOL EN PUENTE EL GOL-GOL 2	5493857	231165
103	10322003	RIO GOL-GOL EN PUENTE N°2	5493624	231192

Tabla E4 (Continuación): Estaciones de monitoreo de calidad de la Dirección General de Aguas, Ecorregión Lagos Valdivianos (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Ecorregión Lagos Valdivianos				
Código Cuenca	Código Estación	Nombre Estación	UTM Norte	UTM Este
103	10323001	RIO PILMAIQUEN DESAGUE LAGO PUYEHUE	5490673	195483
103	10328001	RIO PILMAIQUEN EN SAN PABLO	5522094	160589
103	10330001	RIO BUENO EN TRUMAO	5524602	146016
103	10340001	RIO RAHUE EN DESAGUE LAGO RUPANCO	5478320	188517
103	10343001	RIO COIHUECO ANTES JUNTA PICHICOPE	5461734	189852
103	10344002	RIO RAHUE EN CHANCHAN	5489462	151280
103	10356001	RIO NEGRO EN CHAHUILCO	5484203	143560
103	10362001	RIO DAMAS EN TACAMO	5494080	157398
103	10362002	RIO DAMAS EN PUENTE RUTA 5	5499264	153332
103	10364001	RIO RAHUE EN FORRAHUE	5504781	138476
104	10405002	RIO HUEYUSCA EN CAMARONES	5450044	113212
104	10411002	RIO NEGRO EN LAS LOMAS	5416804	661662
104	10414001	RIO MAULLIN EN LAS QUEMAS	5415223	649080
104	10432001	RIO CHAMIZA EN PUENTE CHAMIZA	5405239	680895
104	10454001	RIO PETROHUE EN DESAGUE LAGO TODOS LOS SANTOS	5443145	716845
104	10461000	RIO COCHAMO ANTE JUNTA RIO DEL ESTE	5403867	730137
109	10904001	RIO GRANDE EN SAN PEDRO	5305837	593879
109	10904004	RIO PUNTRA EN CAMINO ANCUD-CASTRO (CA)	5329008	604606
109	10906003	RIO BRAVO EN PUENTE MILILDEO N 1	5271879	586003

Tabla E5: Estaciones de monitoreo de calidad de la Dirección General de Aguas, Ecorregión Patagonia (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Ecorregión Patagonia				
Código Cuenca	Código Estación	Nombre Estación	UTM Norte	UTM Este
105	10520001	RIO PUELO EN DESAGUE LAGO TAGUA TAGUA	5386364	735765
107	10702002	RIO FUTALEUFU EN LA FRONTERA	5216074	276111
107	10711001	RIO YELCHO EN DESGUE LAGO YELCHO (CA)	5215582	707241
110	11020005	RIO PALENA EN LA FRONTERA	5170411	278473
110	11022001	RIO TRANQUILO EN CARRETERA AUSTRAL	4834689	678663
111	11144001	RIO CISNE EN PUENTE CARRETERA AUSTRAL (C	5046468	721842
111	11147002	RIO GRANDE EN CARRETERA AUSTRAL	5052873	716109
113	11302001	RIO ÑIREGUAO EN VILLA MAÑIGUALES	4996248	726669
113	11303002	RIO TOQUI 200 M.A.AB. PTA. HIDROELECTRIC	5013142	720693
113	11305001	RIO GNIREHUAO ANTES JUNTA RIO MAGNIHUALE	4987355	715870

Tabla E5 (Continuación): Estaciones de monitoreo de calidad de la Dirección General de Aguas, Ecorregión Patagonia (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Ecorregión Patagonia				
Código Cuenca	Código Estación	Nombre Estación	UTM Norte	UTM Este
113	11307001	RIO EMPERADOR GUILLERMO ANTES JUNTA MAÑIGUALES	4987311	717180
113	11308002	RIO MAÑIHUALES EN PUENTE N 2	4983696	714436
113	11310002	RIO OSCURO EN CAMINO CERRO PORTEZUELO	4912630	289951
113	11315001	RIO CLARO EN PISICULTURA	4949864	727611
113	11315005	RIO CLARO 800 M.A,ARRIBA PTE. RAMON OSSE	4948059	726241
113	11316001	RIO COYHAIQUE EN TEJAS VERDES	4949721	731513
113	11317002	RIO SIMPSON EN P. ENTEL A.AB. DE COYHAIQ	4951667	728977
113	11317003	RIO SIMPSON EN PTE. O.MONDACA A.AB.COYHA	4951667	728977
113	11335001	RIO BLANCO BAJO JUNTA RIESCO	4955057	682195
113	11336001	DESAGUE LAGO RIESCO	4958760	682303
113	11337001	RIO BLANCO ANTES JUNTA RIO AYSEN	4969717	687844
113	11342001	RIO AYSEN EN PUERTO AYSEN	4969122	686020
115	11505001	RIO IBAÑEZ EN DESEMBOCADURA	4871599	269532
115	11514001	RIO MURTA EN DESEMBOCADURA	4855136	676705
115	11514002	RIO ENGAÑO EN CARRETERA AUSTRAL	4853806	673527
115	11516001	RIO LOS LEONES EN CARRETERA AUSTRAL	4823977	664322
115	11517001	DESAGUE LAGO GENERAL CARRERA	4792457	664727
115	11520002	RIO JEINIMENI EN CHILE CHICO	4837552	295648
115	11521001	RIO EL BAGNO EN CHILE CHICO	4840433	278325
115	11521004	RIO AVILES EN CARRETERA	4836619	712544
115	11522000	RIO MAITENES EN CARRETERA	4820238	689533
115	11530000	RIO BAKER EN DESAGUE LAGO BERTRAND	4784979	667053
115	11533002	RIO NEF ANTE JUNTA BAKER	4778609	668328
115	11535000	RIO DUNA EN CARRETERA	4817195	683026
115	11535001	RIO CHACABUCO EN CARRETERA AUSTRAL	4779630	681877
115	11536004	RIO BAKER EN ANGOSTURA CHACABUCO	4776513	672442
115	11536006	RIO COCHRANE EN NACIMIENTO	4764521	686821
115	11539000	RIO BAKER EN LA Balsa	4769597	679569
115	11539001	RIO COCHRANE EN CARRETERA	4763537	682708
115	11539002	RIO EL SALTO EN PASARELA	4759458	674573
115	11539003	RIO BAKER BAJO COCHRANE SOBRE SALTO	4761020	674009
115	11544000	RIO ÑADIS BAJO BARRANCOSO	4737117	658395
115	11545000	RIO BAKER BAJO ÑADIS	4737181	652514
115	11548000	RIO JARAMILLO EN CARRETERA	4715583	646673
115	11548001	DESAGUE LAGO VARGAS EN CARRETERA AUSTRAL	4713254	634419
115	11549000	RIO BAKER EN KM 110	4707220	620850

