GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
DEPARTAMENTO DE CONSERVACIÓN
Y PROTECCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

ANALISIS CRÍTICO DE LA RED DE CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS DE LA DGA

REALIZADO POR

INFRAESTRUCTURA Y ECOLOGÍA S.A.

S.I.T N° 337

SANTIAGO, MAYO, 2014

Ministro de Obras Públicas
Sr. Alberto Undurraga Vicuña

Director General de Aguas
Sr. Carlos Estévez Valencia

Jefe Departamento de Conservación y Proyección de Recursos Hídricos
Sra. Mónica Musalem Jara

Inspector Fiscal Sr. Diego San Miguel Cornejo

Profesionales Participantes

Srta. Marysol Azócar Gutiérrez
Sra. Cinthya Montecinos Soto

<u>NOMBRE CONSULTORES :</u>
Jefe Proyecto
Sr. Pedro Aranzadi Cortina

Profesionales:
Sr. Claudio Reyes Hurtado
Sr. Gabriel Martin Zuñiga
Sr. Mariano Cebrián del Moral
Sr. Juan Escos Quilez
Sra. Érika Villanueva
Sra. Virginia Carter
Sr. Joaquín Soler

INDICE DE CONTENIDOS

I. INTRODUCCIÓN I-1

I.1 Antecedentes generales I-1

I.2 Propuesta de reformulación de la Red de Calidad de Aguas I-2

II. OBJETIVOS II-1

II.1 Objetivo General II-1

II.2 Objetivos Específicos II-1

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA III-1

III.1 Bibliografía Nacional III-2

III.1.1 Análisis Crítico de la Red Fluviométrica Nacional, Red de Calidad de Aguas, DGA − BF Ingenieros Civiles, 1984. ..... III-2

III.1.2 Diagnóstico y Clasificación de Cursos y Cuerpos de Agua Según Objetivos de Calidad, DGA − CADE-IDEPE, 2004. ..... III-6

III.1.3 Diagnóstico y Clasificación de Sectores Acuíferos, DGA - Geohidrología Consultores Ltda., 2009 ..... III-9

III.1.4 Redefinición de la Red Mínima de Lagos, DGA − POCH Ambiental S.A., 2009. ..... III-11

III.1.5 Propuesta de Utilización de Biocriterios para la Implementación y Monitoreo de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental III-12

III.2 Bibliografía Internacional III-13

III.2.1 Organización Mundial de la Salud III-13

III.2.2 Experiencia en Europa (Unión Europea) III-15

III.2.3 Experiencia en Estados Unidos III-21

III.2.4 Experiencia en Canadá III-22

III.2.5 Experiencia en Nueva Zelanda III-23

III.2.6 Experiencia en Perú III-25

III.3 Diseño y Explotación de Redes de Control de Calidad de Aguas (MIMAM 2007) III-27
III.3.1 Antecedentes generales III-27
III.3.2 Objetivos de la Red III-31
III.3.3 Programa de Control III-32
III.3.4 Evaluación y presentación de resultados III-37
III.3.5 Gestión III-37
III.3.6 Rediseño del programa de control III-38
IV. ESTADO ACTUAL DE LA RED DE CALIDAD DE AGUAS IV-1
IV.1 Descripción de la Red Actual de Calidad de Aguas IV-1
IV.1.1 Proceso de obtención de datos IV-1
IV.1.2 Estaciones de monitoreo IV-3
IV.1.3 Medición de parámetros in situ y Toma de muestras en terreno IV-5
IV.1.4 Preservación de muestras y envío a laboratorio ambiental de la DGA IV-5
IV.1.5 Ingreso de muestras y almacenamiento IV-5
IV.1.6 Análisis de muestras en laboratorio IV-6
IV.1.7 Ingreso de resultados de análisis de muestras al Banco Nacional del Agua IV-7
IV.1.8 Acceso de la información mediante el CIRH IV-7
IV.2 Análisis estadístico de registros históricos IV-8
IV.3 Comentarios generales IV-16
V. USOS Y PRESIONES SOBRE EL AGUA V-1
V.1 Caracterización de usos y presiones del agua V-1
V.2 Usos del agua V-2
V.2.1 Usos del agua V-2
V.2.2 Identificación de usos por subcuenca V-2
V.2.3 Determinación de usos significativos a nivel de subcuenca V-6

V.3 Presiones sobre el agua V-8
V.3.1 Presiones sobre el agua V-8
V.3.2 Identificación de presiones por subcuenca V-10
V.3.3 Clasificación de presiones V-16
V.3.4 Determinación de presiones significativas por subcuenca 20
VI. PROPUESTA DE REFORMULACIÓN DE LA RED DE CALIDAD DE AGUAS .. VI-1
VI.1 Antecedentes Generales VI-1
VI.2 Metodología VI-2
VI.3 Objetivos y Requisitos de la Red VI-3
VI.3.1 Objetivos VI-3
VI.3.1.1 Objetivo General VI-3
VI.3.1.2 Objetivos específicos de la Red de Calidad de Aguas Superficiales VI-3
VI.3.1.3 Objetivos específicos de la Red de Calidad de Aguas Subterráneas VI-4
VI.3.2 Requisitos VI-4
VI.3.2.1 Información necesaria VI-5
VI.3.2.2 Recursos disponibles VI-6
VI.3.3 Definición de estrategia VI-6
VI.4 Programa de Control VI-7
VI.4.1 Diseño VI-7
VI.4.2 Criterios estadísticos del diseño VI-7
VI.4.2.1 Tamaño muestral VI-7
VI.4.2.2 Ubicación de los puntos de monitoreo VI-9
VI.4.2.3 Tipos de estaciones de monitoreo VI-9
VI.4.2.4 Frecuencia de muestreo VI-11
VI.4.3 Criterios de Explotación de la Red VI-11
VI.4.3.1 Parámetros VI-11

VI.4.3.2 Protocolos de muestreo VI-22
VI.4.3.3 Protocolos de análisis de muestras en laboratorio VI-23
VI.4.3.4 Tratamiento de información VI-23
VI.5 Comentarios a la propuesta de reformulación VI-24
VI.5.1 Rol de las redes de calidad de aguas VI-24
VI.5.2 Propuestas de mejoras en el tiempo VI-24
VI.5.2.1 Laboratorio ambiental de la DGA VI-24
VI.5.2.2 Medición de parámetros in situ VI-25
VI.5.2.3 Incorporación de parámetros biológicos como biondicadores VI-28
VII. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS VII-1
VII.1 Estado Actual de la Red VII-1
VII.2 Propuesta de reformulación de la Red VII-3
VIII. BIBLIOGRAFÍA VIII-1
VIII.1 Normativa nacional VIII-1
VIII.2 Normas Secundarias de Calidad Ambiental VIII-1
VIII.3 Estudios de referencia nacional VIII-2
VIII.4 Documentos internacionales VIII-2
VIII.4.1 Normativa europea VIII-2
VIII.4.2 Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) y Best Available Techniques (BAT) VIII-3
VIII.4.3 Normativa internacional VIII-3
IX. ANEXOS IX-1
IX.1 Red de calidad de aguas IX-1
IX.2 Usos y presiones de el agua IX-1
IX.3 Análisis estadístico del registro de mediciones de la red IX-1
IX.4 Documentos IX-1

INDICE DE TABLAS

CAPÍTULO III

Tabla III 1. Cuadro comparativo de estaciones existentes, estaciones propuestas por BF Ing. Civiles (1984) y estaciones de la red actual..... III-5

Tabla III 2. Cuadro comparativo de estaciones propuestas por CADE-IDEPE (2004) y estaciones de la red actual..... III-7

Tabla III 3. Comparación entre modelos probabilístico y determinista.....III-34

CAPÍTULO IV

Tabla IV 1. Distribución de estaciones de calidad de aguas a nivel nacional..... IV-3

Tabla IV 2. Frecuencia de estaciones por cuenca hidrográfica..... IV-5

Tabla IV 3. Analitos contemplados en la Red de Calidad de Aguas..... IV-6

Tabla IV 4. Clasificación de datos en grupos a nivel nacional IV-11

Tabla IV 5. Porcentaje de outliers respecto del total de registros IV-15

CAPÍTULO V

Tabla V 1. Recopilación de antecedentes de usos del agua V-3

Tabla V 2. Captaciones de agua potable a nivel nacional..... V-4

Tabla V 3. Superficie agrícola a nivel nacional V-4

Tabla V 4. Cobertura de humedales a nivel nacional. V-6

Tabla V 5. Rangos de clasificación de intensidad de usos por subcuenca V-7

Tabla V 6. Estadísticas de intensidad de uso por subcuenca V-8

Tabla V 7. Resumen de PRESIONES directas, indirectas y por regulación identificadasV-10

Tabla V 8. Descargas autorizadas por la SISS..... V-12

Tabla V 9. Frecuencia de proyectos con EIA aprobado en el SEIA..... V-13

Tabla V 10. Distribución de Estudios aprobados en el SEIA..... V-14

Tabla V 11. Frecuencia de proyectos con EIA aprobado en el SEIA V-14

Tabla V 12. Frecuencia de proyectos con EIA aprobado en el SEIA V-15

Tabla V 13. Frecuencia de proyectos hidroeléctricos en el país..... V-15

Tabla V 14. Porcentaje de coberturas de áreas urbanas, agrícolas y forestales V-16

Tabla V 15. Tipos de PRESIONES 17

Tabla V 16. Número de Presiones por Tipo identificadas en el país 19

Tabla V 17. Rangos de presiones puntuales (número de proyectos por subcuenca) 21

Tabla V 18. Rangos de presiones territoriales (porcentaje de superficie por subcuenca)V-22

Tabla V 19. Número de Presiones por Zona identificadas en el país V-22

Tabla V 20. Número de subcuencas con presiones significativas..... V-23

CAPÍTULO VI

Tabla VI 1. Tabla resumen de estaciones de calidad actuales y propuestas, para aguas superficiales y subterráneas VI-8

Tabla VI 2. Estaciones de calidad de agua según continuidad del monitoreo (Permanentes o eventuales)..... VI-10

Tabla VI 3. Parámetros base VI-12

Tabla VI 4. Parámetros según uso (Requerimientos de calidad) VI-14

Tabla VI 5. Parámetros según presión (impactos) 17

Tabla VI 6. Reglas para la definición de frecuencia de medición por parámetro en una subcuenca para estaciones de observación y seguimiento VI-21

INDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO III

Figura III 1. Fases para el diseño de una estrategia de control de calidad de aguas..III-30

CAPÍTULO IV

Figura IV 1. Ciclo del proceso de obtención de datos de la Red de calidad de aguas ... IV-2

Figura IV 2. Distribución de estaciones de monitoreo a lo largo del país..... IV-4

CAPÍTULO V

Figura V 1. Esquema de presiones y usos en una cuenca hidrográfica..... V-1

INDICE DE GRÁFICOS

CAPÍTULO IV

Gráfico IV 1. Total de parámetros clasificados en el Grupo 1 ..... IV-12

Agradecimientos

El equipo profesional a cargo de este proyecto agradece la colaboración en la entrega de información, comentarios y revisiones de la contraparte técnica, así como el aporte de información específica por parte de la Superintendencia de Servicios Sanitarios, y especialmente a los participantes del panel de expertos, entre ellos el Sr. Hernán Latuz, del Ministerio de Medio Ambiente, y la Sra. Isel Cortés, del Centro Nacional del Medio Ambiente.

Presentación

El presente informe da cuenta del trabajo realizado entre los meses de abril de 2013 y mayo de 2014, en el cual participaron especialistas de INFRAESTRUCTURA Y ECOLOGÍA de España y de Chile, combinando el conocimiento de la realidad nacional con la experiencia del equipo en la implementación de la Directiva Marco Europea.

El análisis crítico y propuesta de reformulación de la Red de Calidad de Aguas se basa en el documento "Manual de Diseño de los Programas de Control del Estado de las Aguas Continentales Superficiales", preparado a fines del año 2006 por el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Medio Marino de España. Este documento hace las veces de marco conceptual, y ha sido adaptado a la realidad nacional y funciones de la Dirección General de Aguas.

En este contexto, se llevó a cabo el ejercicio de proponer una reformulación de la Red de Calidad de Aguas nacional, a nivel nacional y en detalle para 100 subcuencas del país. Este ejercicio no busca ser taxativo, pero sí espera constituir una primera aproximación estructural al monitoreo de las aguas superficiales y subterráneas en el país.

I. INTRODUCCIÓN

I.1 Antecedentes generales

Durante la presente década, Chile se ha planteado el gran desafío de alcanzar el desarrollo, lo cual requiere de un crecimiento sostenido de la economía chilena, y por ende de los diversos sectores productivos del país (MOP 2012), con el consecuente aumento de la demanda por el recurso hídrico (presiones) y de las fuentes de contaminación asociadas a estos (impactos).

En Chile, a diferencia de otros países de América del Sur, los sistemas hidrográficos se caracterizan por el reducido tamaño de las cuencas y el corto recorrido y fuerte pendientes de los ríos, características que contribuyen a que los problemas de contaminación tengan un ámbito espacial más acotado, debido a los cortos periodos de residencia en las aguas, lo que favorece los procesos de auto purificación de los cauces (Banco Mundial, 2011). No obstante lo anterior, se ha descrito que la escasa disponibilidad de las aguas y la alta magnitud relativa de las extracciones desde la Región Metropolitana al norte, determina que la capacidad de dilución de contaminantes sea baja y que se tenga una mayor vulnerabilidad frente a los procesos de contaminación (Peña y Salazar, 1993). Por su parte, los lagos costeros son particularmente vulnerables a la contaminación, pues se comportan como sumideros de los contaminantes que llegan desde aguas arriba (Contreras, 2010), al igual que los Acuíferos que en Chile son principalmente libres o semi-confinados, con baja presencia de finos y poco profundos en las partes medias y bajas de las cuencas (Salazar, 2003). Lo antes señalado, determina la importancia de contar con datos sistemáticos, que permitan una evaluación exacta y detallada del alcance de los problemas de contaminación de cada sistema para así lograr una correcta gestión de los recursos hídricos.

El Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos, a través del Laboratorio Ambiental, tiene a su cargo la ejecución y control de la calidad de los recursos hídricos mediante la operación del a red de aguas superficiales y subterráneas,

cuyo objetivo es caracterizar la calidad del recurso hídrico. Actualmente, dicha red abarca gran parte del territorio nacional, incluyendo un total de 452 estaciones de monitoreo distribuidas en 61 cuencas, que entregan información de parámetros físicos y químicos de la calidad del agua con una frecuencia cuatrimestral. No obstante, aún existen áreas del territorio para las cuales no se dispone de información de calidad del agua (Banco Mundial, 2011). Adicionalmente, la red considera un conjunto limitado de parámetros (op. cit.), que además son medidos homogéneamente en todas las estaciones de muestreo, sin considerar las distintas necesidades de información para cada una de las cuencas, las que a su vez están determinadas por los impactos y presiones locales.

I.2 Propuesta de reformulación de la Red de Calidad de Aguas

Si bien la red de calidad de agua superficial y subterránea de Chile ha sido evaluada anteriormente, los impactos y presiones sobre los recursos hídricos son factores cambiantes en su forma y magnitud, tanto a nivel espacial como temporal. Lo anterior hace necesaria una evaluación periódica de la efectividad de la red de calidad de agua, asegurando una constante optimización de esta. El presente estudio responde a esta necesidad dando cuenta del análisis crítico de la red de calidad de aguas superficiales, evaluándola desde el punto de vista de la cantidad de parámetros, frecuencia de monitoreo y localización y número de estaciones a lo largo del país.

El presente documento corresponde al Informe final del estudio denominado "Análisis Crítico de la Red de Calidad de Aguas Superficiales y Subterráneas de la DGA". El informe da cuenta del diagnóstico de la Red de Calidad de Aguas actual, a partir de un análisis estadístico de las series de datos de monitoreo y de las características actuales del territorio nacional a nivel de cuencas hidrográficas; y de una propuesta de reformulación de la Red de Calidad de Aguas, donde se establecen los criterios generales y comunes para definir las estaciones, parámetros y frecuencia de monitoreo en todo el territorio nacional continental.

II. OBJETIVOS

II.1 Objetivo General

El objetivo general del estudio es reformular la red de calidad de aguas superficiales y subterráneas de la DGA a través del análisis crítico de los datos históricos.

II.2 Objetivos Específicos

1. Revisión de la bibliografía nacional e internacional relacionada con la definición de las redes de calidad de agua.
2. Determinar los parámetros relevantes de las cuencas que pueden condicionar actualmente la calidad de las aguas, por ejemplo presiones antrópicas, uso del recurso, naturaleza de la cuenca.
3. Realizar un análisis estadístico de la información histórica de la red de calidad de aguas superficiales de todo Chile, indicando los parámetros relevantes a considerar.
4. Entrega de la reformulación de la red de monitoreo a nivel nacional, la cual se besará en el análisis estadístico y conocimiento de las características relevantes de la cuenca que pueden condicionar la calidad de las aguas.
5. Difusión de los resultados.

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En este capítulo se presenta una revisión de estudios preliminares a nivel nacional, que incluyen los siguientes trabajos:

- Análisis Crítico de la Red Fluviométrica Nacional, Red de Calidad de Aguas, DGA – BF Ingenieros Civiles, 1984.
- Diagnóstico y Clasificación de Cursos y Cuerpos de Agua Según Objetivos de Calidad, DGA – CADE-IDEPE, 2004.
- Diagnóstico y Clasificación de Sectores Acuíferos, DGA - Geohidrología Consultores Ltda., 2009
- Redefinición de la Red Mínima de Lagos, DGA – POCH Ambiental S.A., 2009.
- Propuesta de Utilización de Biocriterios para la Implementación y Monitoreo de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental

Se revisó además antecedentes de regulación y seguimiento de calidad de las aguas a nivel mundial, en particular según lo establecido en la Comunidad Económica Europea (a través de la Directiva Marco); Estados Unidos, Canadá, Nueza Zelanda y Perú.

Finalmente, se incluye una reseña de lo indicado en el Manual para el diseño y la explotación de las redes de control de la calidad de las aguas, del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Medio Marino de España, año 2007.

III.1 Bibliografía Nacional

El Código de Aguas define, en su Artículo Nº 299, las atribuciones y funciones de la Dirección General de Aguas (DGA), incluyéndose entre otras la labor de investigar y medir el recurso hídrico. Como parte de esta tarea, el Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos, a través del Laboratorio Ambiental, tiene a su cargo la ejecución y control de la calidad de los recursos hídricos mediante la operación de la red de aguas superficiales y subterráneas, cuyo fin es caracterizar la calidad de las aguas continentales en el territorio nacional.

Por otra parte, la Dirección General de Aguas ha generado, a través de instituciones u organismos competentes en la materia, investigaciones y estudios enfocados en el análisis del funcionamiento de la red de calidad de agua y su optimización, basándose en la información generada por esta misma y en la información relacionada al desarrollo de cada cuenca. A continuación se revisan los estudios relacionados con la red de calidad de aguas, señalado sus objetivos, metodología utilizada, principales resultados y conclusiones, así como también un breve análisis de sus principales aportes y falencias, las que podrán ser consideradas en el presente estudio.

III.1.1 Análisis Crítico de la Red Fluviométrica Nacional, Red de Calidad de Aguas, DGA – BF Ingenieros Civiles, 1984.

Uno de los estudios más relevantes enfocados en el análisis del funcionamiento de la red de calidad de agua, es el desarrollado por BF Ingenieros Civiles en 1984, denominado "Análisis Crítico de la Red Fluviométrica Nacional, Red de Calidad de Aguas". Este estudio tuvo como objetivo general el efectuar un análisis crítico de la red actual de medición de calidad de aguas y proponer una red primaria de estaciones de muestreo para cada región administrativa del país, excluyendo a las Regiones XI y XII. El Estudio se dividió en 4 Informes que abarcaron de manera segmentada el análisis crítico de la red, incluyendo las cuencas de la I y II Regiones, III, IV y V Regiones, VI y VII Regiones y, finalmente, las VIII, IX y X Regiones.

El estudio consideró la aplicación de la misma metodología para cada una de las regiones evaluadas, la que como primer paso incluyó una recopilación de los antecedentes de calidad del agua por región. De los antecedentes revisados, sólo la DGA disponía de información sistemática de calidad del agua, mientras que las demás fuentes fueron solo utilizadas principalmente como antecedente y criterio para la ubicación de la estaciones de muestreo y recomendación de parámetros a ser analizados. La información obtenida de la red de calidad de la DGA fue analizada en términos de la continuidad y frecuencia de los muestreos.

Por otra parte, se consideró el grado de desarrollo existente de cada cuenca, especialmente en relación con: desarrollo urbano, fuentes de agua potable, desarrollo industrial y minero, desarrollo agrícola y desarrollo turístico, además del caudal de cada río y el número de hectáreas regadas.

Con la información recopilada, sobre la calidad del agua y el desarrollo en las cuencas, se hizo una estimación preliminar de las características del agua en su estado natural y del efecto que la actividad del hombre tiene sobre ella. En base a lo anterior se propuso la nómina de estaciones para la red mínima (primaria), justificando su ubicación y grado de prioridad para su instalación, además de los parámetros y frecuencia de muestreo en el mediano plazo.

La ubicación de las estaciones propuestas para la red primaria de calidad, se determinó en base a su objetivo de medición, clasificándolas entre "estación base" o "estación impacto". El objetivo de medición de una "estación base" es determinar la calidad natural del agua en su estado natural, por lo que se deberá localizar en las cabeceras de los ríos, aguas arriba de los principales desarrollos agrícolas, urbanos o minero-industriales y aguas arriba de los puntos de confluencia de tributarios que afectan la calidad del agua. Por otra parte, el objetivo de una "estación impacto" es mantener bajo observación fuentes de contaminantes, y por tanto se determinó que estas se ubicarían aguas abajo de las descargas pero aguas arriba de otras que puedan producir interferencia en la medición.

La elección de los parámetros de calidad de agua propuestos se llevo a cabo considerando el objetivo de la red, las particularidades locales y las necesidades de información para el manejo y planificación de cada cuenca, así como también se consideró

las limitantes relacionadas con la imposibilidad de preservación de ciertos parámetros, lo que imposibilita el proceso de traslado y análisis de laboratorio dentro de los tiempos necesarios.

La propuesta de frecuencia de muestreo consideró las posibles variaciones de la calidad del agua debido a causas cíclicas, además de los factores: caudal del río y superficie de la hoya. Por último, considerando que la implementación de una red de calidad de agua implica altos costos económicos, se proponen estaciones de primera y segunda prioridad. Las de primera prioridad corresponden a aquellas estaciones que deben entrar en operación de forma inmediata, mientras que las estaciones de segunda prioridad son aquellas cuya operación puede postergarse.

Como resultado de este estudio, se propuso una red de calidad de aguas que incluyó estaciones base y estaciones de impacto, así como también estaciones de primera y segunda prioridad, justificando para cada una de ellas la ubicación propuesta y la prioridad asignada. Una vez definida la red propuesta se entregan recomendaciones respecto de los parámetros a analizar en cada estación y la frecuencia de muestreo en el mediano plazo. Se propone también una frecuencia a largo plazo, señalando que esta podría experimentar variaciones según lo que los datos de la red propuesta aconsejen luego de su operación. Finalmente, se entrega una estimación preliminar de los costos de operación de la red propuesta.

En términos generales, la red propuesta por BF Ingenieros civiles (1984) reduce el número de estaciones en alrededor de un 82%, respecto del número de la red existente a la fecha de realización del estudio, disminuyendo de un total de 1.340 estaciones a 239 estaciones, como suma de todas las regiones evaluadas (

Tabla III-1). Por otra parte, el número total de estaciones propuesto por BF Ingenieros civiles, es menor al número de estaciones que monitorea la red actualmente.

No obstante lo anterior, el estudio realizado por BF Ingenieros Civiles no incluye todas las regiones administrativas del país, quedando fuera dos de las regiones con mayor cantidad de recursos hídricos albergados en forma de sistemas acuáticos continentales, tales como ríos y lagos. Por otra parte, gran parte de la información de calidad de agua no presentaba cobertura temporal y espacial suficiente o se presentaba de

manera discontinua, lo que imposibilitó en ocasiones el correcto análisis de la red existente. Sin embargo, el estudio realizado cumplió con el objetivo principal de llevar a cabo un análisis crítico de la red existente a la fecha y dio como resultado una propuesta contundente de una red primaria y una secundaria de calidad de agua, que incluyó incluso los costos asociados a su implementación.

Tabla III-1. Cuadro comparativo de estaciones existentes, estaciones propuestas por BF Ing. Civiles (1984) y estaciones de la red actual.

REGIÓN		Nº ESTACIONES RED EXISTENTE HASTA 1984	Nº ESTACIONES PROPUESTAS (BF ING. CIVILES)**	Nº ESTACIONES ACTUALES**
I	XV*	285	24	17
	I			17
II		186	16	21
III		147	14	29
IV		195	33	52
V		92	22	28
VI		100	12	25
VII		137	19	31
VIII		72	33	36
IX		36	18	22
X	XIV*	25	27	21
	X			24
XI		-	-	39
XII		-	-	50
RM		65	21	40
TOTAL		**1.340**	**239**	**452**

Fuente: Elaboración propia. (*) Las estaciones XV y XIV fueron creadas a partir del año 2007, por lo que se incluyen en las regiones I y X, respectivamente, donde se encontraban incluidas hasta su creación. (**) El estudio no incluyó a las Regiones XI y XII.

III.1.2 Diagnóstico y Clasificación de Cursos y Cuerpos de Agua Según Objetivos de Calidad, DGA – CADE-IDEPE, 2004.

Otro estudio de relevancia es el realizado por CADE-IDEPE Consultores en el año 2004, denominado "Diagnóstico y Clasificación de Cursos y Cuerpos de Agua Según Objetivos de Calidad". El objetivo principal de este estudio fue establecer un procedimiento para clasificar los cursos de agua superficiales de acuerdo a las instrucciones para la dictación de Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales contenidas en el Instructivo Presidencial (en adelante, IP), como también su aplicación en las cuencas prioritarias del país. Como parte de los objetivos específicos se incluye, entre otros, el diseñar un plan de monitoreo futuro o estándar.

El "Programa de Monitoreo Futuro" propuesto por CADE-IDEPE tiene como objetivo el verificar la norma secundaria y considera como base que las mediciones se efectuarán como complemento a la red de calidad de agua existente de la DGA. Lo anterior resulta en la definición de parámetros adicionales en cada estación existente y en la adición de nuevas estaciones sólo en los casos que se consideró estrictamente necesario. Según lo señalado en el IP, la frecuencia mínima del muestreo corresponderá a los cuatro periodos estacionales: verano, otoño, invierno y primavera.

El diseño de la red de monitoreo propuesta consideró los siguientes criterios:

i. *Localización de las estaciones de muestreo*: Se plantea llegar a un consenso en el criterio técnico para su determinación entre todos los interesados en los usos prioritarios, respecto a la escala espacial a emplear y para definir cuando un tributario es relevante por su aporte, ya sea desde el punto de vista hidráulico y/o de flujo másico de un contaminante en particular.

ii. *Categorías de estaciones de monitoreo*: Se definen dos categorías de estaciones de monitoreo. La primera categoría corresponde estaciones Fijas o Permanentes (Base), cuyo objetivo es determinar la calidad de agua, para utilizarla como patrón de comparación frente a la calidad resultante de los factores antrópicos incidentes. Para este tipo de estaciones suelen monitorearse tendencias a largo plazo de una serie significativa de parámetros de calidad de agua, asociados a la preservación de usos prioritarios. Por otra parte, la segunda categoría corresponde a estaciones Transitorias, las que tienen por finalidad el seguimiento

de un número menor de parámetros de calidad, por periodos acotados de tiempo. Estas últimas son las flexibles, pues su ubicación puede modificarse en función de los resultados de las primeras campañas, al igual que puede reducirse su cantidad si se observa que con menor número de estaciones se sigue cumpliendo con los objetivos del estudio para los contaminantes priorizados en el cauce. Por las características mencionadas, las estaciones temporales, son útiles en la determinación de la existencia y localización de fuentes puntuales y cuantificación de sus efectos ambientales (severidad), en especial en el ámbito espacial.

iii. *Densidad de la red de monitoreo*: Se consideró la experiencia europea como criterio de diseño mínimo. Según ésta última una red de monitoreo básica debiera considerar una densidad de al menos 1 estación cada 2.000 Km^2, mientras que una red de impacto[1], relaciona la densidad de las estaciones con la densidad poblacional de las zonas que se pretende evaluar.

La red propuesta por CADE-IDEPE, consideró sólo 33 cuencas, determinadas como prioritarias. Según muestra la Tabla III-2, la propuesta de este estudio respecto del número de estaciones resulta en un mayor número total de estaciones en comparación con la red existente a la fecha de realización del análisis. Por el contrario, el número propuesto por CADE-IDEPE, es menor al número de estaciones actualmente incluidas en la Red de Calidad de Agua, para las cuencas incluidas en el estudio. Cabe destacar, que el estudio antes mencionado no incluyó a los cuerpos lénticos, lo cual podría determinar las diferencias observadas respecto del número de estaciones de la red actual.

Tabla III-2. Cuadro comparativo de estaciones propuestas por CADE-IDEPE (2004) y estaciones de la red actual

CUENCA	Nº ESTACIONES RED EXISTENTE HASTA 2004	Nº ESTACIONES PROPUESTO (CADE-IDEPE)	Nº ESTACIONES ACTUALES AL 2004
Lauca	4	3	6
Lluta	5	5	4
Isluga	2	4	0

[1] Las redes de Impacto tienen como objetivo evaluar la contaminación con carácter general.

CUENCA	Nº ESTACIONES RED EXISTENTE HASTA 2004	Nº ESTACIONES PROPUESTO (CADE-IDEPE)	Nº ESTACIONES ACTUALES AL 2004
Tarapacá	3	2	2
Loa	11	8	14
Salar de Atacama	2	6	4
Copiapo	8	5	9
Huasco	6	4	8
Elqui	16	12	20
Limarí	13	12	15
Choapa	10	11	13
Pupio	1	2	1
Petorca	4	4	4
La Ligua	4	4	4
Aconcagua	17	17	10
Rapel	17	22	19
Mataquito	8	10	9
Maule	18	20	20
Itata	11	14	15
Andalien	1	1	1
Biobio	16	27	18
Paicavi	1	10	3
Imperial	12	20	12
Toltén	6	10	13
Valdivia	10	13	29
Bueno	14	14	22
Maullín	2	3	11
Cisnes	2	4	2
Aysen	11	13	12
Serrano	9	8	4
Las Minas	2	1	0
Side	1	1	0
Maipo	24	22	42
TOTAL	**271**	**312**	**346**

Fuente: Elaboración propia, basado en DIRPLAN 2006.

Respecto a la propuesta de parámetros, el estudio incorpora nuevos parámetros no incluidos en la red de monitoreo existente, estos parámetros son: DBO5,

color aparente, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, amonio, cianuro, fluoruro, nitrito, sulfuro, detergentes (SAAM), aceites y grasas, hidrocarburos, índice de fenol, PCB's, Pentaclorofenol, Aldrin, DDT, estaño, Coliformes fecales y Coliformes totales.

Además de proponer un Programa de Monitoreo Futuro que considere la aplicación de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental, el estudio realizado por CADE-IDEPE (2004), presenta una buena base para la evaluación de los factores que pueden incidir en la calidad del agua, además de proponer un Índice de Calidad Ambiental que represente de manera general el nivel de cumplimiento con la clase objetivo asignado a un curso de agua o tramo de este y diseñar e implementar una base de datos, asociada a un sistema SIG integrado como módulo al Sistema de Información Geográfico de Recursos Hídricos (SIGIRH) de la DGA. Debido a los amplios alcances del estudio, éste es considerado uno de los más completos a nivel nacional en relación con la calidad del agua.

III.1.3 Diagnóstico y Clasificación de Sectores Acuíferos, DGA - Geohidrología Consultores Ltda., 2009

Además de los estudios antes señalados, destaca el denominado "Diagnóstico y Clasificación de Sectores Acuíferos", que fue desarrollado por Geohidrología Consultores Ltda. en 2009. El estudio fue licitado por la DGA, con el fin de desarrollar las bases para la caracterización, en términos de calidad química, de los cuerpos de aguas subterráneos del país, de modo de establecer con posterioridad criterios para su control, gestión y protección. Como objetivos generales, se planteó el desarrollar una metodología que caracterice sectores acuíferos en cuanto a la calidad química de los recursos hídricos subterráneos, estableciendo criterios para su protección, aplicar esta metodología en sectores acuíferos previamente definidos en conjunto con la Autoridad, considerando los niveles de explotación, la calidad química, el riesgo de contaminación que presenten y establecer y validar instrumentos de protección de acuíferos.

El estudio de los acuíferos incluyó el análisis de las concentraciones de parámetros químicos del agua y su análisis comparativo respecto de normativas de calidad (NCh 409/1 Of 2005 y NCh 1.333 Of 78). Posteriormente se llevó a cabo la generación y

representación espacial y temporal de un índice de calidad (IC) mediante una herramienta de Sistemas de Información Geográfica (SIG). El índice de calidad permitió categorizar la calidad del agua en los sectores acuíferos en cinco clases de calidad denominados: Excepcional, Buena, Regular, Insuficiente e Intratable, mencionados en orden decreciente de calidad. Posteriormente, mediante la utilización de análisis estadísticos multivariados (Análisis de Componentes Principales o ACP) se identificó las fuentes, naturales o antrópicas, que determinan la presencia y/o concentración observada de los parámetros químicos en cada sector del acuífero, en base a las agrupaciones y correlaciones de elementos que posiblemente provienen de la misma fuente. A partir de la combinación de los resultados de cada análisis, tanto químico como temporal y estadístico, se obtienen mapas de calidad química del acuífero, caracterizadas según su origen y/o tendencia temporal.

La metodología propuesta fue validada con su aplicación en sectores acuíferos El Loa, Los Choros y Aconcagua. Finalmente, se realizó una propuesta de puntos de control para los acuíferos estudiados, la que estuvo basada en la ubicación de pozos existentes, de modo de reducir la necesidad de construir nuevos. Además, se indican los parámetros químicos mínimos que interesaría muestrear desde el punto de vista de la aplicación de la metodología propuesta para definir la calidad del acuífero, la frecuencia mínima e ideal del monitoreo y el método de muestreo sugerido.

El estudio realizado por Geohidrología Consultores Ltda. (2009) proporciona una herramienta metodológica para la clasificación de los sectores acuíferos de acuerdo a sus características de calidad del agua y propone instrumentos para su protección, incluyendo además una revisión de la actual red de monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas de la DGA.

III.1.4 Redefinición de la Red Mínima de Lagos, DGA – POCH Ambiental S.A., 2009.

Adicionalmente, se revisó el estudio llevado a cabo por POCH Ambiental S.A. (2009) denominado "Redefinición de la Red Mínima de Lagos". El estudio tuvo como objetivos: revisar, corregir y validar la base de datos de calidad de agua de los lagos y embalses de la Red Mínima de Lagos (en adelante RML) comprendida entre el 2000 y 2008, determinar la condición trófica de los lagos y embalses de la RML, redefinir el diseño de muestreo de los 16 lagos y embalses de la RML, y proponer la incorporación de nuevos lagos a la red mínima de lagos de la DGA y un diseño de muestreo para estos lagos, calculando los costos asociados a ello.

Para cumplir con el objetivo relacionado con la redefinición del diseño de muestreo de los lagos y embalses de la RML de la DGA, se llevo a cabo una revisión del diseño de muestreo existente de la red, replanteándose el periodo de muestreo, el número de estaciones, la frecuencia de muestreo, la profundidad de toma de muestra y los parámetros de calidad de agua analizados. La redefinición se realizó en función de dos criterios: el potencial para aumentar la condición trófica que muestran los lagos y embalses de la RML y el grado de intervención antrópica que están presentando dichos cuerpos lacustres. La aplicación de estos criterios llevó a realizar una clasificación de los lagos y embalses de la RML en base a la cual se propusieron diseños de muestreo específicos para cada Clase, de acuerdo a las diferencias en las condiciones hidrológicas, hidrodinámicas y de limitación por fosforo que existen entre ellos.

Por último, el estudio de POCH Ambiental S.A. (2009) propone la incorporación de los lagos Budi, Colico, Neltume, Puyehue y Rupanco a la red de monitoreo de la DGA existente, debido a los crecientes centros poblados y al aumento de la actividad económica y turística en las zonas cercanas a estos sistemas acuáticos. Se propone también, que el diseño de muestreo propuesto para estos lagos debiera ser analizado durante al menos 2 años consecutivos, para posteriormente ser redefinido en base a los resultados obtenidos.

III.1.5 Propuesta de Utilización de Biocriterios para la Implementación y Monitoreo de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental

El estudio "Propuesta de Utilización de Biocriterios para la Implementación y Monitoreo de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental", realizado por Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA) en el año 2010, tuvo como objetivo general el generar información de base y herramientas de evaluación prácticas que permitan la utilización de biocriterios en la formulación e implementación de la NSCA, para la protección integral de los ecosistemas acuáticos. Lo anterior se llevó a cabo a través de los siguientes objetivos específicos:

Como resultado de este estudio se desarrolló una estandarización metodológica que permitiría y facilitaría la implementación del monitoreo de bioindicadores apropiados en cuencas con proyecto NSCA. Además se desarrolló un protocolo de aplicación de monitoreos bajo el enfoque de integridad biológica para la protección de los ecosistemas acuáticos, el cual fue aplicado en dos cuencas con Anteproyecto de Norma Secundaria de Calidad Ambiental, correspondientes a las cuencas de los ríos Limarí (Región de Coquimbo) y Mataquito (Región del Maule). Adicionalmente, se desarrolló una base de datos modelo capaz de integrar y gestionar la información obtenida para cada una de las cuencas de estudio y por último se elaboró cartografía y mapas temáticos para la caracterización y visualización territorial de los resultados obtenidos en las cuencas

La información entregada por el estudio realizado por CENMA, posee un inmenso valor como evaluación inicial de la utilización de biocriterios en la caracterización y monitoreo de la calidad del agua en sistemas acuáticos continentales de Chile. Entre los grupos mencionados se destaca principalmente el grupo de los macroinvertebrados bentónicos como uno de los con mayor potencialidad de uso en nuestro país, dado que existen índices que requieren de un bajo nivel de resolución taxonómica, lo cual incrementa las posibilidades de aplicación a corto plazo. Además el grupo de los macroinvertabrados bentónicos se encuentra bien estudiado en la zona central y sur de Chile, existiendo documentación de estudios y publicaciones que aportan conocimiento sobre estos organismos, la cual puede ser proyectada hacia otros sistemas y cuencas del país.

III.2 Bibliografía Internacional

Para establecer los criterios que deben cumplir las redes de control de la calidad de las aguas se ha revisado diversa bibliografía a nivel internacional. A continuación se describe brevemente los diversos casos y experiencias considerados.

III.2.1 Organización Mundial de la Salud

A nivel internacional, desde 1983, la Organización Mundial de la Salud (OMS) publica las Guías para la calidad del agua potable, en donde de manera actualizada se elaboran normas relativas a la calidad del agua y la salud de las personas. Las Guías tienen la finalidad de apoyar el desarrollo y la ejecución de estrategias de gestión de riesgos que garanticen la inocuidad del abastecimiento de agua por medio del control de los componentes peligrosos del agua y describen los requisitos mínimos razonables que deben cumplir las prácticas seguras para proteger la salud de los consumidores. Adicionalmente, las guías determinan valores de referencia numéricos de los componentes del agua o los indicadores de la calidad del agua para consumo humano.

Estas Guías proporcionan una base científica que pueden utilizar las autoridades nacionales como punto de partida para el desarrollo de reglamentos y normas sobre el agua de consumo adecuadas para la situación de su país, de manera de evitar desviar innecesariamente recursos escasos al desarrollo de normas y al monitoreo de sustancias cuya importancia para la salud pública es relativamente menor. No obstante, las guías recomiendan que para definir los límites obligatorios es preferible considerar los valores de referencia en el contexto de las condiciones locales o nacionales de tipo medioambiental, social, económico y cultural.

Además la OMS ha publicado guías de referencia tales como Water Pollution Control, en la que se recogen diversos aspectos de planificación y coordinación, preparación y adaptación de legislación, diseño de redes de monitoreo y otros aspectos sobre el control de la calidad del agua. El texto ha sido preparado por expertos internacionales que

participaron en el Grupo de Trabajo coordinado por la Organización Mundial de la Salud y dirigido por funcionarios del PNUMA, HABITAT, FAO, OMS y CCAAS que trataron aspectos específicos del manejo de recursos hídricos y control de la contaminación del agua. También se han incluido estudios de casos de diversas regiones y se han resaltado modelos de manejo de aguas residuales y control de la contaminación que han tenido éxito en diferentes países.

El Control de la contaminación del agua ofrece principios que orientan el manejo efectivo de la calidad del agua y se centra en:

- La identificación, clasificación y prioridad de los problemas locales relacionados con la calidad del agua y el control de la contaminación;
- El desarrollo e implementación de políticas, esquemas de planificación y coordinación, preparación y adaptación de legislación, programas de monitoreo, vigilancia del cumplimiento de los reglamentos, capacitación y diseminación de información;
- Herramientas e instrumentos de gestión, tales como los reglamentos, normas de calidad del agua, sistemas de monitoreo, modelos de calidad del agua y evaluación del impacto;
- Estrategias de largo plazo para el control de la contaminación del agua basadas en metas realistas de corto plazo.

Estos principios podrán servir de guía en el análisis crítico de la red de monitoreo actual y en la elaboración de una propuesta que optimice esta última.

III.2.2 Experiencia en Europa (Unión Europea)

Desde el año 1988 la Unión Europea puso de manifiesto la necesidad de una legislación sobre la calidad ecológica; pero más tarde, se identificaron nuevas necesidades (programas de medidas, control de sustancias peligrosas, etc.) que llevaron al Consejo de Europa a exigir la elaboración de una nueva Directiva que estableciese los principios básicos de una política de aguas sostenible en el ámbito geográfico de la Unión Europea.

Como consecuencia de estos antecedentes y tras una larga negociación, se aprobó la Directiva 2000/60/CE, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (conocida como Directiva Marco de Aguas, en lo sucesivo DMA), que ha sido creada para establecer un marco estratégico para la gestión de los ecosistemas acuáticos.

El objeto de la DMA es establecer un marco para la protección de las aguas que: prevenga el deterioro y mejore el estado de los ecosistemas acuáticos, promueva un uso sostenible del agua, reduzca progresivamente los vertidos de sustancias prioritarias, garantice la reducción progresiva de la contaminación de las aguas subterráneas y ayude a paliar los efectos de las inundaciones y sequías, y que contribuya de esta forma a: garantizar el suministro de agua en buen estado, reducir la contaminación de las aguas subterráneas, proteger las aguas territoriales y marinas, y lograr los objetivos de los acuerdos internacionales incluidos aquellos cuya finalidad es prevenir y erradicar la contaminación del medio ambiente marino.

La transposición de la DMA a la legislación española por medio de la Ley 62/2003, de 30 de diciembre, por la que se introducen los cambios necesarios en el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas, supuso la adquisición por parte de España de sus principios y su metodología y se manifiesto con una participación plena y activa de los representantes del Ministerio de Medio Ambiente en los grupos de trabajo derivados de la estrategia común de esa implantación.

En la actualidad, el conjunto de los Organismos de Cuenca ya han desarrollado los trabajos de implantación de los artículos 5, 6 y 8 de la DMA, enviando a la

Comisión Europea los informes preceptivos referidos a las características de cada demarcación (división territorial administrativa), las repercusiones de la actividad humana en el estado de las aguas, el análisis económico del uso del agua, el denominado registro de zonas protegidas, del estado de las aguas subterráneas y de las zonas protegidas y los programas de seguimiento del estado de las aguas superficiales.

Por otro lado, los Organismos de Cuenca ya han determinado el estado ecológico de las masas de agua, trabajo que se concluyó a finales del año 2009. Esta fase constó de dos partes: por una parte la determinación de las condiciones de referencia de los ecotipos, y por otro el análisis de las condiciones de las masas de agua. La comparación entre las condiciones de referencia de los ecotipos y las condiciones en que se encuentran las masas de agua ha determinado el estado de las masas de agua (muy buen estado, buen estado, estado moderado, mal estado y muy mal estado).

Las diferencias reseñables de esta legislación aplicada a nivel Europeo (CEE) son las siguientes:

A partir de su puesta en marcha, ya no se tiene en cuenta la Calidad de las aguas sino el Estado de las mismas, Estado Ecológico y Estado Químico. El concepto de Estado Ecológico es nuevo y es definido como: "una expresión de la calidad de la estructura y del funcionamiento de los ecosistemas acuáticos asociados a las aguas superficiales, clasificados conforme al anexo V".

- Priman los elementos biológicos frente a los físico-químicos. Los elementos hidromorfológicos y físico-químicos sirven de apoyo. Por primera vez son los elementos biológicos la clave de los objetivos del sistema así como de la clasificación y por tanto del plan de gestión de estos ecosistemas.
- Todos los estados miembros deberán conseguir el Buen Estado en sus aguas antes del 2015.
- Se derogan paulatinamente - a los 7 años y a los 13 de su publicación las Directivas existentes referentes a la calidad de las aguas

III.2.2.1 Redes definidas en la Directiva Marco del Agua

Las redes que la DMA específica para el control de las aguas son:

- **Red de control de vigilancia.** Los principales objetivos de esta red son ofrecer una visión global del estado, evaluar tendencias y validar el trabajo de análisis de presiones e impactos.
- **Red de control operativo.** Se establecerá en las masas en riesgo de no alcanzar sus objetivos, obtenidas mediante el Análisis de presiones e impactos para determinar su Estado. Sobre aquellas cuyo Estado sea peor que el bueno se deben aplicar programas de medidas y posteriormente volver a medir para evaluar la efectividad de las mismas.

  Esta Red incluirá la ya existente Red de Control de Sustancias Peligrosas y la Red de Control de Plaguicidas. Las sustancias a controlar son las Sustancias Peligrosas que correspondan, en función de la posibilidad de estar presentes, que se recogen en:

  - Real Decreto 60/2011, de 21 de enero, sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas.
  - ANEXO I. Normas de Calidad Ambiental para sustancias prioritarias y para otros contaminantes.
  - ANEXO II. Normas de Calidad Ambiental para sustancias preferentes

  En estas estaciones se analizarán los indicadores más sensibles a las presiones a las que estén sometidas dichas masas de agua.

- **Red de Control de investigación.** No es obligatoria. Su objetivo es investigar las causas de posibles incumplimientos no detectados con el análisis de presiones e impactos así como investigar episodios de contaminación accidental. La red de Estaciones Automáticas de Alerta puede formar parte de este tipo de control, así como aquellas zonas de ríos sometidas a incidencias ocasionales tales como vertidos accidentales, mortandades piscícolas, aparición de blooms algales, etc.

- **Red de Referencia.** Está formada por aquellas masas de agua no sometidas a presión antrópica significativa. En esas masas se deben identificar las condiciones de referencia hidromorfológicas, físico químicas y biológicas para cada tipo de ríos que representen el estado ecológico Muy Bueno.
- **Red de Intercalibración.** Su objetivo es asegurar la equivalencia de los límites de clasificación del estado ecológico entre muy bueno y bueno, bueno y moderado en todos los estados miembros
- **Control de zonas protegidas.** La DMA exige un control específico de las zonas que han sido declaradas de protección especial en virtud de una norma específica, considerándolas como zonas protegidas. El Registro incluye:
    - Zonas designadas para captación de agua destinada al consumo humano (incluye todas las aguas que proporcionan más de 10 m3 diarios o abastezcan a más de 50 personas y todas las masas destinadas a tal uso en el futuro; además exige que se efectúe un seguimiento en las masas de agua que proporcionen más de 100 m3 diarios).
    - Zonas designadas para la protección de especies acuáticas significativas desde el punto de vista económico.
    - Masas declaradas de uso recreativo (zonas de baño).
    - Zonas sensibles en cuanto a nutrientes, incluidas en las zonas declaradas vulnerables en virtud de la Directiva 91/676 y sensibles en virtud de la Directiva 91/271.
    - Zonas designadas para la protección de hábitats y especies (puntos de la Red Natura y ZEPAS).

III.2.2.2 Procedimiento para la evaluación de IMPRESS

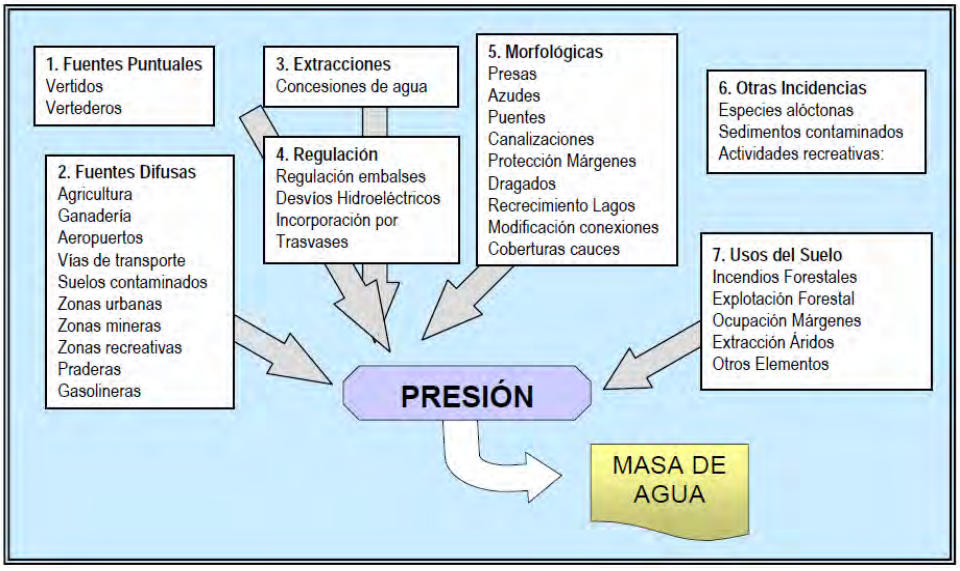
La obligación de realizar la evaluación de presiones e impactos se establece en el Artículo 5 y en el Anexo II apartados 1.4 a 2.5 de la Directiva Marco de Agua. La evaluación de impactos y presiones, metodología conocida como IMPRESS, consiste en el estudio de las presiones que ejerce la actividad humana sobre las masas de agua y el impacto que éstas ocasionan sobre el medio. A partir de los resultados obtenidos, se debe

evaluar el riesgo de incumplimiento de los objetivos medioambientales que recoge dicha Directiva en su artículo 4.