Tabla E5 (Continuación): Estaciones de monitoreo de calidad de la Dirección General de Aguas, Ecorregión Patagonia (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Ecorregión Patagonia				
Código Cuenca	Código Estación	Nombre Estación	UTM Norte	UTM Este
122	12280002	RIO PAINE EN PARQUE NACIONAL 2	4352156	655031
122	12284002	RIO BAGUALES EN CERRO GUIDO	4343295	255250
122	12284003	RIO VIZCACHAS EN CERRO GUIDO	4342232	255349
122	12284005	RIO DON GUILLERMO EN CERRO CASTILLO	4317395	675575
122	12284006	RIO LAS CHINAS EN CERRO GUIDO	4341472	674041
122	12284007	RIO LAS CHINAS ANTES DESAGUE DEL TORO	4319328	673313
122	12285001	RIO CHORRILLOS TRES PASOS RUTA N 9	4296970	676034
122	12285003	RIO TRES PASOS EN DESAGUE LAGO TORO	4312926	665848
122	12286002	RIO RINCON	4312913	651295
122	12287001	RIO GREY ANTES JUNTA SERRANO	4327802	638621
122	12289001	RIO SERRANO EN DESEMBOCADURA	4311353	631728
122	12289002	RIO SERRANO EN DESAGUE LAGO DEL TORO	4325788	644393
122	12291001	RIO PRAT EN DESEMBOCADURA	4285564	657037
124	12400003	RIO TRANQUILO EN RUTA N° 9	4254674	695782
124	12400004	RIO HOLLEMBERG EN DESEMBOCADURA	4246209	677236
124	12448001	RIO GRANDE EN ISLA RIESCO	4124151	307352
124	12452001	RIO PEREZ EN DESEMBOCADURA	4173599	298306
126	12600001	RIO RUBENS EN RUTA N 9	4231420	298218
126	12622001	RIO PENITENTE EN MORRO CHICO	4230382	333735
126	12660001	RIO CI-AIKE ANTES FRONTERA	4233524	427431
128	12802001	RIO SIDE EN CERRO SOMBRERO	4153373	481295
128	12805001	RIO OSCAR EN BAHIA SAN FELIPE	4144058	449247
128	12806001	RIO ORO EN BAHIA SAN FELIPE	4144351	439758
128	12806002	RIO ORO EN BAQUEDANO AG.ARR. MINEROS (CA)	4097653	447752
128	12806003	RIO ORO BAQUEDANO AG.AB. MINEROS (CA)	4095810	448884
128	12808000	R. CHORRILLOS AFLUENTE R. VERDE AGUAS ARRIBA MINERO	4096916	437848
128	12808001	R. CHORRILLO AFLUENTE R. VERDE AGUAS ABAJO MINEROS	4102694	437773
128	12808002	R. VERDE AGUAS ARRIBA MINEROS	4095823	430360
128	12808003	RIO VERDE AGUAS ABAJO MINEROS	4109713	429117
128	12820001	RIO CALETA EN TIERRA DEL FUEGO	4031619	434299
128	12825002	RIO AZOPARDO EN DESEMBOCADURA	3960392	511369
128	12860001	RIO PARAGUAYA EN ESTANCIA MARIA EMILIA	4147506	524448
128	12861001	RIO CULLEN EN FRONTERA	4144753	524808
128	12863002	RIO SAN MARTIN EN SAN SEBASTIAN	4092350	523243
128	12865001	RIO CHICO EN RUTA Y-895	4067083	520487

Tabla E5 (Continuación): Estaciones de monitoreo de calidad de la Dirección General de Aguas, Ecorregión Patagonia (Fuente: División de Estudios, MMA, 2012).

Ecorregión Patagonia				
Código Cuenca	Código Estación	Nombre Estación	UTM Norte	UTM Este
128	12872001	RIO HERMINITA EN RUTA Y-895	4037934	521568
128	12876001	RIO GRANDE EN TIERRA DEL FUEGO	4028273	507594
128	12876004	RIO CATALINA EN PAMPA GUANACOS	4011756	513261
128	12878001	RIO RASMUSSEN EN FRONTERA (ESTANCIA VICUÑA)	4014285	522751