Se considera presión cualquier actividad humana que incida sobre el estado de las aguas. El análisis debe centrarse en las presiones significativas, es decir, las presiones que puedan causar el incumplimiento de los objetivos medioambientales de la Directiva Marco **(objetivos de calidad según la normativa chilena)**. La metodología IMPRESS propone criterios y valores umbrales que permitan valorar *a priori* si una presión es significativa. Para valorar si una presión puede causar un incumplimiento hay que valorar la susceptibilidad de la masa de agua, que dependerá del caudal circulante, de su estado original y de alguna manera de los objetivos medioambientales que debe cumplir, por ejemplo los usos a los que está destinada.

Debe recopilarse, por lo menos, información sobre el *tipo* y la *magnitud* de las presiones. Las presiones que se deben considerar son:

- Fuentes significativas de contaminación puntual
- Fuentes significativas de contaminación difusa
- Extracciones de agua significativas y retornos
- Obras de regulación significativas
- Alteraciones morfológicas significativas
- Otras incidencias antropogénicas significativas
- Usos de suelo



El resultado de este estudio permitirá clasificar las masas de agua en tres grupos:

- Masas de agua sometidas a presiones significativas
- Masas de agua no sometidas a presiones significativas
- Masas de agua sin datos sobre las presiones significativas

Por otra parte, se considera impacto al resultado de una presión sobre el estado de la masa de agua con los criterios de calidad previstos en la Directiva Marco de Agua. El análisis del impacto consiste en analizar la probabilidad de que una masa de agua no alcance los objetivos medioambientales de la DMA **(objetivos de calidad según la normativa chilena)**. Este análisis es una evaluación de riesgo.

El impacto se analiza principalmente a partir de los resultados del control y vigilancia de las aguas que proceden de las redes de control tradicionales. En algunos casos, esta información puede complementarse con criterios cualitativos no asociados a un valor numérico que aporten información sobre el estado de la masa de agua, por ejemplo, desaparición de determinada especie, observación de *bloom* de algas, etc. Como consecuencia de este análisis las masas de agua se clasifican en cuatro grupos:

- Masas de agua con impacto comprobado, son las incumplen la legislación vigente de calidad de aguas
- Masas de agua con impacto probable: son las que posiblemente incumplan los OMA de la DMA
- Masas de agua sin impacto aparente: son las no reflejan deterioro significativo por lo que se prevé que cumplirán los OMA de la DMA
- Masas de agua sin datos sobre su estado

Realizados los dos análisis anteriores puede valorarse el riesgo al que está sometida cada masa de agua. Esta evaluación de riesgo se realiza por combinación de los resultados procedentes de la identificación de las presiones significativas y del análisis del impacto en cada masa de agua. La evaluación de riesgo IMPRESS da como resultado clasificar las masas de agua en cuatro grupos:

- Masas de agua con riesgo alto de incumplir los OMA de la DMA
- Masas de agua con riesgo medio de incumplir los OMA de la DMA
- Masas de agua con riesgo bajo de incumplir los OMA de la DMA
- Masas de agua con riesgo nulo de incumplir los OMA de la DMA

III.2.3 Experiencia en Estados Unidos

En Estados Unidos, el control de la calidad de las aguas se desarrolla mediante el programa NAWQUA National Water Quality Assessment USGS (United States Geological Survey) que evalúa las condiciones de la calidad del agua en unas cincuenta cuencas del país. Agentes locales, de cada estado, o a nivel nacional usan su información para diseñar e implementar estrategias de protección, manejo o monitoreo de los recursos de agua para diferentes usos y condiciones hidrológicas.

Respecto a calidad del agua existe la EPA (United Stated Environmental Protection Agency), que establece para los EE.UU los criterios recomendados para obtener una buena calidad del agua, que garantice tanto la vida acuática como la salud humana.

La EPA establece criterios de calidad del agua para la vida acuática así como para la salud humana, que reflejan con exactitud el conocimiento científico más actualizado sobre los efectos de aproximadamente 150 contaminantes sobre la vida acuática y la salud humana. En el proceso de desarrollo de estos criterios, la EPA examina los efectos de contaminantes específicos sobre el plancton, fauna íctica, moluscos, otra fauna y flora, sobre las cualidades organolépticas del agua y los posibles usos recreativos en cualquier tipo de masa de agua. Se incluye información específica sobre la concentración y dispersión de contaminantes a través de procesos biológicos, físicos y químicos, así como los efectos de los contaminantes sobre las comunidades biológicas de forma global.

Los gobiernos estatales pueden utilizar los criterios de la EPA para establecer estándares de calidad de aguas que protejan los usos que tienen lugar en sus aguas o bien pueden desarrollar sus propios criterios de calidad de aguas. La EPA publica criterios para la

salud humana y para la vida acuática y actualmente está en proceso de desarrollar criterios para sedimento y criterios biológicos.

III.2.4 Experiencia en Canadá

En Canadá, la jurisdicción sobre la gestión de la calidad de las aguas se encuentra fraccionada entre los gobiernos federal, provincial, territorial y municipal; las diferentes jurisdicciones utilizan varias medidas para proteger la calidad del agua, entre ellas directrices y objetivos.

Las directrices de calidad del agua se determinan científicamente e indican la máxima concentración de cada sustancia permitida para un uso en particular, como puede ser el consumo por parte del ganado, o la natación. Estas directrices nacionales sirven como objetivo para la protección medio ambiental. Por otra parte, los objetivos de calidad del agua especifican las concentraciones de sustancias permisibles para todos los usos posibles del agua en una ubicación específica en un lago, río, o estuario. Los objetivos se basan en las directrices de calidad del agua para los usos existentes en cada ubicación en particular, así como la contribución del público, y consideraciones socio-económicas.

El ministerio federal de medio ambiente (Environment Canada) es responsable de las redes de control de calidad de aguas interiores y aguas marinas. En aguas interiores (continentales) se realiza un seguimiento de parámetros físico-químicos y biológicos. En aguas marinas el seguimiento tiene como objetivo controlar la calidad de las aguas en las zonas de extracción de bivalvos.

Por otra parte, el ministerio federal de sanidad (Health Canada) es responsable de las directrices de calidad de aguas para consumo humano y calidad de aguas para usos recreativos. Las directrices de calidad de aguas para el consumo humano se han publicado desde el año 1968 y consideran contaminantes de tipo microbiológico, químico y radiológico, así como características organolépticas del agua. Su versión más actual data de agosto de 2012. En cuanto a las directrices de calidad de aguas para usos recreativos, se hallan en su tercera edición, de abril de 2012.

En este país en el año 2003 se publicaron las "Canadian Environmental Quality Guidelines", que proporcionan los objetivos científicos a nivel nacional para la valoración de la calidad de la atmósfera, ecosistemas acuáticos y terrestres. Cuentan con un capitulo para cada compuesto químico específico de las guías informativas, que resume la información científica fundamental y la justificación de cada sustancia, tablas de resumen detallado de las pautas recomendadas para los diferentes medios y los usos de los recursos, y los protocolos utilizados en la elaboración de las directrices, junto con su guía de implementación asociada. También cuenta con una herramienta para calcular los valores de los índices de calidad del agua, calidad del suelo y la calidad de los sedimentos.

III.2.5 Experiencia en Nueva Zelanda

En Nueva Zelanda, existen unas guías denominadas NATIONAL WATER QUALITY MANAGEMENT STRATEGY. Estas guías se introdujeron en el año 2000, y fueron redactadas por los Consejos de Manejo de Recursos y Medio Ambiente de Australia y Nueva Zelanda (ANZECC), formando parte del Manejo Nacional de Calidad del Agua Australiana (NWQMS).

Las guías proporcionan al gobierno y a la comunidad una herramienta muy útil para la gestión de la calidad del agua. No son obligatorias, ya que no constituyen una obligación legal dentro de los estados o jurisdicciones territoriales. Cada estado o territorio debe desarrollar su propio marco legal, que debe ser compatible y consecuente con estas Guías refrendadas a nivel nacional.

El criterio de calidad de agua depende fundamentalmente del uso al que se destina. A estos distintos usos del agua se les denomina "valores medioambientales". Entre los valores medioambientales considerados en las Guías están:

- Protección del Ecosistema Acuático (Aguas Dulces y Marinas): el valor medioambiental de las aguas que protegen ecosistemas acuáticos incluye el preservar la integridad ecológica de éste, su flora y fauna.
- Recreación y Estética: el valor de la calidad del agua recreacional y estética cubre actividades que involucran tanto el contacto total del cuerpo con el agua, nadar, surf, buceo etc., como actividades que involucran contacto parcial del cuerpo con

el agua como son la pesca, navegación y otras actividades donde la probabilidad de tragar agua es mínima.

- Protección del Ecosistema Acuático (Aguas Dulces y Marinas): el valor medioambiental de las aguas que protegen ecosistemas acuáticos incluye el preservar la integridad ecológica de éste, su flora y fauna.
- Agua potable: se recogen las disposiciones de agua potable para Nueva Zelandia: Drinking-water Standards for New Zealand (New Zealand Ministry of Health 1995a) and the Guidelines for Drinking-water Quality Management (New Zealand Ministry of Health 1995b) y para Australia: Australian Drinking Water Guidelines (NHMRC & ARMCANZ 1996).
- Recreación y Estética: el valor de la calidad del agua recreacional y estética cubre actividades que involucran tanto el contacto total del cuerpo con el agua, nadar, surf, buceo etc., como actividades que involucran contacto parcial del cuerpo con el agua como son la pesca, navegación y otras actividades donde la probabilidad de tragar agua es mínima.
- Agricultura (Irrigación): define la protección de la calidad de las aguas con las que se riegan cosechas y pastos.
- Agricultura (Ganadería): la calidad del agua requerida para sostener una producción de ganado saludable.
- Acuicultura: incluye la protección de la calidad del agua para optimizar el crecimiento y supervivencia de especies acuáticas del mar o aguas dulces.

En las Guías se encuentra una serie de valores límites de contaminantes para la estimación de calidad del agua, que son específicos para cada valor medioambiental a proteger. Estos valores límites para contaminantes no constituyen límites obligatorios, sino medidas guía de seguridad para que el uso del agua determinado no ocasione problemas. Asimismo, se describe en estas guías como planificar, y diseñar un programa de monitoreo, aunque no se define si existen redes de muestreo establecidas.

III.2.6 Experiencia en Perú

En Perú, el 30 de marzo del 2009 se promulgó la Ley de Recursos Hídricos, Ley Nº 29338, aprobada por el Congreso de la República del Perú. Por su parte, el 23 de marzo del 2010, se promulga el Decreto Supremo Nº 001-2010-AG, que aprueba el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos.

En el Capítulo II del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, se recoge la Clasificación de los cuerpos de agua en su Artículo 106:

- 106.1 Los cuerpos naturales de agua se clasifican en función a sus características naturales y los usos a los que se destinan.
- 106.2 La Autoridad Nacional del Agua clasifica los cuerpos de agua, tomando como base la implementación progresiva de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua (ECA − Agua), que apruebe el Ministerio del Ambiente de acuerdo con los usos actuales y potenciales al que se destina el agua.

Esta Ley y su Reglamento contribuyen, en su esencia, a la modernización de la gestión de los recursos hídricos del país, integrando a los sectores público, privado y a la sociedad civil organizada. Asimismo, sustenta el proceso de transformación de la institucionalidad pública, a través de la participación, concertación y coordinación de las diferentes entidades estatales involucradas en la gestión de los recursos hídrico, para la eficiente administración de estos.

Respecto a las redes de control de calidad del agua, ésta no existe como tal en este país, aunque recientemente muchos ríos estén seccionados (establecimiento de tramos) y con un uso asignado. Los análisis de control se realizan de forma esporádica y sin una programación previa. Que los Estándares de Calidad no estén definidos en todas las unidades hidrográficas es debido a que estas clasificaciones son recientes.

Por su parte, los monitoreos de calidad de las aguas realizados hasta el momento han sido realizados por distintas entidades, no han tenido un objetivo común y, por ello, los parámetros analizados no han sido los mismos. Únicamente se han realizado monitoreos físico-químicos, no incluyéndose parámetros biológicos que se comportan como indicadores de calidad del agua, hidromorfológicos o análisis de sedimentos. Asimismo, la

ubicación de las estaciones de control no ha sido homogénea en todas las cuencas, existiendo zonas en donde se dispone de bastante información y otras en donde se desconoce totalmente su calidad del agua. Por otra parte, muchos de los laboratorios que han analizado las muestras están acreditados, por lo que la validación de los análisis tampoco sería extrapolable.

A pesar de ello, la Autoridad Nacional del Agua está intentando poner en marcha "Programas de Seguimiento" de manera periódica para obtener una visión general y completa del estado de las aguas de cada cuenca hidrográfica. Por ejemplo, en septiembre del 2012 coordinó la ejecución de 100 monitoreos en 46 unidades hidrográficas, evaluando la calidad de 257 ríos, 88 quebradas, 12 manantiales, 29 lagunas, 2 represas, 1 nevado, 1 bahía y 1 zona costera. Es importante destacar que en estos monitoreos se está valorando mucho la participación ciudadana, por lo que muchos de los muestreos son realizados por voluntarios.

III.3 Diseño y Explotación de Redes de Control de Calidad de Aguas (MIMAM 2007)

III.3.1 Antecedentes generales

En el año 2007 el Ministerio de Medio Ambiente Medio Rural y Marino de España (MIMAM) publicó un manual para el diseño y la explotación de las redes de control de calidad de agua en España. A continuación se detallan aquellos aspectos más relevantes del manual para el presente trabajo.

En la **Introducción**, se define claramente su objetivo principal que es suministrar una guía a los Organismos de cuenca y las Comunidades Autónomas para la selección de los elementos de calidad, el diseño de los programas de control y la explotación de las redes de control de la calidad del agua, de acuerdo con la Directiva Marco del Agua

El Manual propone el planteamiento metodológico global para el control de la calidad del agua, que es necesario para la implantación de la DMA. Debido a la diversidad de presiones en las cuencas, tipos de masas de aguas, comunidades biológicas y características físico-químicas e hidromorfológicas existentes en España, la adecuada puesta en práctica de los programas de control, de acuerdo con los requerimientos de la DMA, variará entre las diferentes cuencas hidrográficas y costas. Por lo que, la metodología propuesta necesitará ser adaptada a las circunstancias específicas de cada zona.

En el apartado "Criterios generales para el diseño de los programas de control", se analizan diversos puntos que se mencionan brevemente a continuación.

El principal objetivo de los programas de control es ofrecer una visión clara del estado de las mismas, el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y la influencia de las actividades antropogénicas sobre estos. De este modo los programas de control permiten basar la toma de decisiones de gestión en el conocimiento del estado de las aguas. Asimismo, permiten determinar la efectividad de las medidas adoptadas y el grado de cumplimiento de los objetivos establecidos. Se trata pues de un proceso cíclico de retroalimentación que comienza con la definición de los objetivos y las necesidades de información y termina con la puesta en marcha de programas de medidas.

Se definen las tareas clave en el diseño de un programa de control consisten en determinar:

- Qué controlar
- Donde
- Cuando
- Con qué frecuencia

La respuesta a estos interrogantes dependen de:

- Los objetivos del control realizado
- La precisión y confianza deseadas, con las que se va a hacer el tratamiento estadístico
- Los tipos y magnitudes de la variabilidad exhibida por la masa de agua a controlar.

Define asimismo que es primordial identificar claramente los objetivos clave que el control necesita alcanzar. Esto será imprescindible para el diseño del programa y permitirá la identificación de:

- Las hipótesis a comprobar;
- Objetivos y metas realistas y medibles; y
- El nivel de riesgo, precisión y confianza aceptable.

La información disponible puede usarse para formular un modelo conceptual del sistema a estudiar y desarrollar las preguntas a responder, en base las hipótesis identificadas. Este modelo liga las presiones y el estado actual del sistema. Las suposiciones en que se basa el modelo pueden revisarse y validarse a través del estudio, según se disponga de más información.

Se indica que debe contemplarse la heterogeneidad temporal y espacial, tanto natural como antropogénica, puesto que influirá en la localización y número de masas de agua controladas, la localización y número de estaciones de control dentro de cada masa de agua y la frecuencia de muestreo.

Asimismo, se debe realizar una selección de los niveles de riesgo, precisión y confianza aceptables, que establecerán los límites sobre la incertidumbre (surgida de la

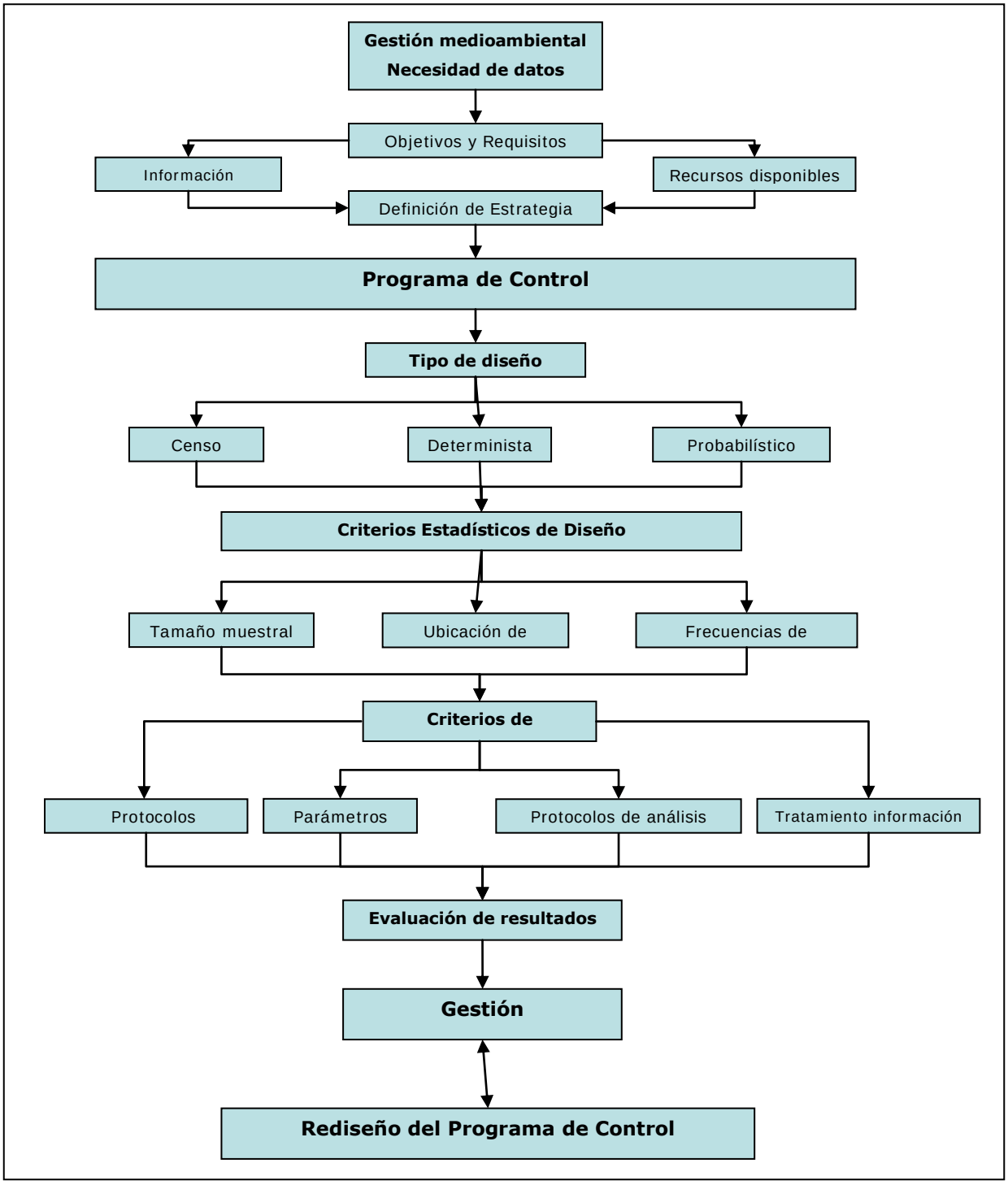
variabilidad natural y antropogénica) que pueden ser tolerados en las conclusiones obtenidas de los programas de control.

Se precisa, que una vez que se han definido los niveles de riesgo, precisión y confianza aceptables, asociados con los objetivos identificados, se puede desarrollar un programa de control óptimo, usando una gama de herramientas estadísticas. Estas herramientas asegurarán que el programa:

- Alcance los objetivos requeridos
- Controle un número suficiente de sitios y con una frecuencia que aporte la precisión y confianza requeridas en los resultados
- Sea implantado de manera efectiva, desde el punto de vista económico, y sólida, desde el punto de vista científico

En el siguiente diagrama se detallan las distintas fases que conviene seguir para diseñar una Estrategia de control adecuada.

Figura III-1. Fases para el diseño de una estrategia de control de calidad de aguas



III.3.2 Objetivos de la Red

Requisitos generales de la DMA, estos se definen como:

Requisitos básicos de los programas de control

Tareas previas al diseño de los programas de control

Objetivos generales de un programa de control

En general, un programa de control que contemple los objetivos de la DMA debería ser capaz de contestar las siguientes cinco preguntas

- ¿Cual es la calidad global de las aguas en la Demarcación hidrográfica?
- ¿Hasta qué punto está cambiando la calidad del agua con el tiempo?
- ¿Cuáles son las áreas problemáticas y las que necesitan protección?
- ¿Qué nivel de protección es necesario?
- ¿Cuál es la efectividad de los proyectos y programas de medidas adoptados?

Desarrollo de un modelo conceptual

Los modelos conceptuales deben ser usados como base para el desarrollo y revisión de los programas de control de acuerdo con la DMA.

El nivel de detalle requerido en el modelo es proporcional a la dificultad de juzgar los efectos de las presiones sobre las masas de agua. Los datos de control son necesarios para probar o validar el modelo conceptual. Tal verificación requerirá algunos datos de control para todas las masas de agua, identificadas como de riesgo, así como una selección de aquellas identificadas como no de riesgo de incumplimiento de sus objetivos.

Identificación de las necesidades de información

Se debe identificar de forma concreta la información que es necesario obtener, para dar respuesta a los requisitos y objetivos del control. Esta información puede

ser de muy distinta índole y desde el primer momento marca la pauta de la Estrategia de control.

La cantidad de información de control necesaria para validar la evaluación de riesgo del Anexo II dependerá en parte del nivel de seguridad en el modelo conceptual. Cuanto mayor sea la dificultad en juzgar los riesgos de incumplir los objetivos, probablemente se requerirá más información de control. Una mayor cantidad de control será necesaria donde las implicaciones de juzgar erróneamente los riesgos de incumplir los objetivos sean muy serias, por ejemplo, donde puedan conducir a que sean impuestos innecesariamente costes substanciales a los usuarios del agua, o a fallos en la identificación de riesgos de daños significativos que podrían ser advertidos.

III.3.3 Programa de Control

III.3.3.1 Estrategia de control

Una vez definida la información necesaria y analizados los medios disponibles, el siguiente paso es elaborar una estrategia de control.

Es importante que la estrategia sea completa en cuanto a alcance, es decir, que sirva para todas las necesidades de gestión de calidad de agua y contemple todos los tipos de masas de aguas (ríos, lagos, embalses, zonas húmedas, aguas de transición, aguas litorales y aguas subterráneas) y que identifique los aspectos técnicos y las necesidades de recursos que son imprescindibles para implantar un programa de control adecuado.

III.3.3.2 Tipos de diseño

De forma general se pueden distinguir varios tipos de modelos de redes de control: los censos y los modelos de muestreo probabilísticos y deterministas.

Censos. El diseño de programas de control censales es relativamente sencillo, ya que la población total y la población muestral coinciden, es decir, el muestreo se

realiza sobre todas las unidades de la población objeto de estudio. En este tipo de estudios se eliminan los errores asociados con el tamaño de la muestra[2]. No se puede producir un error por falta de puntos de muestreo, ya que se miden todas las unidades o masas de agua.

Por medio de esta modalidad de muestreo se obtiene información concreta sobre toda la población diana. Desde el punto de vista de la gestión hídrica, se puede utilizar para evaluar el grado de cumplimiento de las normas de calidad de unas masas de agua determinadas. Los resultados se obtienen directamente de los resultados del muestreo sin necesidad de extrapolar datos

Modelo determinista o no probabilístico. El diseño del programa de control se asienta sobre el conocimiento existente o el juicio que los expertos tienen sobre la zona objeto de estudio. Este tipo de modelo se emplea cuando el objetivo del muestreo no es un análisis estadístico. Las inferencias se basan en el juicio profesional. Es el experto el que determina dónde y cuándo se debe muestrear. Las conclusiones que se obtienen con este modelo sobre la población objeto de estudio son limitadas y dependen principalmente de la exactitud del juicio de los expertos. No permite la formulación de juicios estadísticos, ni extrapolar los resultados. La información obtenida con este tipo de modelo únicamente es válida para los puntos estudiados y los objetivos planteados. Para poder utilizar los resultados en estudios posteriores sería necesario un diseño estadístico.

Modelo probabilístico. Realiza una selección aleatoria de los puntos de muestreo. Cada unidad de la población diana tiene una probabilidad conocida de ser seleccionada. Este diseño permite extrapolar la información obtenida a partir de las muestras al conjunto de la población, mediante análisis estadístico. La utilización de la información que esté disponible (juicio de expertos, resultados de otros muestreos, etc.) antes de comenzar el muestreo es importante para una eficiente etapa de diseño.

En la Tabla III-3 se presenta una comparación entre ventajas y desventajas de los modelos probabilístico y determinista.

[2] ***Tamaño de la muestra*** es el número de puntos de muestreo

Tabla III-3. Comparación entre modelos probabilístico y determinista

COMPARACIÓN DE LOS MODELOS		
Aspecto	**Modelo Probabilístico**	**Modelo Determinista**
Ventajas	▪ Permite calcular la incertidumbre y el error asociados ▪ Resultados reproducibles dentro de límites de incertidumbre ▪ Permite realizar inferencias estadísticas	▪ Es muy eficiente si existe un conocimiento profundo de la zona ▪ Relativamente sencillo de implementar ▪ Económico
Desventajas	▪ El diseño de la localización aleatoria puede ser complicado ▪ Es necesario definir un modelo estadístico adecuado	▪ Necesita un conocimiento experto ▪ Subjetividad

Factores estadísticos: Riesgo, precisión y confianza

La precisión y confianza del programa debe ser tal que:

- Sea alcanzable mediante un programa de control económicamente viable.
- Minimice el riesgo de dar una falsa alarma (detectando una perturbación medioambiental que en realidad no ocurre), así como del caso contrario: ser incapaz de detectar un caso de alarma, aportando un falso sentido de seguridad.
- Permita detectar diferencias o cambios medioambientales significativo

El nivel de riesgo aceptable afectará la cantidad de control requerido para estimar el estado de una masa de agua. En términos generales, cuanto menor sea el riesgo deseado de clasificación errónea, más control (y consecuentemente costes) se requerirá para evaluar el estado de una masa de agua.

III.3.3.3 Criterios de Explotación

a) Establecimiento de las estaciones de control

El número de masas de agua a incluir en los programas de control será, fuertemente dependiente del grado de variación en el estado del medio acuático, así como de la extensión y características de las aguas superficiales en el territorio de una Demarcación hidrográfica. Donde haya diferencias numerosas y significativas en el estado, las masas de agua serán igualmente numerosas para reflejar esas diferencias. Donde el estado sea similar, las masas de agua tenderán a ser mayores y, por tanto, menores en número.

La cantidad de control requerido dependerá también del grado en que las características y la variabilidad de las presiones e impactos sobre las masas de agua de una Demarcación hidrográfica permitan que sean agrupadas, para realizar el control sólo en una masa representativa del grupo.

Los Organismos de cuenca y las Comunidades Autónomas tendrán también que establecer cuantas estaciones son requeridas en cada masa de agua individual para determinar su estado ecológico y químico.

b) Frecuencia de los controles

Hay flexibilidad en términos de frecuencias de control, como reflejo de que algunos parámetros representativos de indicadores de calidad (en términos de aguas superficiales) serán más variables que otros. Un aspecto importante en la definición de la frecuencia de control es la cuantificación de la variabilidad temporal de los parámetros representativos de los indicadores de calidad en las masas de aguas superficiales consideradas. Aquellos que sean muy variables, podrían requerir más muestreo (y consecuentemente coste) que aquellos que sean más estables o predecibles.

c) Parámetros a controlar

Se deben usar parámetros indicadores en el control, para estimar el valor de los elementos de calidad biológica y físico-química relevantes. Donde la confianza en la estimación aportada por un parámetro indicador sea considerada inaceptable, se podrían usar varios indicadores y un procedimiento de ponderación adoptado, para obtener una confianza aceptable en el valor estimado del elemento de calidad

d) Procedimientos de muestreo y métodos de determinación

Se indica que un requisito de la Directiva Marco del Agua es que todo el control se haga conforme a las normas relevantes a nivel nacional, europeo o internacional, para asegurar la obtención de datos de calidad y comparabilidad científicas equivalentes. Por lo tanto, todos los sistemas de evaluación biológica y físico-química deben cumplir las normas internacionales y nacionales relevantes, donde existan.

En el apartado CRITERIOS DE DISEÑO DE LAS REDES EXISTENTES DE CONTROL DE AGUAS SUPERFICIALES, se explica de forma detallada la forma de adaptar las diferentes redes de control de calidad de aguas superficiales en ESPAÑA al nuevo tipo de redes definidas en la Directiva Marco. Este apartado se incluye en los anexos del presente informe.

e) Procedimientos de toma, conservación y manipulación de las muestras

En este apartado se describen los procedimientos recomendados para la toma, conservación y manipulación de las muestras de agua y sedimentos, así como para la realización de mediciones in situ y la recogida de información complementaria en campo.

f) Normalización de los parámetros de control y los ensayos analíticos

En este apartado se cita que con el objeto de estandarizar los parámetros de la legislación y los ensayos analíticos que se realizan en los laboratorios de calidad de aguas, la Dirección General del Agua ha elaborado una aplicación informática denominada "Parámetros de las Redes de Vigilancia de las aguas" que presenta una ficha para cada uno de los ensayos analíticos relacionándolos con los parámetros de control e incluyendo información sobre la expresión, el número de cifras decimales y el principio del método o métodos que permiten obtener resultados válidos. Asimismo, incluye una tabla resumen en la que se señala para cada Directiva, los parámetros a medir, los ensayos válidos y los recomendados por el Ministerio de Medio Ambiente.

III.3.4 Evaluación y presentación de resultados

En este apartado se detallan los aspectos que debe incluir la evaluación de los resultados del control, la interpretación de los resultados del control y la clasificación del estado/potencial ecológico y clasificación del estado químico. Tambien se detalla la forma de presentación de los resultados de control.

III.3.5 Gestión

La gestión de la cuenca, en el marco conceptual dado por el MIMAM, considera que la Red interviene activamente en la obtención de las metas de calidad de agua en la cuenca. Esta gestión se manifiesta a través de regulaciones normativas a las descargas y coordinación entre los distintos actores de la Confederación Hidrográfica.

III.3.6 Rediseño del programa de control

Consecuentemente con los cambios de gestión de la cuenca, se rediseña el programa de control para asegurar un correcto seguimiento de las nuevas medidas implementadas, ya sea incorporando nuevos puntos de monitoreo, nuevos parámetros, o variando las frecuencias de medición.

IV. ESTADO ACTUAL DE LA RED DE CALIDAD DE AGUAS

En este punto se describe la Red actual de Calidad de Aguas a nivel nacional, desde el punto de vista de la cobertura de las cuencas, la relación entre estaciones de aguas superficiales y subterráneas, las series históricas de datos, y el análisis estadístico de la variabilidad de los registros y de outliers. Finalmente se presenta un análisis del estado actual de la Red.

IV.1 Descripción de la Red Actual de Calidad de Aguas

IV.1.1 Proceso de obtención de datos

El proceso de obtención de datos de la Red de calidad de aguas comienza con la toma de muestras de agua por parte de las distintas Direcciones Regionales. Ésta se realiza con una frecuencia cuatrimestral, y las muestras son enviadas al Laboratorio Ambiental de la DGA, donde son analizadas y posteriormente publicadas. El ciclo completo se detalla en la Figura IV-1.

Figura IV-1. Ciclo del proceso de obtención de datos de la Red de calidad de aguas

Una vez que la muestra es ingresada al Laboratorio ambiental, se procede al análisis de los parámetros que contempla la Red de calidad de aguas superficiales y subterráneas.

Anualmente el Laboratorio ambiental analiza aproximadamente 39.000 analitos, y se ha detectado que algunos de estos parámetros se han mantenido estables por 20 años, no responden a los actuales usos y fuentes de contaminación de las cuencas, y/o se encuentran bajo el límite de detección que actualmente posee la DGA. Lo anterior quedó plasmado en la Minuta N° 28, del Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos, de fecha 12 de septiembre de 2012.

IV.1.2 Estaciones de monitoreo

La explotación de la red por la DGA comienza en la década de los años sesenta del pasado siglo, con el muestreo de un total de 86 estaciones. En la década siguiente el número de estaciones se incrementa en 53, y en la de los ochenta en 94. En la última década del siglo, se da un empuje notable a la red aumentando el número de estaciones en 137 unidades. En el presente siglo se ha aumentado el número de estaciones hasta alcanzar la situación actual, de 452 puntos de monitoreo.

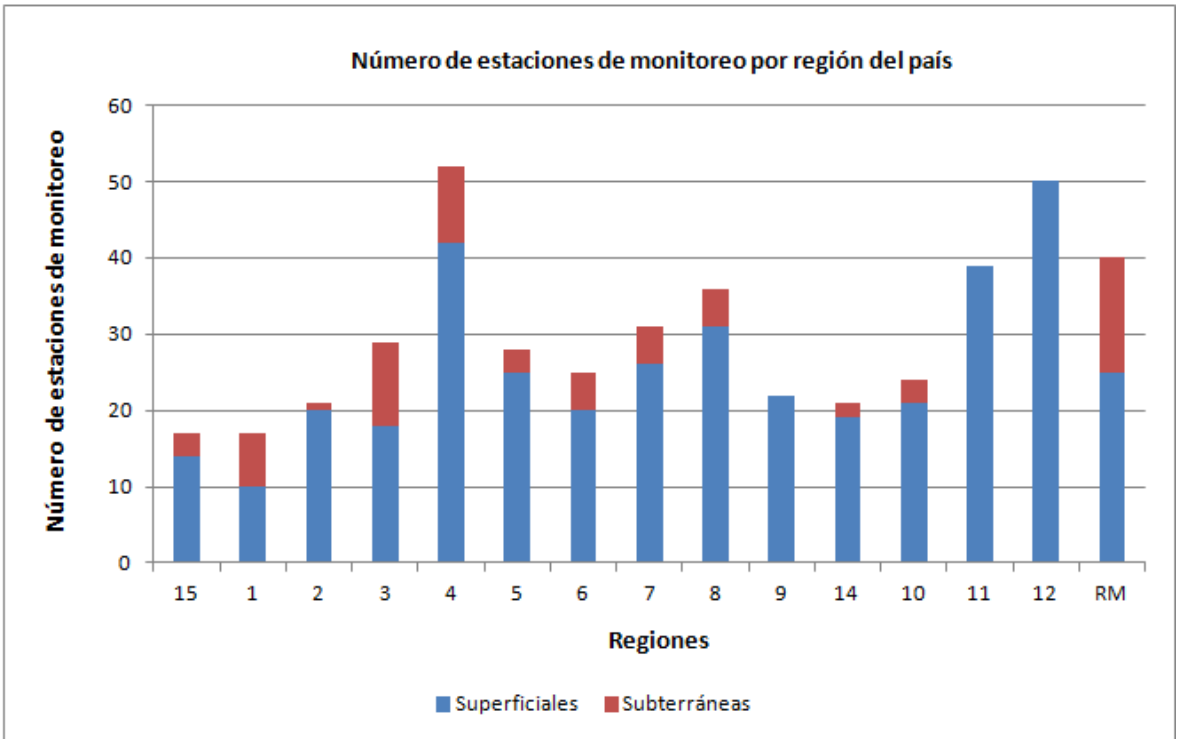
Las regiones del país que cuentan con mayor representación son la región de Atacama (IV, con 52 estaciones) y de Magallanes y la Antártica Chilena (XII, con 50 estaciones), y las menos representadas son la región de Arica y Parinacota y la de Tarapacá, con 17 estaciones cada una. El detalle de las estaciones por región se presenta en la Tabla IV-1 y en la Figura IV-2.

Tabla IV-1. Distribución de estaciones de calidad de aguas a nivel nacional

	Estaciones de calidad de aguas		
Región	Superficiales	Subterráneas	Total
15	14	3	17
1	10	7	17
2	20	1	21
3	18	11	29
4	42	10	52
5	25	3	28
6	20	5	25
7	26	5	31
8	31	5	36
9	22	0	22
14	19	2	21
10	21	3	24
11	39	0	39
12	50	0	50
13 (RM)	25	15	40
Total	**382**	**70**	**452**

Fuente : DGA

Figura IV-2. Distribución de estaciones de monitoreo a lo largo del país



Dentro de la distribución nacional de las estaciones de calidad, destaca la alta proporción de estaciones de calidad de aguas superficiales (85%) por sobre aguas subterráneas (15%). Asimismo, 8 de las 15 regiones cuentan con 3 o menos estaciones de calidad de aguas subterráneas.

A nivel hidrológico, las 452 estaciones representan 61 cuencas hidrográficas, de las 100 en que se ha clasificado el territorio nacional, con una cobertura del 61%. La cuenca con mayor representación es la del Río Maipo, con 41 estaciones, el 9,1% del total de estaciones a nivel nacional. Sólo 25 cuencas cuentan con más de 5 estaciones de calidad de aguas. Es decir, 3 de cada 4 cuencas no se encuentra representada adecuadamente. De hecho, 19 cuencas cuentan sólo con 1 estación de monitoreo. En la Tabla IV-2 se presenta la frecuencia de estaciones por cuenca hidrográfica.

Tabla IV-2. Frecuencia de estaciones por cuenca hidrográfica

Cantidad de estaciones por cuenca	Número de cuencas	%
Cuencas sin estaciones	39	39%
Cuencas con solo 1 estación	19	19%
Cuencas con entre 2 y 5 estaciones	17	17%
Cuencas con entre 6 y 10 estaciones	6	6%
Cuencas con más de 10 estaciones	19	19%
Total	100	39%

Fuente : Elaboración propia a partir de información DGA.

IV.1.3 Medición de parámetros in situ y Toma de muestras en terreno

La toma de muestras en terreno se realiza mediante personal y movilización propia de las direcciones regionales de la Dirección General de Aguas. No existen requisitos técnicos sobre el personal que realiza la toma de muestras, ni certificación de los procedimientos asociados.

Los parámetros medidos in situ son los siguientes: Temperatura del agua, pH, oxígeno disuelto en % y mg/lt, y conductividad eléctrica.

IV.1.4 Preservación de muestras y envío a laboratorio ambiental de la DGA

Las muestras se fijan con el preservante adecuado en el caso que sea necesario (metales pesados) y se envían al laboratorio de análisis central de la DGA situado en la región metropolitana comuna de Santiago.

IV.1.5 Ingreso de muestras y almacenamiento

Las muestras son recepcionadas por el laboratorio ambiental, quien las almacena en condiciones controladas hasta su posterior análisis dentro de los plazos estipulados en el sistema de control de calidad de la DGA.

IV.1.6 Análisis de muestras en laboratorio

El análisis de las muestras de aguas superficiales y subterráneas se realiza en el laboratorio ambiental de la Dirección General de Aguas, ubicado en la Región Metropolitana, comuna de Santiago.

IV.1.6.1 Equipos

En este recinto se cuenta con los siguientes equipos:

- Espectrofotómetros de Absorción Molecular y Atómica
- Cromatógrafo de gases y HPLC
- ICP OES (óptico)
- Otros

IV.1.6.2 Parámetros analizados en laboratorio

Los parámetros o analitos analizados en el laboratorio ambiental de la DGA se detallan en la **Tabla IV-3**.

Tabla IV-3. Analitos contemplados en la Red de Calidad de Aguas

Parámetro	Límite de Detección	Clasificación
Aluminio	0,3 mg/L	MICROELEMENTO
Arsénico	0,001 mg/L	MICROELEMENTO
Cadmio	0,01 mg/L	MICROELEMENTO
Cobalto	0,01 mg/L	MICROELEMENTO
Cobre	0,02 mg/L	MICROELEMENTO
Cromo	0,01 mg/L	MICROELEMENTO
Hierro	0,02 mg/L	MICROELEMENTO
Manganeso	0,02 mg/L	MICROELEMENTO
Mercurio	0,001 mg/L	MICROELEMENTO
Molibdeno	0,05 mg/L	MICROELEMENTO
Níquel	0,02 mg/L	MICROELEMENTO

Parámetro	Límite de Detección	Clasificación
Plata	0,01 mg/L	MICROELEMENTO
Plomo	0,05 mg/L	MICROELEMENTO
Selenio	0,001 mg/L	MICROELEMENTO
Zinc	0,01 mg/L	MICROELEMENTO
Calcio	0,4 mg/L	MACROELEMENTO
Cloruro	1,0 mg/L	MACROELEMENTO
Magnesio	0,1 mg/L	MACROELEMENTO
Potasio	0,2 mg/L	MACROELEMENTO
Sodio	0,2 mg/L (589 nm) 12,0 mg/L (330 nm)	MACROELEMENTO
Sulfato	3,0 mg/L	MACROELEMENTO
Boro	1,0 mg/L	NUTRIENTE
DQO	1 mg/L para muestras de lagos 3,0 mg/L para muestras sup y sub	NUTRIENTE
Fosfato	0,012 mg/L en lagos 0,003 mg/L en muestras sup y sub	NUTRIENTE
Nitrógeno	0,010 mg/L	NUTRIENTE

Fuente: DGA

IV.1.7 Ingreso de resultados de análisis de muestras al Banco Nacional del Agua

El procesamiento y almacenamiento de los resultados una vez validados por la dirección del laboratorio se realiza en ficheros Excel, que posteriormente se exportan a una aplicación en línea, denominada SNIA.

IV.1.8 Acceso de la información mediante el CIRH

La Dirección General de Aguas dispone del sitio web www.dga.cl, en el cual se puede solicitar, a través del Centro de Información de los Recursos Hídricos, la información de los registros de calidad de aguas para cada estación de la Red.

IV.2 Análisis estadístico de registros históricos

Se realizó un análisis estadístico de los registros históricos de monitoreos de calidad de aguas superficiales y subterráneas. Este análisis tiene dos líneas principales.

En primer lugar se cuantificó la variabilidad temporal de los parámetros medidos, para lo cual se clasificó en grupos la data de cada estación, según la densidad de mediciones, los valores observados en relación al límite de detección, y el coeficiente de variación de la muestra.

En segundo término se analizó la presencia de datos anómalos o outliers en cada serie de datos.

A continuación se presenta una breve descripción de la metodología y resultados principales del análisis estadístico realizado. El detalle se incluye por completo en los Anexos de este documento.

IV.2.1.1 Análisis estadístico

Un aspecto importante en la definición de la frecuencia de control es la cuantificación de la variabilidad temporal de los parámetros representativos de los indicadores de calidad en las masas de aguas superficiales consideradas. Aquellos que sean muy variables, podrían requerir más muestreo (y consecuentemente costo) que aquellos que sean más estables o predecibles. El criterio deberá atender a discriminar los parámetros que no han tenido variaciones en el tiempo.

Existen distintas alternativas para el establecimiento de criterios estadísticos. En particular, y para el presente estudio, se considera adecuada la propuesta de criterios realizada en el análisis que la Dirección General de Aguas presenta en la MINUTA DCPRH

N°28/2012: Propuestas de optimización de análisis químicos en la Red de Calidad de Aguas, aplicado a la VII Región.

Siguiendo lo establecido en este documento, y con el fin de identificar aquellos parámetros que actualmente son monitoreados y que en el tiempo han presentado sucesivamente concentraciones muy bajas y homogéneas, se identificaron dos grupos susceptibles de aplicarse medidas de optimización.

- Insuficientemente representados

Se excluyó del análisis a todos aquellos parámetros cuya cantidad de registros en una estación fuera igual o menor a 15. Esta cantidad de registros se propuso recogiendo lo realizado en un estudio preliminar realizado por la DGA en estaciones de la región del Maule, descrito en la Minuta DCPRH N° 28 / 2012, de materia "Propuestas de optimización de análisis químicos en la Red de Calidad de Aguas aplicado a la VII Región". Se consideró, según criterio de los especialistas de INFRAECO, que el umbral propuesto era adecuado al propósito de la evaluación presente.

- Grupo 1

Se identificó los parámetros que en total presentan más de 15 registros (pertenecientes al menos a 5 años) en el BNA y que el porcentaje de éstos informados como límites de detección es igual o mayor al 80%. Los parámetros incluidos en este grupo permitirán considerar si pueden ser susceptibles de ver modificada su frecuencia de análisis, la suspensión del análisis de éste parámetro para la estación en cuestión u otra medida que se estime conveniente.

- Grupo 2

Se identificó los parámetros que en total presentan más de 15 registros en el BNA, que el porcentaje de éstos informados como límites de detección es igual o mayor al

50% y menor al 80%, y que presentan un coeficiente de variación igual o menor a 0,3. Los parámetros incluidos en este grupo permitirán considerar si pueden ser susceptibles de ver modificada su frecuencia de análisis, mantenerse en observación u otra medida que se estime conveniente.

- Grupo 3

Se denominó como Grupo 3 al resto de los parámetros, que cuentan con más de 15 registros y que no fueron clasificados previamente en el Grupo 1 o Grupo 2.

Para el análisis estadístico de los registros históricos de calidad de agua, en las estaciones seleccionadas, se construyó una base de datos relacional a partir de las siguientes tablas de datos proporcionadas por la Dirección General de Aguas.

1. Tabla BNAT_Estaciones, que contiene los antecedentes de Estaciones de monitoreo de calidad de aguas, indicando Código de Estación, Nombre, ubicación administrativa (región, provincia, comuna), territorial (cuenca, subcuenca y subsubcuenca), y vigencia. Contiene 970 estaciones.
2. Tabla BNAT_Parámetros, que contiene los parámetros medidos en y los métodos de análisis asociados. Contiene 220 parámetros y métodos.
3. Tabla BNAT_Aguas, que contiene los registros de medición de calidad de aguas, e indica Estación, Fecha de Medición, Parámetro y valor registrado. Contiene 946.731 registros, entre los años 1959 y 2012.

La base de datos fue implementada en el motor de base de datos MS Access, a partir de la cual se consolidaron los registros a nivel de cuenca hidrográfica y estación. Este resultado parcial fue exportado a Ms Excel, en donde se elaboró una rutina de análisis que incorporó los criterios estadísticos definidos para los Grupos 1 y 2 antes descritos, y que genera de forma automática reportes estadísticos que se incluyen en este informe y sus anexos.

El análisis de las bases de datos de calidad de aguas de las estaciones de monitoreo vigentes se realizó a nivel de Cuenca Hidrográfica. A partir de la aplicación de los criterios de clasificación definidos, se identificaron los parámetros que en cada estación cumplían con las características del Grupo 1, Grupo 2, Grupo 3 e insuficientemente representados.

En la Tabla IV-4 se presentan los resultados de la clasificación de los registros a nivel nacional. Del análisis se tiene que el 26,0% de las series (entendidas como el conjunto de registros de un parámetro en una estación) cuentan con menos de 15 datos, ya sea porque se trata de estaciones recientes o descontinuadas. El 18,4% de las series de datos se encuentran ene l Grupo 1, es decir, más del 80% de los registros individuales están por debajo del Límite de Detección; el 0,7% de las series en el Grupo 2; y el 54,9% en el Grupo 3, definidos anteriormente.

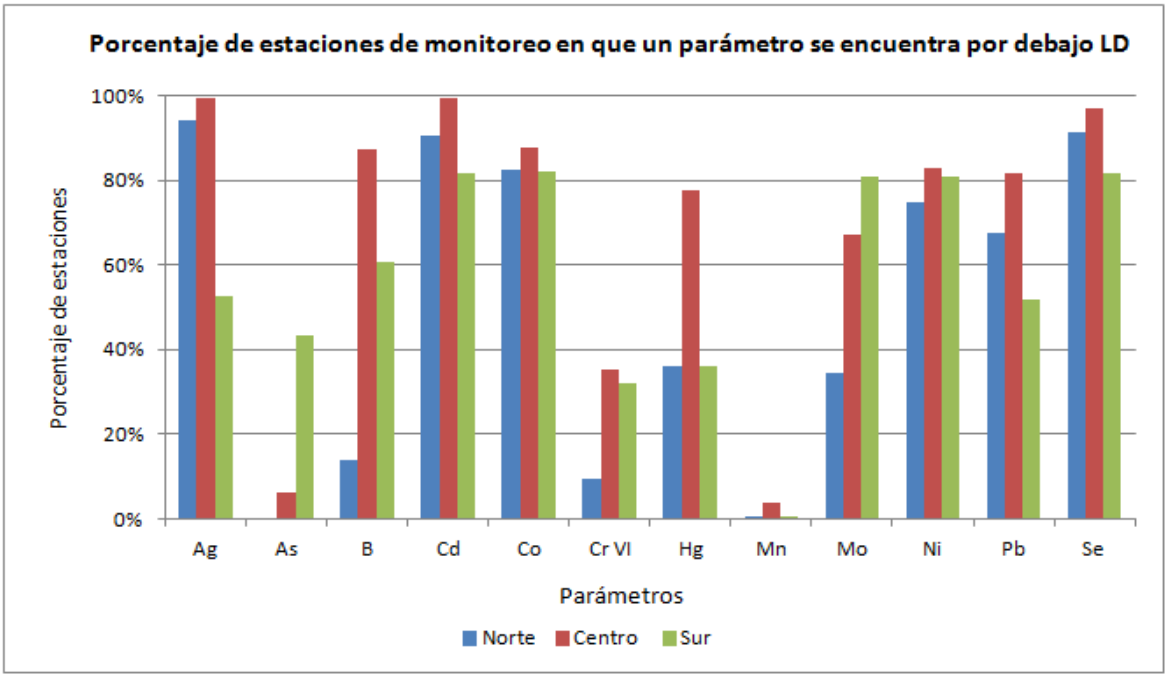
Tabla IV-4. Clasificación de datos en grupos a nivel nacional

Zona	N° de estaciones	< 15 datos	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3	TOTAL
Norte (15, 1, 2, 3 Y 4)	136	21,7%	15,3%	1,4%	61,5%	100,0%
Centro (RM, 5, 6, 7 y 8)	164	22,0%	21,0%	0,6%	56,4%	100,0%
Sur (9, 14, 10, 11, 12)	152	34,5%	18,3%	0,3%	46,9%	100,0%
Total Nacional	452	26,0%	18,4%	0,7%	54,9%	100,0%

Fuente : Elaboración propia

En el **Gráfico IV-1**, se muestra para cada parámetro, el porcentaje de estaciones (en este caso, esto es equivalente a la cantidad de series de datos) en que se clasifica dentro del grupo 1 (serie con menos de 15 registros). De los parámetros incluidos en el grupo 1, el parámetro Plata (Ag) es el que se presenta en el mayor porcentaje, seguido de los parámetros Cadmio (Cd), Selenio (Se), Boro (B), Cobalto (Co), Níquel (Ni) y Plomo (Pb).

Gráfico IV-1. Total de parámetros clasificados en el Grupo 1



Las técnicas de análisis desarrolladas actualmente por el laboratorio ambiental de la DGA presentan límites de detección distintos para cada uno de los parámetros analizados. Dos de los parámetros incluidos en el grupo 1 y/o grupo 2 presentan limites de detección superiores al valor máximo establecido en la Norma Chilena 1.333, y por tanto su análisis no permite determinar su relación con dicha normativa. Estos parámetros corresponden a Boro y Molibdeno. Por otra parte, las técnicas de análisis de los parámetros Mercurio y Cadmio presentan limites de detección equivalentes al valor máximo señalado en la normativa, mientras que para los parámetros restantes el límite de detección se encuentra por debajo de los valores limites, entregando información útil para la caracterización de la calidad de agua respecto de la normativa de referencia.

IV.2.1.2 Análisis de outliers

El análisis de las bases de datos de calidad de aguas de las estaciones de monitoreo vigentes se realizó a nivel de Cuenca Hidrográfica. Según se indicó en la metodología, los datos facilitados por la DGA se introdujeron en el programa MS Access, donde se organizaron para posteriormente exportarlos al programa Excel donde se desarrolló una consulta macro para poder ordenar la información en fichas en función de la región o la cuenca a la que pertenece cada estación.

Para el estudio de los datos anómalos u outliers se empleó el método de diagrama de cajas. Para obtener estos valores previamente hay que calcular los valores necesarios para realizar el análisis. Estos valores son:

- **Valor mínimo :** El valor más bajo de la serie estudiada

- **Cuartil inferior (Q1) :** Valor para el que el veinticinco por ciento de los datos son inferiores a él y el setenta y cinco por ciento son superiores

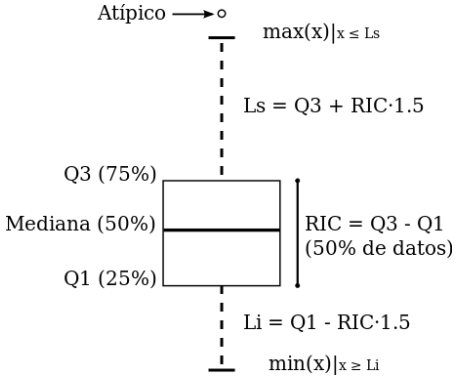
- **Mediana :** Es el valor que se sitúa en el medio de la distribución. Un cincuenta por ciento de los datos es igual o inferior a la mediana y el otro cincuenta por ciento es igual o superior.

- **Cuartil superior (Q3) :** Valor para el que el veinticinco por ciento de los datos son superiores a él y el setenta y cinco por ciento son inferiores

- **Valor máximo :** El valor más alto de la serie estudiada

El siguiente cálculo para definir los valores anómalos es el del recorrido intercuartílico que es la diferencia númerica entre el cuartil inferior y el cuartil superior.

Un diagrama de caja, también llamado diagrama de caja y bigotes, está formado por un rectángulo, la caja, y dos segmentos, los bigotes, uno a cada lado del rectángulo. La caja abarca el recorrido intercuartílico, que es el intervalo comprendido entre el primer cuartil Q1 y el tercer cuartil Q3. Dentro de la caja se representa con un segmento la mediana de la distribución. El bigote superior queda determinado por el tercer cuartil y el valor máximo y el inferior por el valor mínimo y el primer cuartil.



Se consideran valores atípicos los menores que Q1-1,5 x (Q3-Q1) y los mayores que Q3+1,5 x (Q3-Q1). Esto quiere decir que la longitud máxima de los bigotes es una vez y media la longitud de la caja (Q3-Q1). Los valores atípicos se representan fuera del diagrama de caja, mediante asteriscos o puntos.

El porcentaje de outliers respecto a la cantidad de datos y a los parámetros que corresponden en cada estación se recogen los Anexos de este documento.

Como resumen se incluyen a continuación los datos de las estaciones con outliers Upper y outliers Lower (Tabla IV-5).

Tabla IV-5. Porcentaje de outliers respecto del total de registros

		OUTLIERS (n)			OUTLIERS (%)		
ZONA	DATOS	UPPER	LOWER	TOTAL	UPPER	LOWER	TOTAL
NORTE	271.773	12.849	3.203	16.052	4,7%	1,2%	5,9%
CENTRO	283.262	13.139	2.730	15.869	4,6%	1,0%	5,6%
SUR	180.061	9.206	2.810	12.016	5,1%	1,6%	6,7%
Total	735.096	35.194	8.743	43.937	4,8%	1,2%	6,0%

Fuente : Elaboración propia

De la Tabla IV-5 se tiene que el 4,8% de los registros se considera atípico, por sobre los valores esperados; y solo en 1,2% de los registros corresponde a valores atípicos por debajo de lo esperado.

IV.3 Comentarios generales

Se realizó una descripción general de la Red de Calidad de Aguas actual, revisando distintos aspectos del proceso de obtención, procesamiento y almacenamiento de información.

En lo principal, se aprecia que una característica principal de la red actual es que su propósito es la recopilación de información, y no incluye dentro de su ciclo el análisis de la misma ni la verificación del cumplimiento de objetivos de calidad ambiental a nivel de las masas de agua objetos de seguimiento.

Respecto de la cobertura de la Red de Calidad de Aguas, se tiene que la distribución de las estaciones de monitoreo de calidad de aguas ha sido asociada tradicionalmente a los puntos de seguimiento de la hidrología de los cursos de agua o a otros procesos no estructurados, por lo que existen asimetrías evidentes en la distribución territorial de la red. Se aprecia, por ejemplo, que existe una alta concentración de las estaciones de monitoreo en algunas cuencas, ya que el 26% de las cuencas contienen al 86% de las estaciones, y una gran cantidad de cuencas no se encuentra representada (39%). Además, existe un alto predominio de estaciones de monitoreo de calidad de aguas superficiales (85%) por sobre aguas subterráneas (15%).

El proceso de toma de datos en terreno se realiza por personal sin formación específica al respecto, aunque con experiencia práctica. Sin embargo, esto resulta en limitantes a la hora de implementar procedimientos más elaborados de medición in situ de parámetros que así lo requieran.

Otro aspecto relevante es el modus operandi del análisis. Todas las muestras de calidad de aguas son enviadas al laboratorio ambiental de la Dirección General de Aguas, en Santiago, restringiendo las capacidades de análisis a aquellos que pueden ser realizados en períodos superiores a 24 y 48 hrs.

En lo principal, se puede concluir que la red ha experimentado un crecimiento permanente en cobertura a nivel nacional, desde las 86 estaciones en 1960, a 452 en la actualidad. Sin embargo, existen desafíos respecto de la representatividad de las cuencas a

nivel nacional, y sobre la incorporación de parámetros tanto medidos en terreno como en laboratorio.

Al revisar la data histórica se tiene que un 26% de las series de datos (conjunto de registros de un parámetro en una estación) cuentan con menos de 15 registros, que corresponden tanto a estaciones de monitoreo descontinuadas, parámetros descontinuados, como estaciones de establecimiento reciente con menos de 4 años de monitoreo continuo (en cuatro años se reúnen 16 registros).

Respecto a las series de datos clasificadas en el Grupo 1 (series de datos con mayoría de registros por debajo del límite de detección, que corresponden al 18% del total de series), todos los parámetros englobados en él son metales pesados. Se pueden dividir en cuatro grupos.

El primero compuesto por el cadmio, cobalto, níquel, plata, plomo y selenio superan en más de trescientas estaciones de todo el país el criterio impuesto. En el segundo se encuentran el boro, molibdeno y mercurio, en más de doscientas estaciones. En el tercer grupo se encuentran el arsénico en noventa estaciones, y el cromo, en ocho estaciones. Finalmente el manganeso únicamente se presenta como parámetro de tipo 1 en una estación, lo que descarta su pertenencia de forma habitual a este grupo.

Las series de datos que se encuentran en el Grupo 2 (entre el 50 y el 80% de los registros por debajo del límite de la detección, y el coeficiente de variación bajo el 30%, y que corresponde al 0,7% de las series de datos), también corresponden exclusivamente a metales pesados. Los parámetros que aparecen con mayor frecuencia son el mercurio y el cromo, 64 y 35 estaciones respectivamente. Otros metales, como arsénico, boro, cadmio, cobalto, selenio, cobre y zinc aparecen en este grupo siempre por debajo de seis estaciones. Se concluye que este grupo tiene una menor importancia que el grupo 1 relativamente ya que únicamente los metales mercurio y cromo aparecen de forma significativa.

El grupo 3, que incluye todas las series de datos que no han sido clasificadas anteriormente, corresponde al 54,9% del total. En conjunto con el grupo 2, alcanzan el 55,6% de los registros. Sin embargo, no es posible señalar que el 55% de los datos sea útil,

ya que el 18% de series por debajo del límite de detección (grupo 1) indica que, en este caso, esos metales pesados, no son representativos en forma consistente.

En complemento, se realizó un análisis de datos aberrantes o outliers, teniéndose que el 6% de datos se escapan de las medias poblacionales, y corresponden principalmente a Cobre, Fósforo, Zinc y Hierro.

En lo principal, se considera que las series de datos son consistentes, presentan bajos niveles de datos aberrantes, y conforman una base adecuada de información para análisis específicos, no obstante, se debe considerar la representatividad espacial y temporal bajo la cual han sido adquiridas muestras de agua y sus análisis correspondientes.

V. USOS Y PRESIONES SOBRE EL AGUA

V.1 Caracterización de usos y presiones del agua

Se realizó la caracterización de la totalidad del territorio continental del país. De esta forma se cuenta con antecedentes previos para el caso que se desee ampliar la Red a alguna cuenca sin representación actual.

Para esta caracterización se recopiló los usos del agua y las presiones antropogénicas que pudieran afectar las características de los recursos hídricos (calidad, cantidad, oportunidad, etc.). La Figura V-1 presenta el modelo simplificado que relaciona presiones e impactos sobre un cuerpo receptor, y usos y requerimientos del agua sobre el mismo.

Figura V-1. Esquema de presiones y usos en una cuenca hidrográfica

V.2 Usos del agua

V.2.1 Usos del agua

En una cuenca, las distintas masas de agua cumplen con variadas funciones ambientales, tanto para el uso humano (consumo, riego, recreación), como en su función ecológica (vida acuática). Para efectos de este estudio, y con el propósito de alinearse con la normativa de referencia[3], al ejercicio de estas funciones se les denominó usos. Cabe hacer notar que algunas actividades humanas son al mismo tiempo una presión y un uso del agua (agricultura, recreación).

Asimismo, el ejercicio de un uso del agua, responde a la capacidad de la cuenca de proporcionar la calidad y cantidad de agua para tal efecto. Esta capacidad se evalúa según requerimientos de calidad, que para efectos de este estudio se ha considerado que son los que se establecen en la normativa vigente.

V.2.2 Identificación de usos por subcuenca

La identificación de usos del agua se realizó mediante revisión bibliográfica y recopilación de antecedentes secundarios de distintas fuentes. Se distinguió los siguientes tipos de uso, en línea con la normativa nacional: **consumo humano, riego, recreación y vida acuática** [4] (Tabla V-1).

[3] En particular, en relación a la Norma Chilena 1.333 of 78 mod. 1987, Requisitos de calidad del agua para diferentes usos.

[4] Tomando como referencia la Norma Chilena 1.333/1978, Requisitos de Calidad de Aguas para distintos Usos.

Tabla V-1. Recopilación de antecedentes de usos del agua

USO	FUENTE	ESTADO
Consumo Humano	Listado de puntos de captación de agua para consumo humano. SISS 2013.	Se recopiló un total de 3.036 captaciones
Riego	Catastro de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Actualizado al Año 2011. Corporación Nacional Forestal.	Se identificaron superficies agrícolas a nivel de subcuenca.
Recreación	No se identificaron fuentes compeltas a nivel nacional sobre uso recreativo de cursos o cuerpos de agua.	No recopilado.
	Catastro de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile, Actualizado Año 2011. Corporación Nacional Forestal.	Se identificaron superficies de cuerpos de agua y humedales a nivel de subcuenca.

Fuente: Elaboración propia

Respecto del uso para recreación, si bien es clara la demanda de balnearios, áreas de pesca, deportes náuticos, entre otros, no se cuenta con una cobertura sobre su distribución, y aparentemente no existen antecedentes que sean completos sobre esta materia, por lo que si bien se considera nominalmente este uso, no es posible establecer restricciones de calidad en función del uso recreacional.

V.2.2.1 Captaciones de agua potable

Se dispuso de un total de 3.036 captaciones de agua potable, desde fuentes superficiales y subterráneas, las cuales se concentraron en cantidad en la zona sur del país. Esta cobertura fue proporcionada por la SISS y está actualizada al año 2013.

Tabla V-2. Captaciones de agua potable a nivel nacional

Zona del país	Número de captaciones	N° de subcuencas por Zona	N° de subcuencas con captaciones	%
Zona norte (regiones XV a IV)	254	158	25	15,8%
Zona centro (regiones V a VIII)	1.073	99	64	64,6%
Zona sur (regiones IX a XII)	1.709	204	39	19,1%
Total	**3.036**	**461**	**128**	**27,8%**

Fuente : Elaboración propia a partir de información SISS

V.2.2.2 Riego

Para determinar la demanda de agua para riego se identificó las superficies agrícolas a nivel nacional, específicamente se registró el porcentaje de la superficie total de cada subcuenca destinado a uso agrícola según el Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile, actualizado al año 2011.

Tabla V-3. Superficie agrícola a nivel nacional

Zona	Superficie agrícola (km2)	Superficie total (km2)	Superficie agrícola (%)
Zona norte (regiones XV a IV)	2.438,96	486.377,67	0,50%
Zona centro (regiones V a VIII)	26.361,20	123.294,71	21,38%
Zona sur (regiones IX a XII)	7.504,58	328.546,10	2,28%
Total	36.304,74	938.218,48	3,87%

Fuente : Elaboración propia a partir de Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile

A nivel nacional, el 3,87% de la superficie evaluada corresponde a terrenos agrícolas, con mayor presencia en la zona centro (Región Metropolitana, de Valparaíso, O´Higgins, del Maule y del Biobío), con un 21,4%; le sigue la zona sur (Araucanía, de los Ríos, de los Lagos, de Aysén y de Magallanes y la Ant. Chilena), con un 2,3 % promedio; y con una representación muy menor la zona norte, con un 0,5 % (regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Atacama y Coquimbo).

V.2.2.3 Vida acuática

Se identificó varias coberturas que forman parte de la vida acuática y vida silvestre en general a nivel de subcuenca. Para esto, se incluyó las superficies de humedales obtenidos a partir del catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. Dado que se busca representar la vida acuática en cada cuenca, se reunió un conjunto de coberturas bajo una clase denominada "humedales". Las tipos de cobertura reunidos son los siguientes:

- Bofedales
- Vegas
- Marismas Herbáceas
- Ríos
- Cajas de Ríos
- Otros Terrenos Húmedos
- Lagos, lagunas, embalses, tranques

La superficie de humedales por zona del país se presenta en la tabla siguiente. La zona sur presenta un 19,08% de su territorio con este tipo de coberturas, la zona central un 2,33%, y la zona norte solo un 0,07%.

Tabla V-4. Cobertura de humedales a nivel nacional.

Zona	Superficie Humedales (km2)	Superficie Total (km2)	Humedales (%)
Zona norte (regiones XV a IV)	2.511,29	486.377,67	0,52%
Zona centro (regiones V a VIII)	1.811,49	123.294,71	1,47%
Zona sur (regiones IX a XII)	55.548,61	328.546,10	16,91%
Total	59.871,39	938.218,48	6,38%

Fuente : Elaboración propia a partir de Catastro de Recursos Vegetacionales Nativos de Chile

Se evaluó además la distribución de humedales, vegas, sitios RAMSAR y sitios prioritarios para la biodiversidad, sin embargo, por la consistencia del indicador y por considerar que engloba a los demás, se trabajó con los humedales obtenidos a partir del Catastro de Bosque Nativo.

V.2.2.4 Recreación

El uso recreativo de las aguas corresponde a balnearios, zonas de navegación, pesca, y también en áreas naturales donde se realiza observación de la naturaleza, sin necesariamente realizar alguna de las actividades mencionadas anteriormente.

Sin embargo, no se dispuso de una cobertura de tipo nacional, que fuera completa, y que permitiera clasificar este uso en forma sistemática, por lo que se optó por dejarlo enunciado pero no evaluarlo.

V.2.3 Determinación de usos significativos a nivel de subcuenca

A partir de la cuantificación de usos en cada subcuenca, se estableció rangos que determinan los requerimientos asociados en cada unidad territorial, distinguiendo entre

intensidad baja, media, alta o muy alta. Se determinó que un uso era significativo cuando la intensidad en una subcuenca era alta o muy alta.

Tabla V-5. Rangos de clasificación de intensidad de usos por subcuenca

Zona del país	Uso →	**Consumo Humano**	**Agrícola**	**Vida Acuática**
	Indicador →	Cantidad de captaciones de agua potable en la subcuenca	% de la superficie de la subcuenca destinada a cultivos agrícolas	% de la superficie de la subcuenca cubierto con humedales y cuerpos de agua
	Intensidad de Uso ↓			
NORTE Regiones XV, I, II, III, IV	MUY ALTO	5 o más	3% o más	5% o más
	ALTO	3 o 4	Entre 2% y 2,9%	Entre 3% y 4,9%
	MEDIO	1 o 2	Entre 1% y 1,9%	Entre 2% y 2,9%
CENTRO Regiones V, RM, VI, VII, VIII	MUY ALTO	10 o más	20% o más	5% o más
	ALTO	7, 8 o 9	Entre 10% y 19,9%	Entre 3% y 4,9%
	MEDIO	5 o 6	Entre 5% y 9,9%	Entre 2% y 2,9%
SUR Regiones IX, X, XI, XII	MUY ALTO	8 o más	25% o más	10% o más
	ALTO	6 o 7	Entre 15% y 24,9%	Entre 5% y 9,9%
	MEDIO	4 o 5	Entre 10% y 14,9%	Entre 3% y 4,9%

Fuente : Elaboración propia

De esta manera, para el caso del uso de agua para CONSUMO HUMANO, se estableció que la presencia en la zona central del país de 5 captaciones o menos es intensidad baja; de 6 a 7, media; de 8 a 9 alta; y 10 o más captaciones, muy alta. En forma similar, para el caso de RIEGO, se estableció que una ocupación del territorio de 0 a 5 % es baja; de 5 a 10% es media; de 10 a 20% es alta; y por sobre el 20% es muy alta. En el análisis posterior se estableció que los usos significativos corresponden a aquellos con presencia alta o muy alta en cada subcuenca.

La aplicación de los rangos antes descritos a nivel nacional resultó en las estadísticas descritas en la Tabla V-6. En esta tabla se señala que de las 462 subcuencas evaluadas, 232 (el 50%), presenta al menos un uso significativo del agua. En la zona norte (entre las regiones de Arica y Parinacota y Coquimbo), las subcuencas con usos

significativos corresponden al 24% (38 de 158), siendo los usos relevantes el consumo humano y el riego; en la zona centro las subcuencas con usos significativos representan el 69% (69 de 99), destacando el uso por riego; y en la zona sur el 61% de las subcuencas cuenta con usos significativos (125 de 204), destacando largamente la relevancia de la vida acuática.

Tabla V-6. Estadísticas de intensidad de uso por subcuenca

Zona	SUBCUENCAS			DETALLE SUBCUENCAS POR USO		
	Sin usos significativos	con usos significativos	Total	Consumo Humano	Riego	Vida acuática
Zona norte (regiones XV a IV)	120	38	158	21	21	10
Zona centro (regiones V a VIII)	30	69	99	32	61	10
Zona sur (regiones IX a XII)	79	125	204	9	10	112
Total	229	232	461	62	92	132

Fuente : Elaboración propia

Se debe mencionar que el establecimiento de los umbrales se realizó en forma empírica, evaluando según criterio experto que cada uno de los indicadores representar adecuadamente los usos del agua en el territorio. Sin embargo, esta clasificación es una propuesta que puede ser modificada por la incorporación de nuevos antecedentes o modificación de los criterios propuestos.

V.3 Presiones sobre el agua

V.3.1 Presiones sobre el agua

Según el Manual para la Identificación de Presiones y Análisis del Impacto en Aguas Superficiales[5] del Ministerio de Medio Ambiente de España, se considera presión a

[5] Ministerio del Medio Ambiente de España, Dirección General del Agua. Año 2005.

cualquier actividad humana que incida sobre el estado de las aguas superficiales y subterráneas.

Dependiendo del tipo de actividad que se relaciona con la presión, esta puede ser de tipo directa, cuando sus efectos son localizados en un punto en relación a un cuerpo receptor (como puede ser el efluente de una planta de tratamiento); indirectas, cuando no cuenta con descargas a cuerpos de agua, pero es posible que los afecte por infiltración, o transporte aéreo o por escurrimiento superficial de contaminantes; por regulación, para el caso de alteración de la cantidad de agua (caudal), de la forma del escurrimiento (hidrodinámica), o bien de alguna propiedad física como la temperatura del agua; o difusa, cuando los efectos se extienden en una superficie (por ejemplo, la actividad agrícola).

El mismo documento considera impacto al resultado de una presión sobre el estado de la masa de agua. En particular, un impacto puede ser de tipo físico (alteración en la cantidad de agua disponible, su hidrodinámica o su temperatura); químico (alteración en la composición natural de elementos químicos o contaminación); o incluso biológicos (introducción de especies exóticas a un ecosistema en particular, como lo es el caso del *Didymo* en el Sur de nuestro país). Asimismo, una misma presión puede tener distintos tipos de impactos sobre los cuerpos de agua receptores.

V.3.2 Identificación de presiones por subcuenca

V.3.2.1 Recopilación de antecedentes

Se realizó un análisis de los principales tipos de presiones e impactos, para establecer una clasificación que permitiera simplificar su uso posterior. A continuación se presentan las principales fuentes de información, y la clasificación de proyectos y actividades que se desprende de ellas.

Tabla V-7. Resumen de PRESIONES directas, indirectas y por regulación identificadas

Tipo de Presión	Fuente	Estado
Presiones directas (descargas autorizadas a cursos y cuerpos de agua)	SISS (sitio web). Descargas reguladas según DS90/2000. 2013.	504 descargas total. 462 descargas georreferenciadas
	SISS (sitio web). Descargas reguladas según DS46/2002. 2013.	35 descargas georreferenciadas
	SISS (sitio web)Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas. 2013.	359 plantas de tratamiento, no georreferenciadas. Se geolocalizaron manualmente según comuna al a que sirven.
Presiones indirectas (proyectos y/o pasivos identificados, sin descargas directas)	(sitio web e-seia) Proyectos con Estudio de Impacto Ambiental aprobado en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Junio 2013.	590 proyectos georreferenciados
	(Sernageomin) Catastro de relaves del Servicio Nacional de Geología y Minería. 2010.	451 tranques de relave, 342 con georreferenciación.
	(Revista Ecoamérica) Segundo Catastro de rellenos sanitarios e industriales. 2009.	302 rellenos, no georreferenciados. Fueron geolocalizados manualmente según comuna a la que sirven.
Presiones por	(Dirección de Obras Hidráulicas)	373 embalses georreferenciados

Tipo de Presión	Fuente	Estado
regulación (proyectos y obras de regulación de cauces)	Cobertura cartográfica Embalses de riego. 2011	
	(Ministerio de Energía) Cobertura cartográfica Catastro de proyectos hidroeléctricos. 2011	162 proyectos georreferenciados
	(Dirección de Obras Hidráulicas) Cobertura cartográfica Catastro de bocatomas. 2011	La cobertura de bocatomas se amplió en forma reciente con antecedentes de la Comisión Nacional de Riego y otros, por lo que se está recalculando el número de puntos disponibles.
	Proyectos con Estudio de Impacto Ambiental aprobado en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Junio 2013.	102 proyectos georreferenciados
Presiones territoriales	(Corporación Nacional Forestal). Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile. 2011.	Identificación de superficies agrícolas, forestales, urbanas e industriales.

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta una breve descripción de las presiones identificadas según fuente.

V.3.2.2 Descargas SISS

La Tabla V-8, presenta el número de descargas autorizadas por la SISS según frecuencia (sobre proyectos), y código CIIU (Clasificación Industrial Internacional Uniforme) simplificado.

Tabla V-8. Descargas autorizadas por la SISS

CIIU SIMPLIFICADO	DESCRIPCIÓN	N° DE DESCARGAS
311	Industria de alimentos	171
130	Pesca / cultivos hidrobiológicos	168
313	Industria de bebidas	40
341	Industria del papel	17
410	Generación eléctrica - térmica	17
410	Generación eléctrica - hidroeléctrica	17
230	Industria minería metálica	14
111	Crianza de ganado	11
331	Industria de madera	10
920	Servicios de saneamiento	10
321	Industria textil	6
611	Mayoristas ganaderos y alimentos	6
290	Industria minería no metálica	5
312	Industria de alimentos (otros)	5
931	Escuelas especializadas	3
323	Industria del cuero	2
625	Retail	2
Total		504

Fuente: Superintendencia de Servicios Sanitarios.

V.3.2.3 Estudios aprobados en el SEIA

La Tabla V-9, presenta la frecuencia de proyectos con Estudio de Impacto Ambiental aprobados en el SEIA, dando cuenta de la prevalencia de proyectos mineros (i4), energéticos (c); manejo de residuos sólidos (o5), y líneas y subestaciones de transmisión eléctrica (b1).

Tabla V-9. Frecuencia de proyectos con EIA aprobado en el SEIA

LITERALES SEIA (ART 10° LEY 19.300)	FRECUENCIA DE PROYECTOS POR LITERAL
i4	131
c	87
b1, o5	47
p	29
k1	22
o4	21
j2	18
e7	15
a1, f4, t	13
o6	12
f1	11
m4, ñ4, ñ5	10
o8	9
g4	8
h1	7
e8, g1, h5, ñ1	6
g2, m3, n3, n6, o11	5
i1, o7, o9	4
a5, e1, i5, j1, j4	3
a6, h2, h4, h6, i2, l2	2
a4, b2, f3, g3, l1, m1, o1, o3, o10, s	1
Total	**632**

Fuente: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, junio de 2013

De estos 632 Estudios de Impacto Ambiental aprobados en el sistema, se logró georreferenciar correctamente 590, cuya distribución en el territorio nacional se presenta en la tabla siguiente. En lo principal, los proyectos se distribuyen equitativamente entre zona norte y zona centro, y en menor proporción en la zona sur (región de la Araucanía hasta región de Magallanes y Antártica Chilena).

Tabla V-10. Distribución de Estudios aprobados en el SEIA

Zona	SEIA (n)
Zona norte (regiones XV a IV)	222
Zona centro (regiones V a VIII)	269
Zona sur (regiones IX a XII)	99
Total	590

Fuente: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, junio de 2013

Estas dos fuentes agrupan buena parte de las presiones identificadas, a las que se debe agregar el catastro de tranques de relave, asimilados a proyectos mineros; catastro de rellenos sanitarios e industriales, asimilados a la categoría Proyectos de saneamiento ambiental (letras O1 y O4 del Reglamento de la ley de bases Generales del Medioambiente); y los usos de carácter territorial (urbano e industrial, agrícola, forestal, y ganadero).

V.3.2.4 Catastro de relaves mineros, SERNAGEOMIN

Se dispuso de un total de 342 depósitos de relaves georreferenciados, o bien geolocalizados a nivel de subcuenca a través de la referencia de la ubicación incluida en el catastro de SERNAGEOMÍN. La distribución de tranques de relave por zona del país se presenta en la tabla siguiente. La actividad se concentra claramente en la zona norte del país (entre Arica y Coquimbo).

Tabla V-11. Frecuencia de proyectos con EIA aprobado en el SEIA

Zona	TRANQUES DE RELAVE (n)
Zona norte (regiones XV a IV)	334
Zona centro (regiones V a VIII)	6
Zona sur (regiones IX a XII)	2
Total	342

Fuente : Elaboración propia a partir de Catastro de depósitos de relaves, SERNAGEOMIN

V.3.2.5 Catastro de rellenos sanitarios industriales (Revista ECOAMERICA)

Se identificó un total de 302 rellenos sanitarios e industriales, a partir del segundo catastro de rellenos sanitarios e industriales realizado por la Revista Ecoamérica, de Cipreses Comunicaciones. De este total, 239 rellenos pudieron ser asignados a alguna subcuenca, los que se concentran principalmente en la zona sur y Centro del país.

Tabla V-12. Frecuencia de proyectos con EIA aprobado en el SEIA

Zona	Rellenos sanitarios e industriales (n)
Zona norte (regiones XV a IV)	56
Zona centro (regiones V a VIII)	87
Zona sur (regiones IX a XII)	96
Total	239

Fuente : Elaboración propia a partir de Segundo Catastro de Rellenos sanitarios e industriales

V.3.2.6 Proyectos de regulación del cauce

Los proyectos hidroeléctricos se incluyeron a partir de una cobertura de proyectos del Ministerio de Energía, año 2011. Se identificó un total de 228 proyectos a lo largo del país, con predominio en las zonas centro (entre la quinta y la octava región) y sur del país (desde la novena región al sur).

Tabla V-13. Frecuencia de proyectos hidroeléctricos en el país

Zona	Proyectos hidroeléctricos (n)	Proyectos de regulación aprobados en el SEIA (n)	Total (n)
Zona norte (regiones XV a IV)	3	9	12
Zona centro (regiones V a VIII)	79	40	119
Zona sur (regiones IX a XII)	80	17	97
Total	162	66	228

Fuente : Elaboración propia a partir de coberturas de Ministerio de Energía y www.seia.cl

V.3.2.7 Áreas urbanas, agrícolas y forestales

Se determinó la superficie de áreas urbanas e industriales, agrícolas, y forestales a partir de la información proporcionada por el Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile, año 2007. No se pudo especificar las áreas ganaderas, por lo que no se determinó esta superficie. Sin embargo, se estimó que quedan representadas por las áreas agrícolas.

La distribución por zonas dentro del país indica que en la zona norte, ninguna de estas tres coberturas es relevante a nivel territorial (agregadas representan menos del 1,0% de la superficie); en la zona centro predominan las áreas agrícolas y forestales; mientras que en la zona sur, al igual que en la zona norte, su presencia se ve disminuida en relación a la extensión general del territorio.

Tabla V-14. Porcentaje de coberturas de áreas urbanas, agrícolas y forestales

Zona	Áreas urbanas (%)	Áreas agrícolas (%)	Áreas forestales (%)
Zona norte (regiones XV a IV)	0,05%	0,50%	0,22%
Zona centro (regiones V a VIII)	1,31%	21,38%	15,14%
Zona sur (regiones IX a XII)	0,10%	2,28%	1,89%
Total nacional	0,23%	3,87%	2,77%

Fuente : Elaboración propia a partir de Catastro de los Recursos Vegetacionales Nativos de Chile, Año 2007

V.3.3 Clasificación de presiones

A partir de las tipologías de proyecto antes descritas, se propuso la siguiente tipología de presione Tabla V-15,, que busca conciliar los tipos de presión descritas (directos, indirectos, difusos y de regulación), con las clasificaciones de proyectos disponibles (SEIA, CIIU, SISS, usos del territorio).

Tabla V-15. Tipos de PRESIONES

TIPO	SUBTIPO	SEIA (ART. 10° LEY 19.300)	SISS (GENÉRICO)	CIIU (*)	USO DEL SUELO (CATASTRO BN)
REGULACIÓN CUENCA	Descarga térmica (termoeléctricas)	c	410	40-10-12, 40-10-13	
	Regulación de caudal (embalses de riego, proyectos hidroeléctricos)	a1, c	410	40-10-11	
	Alteración cauce (intervención de cauces, extracciones de áridos)	a4, i1, i2	290		
AGROINDUSTRIA E INDUSTRIA DE ALIMENTOS	Agroindustria (producción animal)	I1, i2, i4	111, 611	01-2	
	Industria alimentos y bebidas		311, 312, 313	15-1, 15-2, 15-3, 15-4, 15-5, 15-11, 15-12, 15-13, 15-14, 15-51, 15-52, 15-53, 15-541	
MINERÍA METÁLICA Y NO METÁLICA	Minería metálica	I4	230	13-1, 13-2, 13-3	
	Minería no metálica - general	I4	290	10-0, 14-1, 14-2	
PRODUCCIÓN Y REFINAMIENTO DE HIDROCARBUROS	Producción y almacenamiento de hidrocarburos		353	90-04	
INDUSTRIA TEXTIL Y DEL CUERO	Industria textil		321	18-1, 18-2	
	Industria del cuero	K2	323	19-1	
PRODUCCIÓN DE MADERA Y PAPEL	Industria de la madera	M3	331	20-1, 20-2	
	Industria de pulpa y papel	M4	341	21-0, 21-2, 22-x	
PRODUCCIÓN HIDROBIOLÓGICA	Cultivos hidrobiológicos	N3, n6	130	05-1	
MANEJO DE RESIDUOS DOMICILIARIOS E INDUSTRIALES	Disposición y manejo residuos domiciliarios	I5, o5, t		90-01, 90-02, 900010, 900030	
	Disposición y manejo residuos industriales y peligrosos	Ñ1, ñ4, ñ5, o7,			

TIPO	SUBTIPO	SEIA (ART. 10° LEY 19.300)	SISS (GENÉRICO)	CIIU (*)	USO DEL SUELO (CATASTRO BN)
		o8, o9, o10, o11			
TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS	Tratamiento de aguas servidas – impactos asimilables a domiciliarios (puntuales)	O1, o4	920	90-04, 900050	
INDUSTRIA (**)	Establecimientos industriales en general	K1	351, 352, 381	24-1, 24-2, 25-1, 25-2, 26, 27, 36	
RECREACIÓN	Actividades Recreativas				
ÁREAS URBANAS E INDUSTRIALES	Zonas urbanas	E1, g1, g2, g3, g4		70-x	Ciudades, industriales
ÁREAS FORESTALES	Explotación forestal (manejo de plantaciones)	M1		02	Plantaciones forestales
ÁREAS AGRÍCOLAS	Explotación agrícola (terrenos agrícolas)			01-1, 01-3	Terrenos agrícolas
ÁREAS GANADERAS	Explotación ganadera (terrenos ganaderos)			01-2	Praderas anuales

Fuente: Elaboración propia

(*) Para la asignación de los códigos CIIU se trabajó en el documento Generación de información base para la evaluación de normas de calidad ambiental y emisión: revisión y actualización sobre tecnologías y costos de abatimiento de contaminantes en residuos líquidos. Elaborado por AMPHOS 21para el Ministerio de Medio Ambiente. Informe final del 06 de marzo de 2014.

(**) La clase de proyectos industriales se excluyó del análisis posterior, dada la alta diversidad de tipos de industrias y la dificultad para establecer posteriormente un tipo de impacto asociado.

Una vez determinados los tipos de presiones, se determinó la cantidad de proyectos por tipo identificados en el territorio nacional, estadística que se presenta en la tabla siguiente. En total se georreferenció 3.764 proyectos, y destacan por su representación los proyectos mineros (486 proyectos, principalmente en la zona norte del país), y de manejo de residuos (340), y plantas de tratamiento de aguas servidas (374).

Tabla V-16. Número de Presiones por Tipo identificadas en el país

ZONA	REGULACIÓN CUENCA	AGROINDUSTRIA E INDUSTRIA DE ALIMENTOS	MINERÍA METÁLICA Y NO METÁLICA	PRODUCCIÓN Y REFINAMIENTO DE HIDROCARBUROS	INDUSTRIA TEXTIL Y DEL CUERO	PRODUCCIÓN DE MADERA Y PAPEL	PRODUCCIÓN HIDROBIOLÓGICA	MANEJO DE RESIDUOS DOMICILIARIOS E INDUSTRIALES	TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS
Zona norte (regiones XV a IV)	12	6	434	0	1	1	0	74	56
Zona centro (regiones V a VIII)	119	157	42	3	2	31	20	150	224
Zona sur (regiones IX a XII)	97	68	10	0	6	7	152	116	94
Total	228	231	486	3	9	39	172	340	374

Fuente : elaboración propia

Las presiones producto de los usos territoriales (áreas urbanas e industriales, áreas agrícolas y forestales), se presentaron en la Tabla V-14.

V.3.4 Determinación de presiones significativas por subcuenca

Una vez definidas las presiones sobre el territorio, se determinó, al igual que para los usos, las presiones relevantes a nivel de subcuenca. Para esto se estableció rangos para intensidades de presión baja, media, alta o muy alta, diferenciados para la zona norte (región de Arica y Parinacota hasta región de Coquimbo), centro (región de Valparaíso hasta región del Biobío), y sur (región de la Araucanía hacia el sur). Los rangos de presión se presentan en la Tabla V-17 y Tabla V-18.

Tabla V-17. Rangos de presiones puntuales (número de proyectos por subcuenca)

Zona	RANGO	RANGOS DE PRESIONES (NÚMERO DE PROYECTOS POR SUBCUENCA)								
		REGULACIÓN CUENCA	AGROINDUSTRIA E INDUSTRIA DE ALIMENTOS	MINERÍA METÁLICA Y NO METÁLICA	PRODUCCIÓN Y REFINAMIENTO DE HIDROCARBUROS	PRODUCCIÓN DE MADERA Y PAPEL	INDUSTRIA TEXTIL Y DEL CUERO	PRODUCCIÓN HIDROBIOLÓGICA	MANEJO DE RESIDUOS DOMICILIARIOS E INDUSTRIALES	TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS
NORTE (regiones XV a IV)	MUY ALTO	4 o más	4 o más	5 o más	3 o más	5 o más	5 o más	5 o más	5 o más	5 o más
	ALTO	2 o 3	3	4	2	3 o 4	3 o 4	3 o 4	4	3 o 4
	MEDIO	1	2	2 o 3	1	2	2	2	Entre 2 y 3	2
CENTRO (Regiones V a VIII)	MUY ALTO	4 o más	5 o más	4 o más	3 o más	5 o más	5 o más	5 o más	5 o más	5 o más
	ALTO	2 o 3	Entre 2 y 4	3	1 o 2	3 o 4	Entre 2 y 4	4	4	4
	MEDIO	1	2	2	0	2	1	2 o 3	2 o 3	2 o 3
SUR (Regiones IX a XII)	MUY ALTO	4 o más	5 o más	4 o más	3 o más	5 o más	5 o más	5 o más	5 o más	5 o más
	ALTO	3	Entre 2 y 4	3	1 o 2	4	4	4	4	4
	MEDIO	2	1	2	0	2 o 3	2 o 3	2 o 3	2 o 3	2 o 3

Fuente : Elaboración propia

Tabla V-18. Rangos de presiones territoriales (porcentaje de superficie por subcuenca)

Zona	RANGO	PRESIONES (% de la superficie por subcuenca)		
		Áreas Urbanas e Industriales	Áreas Agrícolas	Áreas Forestales
NORTE (regiones XV a IV)	MUY ALTO	3,0% o más	3,0% o más	3,0% o más
	ALTO	Entre 2,0% y 2,9%	Entre 2,0% y 2,9%	Entre 2,0% y 2,9%
	MEDIO	Entre 1,0% y 1,9%	Entre 1,0% y 1,9%	Entre 1,0% y 1,9%
CENTRO (Regiones V a VIII)	MUY ALTO	4,0% o más	15,0% o más	25,0%
	ALTO	Entre 2,0% y 3,9%	Entre 10,0% y 14,9%	Entre 15,0% y 24,9%
	MEDIO	Entre 1,0% y 2,9%	Entre 5,0% y 9,9%	Entre 5,0% y 14,9%
SUR (Regiones IX a XII)	MUY ALTO	4,0% o más	20,0% o más	25,0% o más
	ALTO	Entre 2,0% y 3,9%	Entre 15,0% y 19,9%	Entre 15,0% y 24,9%
	MEDIO	Entre 1,0% y 1,9%	Entre 5,0% y 14,9%	Entre 5,0% y 14,9%

Fuente : Elaboración propia

Se aplicó los rangos de presión descritos anteriormente, y se estableció como subcuencas con presiones significativas aquellas que tenían una o más presiones calificadas como altas o muy altas. El resultado se presenta en la tabla siguiente, y a nivel nacional el 31% de las subcuencas (144 de 461) presentaron presiones significativas. Más de la mitad de las subcuencas con presiones significativas se encuentra en la zona centro, donde el 76% de las subcuencas cuenta con presiones, a diferencia de la zona norte (30%), y zona sur (10%).

Tabla V-19. Número de Presiones por Zona identificadas en el país

SUBCUENCAS	SIN PRESIONES SIGNIFICATIVAS (n)	CON PRESIONES SIGNIFICATIVAS (n)	TOTAL (n)
NORTE (regiones XV a IV)	111	47	158
CENTRO (Regiones V a VIII)	23	76	99
SUR (Regiones IX a XII)	183	21	204
TOTAL	317	144	461

Fuente : Elaboración propia

En la Tabla V-20 se presenta el número de subcuencas en que cada presión resultó significativas. Por ejemplo, las áreas forestales son relevantes en 49 subcuencas, lasa áreas agrícolas en 38, ambas en la zona centro. En la zona norte, destaca las presiones por proyectos mineros; y en la zona sur, las presiones por regulación de cauce.

Tabla V-20. Número de subcuencas con presiones significativas

PRESIONES	NORTE (regiones XV a IV)	CENTRO (Regiones V a VIII)	SUR (Regiones IX a XII)	TOTAL
Regulación de cauce	1	21	15	37
Agroalimentos	0	0	3	3
Minería	28	2	1	31
Hidrocarburos	0	1	0	1
Madera y Papel	0	1	0	1
Textil y Cuero	0	0	0	0
Cultivos Hidrobiológicos	0	0	6	6
Residuos	3	6	6	15
Aguas Servidas	0	8	4	12
Áreas de recreación	0	0	0	0
Áreas Urbanas e Industriales	1	10	0	11
Áreas Forestales	0	49	0	49
Áreas Agrícolas	12	38	7	57
Áreas Ganaderas	0	0	0	0
TOTAL	45	136	42	

Fuente : Elaboración propia

En la Tabla V-20 se presenta el número de menciones de cada presión, por lo que la suma sobrepasa el número total de subcuencas (461), por lo que no se incorpora dentro del total de la misma.

VI. PROPUESTA DE REFORMULACIÓN DE LA RED DE CALIDAD DE AGUAS

VI.1 Antecedentes Generales

En Chile existe en la actualidad una red establecida para el control de la calidad de las aguas superficiales continentales. El Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos, a través del Laboratorio Ambiental, tiene a su cargo la ejecución y control de la calidad de los recursos hídricos mediante la operación de esta red de aguas superficiales y subterráneas, cuyo objetivo es caracterizar la calidad del recurso hídrico.

El control e investigación de la calidad de aguas responde a las atribuciones, funciones y obligaciones de la Dirección General de Aguas establecidas en el art° 299 del Código de Aguas, en especial a lo referente con la investigación y medición del recurso.

Actualmente la red de calidad que se opera se mantiene relativamente similar a la propuesta hecha en el estudio Análisis Crítico de la Red Fluviométrica Nacional − Red de Calidad de Aguas (1984). Este estudio definió y clasificó las estaciones de monitoreo como: estación base, estación de impacto, estación de prevención y estación de verificación. En relación con los parámetros definidos, se atendió a las particularidades locales y las necesidades de información para el manejo y planificación de la cuenca, incluyendo las condiciones geoquímicas y el desarrollo de actividades agrícolas y agroindustriales, vigentes a esa fecha.

La Red de calidad de agua superficial y subterránea registra datos desde la década de 1960 y actualmente cuenta con 452 estaciones vigentes. La red se construyó siguiendo criterios distintos a los actuales, y presenta un grado de desarrollo diferente entre cuencas. Por este motivo, existe la necesidad de redefinir la red existente para cubrir nuevos objetivos, puesto que tanto la legislación como las posibles afecciones al medio hídrico, que dieron origen a las mismas, han ido cambiando desde que fue diseñada.

VI.2 Metodología

La reformulación de la red de monitoreo a nivel nacional, se ha basado en el análisis estadístico y conocimiento de las características relevantes de la cuencas que pueden condicionar la calidad de las aguas.

El objetivo general de esta nueva red de calidad de aguas es generar información pública y sistemática que caracterice la calidad de los recursos hídricos para mejorar el conocimiento de las cuencas hidrográficas, conocer su evolución en el tiempo y definir medidas correctoras para la conservación y protección de estos recursos y posteriormente evaluar el grado de efectividad de estas.

Es fundamental disponer de información de calidad, ya que las consecuencias de basar la gestión en unos datos poco fiables pueden ser negativas, tanto desde el punto de vista socio-económico como medioambiental

Este objetivo general se desglosa en diversos objetivos específicos como son:

- Caracterizar en términos de su calidad las aguas superficiales y aguas subterráneas.
- Conformar una Red de Observación y una Red de Impacto coherente con los usos y características del territorio donde se insertan.
- Promover el desarrollo de instrumentos de gestión de la calidad de las aguas. Específicamente, de Normas secundarias de Calidad ambiental, permitiendo su verificación mediante estaciones que conformen la red de control.

A continuación se definen las dos subredes de calidad, aguas superficiales y aguas subterráneas, que conforman la red de control de calidad de agua que se propone.

VI.3 Objetivos y Requisitos de la Red

VI.3.1 Objetivos

VI.3.2 Objetivo General

El objetivo general de la Red de calidad de aguas es generar información pública y sistemática que debe usarse para caracterizar la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, para mejorar el conocimiento de las cuencas hidrográficas, conocer su evolución en el tiempo, y definir medidas correctoras para la conservación y protección de estos recursos, y posteriormente evaluar el grado de efectividad de éstas.

VI.3.3 Objetivos específicos de la Red de Calidad de Aguas Superficiales

En términos generales, una red de control de la calidad de las aguas superficiales se basa en los aspectos y objetivos siguientes:

i. Conocer el estado actual de la calidad de las aguas superficiales en cada cuenca.
ii. Disponer de información para evaluar los cambios a medio y largo plazo en las condiciones naturales.
iii. Disponer de información para evaluar los cambios a medio y largo plazo resultantes de la actividad antropogénica muy extendida
iv. Realizar el seguimiento de la calidad de las aguas con usos humanos o funciones ambientales específicas.
v. Disponer de información para determinar el estado de las estaciones para las que se presupone algún riesgo de impacto.
vi. Disponer de información para determinar la magnitud e impactos de la contaminación accidental.
vii. Disponer de información para evaluar el cumplimiento de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental.

viii. Ser la base para el diseño eficiente y efectivo de los futuros programas de control.

VI.3.4 Objetivos específicos de la Red de Calidad de Aguas Subterráneas

La red de control de la calidad de las aguas subterráneas se basa en los aspectos y objetivos siguientes:

i. Conocer el estado actual de la calidad del agua subterránea en cada cuenca.
ii. En función de los resultados obtenidos en la explotación de la Red, servir de base para la adopción de estrategias futuras para combatir la contaminación y para redefinir la Red cuando se considere necesario (Parámetros a controlar y su frecuencia).
iii. Disponer de información que permita un seguimiento sistemático de la calidad de las aguas afectadas por vertidos urbanos o industriales, y a partir de esto, controlar el efecto que produce la emisión de sustancias peligrosas en el medio acuático receptor o acuífero.
iv. Facilitar información para la evaluación de las tendencias a largo plazo resultantes de modificaciones de las condiciones naturales y de la actividad antropogénica.
v. En una segunda fase, servirá para evaluar la efectividad de las medidas adoptadas para el control y reducción de la contaminación una vez conocido el estado de las masas de agua.

VI.3.5 Requisitos

Los requisitos para la definición de la red pasan por definir la información necesaria para su determinación, y los recursos disponibles para su implementación.

Información necesaria

La información necesaria depende de la aproximación que se realizará sobre la red. Sin embargo, se establece a continuación un listado de antecedentes relevantes y disponibles a la fecha, y que fueron recopilados en distintas instancias de este trabajo.

- Antecedentes previos de calidad de aguas: que corresponde al registro histórico de mediciones de calidad de agua pro estación, el cual fue analizado desde un punto de vista estadístico (clasificación por grupos y determinación de outliers).
- Información de hidrología, hidrografía e hidrogeología asociada : que correspondió a principalmente a la recopilación de antecedentes de delimitación de cuencas, subcuencas y subsubcuencas, empleados como base para la definición del alcance territorial del estudio.
- Información de usos y demandas del agua: que consistió en la recopilación de usos del agua, descrita en detalle en el capítulo 5 del presente informe.
- Información sobre presiones e impactos sobre las masas de agua: que consistió en la recopilación de presiones sobre el agua, descrita en detalle en el capítulo 5 del presente informe.
- Legislación aplicable: se recopiló Normas Secundarias de Calidad Ambiental aprobadas y en tramitación, normativas nacionales (D.S. 143/1995, D.S. 46/2002, D.S. 90/2000), y normativas de referencia (NCh. 1.333).

Recursos disponibles

Los recursos disponibles determinan el punto hasta donde se puede implementar modificaciones a la red actual, y cuáles serán las necesidades futuras que surjan a partir de la propuesta de reformulación. Los recursos requeridos son :

- Recursos para la toma de muestras (recursos materiales y humanos), los cuales fueron recopilados en entrevistas con el laboratorio ambiental de la Dirección General de aguas y en Taller realizado con fecha 14 de abril de 2014.
- Recursos para el análisis de muestras en laboratorio (analitos como volumen de trabajo), los cuales fueron informados por el laboratorio ambiental de la DGA.
- Recursos para el procesamiento de la información, informados por el laboratorio ambiental de la DGA.

VI.3.6 Definición de estrategia

La estrategia propuesta para la reformulación de la Red de Calidad de Aguas consiste en utilizar en una primera instancia el conjunto de estaciones existentes y las capacidades de análisis actuales del laboratorio y efectuar un diseño que optimice el uso de estos recursos; y luego para una segunda etapa se propone la definición de nuevas estaciones de monitoreo, y el seguimiento de nuevos parámetros.

Se definieron tres fases para la implementación de la propuesta de reformulación de la red.

- Fase 1 : en una primera fase, se mantiene el número de estaciones de monitoreo y de analitos, y se proponen cambios operacionales sobre la base de estos recursos. La primera fase solo requiere un cambio en la gestión de la red.
- Fase 2 : se denominó a la implementación de nuevas estaciones de monitoreo y analitos en laboratorio ambiental de la DGA. Resultará en un aumento de los costos de operación e inversión en equipos de laboratorio.
- Fase 3 : se incluyó dentro de esta fase a los cambios en la operación en terreno, específicamente la incorporación de nuevas mediciones in situ y capacitación del personal asociado.

VI.4 Programa de Control

VI.4.1 Diseño

Dados los antecedentes disponibles, se ha optado por utilizar un diseño de tipo DETERMINISTA tanto para ubicación de las estaciones como para la frecuencia de muestreo y analítica asociada.

Esto es así porque se dispone de información de usos y presiones a nivel territorial en forma detallada (subcuenca), y antecedentes históricos que permiten complementar la determinación de la frecuencia de medición y los parámetros a analizar.

VI.4.2 Criterios estadísticos del diseño

Tamaño muestral

En la Fase 1 se mantienen todas las estaciones de monitoreo y en su ubicación actual, por lo que el tamaño muestral es el mismo.

Para la Fase 2, se han añadido nuevas estaciones que cubren aquellas subcuencas en que se ha determinado que deben estar representadas, por los usos o presiones identificados, o bien para contar con información de contraste.

En la Tabla VI-1 se presenta el cuadro resumen del total de estaciones de calidad de aguas superficiales y subterráneas, actuales y propuestas.

Respecto de las aguas superficiales, actualmente hay 382 estaciones, y se propone incorporar 23 nuevos puntos de monitoreo, principalmente en la cuarta y quinta región. Respecto de las aguas subterráneas, actualmente la red cuenta con 70 estaciones, y se propone incorporar 40 nuevos puntos, principalmente en la cuarta y octava región.

Con esta propuesta, el porcentaje de estaciones de calidad en aguas superficiales pasaría de 84,5% (382 de 452 estaciones) a 78,6% (405 de 515); y el de aguas subterráneas desde 15,5% (70 de 452) a 21,4% (110 de 515).

Tabla VI-1. Tabla resumen de estaciones de calidad actuales y propuestas, para aguas superficiales y subterráneas

Región	Estaciones de calidad de aguas								
	Superficiales			Subterráneas			Total		
	Actuales	Propuestas	Subtotal	Actuales	Propuestas	SubTotal	Actuales	Propuestas	Total
15	14	1	15	3	1	4	17	2	19
1	10	0	10	7	0	7	17	0	17
2	20	0	20	1	4	5	21	4	25
3	18	1	19	11	2	13	29	3	32
4	42	9	51	10	11	21	52	20	72
5	25	5	30	3	4	7	28	9	37
6	20	0	20	5	1	6	25	1	26
7	26	2	28	5	3	8	31	5	36
8	31	3	34	5	8	13	36	11	47
9	22	1	23	0	2	2	22	3	25
14	19	0	19	2	0	2	21	0	21
10	21	0	21	3	0	3	24	0	24
11	39	1	40	0	0	0	39	1	40
12	50	0	50	0	3	3	50	3	53
13	25	0	25	15	1	16	40	1	41
Total	**382**	**23**	**405**	**70**	**40**	**110**	**452**	**63**	**515**
%	94,3%	5,7%	100,0%	63,6%	36,4%	100,0%	87,8%	12,2%	100,0%
	78,6%			21,4%			100,0%		

Fuente : Elaboración propia

Ubicación de los puntos de monitoreo

Durante la Fase 1 se mantiene la ubicación de todas las estaciones de monitoreo. De hecho, no se propone el cambio de ubicación de ninguna de ellas.

En la Fase 2 se propone la incorporación de nuevas estaciones, para lo cual se establecen criterios de interés para ubicarla, aunque la posición definitiva deberá realizarse mediante una validación de la factibilidad en terreno.

Las nuevas estaciones propuestas, a nivel de región, se presentan en la Tabla VI-1. La ubicación propuesta para cada una de ellas se propone en el informe específico por cuenca.

Tipos de estaciones de monitoreo

Se definió dos tipos de estaciones de monitoreo, según la continuidad de medición :

- **Estaciones permanentes**, que como su nombre lo indica, que se miden de forma continua en cada campaña de monitoreo.
- **Estaciones eventuales**, que corresponden a estaciones que han sido medidas en alguna oportunidad, y que se reservan para el caso en que se deba reactivar las mediciones en dicho lugar.

Según el propósito de las estaciones de monitoreo, se definen 3 tipos diferentes :

- **Observación**, en aquellas subcuencas en que no se cuenta con información previa;
- **Seguimiento**, para subcuencas que cuentan con estaciones de monitoreo previas y/o antecedentes de presiones y usos.
- **Control**, para aquellas cuencas o subcuencas que se encuentran reguladas por una NSCA.

En la Tabla VI-2 se presenta el total de estaciones según continuidad de monitoreo. Solo se propuso pasar 5 estaciones a una condición eventual, todas de aguas superficiales y en las regiones cuarta (3), segunda (1), y undécima (1).

En complemento, sólo se propuso una estación de observación, en Isla Riesco. Esto dado que no se contaba con información preliminar en la subcuenca, no obstante dicho territorio es objeto de constantes presiones antrópicas.

Tabla VI-2. Estaciones de calidad de agua según continuidad del monitoreo (Permanentes o eventuales)

Región	Estaciones de calidad de aguas					
	Superficiales			Subterráneas		
	PERMANENTE	EVENTUAL	Subtotal	PERMANENTE	EVENTUAL	SubTotal
15	15	0	15	4	0	4
1	10	0	10	7	0	7
2	19	1	20	5	0	5
3	19	0	19	13	0	13
4	48	3	51	21	0	21
5	30	0	30	7	0	7
6	20	0	20	6	0	6
7	28	0	28	8	0	8
8	34	0	34	13	0	13
9	23	0	23	2	0	2
14	19	0	19	2	0	2
10	21	0	21	3	0	3
11	39	1	40	0	0	0
12	50	0	50	3	0	3
13	25	0	25	16	0	16
Total	400	5	405	110	0	110
%	98,8%	1,2%	100,0%	100,0%	0,0%	100,0%

Frecuencia de muestreo

La frecuencia de monitoreo se estableció en 4 mediciones por año para aguas superficiales, y 2 mediciones por año para aguas subterráneas.

Sin embargo, y dependiendo de la variabilidad estadística de cada parámetro en cada subcuenca, se propuso además reducir el análisis a frecuencias menores (una vez al año). Las reglas para la definición de la frecuencia de monitoreo por parámetro se presentan en la Tabla VI-6.

La propuesta en detalle para cada subcuenca se presenta en los informes específicos por cuenca.

VI.4.3 Criterios de Explotación de la Red

Parámetros

Los parámetros a medir en cada estación de monitoreo han sido definidos de manera común para todas las estaciones de una misma matriz (superficiales o subterráneas) que comparten una misma subcuenca. A continuación se describen los parámetros para estaciones de observación, seguimiento y de control.

a) Definición de parámetros

Parámetros base

Se definió un conjunto de parámetros base, que deben ser medidos en todas las estaciones de la red de calidad de aguas. Para su definición, se utilizó referencias de la

Directiva Marco del Agua europea, propuesta de expertos de Infraeco, y propuesta de expertos mediante un panel realizado en abril de 2014, donde participaron representantes de la Dirección General de Aguas, Ministerio de Medio Ambiente, Centro Nacional del Medio Ambiente e Infraeco.

El listado de parámetros base para aguas superficiales y subterráneas se presenta en la Tabla VI-3. Se detalla la fuente a partir de la cual se propuso cada parámetro base, que son :

- DMA : Directiva Marco del Agua
- PANEL : Panel de Expertos
- INFRA : Criterio expertos INFRAECO

Además, se especifican las fases de implementación, según se definió en la estrategia.

Tabla VI-3. Parámetros base

N°	Grupo	Parámetros Base	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS SUBTERRÁNEAS	FASE
1	Físicos	Temperatura	DMA	PANEL	Fase 1
2	Físicos	Caudal/Nivel	DMA	DMA	Fase 3
3	Fisicoquímicos	Alcalinidad	DMA	INFRA	Fase 3
4	Fisicoquímicos	Conductividad	DMA	DMA	Fase 1
5	Fisicoquímicos	Oxígeno disuelto	DMA		Fase 1
6	Fisicoquímicos	pH	DMA	DMA	Fase 1
7	Fisicoquímicos	Sólidos Suspendidos totales	PANEL		Fase 3
8	Macroelementos	Calcio total	INFRA	INFRA	Fase 1
9	Macroelementos	Sodio total	INFRA	INFRA	Fase 1
10	Macroelementos	Potasio total	INFRA	INFRA	Fase 1
11	Macroelementos	Cloruro	DMA	INFRA	Fase 1
12	Macroelementos	Sulfatos	INFRA	INFRA	Fase 1
13	Macroelementos	Magnesio total	INFRA	INFRA	Fase 1
14	Metales esenciales	Bario	PANEL	PANEL	Fase 2
15	Metales esenciales	Cobre total	INFRA	INFRA	Fase 1
16	Metales esenciales	Cromo Hexavalente total	PANEL	PANEL	Fase 1

N°	Grupo	Parámetros Base	AGUAS SUPERFICIALES	AGUAS SUBTERRÁNEAS	FASE
17	Metales esenciales	Hierro total	INFRA	INFRA	Fase 1
18	Metales esenciales	Manganeso total	INFRA	INFRA	Fase 1
19	Metales esenciales	Selenio disuelto	PANEL	PANEL	Fase 3
20	Metales esenciales	Zinc total	INFRA		Fase 1
21	Metales no esenciales	Arsénico total	PANEL	INFRA	Fase 1
22	Metales no esenciales	Cadmio total	INFRA	INFRA	Fase 1
23	Metales no esenciales	Mercurio total	PANEL	PANEL	Fase 1
24	Metales no esenciales	Plata total	PANEL	PANEL	Fase 1
25	Metales no esenciales	Plomo total	PANEL	PANEL	Fase 1
26	Inorgánicos	Fosfato	DMA		Fase 3
27	Inorgánicos	Nitrato	DMA	DMA	Fase 3
28	Inorgánicos	Nitrito	DMA		Fase 3
29	Inorgánicos	Nitrógeno amoniacal (NH4)	DMA	INFRA	Fase 3
30	Inorgánicos	Bicarbonato	DMA	INFRA	Fase 3
31	Inorgánicos	Carbonato	DMA	INFRA	Fase 3
32	Otros	Dureza	INFRA	INFRA	Cálculo

Fuente : Elaboración propia

Parámetros según uso (Requerimientos)

Se identificó los parámetros significativos para los distintos usos del agua, que son consumo humano, riego, recreación y vida acuática, a los que se denominó requerimientos, ya que según la definición adoptada, constituyen un requerimiento de calidad de aguas para que cada uso se desarrolle en una cuenca.

El listado de parámetros para aguas superficiales y subterráneas se presenta en la Tabla VI-4. Se detalla la fuente a partir de la cual se propuso cada parámetro, que son:

- NORMA : Normativas nacionales, que incluyen DS 143, NCh 1.333
- PANEL : Panel de Expertos
- INFRA : Criterio expertos INFRAECO

Además, se especifican las fases de implementación, según se definió en la estrategia.

Tabla VI-4. Parámetros según uso (Requerimientos de calidad)

Grupo	Requerimientos	Fase	CONSUMO HUMANO	RIEGO	RECREACIÓN	VIDA ACUÁTICA
Físicos	Temperatura	Fase 1			NORMA	NORMA
Fisicoquímicos	Alcalinidad	Fase 3				NORMA
Fisicoquímicos	Color	Fase 2	NORMA		NORMA	NORMA
Fisicoquímicos	Conductividad	Fase 1		NORMA		PANEL
Fisicoquímicos	Oxígeno disuelto	Fase 1				NORMA
Fisicoquímicos	pH	Fase 1	NORMA	NORMA	NORMA	NORMA
Fisicoquímicos	Sólidos Disueltos Totales	Fase 2	NORMA			
Fisicoquímicos	Turbiedad Nefelométrica	Fase 2	NORMA		NORMA	NORMA
Macroelementos	Calcio total	Fase 1		PANEL		PANEL
Macroelementos	Sodio total	Fase 1		PANEL		PANEL
Macroelementos	Potasio total	Fase 1		PANEL		PANEL
Macroelementos	Cloruro	Fase 1	NORMA	NORMA		PANEL
Macroelementos	Sulfatos	Fase 1	NORMA	NORMA		PANEL
Macroelementos	Magnesio total	Fase 1	NORMA	PANEL		PANEL
Metales esenciales	Boro	Fase 1		NORMA		
Metales esenciales	Cobre total	Fase 1	NORMA			
Metales esenciales	Cromo Hexavalente total	Fase 1	NORMA		NORMA	
Metales esenciales	Hierro total	Fase 1	NORMA			
Metales esenciales	Manganeso total	Fase 1	NORMA			
Metales esenciales	Selenio disuelto	Fase 1	NORMA			
Metales esenciales	Zinc total	Fase 1	NORMA			
Metales no esenciales	Arsénico total	Fase 1	NORMA		NORMA	
Metales no esenciales	Cadmio total	Fase 1	NORMA		NORMA	
Metales no esenciales	Mercurio total	Fase 1	NORMA		NORMA	
Metales no esenciales	Plomo total	Fase 1	NORMA		NORMA	
Inorgánicos	Cianuro	Fase 2	NORMA		NORMA	
Inorgánicos	Fluoruro	Fase 2	NORMA			
Inorgánicos	Fósforo total	Fase 1				PANEL
Inorgánicos	Nitrato	Fase 3	NORMA	PANEL		PANEL
Inorgánicos	Nitrito	Fase 3	NORMA			PANEL
Inorgánicos	Nitrógeno amoniacal (NH_4)	Fase 3	NORMA			
Inorgánicos	Nitrógeno total	Fase 2				PANEL

Grupo	Requerimientos	Fase	CONSUMO HUMANO	RIEGO	RECREACIÓN	VIDA ACUÁTICA
Inorgánicos	Bicarbonato	Fase 3		PANEL		PANEL
Inorgánicos	Carbonato	Fase 3		PANEL		PANEL
Orgánicos	Aceites y grasas	Fase 2			NORMA	
Orgánicos	Fenoles	Fase 2	NORMA			
Orgánicos	Bifenilos policlorados (PCBs)	Fase 2			NORMA	
Orgánicos	Diclorometano	Fase 2			NORMA	
Orgánicos	Benzo(a)pireno	Fase 2			NORMA	
Orgánicos	Tetracloruro de carbono	Fase 2			NORMA	
Orgánicos	Ácido 2,4 diclorofenoxiacético (2,4 D)	Fase 2			NORMA	
Orgánicos	Aldrín y Dieldrín	Fase 2			NORMA	
Orgánicos	Atrazina	Fase 2			NORMA	
Orgánicos	Carbofurano	Fase 2			NORMA	
Orgánicos	Clordano	Fase 2			NORMA	
Orgánicos	Clorotalonil	Fase 2			NORMA	
Orgánicos	Cyanazina	Fase 2			NORMA	
Orgánicos	Heptaclor	Fase 2			NORMA	
Orgánicos	Simazina	Fase 2			NORMA	
Orgánicos	Trifluralina	Fase 2			NORMA	
Orgánicos	Compuestos orgánicos volátiles (COV)	Fase 2			NORMA	
Contaminantes orgánicos	Tetracoloreteno	Fase 2	NORMA			
Contaminantes orgánicos	Benceno	Fase 2	NORMA			
Contaminantes orgánicos	Tolueno	Fase 2	NORMA			
Contaminantes orgánicos	Xilenos	Fase 2	NORMA			
Microbiológicos	Coliformes fecales	Fase 2		PANEL	NORMA	
Microbiológicos	Coliformes totales	Fase 2	NORMA			
Pesticidas organoclorados	Lindano	Fase 2	NORMA		NORMA	
Pesticidas organoclorados	Metoxicloro	Fase 2	NORMA			
Pesticidas organoclorados	Pentaclorofenol	Fase 2	NORMA			
Pesticidas organoclorados	Plaguicida 2.4_D	Fase 2	NORMA			
Pesticidas organoclorados	Plaguicida DDT + DDD + DDE	Fase 2	NORMA			
Otros	Relación de absorción de sodio (RAS)	cálculo		PANEL		

Fuente : Elaboración propia

Parámetros según presión (impactos)

De manera similar a la propuesta de parámetros según uso, se propuso aquellos parámetros que se espera sean relevantes en un proceso de seguimiento a una actividad humana, es decir, a una presión. Estos parámetros se denominaron impactos.

El listado de parámetros para aguas superficiales y subterráneas se presenta en la Tabla VI-5. Se detalla la fuente a partir de la cual se propuso cada parámetro, que son:

- NORMA : Normativas nacionales, que incluyen DS 143, NCh 1.333
- MMA : Estudio Amphos XXI, para el Ministerio de Medioambiente, sobre "Generación de información base para la evaluación de normas de calidad ambiental y emisión: revisión y
- actualización sobre tecnologías y costos de abatimiento de contaminantes en residuos líquidos"
- BREF : Referencias Guías de buenas prácticas europeas (Guías BREF.)
- PANEL : Panel de Expertos
- INFRA : Criterio expertos INFRAECO

Además, se especifican las fases de implementación, según se definió en la estrategia.

Tabla VI-5. Parámetros según presión (impactos)

Grupo	Impactos	Fase	REGULACION	AGRO Y ALIM	MINERIA	HIDRO CARB	MAD Y PAPEL	TEXTIL Y CUERO	CULTIVOS HIDRO BIOLOGICOS	RESIDUOS	AGUAS SERVIDAS	ÁREAS RECREAC	ZONAS URB	ÁREAS FORES	ÁREAS AGRIC	ÁREAS GANAD
Físicos	Caudal/Nivel	3	PANEL													
Físicos	Temperatura	1	PANEL			BREF	BREF									
Fisicoquímicos	Color	2		PANEL			MMA									
Fisicoquímicos	Conductividad	1	PANEL		MMA		BREF			BREF				PANEL		
Fisicoquímicos	DBO5	2		MMA	MMA	MMA	MMA	MMA	MMA	BREF	MMA	BREF	MMA		MMA	MMA
Fisicoquímicos	DQO	1	MMA	MMA	MMA	MMA	MMA	MMA	MMA	BREF	MMA	BREF	MMA			
Fisicoquímicos	Oxígeno disuelto	1	PANEL						PANEL							
Fisicoquímicos	pH	1		MMA	MMA	BREF	MMA	MMA	PANEL	BREF	MMA				MMA	
Fisicoquímicos	Sólidos Disueltos Totales	2			MMA								MMA			
Fisicoquímicos	Sólidos Suspendidos totales	2	PANEL	MMA	MMA	BREF	BREF	MMA	MMA		MMA		BREF	PANEL	MMA	
Macroelementos	Sodio total	1													MMA	
Macroelementos	Potasio total	1			MMA										MMA	
Macroelementos	Cloruro	1	MMA	MMA	MMA			MMA			MMA		MMA		MMA	
Macroelementos	Sulfatos	1	MMA		MMA						MMA		MMA			
Metales esenciales	Boro	1									MMA				MMA	
Metales esenciales	Cobalto total	1			MMA											
Metales esenciales	Cobre total	1	MMA	MMA	MMA	MMA	MMA	MMA			MMA				MMA	MMA
Metales esenciales	Cromo Hexavalente total	1	MMA		MMA	MMA	MMA	MMA			MMA					
Metales esenciales	Hierro total	1			MMA		MMA				MMA					
Metales	Manganeso total	1			MMA						MMA					

Grupo	Impactos	Fase	REGULACION	AGRO Y ALIM	MINERIA	HIDRO CARB	MAD Y PAPEL	TEXTIL Y CUERO	CULTIVOS HIDRO BIOLOGICOS	RESIDUOS	AGUAS SERVIDAS	ÁREAS RECREAC	ZONAS URB	ÁREAS FORES	ÁREAS AGRIC	ÁREAS GANAD
esenciales																
Metales esenciales	Molibdeno total	1			MMA						MMA					
Metales esenciales	Niquel total	1	MMA		MMA	MMA	MMA	MMA			MMA					
Metales esenciales	Selenio disuelto	1									MMA					
Metales esenciales	Zinc total	1	MMA	MMA	MMA	MMA	MMA	MMA			MMA				MMA	MMA
Metales no esenciales	Aluminio total	1			MMA			MMA			MMA					
Metales no esenciales	Arsénico total	1			MMA	MMA					MMA					
Metales no esenciales	Cadmio total	1	MMA		MMA	MMA	MMA	MMA			MMA					
Metales no esenciales	Estaño	2			MMA						MMA					
Metales no esenciales	Mercurio total	1	MMA		MMA	MMA	MMA	MMA			MMA					
Metales no esenciales	Plomo total	1	MMA		MMA	MMA	MMA	MMA			MMA					
Inorgánicos	Cianuro	2			MMA	BREF					MMA					
Inorgánicos	Fluoruro	2	MMA		MMA	BREF					MMA					
Inorgánicos	Fosfato	3		MMA	MMA								BREF			
Inorgánicos	Fósforo total	1	MMA	MMA	MMA	BREF	MMA	MMA	MMA		MMA	BREF	MMA		MMA	MMA
Inorgánicos	Nitrato	3		MMA	MMA	BREF		MMA	MMA			BREF	BREF		MMA	BREF
Inorgánicos	Nitrito	3		MMA					MMA							
Inorgánicos	Nitrógeno amoniacal (NH4)	3		MMA	MMA	BREF		MMA	MMA		MMA				MMA	
Inorgánicos	Nitrógeno total	2	PANEL	MMA	MMA		MMA	MMA	MMA		MMA		MMA		MMA	MMA
Inorgánicos	Sulfitos	2	MMA				MMA									
Inorgánicos	Sulfuro	2	MMA			PANEL		MMA			MMA				MMA	
Inorgánicos	Ácido bórico	2			MMA											

Grupo	Impactos	Fase	REGULACION	AGRO Y ALIM	MINERIA	HIDRO CARB	MAD Y PAPEL	TEXTIL Y CUERO	CULTIVOS HIDRO BIOLOGICOS	RESIDUOS	AGUAS SERVIDAS	ÁREAS RECREAC	ZONAS URB	ÁREAS FORES	ÁREAS AGRIC	ÁREAS GANAD
Inorgánicos	Antimonio	2			MMA											
Orgánicos	Aceites y grasas	2		MMA		MMA		BREF			PANEL	NORMA	MMA			
Orgánicos	Carbono orgánico total	2	MMA	MMA	MMA		MMA	MMA			MMA				MMA	MMA
Orgánicos	Detergentes (SAAM)	2		PANEL			MMA									
Orgánicos	Fenoles	2			MMA	BREF	MMA	MMA			MMA					
Orgánicos	Halógenos orgánicos absorvibles (AOX)	2		MMA	MMA		MMA	MMA			MMA				MMA	MMA
Orgánicos	Hidrocarburos	2				MMA										
Orgánicos	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH)	2	MMA		MMA			MMA								
Orgánicos	Nitrógeno orgánico	2						MMA								
Orgánicos	Aceite mineral	2			MMA											
Orgánicos	Compuestos orgánicos volátiles (COV)	2											MMA			
Contaminantes orgánicos	Benceno	2	MMA					MMA								
Contaminantes orgánicos	Tolueno	2	MMA					MMA								
Contaminantes orgánicos	Xilenos	2	MMA					MMA								
Microbiológicos	Coliformes fecales	2		MMA							PANEL	NORMA				
Microbiológicos	Coliformes totales	2		PANEL							PANEL		MMA			
Otros	Antibióticos*	2							MMA							

Fuente : Elaboración propia

(*)Ácido oxolínico, Flumequina, Oxitetraciclina, Eritromicina, Florfenicol 50%, Amoxicilina, Sulfadoxina-Trimetropim, Emamectina, Cloramina −T, Bronopol8

b) Definición de parámetros por tipo de estación

Se definió un conjunto de parámetros para cada tipo de estación, según sean de observación, seguimiento o de control. Esta definición se realizó mediante un conjunto de reglas que se establecen a continuación.

Estaciones de observación

Las estaciones de observación corresponden a aquellas que se encuentran en subcuencas sin monitoreo previo, y sin evidencias de usos o presiones relevantes. Por lo tanto, se mide sólo el conjunto de parámetros base y con la frecuencia asociada (4 veces al año para aguas superficiales, y 2 veces al año par aguas subterráenas), ambos ya propuestos en la Tabla VI-3.

Estaciones de seguimiento

Para la definición de los parámetros en estaciones de seguimiento, en primer lugar se define una propuesta de parámetros para cada subcuenca según el listado de parámetros base y el listado que resulta de las condicionantes específicas del territorio (Usos y Presiones).

Esta propuesta consiste en agregar los parámetros base más los parámetros de cada uno de los usos significativos y de las presiones significativas por subcuenca. De esta forma se contará con un conjunto de parámetros específicos a nivel de subcuenca, y que deberá ser compartido por cada estación dentro de esta unidad hidrológica.

En segundo lugar, esta propuesta de parámetros se complementa con los registros históricos, agregando o restando parámetros según la evidencia previa.

Se definieron reglas para establecer la frecuencia de medición de cada parámetro, según las distintas fuentes consideradas.

Tabla VI-6. Reglas para la definición de frecuencia de medición por parámetro en una subcuenca para estaciones de observación y seguimiento

¿El parámetro está en la propuesta?		¿Cuál fue el resultado del análisis estadístico de este parámetro en esta subcuenca? (*)		La frecuencia de medición en Aguas superficiales es	La frecuencia de medición en Aguas subterráneas es
Parámetro está en la propuesta	Y	Está en el Grupo 3 del análisis	=	4 veces al año	2 veces al año
Parámetro está en la propuesta	Y	Está en el Grupo 1 o 2 del análisis	=	1 vez al año	1 vez al año
Parámetro está en la propuesta	Y	No se mide o cuenta con menos de 15 registros	=	4 veces al año	2 veces al año
Parámetro **NO** está en la propuesta	Y	Grupo 3 y promedio de mediciones es mayor a umbral de referencia	=	4 veces al año	2 veces al año

Fuente : Elaboración propia

(*) para el caso de subcuencas que cuentan con más de una estación de monitoreo, se consideró el resultado del análisis estadístico más favorable. Por ejemplo, si un parámetro resultó evaluado como Grupo 3 y Grupo 2 en las dos estaciones, se consideró como Grupo 3 para efectos de la aplicación de las reglas.

Estaciones de control

Las estaciones de control miden los parámetros establecidos en las Normas Secundaria de Calidad Ambiental. Hasta el momento se ha dictado para ríos solo la NSCA de la subcuenca del río Serrano, y están en discusión las siguientes normas de cursos de agua:

- Río Maipo
- Río Biobío
- Río Valdivia

Los resultados de los parámetros propuestos para la subcuenca del río Serrano se incluyen en el informe específico por cuenca.

Protocolos de muestreo

Los protocolos de monitoreo deben especificar, al menos:

- Procedimiento de toma de muestras
- Material a emplear en la toma de muestras
- Procedimiento de calibración de equipos de medición in situ
- Envases para conservación de muestras
- Preservantes y refrigerantes
- Cadena de custodia

Para la primera fase de la reformulación de la Red se propone emplear los mismos protocolos empleados actualmente. Para la segunda fase se deberán emplear los protocolos en tanto se incorporan nuevos parámetros

Protocolos de análisis de muestras en laboratorio

Un protocolo de análisis de laboratorio debe tener un procedimiento normalizado de trabajo que indica entre otras cosas:

- Qué se va a medir y con qué método se va a medir
- Instrumental de medida
- Límite de cuantificación y rango dinámico de trabajo
- Precisión y exactitud, e Incertidumbre
- Control de calidad

Para la primera fase de la reformulación de la Red de Calidad de Aguas, se propone emplear los protocolos de análisis actuales del laboratorio ambiental de la Dirección General de Aguas. Para la segunda fase, según se incorporen nuevos analitos e instrumental, se deberá actualizar este protocolo.

Tratamiento de información

El tratamiento de la información considera:

- La información debe estar completa y validada
- Almacenamiento de datos debe realizarse en forma segura en un soporte informático adecuado

VI.5 Comentarios a la propuesta de reformulación

VI.5.1 Rol de las redes de calidad de aguas

Un aspecto que debe ser discutido a nivel nacional es el rol de las redes de calidad de aguas, en dos niveles principales.

En primer lugar, y tomando como ejemplo las redes de calidad en Europa, se tiene que existen distintas redes coordinadas entre sí, con distintos objetivos de seguimiento. A nivel nacional esta dualidad se da, por ejemplo, al comparar las mediciones de la SISS y las de la DGA, sin embargo, existe un bajo nivel de coordinación entre ambas redes, respecto de los analitos, formas de medición, e intercambio de información.

En segundo lugar, las redes, al menos en España, son administradas por las Confederaciones Hidrográficas, y consideran dentro de su alcance el ciclo completo de mejora continua de la calidad de las aguas, ya que tras la medición, sigue el análisis, la implementación de acciones de control de la calidad, y la redefinición de la red para que se acomode a estas modificaciones.

Este es el punto donde se observa una mayor diferencia, ya que los objetivos de calidad en las aguas superficiales están regulados en el país por las Normas Secundarias de Calidad Ambiental, de las cuales solo hay una dictada para cursos superficiales.

VI.5.2 Propuestas de mejoras en el tiempo

Laboratorio ambiental de la DGA

a) Incorporación de parámetros en Fase 2

Para la incorporación de los parámetros de la fase 2, se considera inmediata en el caso de los metales pesados, bario, vanadio, berilio y estaño, ya que el laboratorio de la DGA cuenta con los medios necesarios, ICP, para su análisis.

En el caso del color y la turbidez, se podría considerar la posibilidad de efectuar su medida "in situ" mediante aparatos portátiles.

Los sólidos en suspensión y los sólidos disueltos totales se podrían analizar en el laboratorio central.

El análisis de DBO_5, tiene el problema de la caducidad ya que se debe analizar en las veinticuatro horas después de su obtención. Si no se dispone de centros de análisis en que se puedan analizar en este plazo no se podría realizar.

b) Trabajo distribuido en regiones

Sería necesario, con el fin de poder dar respuesta al análisis de aquellos parámetros que se deben realizar en un corto período de tiempo, el implantar una serie de laboratorios con sede en cada región, con capacidad tanto de realizar la toma de muestras del área asignada, como de realizar la analítica, microbiología, nutrientes y otros que tienen un plazo muy corto de ejecución. Esta red de laboratorios estaría cualificado por el laboratorio de referencia o central de la DGA de Santiago de Chile.

Medición de parámetros in situ

Para la toma de muestras se anotarán los resultados de los análisis "in situ" y todos aquellos datos que se van obteniendo a lo largo del muestreo incluyendo las coordenadas UTM. Se realizaran las mediciones in situ" de los parámetros: Temperatura, Oxígeno disuelto, en concentración y porcentaje de saturación, pH, y conductividad. Estos ensayos se realizarán siguiendo el procedimiento "Procedimiento para Análisis de Aguas "In situ".

Para asegurar la representatividad de las muestras tomadas, los muestreadores deberán seguir en todo momento las indicaciones establecidas en los Procedimientos Específicos de muestreo en cuanto a la localización de los puntos de muestreo, procedimientos de muestreo desde orillas, embarcaciones, en pozos o piezómetros, etc.

c) Envasado, identificación, conservación y transporte de muestras

Para el envasado de las muestras, se dispondrá del envase adecuado para cada tipo de parámetro (de acuerdo al Anexo I del PNT de toma de muestra de la DGA). El volumen necesario de muestra se puede determinar al listar todos los parámetros que requieren la misma conservación (según Anexo I), y la suma de los volúmenes sería el volumen mínimo para el análisis. El cual habría que multiplicar por 2 en el caso de que se necesiten duplicados y por 3 en el caso de que sea necesario triplicados.

Una vez envasadas las muestras, se procederá a su identificación. Para la identificación de la muestra se utilizará un código de muestra que será el mismo al utilizado en la Ficha de Toma de muestra y Cadena de Custodia, la fecha y la hora. A cada muestra se le asignará un código que la identifique individualmente, donde aparecerá el código del punto de muestreo, un número correlativo y en el caso que la muestra contenga fijador se indicará el nombre o la fórmula química de éste en el bote.

Los reactivos que se añadan a las muestras para su conservación (según Anexo I del PNT de toma de muestra de la DGA), deberán estar correctamente identificados (fórmula química del reactivo y fecha de envasado). Para fijar las muestras se utilizarán pipetas pasteur de usar y tirar. Para reducir al máximo la posible volatilización o biodegradación entre el momento de hacer la toma de muestra y el de proceder al análisis, se debe mantener las muestras refrigeradas durante todo el proceso.

Una vez transportadas las muestras hasta el laboratorio, los muestreadores serán los responsables de la entrega de una copia de la Ficha de Toma de muestra y Cadena de Custodia al Responsable del Dpto. de muestreo.

d) Requisitos de equipos, capacitación y protocolos para Fase 3

Para la fase tres propuesta, se debería contar con los procedimientos de toma de muestras y de análisis, redactados y por lo menos en fase de acreditación futura bajo la Norma ISO17025, el personal necesario capacitado para la toma de muestras y el análisis de los parámetros considerados, así como los equipos necesarios para cubrir las necesidades de la analítica "in situ", en el caso de la alcalinidad y los nutrientes, y aquellos que posibiliten el análisis de nuevos compuestos, como cromatógrafos de gases masas CG/MS, etc.

Incorporación de parámetros biológicos como biondicadores

El artículo 8 de LA DMA requiere el seguimiento del estado ecológico y del potencial ecológico de las aguas. El apartado 1.1 del Anexo V define explícitamente los indicadores de calidad que deben usarse para la evaluación del estado/potencial ecológico. Los indicadores de calidad biológica propuestos para ríos son:

- Composición y abundancia de la flora acuática: macrofitas y fitobentos(diatomeas)
- Composición y abundancia de la fauna bentónica de invertebrados.
- Composición, abundancia y estructura de edades de la fauna ictiológica.

Así pues, como paso básico, los valores de los indicadores de calidad biológica deben tenerse en cuenta al asignar las masas de agua a cualquiera de las clases de estado/potencial ecológico.

En el caso de España, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente ha publicado un protocolo, que es el que se utiliza en la actualidad, de muestreo y análisis en laboratorio de fauna bentónica de invertebrados de las masas de agua de la categoría ríos, así como a las masas de agua artificiales o muy modificadas asimilables a ríos que sean vadeables, siendo aplicable para la obtención de muestras para la clasificación del estado ecológico o del potencial ecológico.

La toma de muestras de este protocolo está orientada a la obtención de datos de composición y abundancia de macroinvertebrados bentónicos, que son el grupo utilizado en la clasificación del estado ecológico. Se trata de invertebrados de un tamaño relativamente grande (visibles al ojo humano), no inferiores a 0,5 mm. Comprenden principalmente artrópodos (insectos, arácnidos y crustáceos) junto a oligoquetos, hirudíneos y moluscos y, con menor frecuencia, celentéreos, briozoos o platelmintos.

Con la información recopilada mediante este protocolo se obtienen datos válidos para el cálculo de las métricas establecidas en la Instrucción de Planificación

Hidrológica (Orden 2656/2008) para el elemento de calidad correspondiente a composición y abundancia de fauna bentónica de invertebrados:

- Iberian Biological Monitoring Working Party (IBMWP-2013).
- Multimétrico específico del tipo (METI).

En el caso de Chile la incorporación del muestreo y análisis de los macroinvertebrados de los ríos en la red de calidad del agua planteada, puede ser una herramienta de valoración novedosa y una ayuda eficaz al sistema de gestión de los recursos hídricos del país.

Las ventajas son varias, se añade otro tipo de control de la calidad del agua que tiene un carácter integrador, ya que refleja de forma fiel la respuesta de una parte de la comunidad biológica a las influencias antropogénicas, la metodología está bien definida, están contrastadas a nivel mundial y su uso está muy extendido.

Como inconvenientes cabe señalar que el muestreo es necesario que se realice por personal experto, así como la posterior identificación taxonómica en el laboratorio, y que la toma de muestras es más laboriosa que la de datos físico-químicos, lo que puede ralentizar las tareas de toma de muestras. Por otra parte, los valores obtenidos con los índices que se propongan utilizar, debe compararse en cada estación con los valores de los índices de las condiciones de referencia, que corresponden a una masa de agua que representa la mejor situación (composición biótica) en una región determinada.

VII. CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

VII.1 Estado Actual de la Red

Se realizó una descripción general de la Red de Calidad de Aguas actual, revisando distintos aspectos del proceso de obtención, procesamiento y almacenamiento de información.

En lo principal, se aprecia que una característica principal de la red actual es que su propósito es la recopilación de información, y no incluye dentro de su ciclo el análisis de la misma ni la verificación del cumplimiento de objetivos de calidad ambiental a nivel de las masas de agua objetos de seguimiento.

Respecto de la cobertura de la Red de Calidad de Aguas, se tiene que la distribución de las estaciones de monitoreo de calidad de aguas ha sido asociada tradicionalmente a los puntos de seguimiento de la hidrología de los cursos de agua o a otros procesos no estructurados, por lo que existen asimetrías evidentes en la distribución territorial de la red. Se aprecia, por ejemplo, que existe una alta concentración de las estaciones de monitoreo en algunas cuencas, ya que el 26% de las cuencas contienen al 86% de las estaciones, y una gran cantidad de cuencas no se encuentra representada (39%). Además, existe un alto predominio de estaciones de monitoreo de calidad de aguas superficiales (85%) por sobre aguas subterráneas (15%).

El proceso de toma de datos en terreno se realiza por personal sin formación específica al respecto, aunque con experiencia práctica. Sin embargo, esto resulta en limitantes a la hora de implementar procedimientos más elaborados de medición in situ de parámetros que así lo requieran.

Otro aspecto relevante es el modus operandi del análisis. Todas las muestras de calidad de aguas son enviadas al laboratorio ambiental de la Dirección General de Aguas,

en Santiago, restringiendo las capacidades de análisis a aquellos que pueden ser realizados en períodos superiores a 24 y 48 hrs.

En lo principal, se puede concluir que la red ha experimentado un crecimiento permanente en cobertura a nivel nacional, desde las 86 estaciones en 1960, a 452 en la actualidad. Sin embargo, existen desafíos respecto de la representatividad de las cuencas a nivel nacional, y sobre la incorporación de parámetros tanto medidos en terreno como en laboratorio.

Al revisar la data histórica se tiene que un 26% de las series de datos (conjunto de registros de un parámetro en una estación) cuentan con menos de 15 registros, que corresponden tanto a estaciones de monitoreo descontinuadas, parámetros descontinuados, como estaciones de establecimiento reciente con menos de 4 años de monitoreo continuo (en cuatro años se reúnen 16 registros).

Respecto a las series de datos clasificadas en el Grupo 1 (series de datos con mayoría de registros por debajo del límite de detección, que corresponden al 18% del total de series), todos los parámetros englobados en él son metales pesados. Se pueden dividir en cuatro grupos.

El primero compuesto por el cadmio, cobalto, níquel, plata, plomo y selenio superan en más de trescientas estaciones de todo el país el criterio impuesto. En el segundo se encuentran el boro, molibdeno y mercurio, en más de doscientas estaciones. En el tercer grupo se encuentran el arsénico en noventa estaciones, y el cromo, en ocho estaciones. Finalmente el manganeso únicamente se presenta como parámetro de tipo 1 en una estación, lo que descarta su pertenencia de forma habitual a este grupo.

Las series de datos que se encuentran en el Grupo 2 (entre el 50 y el 80% de los registros por debajo del límite de la detección, y el coeficiente de variación bajo el 30%, y que corresponde al 0,7% de las series de datos), también corresponden exclusivamente a metales pesados. Los parámetros que aparecen con mayor frecuencia son el mercurio y el cromo, 64 y 35 estaciones respectivamente. Otros metales, como arsénico, boro, cadmio, cobalto, selenio, cobre y zinc aparecen en este grupo siempre por debajo de seis estaciones. Se concluye que este grupo tiene una menor importancia que el grupo 1 relativamente ya que únicamente los metales mercurio y cromo aparecen de forma significativa.

El grupo 3, que incluye todas las series de datos que no han sido clasificadas anteriormente, corresponde al 54,9% del total. En conjunto con el grupo 2, alcanzan el 55,6% de los registros. Sin embargo, no es posible señalar que el 55% de los datos sea útil, ya que el 18% de series por debajo del límite de detección (grupo 1) indica que, en este caso, esos metales pesados, no son representativos en forma consistente.

En complemento, se realizó un análisis de datos aberrantes o outliers, teniéndose que el 6% de datos se escapan de las medias poblacionales, y corresponden principalmente a Cobre, Fósforo, Zinc y Hierro.

En lo principal, se considera que las series de datos son consistentes, presentan bajos niveles de datos aberrantes, y conforman una base adecuada de información para análisis específicos, no obstante, se debe considerar la representatividad espacial y temporal bajo la cual han sido adquiridas muestras de agua y sus análisis correspondientes.

Respecto de la red de calidad de aguas, se concluyó que es un conjunto amplio de puntos de monitoreo, pero que carece de una estructura o propósito subyacente que permita orientar el crecimiento u optimización de la misma, y por lo tanto, se propone una reformulación a partir de un marco teórico o al menos un marco de procedimientos que permitan determinar distintas alternativas de desarrollo futuro.

VII.2 Propuesta de reformulación de la Red

Como su nombre lo indica, este informe contiene una propuesta de reformulación de la red de calidad de aguas, la cual puede ser adoptada en forma total, parcial o ser descartada, sin embargo consiste en un ejercicio completo sobre una base metodológica consistente, con lo cual constituye un aporte en la discusión en esta materia. Cualquier proceso de reformulación de la red de calidad de aguas debe estar abierto a las necesidades que enfrenten las cuencas en el futuro.

La propuesta de reformulación de la red de calidad de aguas se basó en principalmente en la estructura y contenidos de definición de programas de control

contenidos en el documento "Manual de Diseño de los Programas de Control del Estado de las Aguas Continentales Superficiales", del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Medio Marino de España, de diciembre de 2006.

Según esta guía, se definió una estrategia, diseño (de tipo determinista), y los criterios asociados de tamaño muestral, ubicación de los puntos de monitoreo, frecuencia de monitoreo; así como los criterios de explotación de la Red, respecto de los parámetros monitoreados, protocolos de muestreo y análisis, entre otros.

El diseño propuesto para la red, de tipo determinista, responde a la aproximación realizada a la Red de Calidad de Aguas actual, proceso en el cual se llevó a cabo una descripción completa a nivel territorial, de las presiones y usos del agua en cada subcuenca. En esta descripción se realizó una clasificación de presiones y usos a nivel de subcuenca, según niveles de significancia, con lo cual se pueden asociar prioridades en el diseño de la red. De esta forma, se dispuso de una base de información relevante que permitió abordar la calidad de las aguas como una variable respuesta ante dos variables independientes, como los son las presiones y usos de origen antrópico, y fue posible establecer, en forma dirigida (o determinista), aquellos puntos de interés y los parámetros relevantes de ser representados en la red, siguiendo ciertas reglas establecidas según criterio experto.

Dado el enfoque adoptado, el tamaño muestral, ubicación de las estaciones y frecuencia de monitoreo respondió a un análisis caso a caso, realizado a nivel de cuenca, en parte sobre la base de criterio experto, como de ciertas reglas específicas. La definición de nuevos puntos de monitoreo, y la continuidad del mismo (permanente o eventual), se realizó mediante una evaluación experta de la cobertura de la red respecto de la complejidad de la hidrografía en cada cuenca, en relación a las presiones y usos significativos descritos en cada subcuenca. Así, cuencas hidrográficamente complejas con demandas por sobre el agua, requieren una mayor cobertura que cuencas de menor complejidad (por ejemplo, cuencas costeras sin concatenación de unidades hidrográficas).

De esta forma, de la revisión se incorporó 23 estaciones de calidad de aguas superficiales, hasta enterar 405; y 40 estaciones de aguas subterráneas, hasta enterar 110.

El mayor aumento se registró en las aguas subterráneas, dada la asimetría en la cobertura de esta matriz. Solo 5 estaciones de aguas superficiales se definieron como eventuales.

La representación a nivel de cuencas se aumentó de 61 a 70, de un total de 100 cuencas evaluadas, y se estimó que 30 cuencas no requieren la incorporación a la red de calidad de aguas, por tratarse de cuencas menores, aisladas, o que no presentan presiones o usos relevantes que impliquen variaciones de calidad de aguas atribuibles a estas causas.

Respecto de los parámetros, se propuso un listado de 91 parámetros a medir, muy por sobre los 28 evaluados actualmente por la DGA, los que fueron clasificados como Fase 1 (28 parámetros), diferenciándolos de los parámetros de Fase 2 (53 parámetros a medir a futuro, en laboratorio), y Fase 3 (8 parámetros a medir a futuro, en terreno).

En particular, se propuso un total de 32 parámetros base para aguas superficiales y 27 para aguas subterráneas. En aguas superficiales, de los 32 parámetros base, 22 son medidos actualmente por la DGA, y se deben incorporar 10 parámetros nuevos (caudal, alcalinidad, sólidos suspendidos totales, bario, fosfatos, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal (NH4), bicarbonato y carbonato). En aguas subterráneas, 20 de los parámetros actuales son base, y se deben incorporar 7 nuevos parámetros en esta categoría (nivel, alcalinidad, bario, nitrato, nitrógeno amoniacal (NH4), bicarbonato y carbonato).

De los parámetros propuestos en la Fase 2, aquellos que tienen más relevancia son DBO5, sólidos suspendidos totales y nitrógeno total. En Fase 3 (terreno), el más relevante es el nitrato.

La propuesta de incorporación de nuevos parámetros representa un desafío para la Dirección General de Aguas, no solo por el esfuerzo que resulta de la carga adicional, si no porque requiere de una nueva estrategia desde el punto de vista de la distribución de los puntos de análisis, ya que un punto centralizado no permitirá ampliar la cobertura a aquellos parámetros que tienen menores tiempos de retención.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

VIII.1 Normativa nacional

1. Decreto Supremo Nº 90/00. Norma de Emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales. Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Santiago, Chile.
2. Decreto Supremo Nº 46/02. Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas. Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Santiago, Chile.
3. Decreto Supremo Nº 143/09. Normas de Calidad Primaria para las Aguas Continentales Superficiales aptas para Actividades de Recreación con contacto directo. Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Santiago, Chile.
4. Norma Chilena Oficial Nº 1.333. of78. Modificada en 1987. Requisitos de Calidad de Agua para diferentes usos. Instituto Nacional de Normalización. Santiago, Chile.
5. Norma Chilena Oficial N° 409/1. of2005. Agua potable - parte 1: Requisitos. Instituto Nacional de Normalización. Santiago, Chile.

VIII.2 Normas Secundarias de Calidad Ambiental

1. Decreto Supremo Nº 75/10. Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de la cuenca del río Serrano. Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República. Santiago, Chile.
2. Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de la cuenca del río Maipo. (en discusión)
3. Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de la cuenca del río Valdivia. (en discusión)
4. Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de la cuenca del río Biobío. (en discusión)

VIII.3 Estudios de referencia nacional

1. AMPHOS 21. Generación de información base para la evaluación de normas de calidad ambiental y emisión: revisión y actualización sobre tecnologías y costos de abatimiento de contaminantes en residuos líquidos. Santiago, 2014.
2. BF Ingenieros civiles. Análisis crítico de la red pluviométrica nacional: red de calidad de aguas. Santiago, DGA, 1984.
3. CADE-IDEPE. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Santiago, DGA, 2004.
4. Centro Nacional del Medio Ambiente. Propuesta de utilización de Biocriterios para la Implementación y Monitoreo de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental. Santiago, DGA, 2010.
5. Geohidrología Consultores. Diagnóstico y clasificación de los sectores acuíferos. Santiago, DGA, 2009.
6. POCH Ambiental. Redefinición de la red mínima de lagos. Santiago, DGA, 2009.

VIII.4 Documentos internacionales

VIII.4.1 Normativa europea

1. Dirección General de Aguas de España. Manual para la identificación de las presiones y análisis del impacto de las aguas superficiales. España, 2005. ISBN: 8483203189
2. Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo. Marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Diario Oficial de las comunidades Europeas, 20 de diciembre de 2000.
3. Ministerio del Medio Ambiente de España. Guía de mejores técnicas disponibles en España del sector refino de petróleo. España, 2007. ISBN: 848320259

VIII.4.2 Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) y Best Available Techniques (BAT)

1. Comisión Europea. Prevención y Control Integrados de la contaminación (IPPC). Documento de referencia de Mejores Técnicas Disponibles en la cría intensiva de Aves de corral y Cerdos. España, 2004. ISBN:848320276
2. Comisión Europea. Prevención y Control Integrados de la contaminación (IPPC). Documento de referencia de Mejores Técnicas Disponibles en la industria de la alimentación, bebida y leche. España, 2005
3. Comisión Europea. Prevención y Control Integrados de la contaminación (IPPC). Documento de referencia de Mejores Técnicas Disponibles en la industria de la pasta y papel. España, 2006. ISBN:84-8320-357-X
4. Europea Commission. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on Best Available Techniques for the Tanning of Hides and Skins. España, 2003
5. Europea Commission. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on Best Available Techniques for the Textiles Industry. España, 2003
6. Europea Commission. Best Available Techniques (BAT) referent document for Iron and Steel Producction, Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated pollution Prevention and Control). España, 2013. ISBN: 9789279264764

VIII.4.3 Normativa internacional

1. Australian Water Association. National Water Quality Management Strategy, Australian and New Zealand Guidelines for fresh and Marine Water Quality. 2000. ISBN 0957824505.
2. Ley Nº 29338. Ley de Recursos Hídricos. Perú, Congreso de la República, 2009.
3. Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua potable. 2006. ISBN: 9241546964
4. Organización Mundial de la Salud. Water Pollution Control. A guide to the use of water quality management principles. London, 1997 ISBN: 0419229108
5. Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, Ley Nº 29338. Perú, Ministerio de Agricultura, 2010.
6. U.S. EPA. National rivers and streams Assessment 2008-2009. EPA/841/D-13/001. Washington DC, 2013.

IX. ANEXOS

IX.1 Red de calidad de aguas

1. Listado de cuencas y subcuencas
2. Listado de estaciones de calidad de aguas actuales
3. Listado de estaciones de calidad de agua actuales y propuestas
4. Listado de parámetros propuestos para análisis
5. Listado de tiempos de retención por parámetro

IX.2 Usos y presiones de el agua

1. Usos y presiones significativos por subcuenca
2. Tablas de usos
3. Tablas de presiones
4. Mapas generales a nivel nacional de usos y presiones
5. Coberturas SIG

IX.3 Análisis estadístico del registro de mediciones de la red

1. Análisis estadístico por grupos (Grupos 1, 2, 3)
2. Análisis de outliers

IX.4 Documentos

1. Manual de diseño de los programas de control del estado de las aguas continentales superficiales (MIMAM, 2006).
2. Actas de asistencia Taller final y panel de expertos