

**GOBIERNO DE CHILE**  
**MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS**  
**DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS**

**DIAGNOSTICO Y CLASIFICACION DE LOS**  
**CURSOS Y CUERPOS DE AGUA**  
**SEGUN OBJETIVOS DE CALIDAD**

**INFORME FINAL**

<b>A</b>	<b>30/12/2003</b>	<b>Aprobación</b>	<b>MTB/AR</b>	<b>SVH</b>	<b>RCC</b>	<b>DGA</b>
<i>Versión</i>	<i>Fecha</i>	<i>Emitido para</i>	<i>Preparó</i>	<i>Revisó</i>	<i>Cade-Idepe</i>	<i>Cliente</i>
<b>P-1940</b> <small>Nº DEL PROYECTO</small>	<b>CADE-IDEPE</b> <small>CONSULTORES EN INGENIERIA</small>		<b>INFORME FINAL</b> <small>Nº DEL DOCUMENTO</small>			

# **INDICE DEL INFORME FINAL**

## **VOLUMEN 1**

### **INFORME FINAL**

I.	OBJETIVOS Y ELECCIÓN DE CUENCAS .....	I-1
	1. Objetivos y Alcance del Estudio .....	I-1
	2. Normas Secundarias .....	I-3
	3. Elección de Cuencas .....	I-5
	4. Etapas del Estudio y Desarrollo del Informe.....	I-8
II.	METODOLOGÍA PROPUESTA.....	II-1
	1. Etapa I : Elección de la Cuenca y Definición de Cauces .....	II-2
	2. Etapa II : Recopilación de la Información y Caracterización de la Cuenca .....	II-3
	3. Etapa III : Establecimiento de la Base de Datos .....	II-8
	4. Etapa IV : Análisis y Procesamiento de la Información.....	II-19
	5. Etapa V : Calidad Actual y Natural de los Cursos Superficiales .....	II-29
	6. Etapa VI : Proposición de Clases Objetivos.....	II-38
	7. Etapa VII : Otros Aspectos Relevantes .....	II-46
III.	TALLERES DE DIFUSIÓN .....	III-1
	1. Taller de Revisión de la Experiencia Internacional.....	III-1
	2. Taller de Presentación de la Metodología .....	III-5
	3. Taller de Difusión en Antofagasta.....	III-14
	4. Taller de Difusión en Valparaíso.....	III-18
	5. Taller de Difusión en Puerto Montt.....	III-22
	6. Taller de Difusión en Concepción.....	III-25

# **VOLUMEN 1 (Continuación)**

## **INFORME FINAL**

IV.	TRASPASO DE RESULTADOS A SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRAFICO .....	IV-1
	1. Ajuste de la Información de SIGIRH .....	IV-1
	2. Generación de Ejes de Cauces Seleccionados.....	IV-2
	3. Segmentación .....	IV-3
	4. Tramificación .....	IV-4
	5. Composición Cartográfica .....	IV-5
	6. Descripción del SICA.....	IV-5
V.	PROPOSICIÓN PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS CUERPOS LÉNTICOS.....	V-1
	1. Objetivos y Alcances de la Proposición.....	V-1
	2. Aspectos Teóricos .....	V-2
	3. Clasificación de los Cuerpos Lénticos .....	V-5
	4. Antecedentes de Importancia .....	V-7
	5. Procedimiento de Clasificación.....	V-10
	6. Síntesis de las Regiones Ecológicas de Chile .....	V-12
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	VI-1
	1. Conclusiones .....	VI-1
	2. Recomendaciones.....	VI-6

**VOLUMEN 1 (Continuación)**  
**ANEXOS AL INFORME FINAL**

A1	CRITERIOS NACIONALES PARA EL ESTABLECIMIENTO DE LAS NORMAS SECUNDARIAS DE CALIDAD AMBIENTAL .....	A1-1
A2	REVISIÓN DE LA EXPERIENCIA INTERNACIONAL .....	A2-1
	1. Estructura del Manejo y Monitoreo de Cuenca Seleccionadas .....	A2-1
	2. Sistemas de Clasificación de la Calidad Superficial del Agua.....	A2-11
	3. Metodología para Determinación de Calidad Objetivo.....	A2-28
	4. Taller de Trabajo .....	A2-33
	5. Presentación de Casos .....	A2-42
	6. Conclusiones.....	A2-67
A3	USOS DEL AGUA.....	A3-1
	1. Uso in-situ .....	A3-1
	2. Usos Extractivos.....	A3-10
	3. Requerimientos de Calidad para Distintos Usos de Agua.....	A3-11
	4. Usos de Agua por Cuenca .....	A3-19
A4	FACTORES QUE INCIDEN EN LA CALIDAD DEL AGUA .....	A4-1
	1. Introducción.....	A4-1
	2. Incidencia de los Factores en la Calidad del Agua.....	A4-4
	3. Metodología para Identificar los Factores en la Cuenca .....	A4-17
	4. Metodología de Estimación preliminar para DBO <sub>5</sub> , Coniformes Fecales y Sólidos Suspendidos .....	A4-19
	4. Cuantificar la Pérdida de Suelo en Faenas Forestales .....	A4-19
	5. Estimación de la Contaminación Difusa por Plaguicidas.....	A4--28

**VOLUMEN 1 (Continuación)**  
**ANEXOS AL INFORME FINAL**

A5	ESTABLECIMIENTO DEL INDICE DE CALIDAD DE LAS AGUAS ...	A5-1
	1. Criterios y Características de un Índice de Calidad de Agua (ICA) .....	A5-1
	2. Presentación de Casos .....	A5-4
	3. Establecimiento de un Índice de Calidad de Aguas Superficiales (ICAS) .....	A5-8
	4. Curvas de Estandarización .....	A5-13
A6	ZONAS DE DILUCIÓN .....	A6-1
	1. Criterios Generales para su Definición .....	A6-1
	2. Procedimientos y Metodologías para Establecer Zonas de Dilución ..	A6-11
A7	CARACTERIZACION DE LA CUENCA .....	A7-1
	1. Cartografía y Segmentación .....	A7-1
	2. Sistema Físico Natural .....	A7-4
	3. Sistemas Humanos .....	A7-12
	4. Usos del Suelo .....	A7-13
A8	PROGRAMA DE MUESTREOS .....	A8-1
	1. Objetivos y Alcances del Programa .....	A8-1
	2. Cotizaciones .....	A8-2
	3. Aspectos Técnicos Relevantes en la Elaboración de un Programa de Muestreos .....	A8-4
	4. Proposición de un Programa de Muestreos .....	A8-6
	5. Estaciones de Muestreo y Parámetros a Muestrear .....	A8-7
	6. Muestreo de Parámetros Relacionados con Actividades Silvoagropecuarias .....	A8-23

## **VOLUMEN 2**

### **INFORME PUBLICO**

1. Cuencas de la I y II Región
2. Cuencas de la III y IV Región
3. Cuencas de la V, RM y VI Región
4. Cuencas de la VII Región
5. Cuencas de la VIII Región
6. Cuencas de la IX y X Región
7. Cuencas de la XI y XII Región

## **VOLUMEN 3**

### **INFORMES DE CUENCAS**

1940-LAU-01	Lauca
1940-LLU-02	Lluta
1940-ISL-03	Isluga
1940-TAR-04	Tarapacá
1940-LOA-05	Loa
1940-ATA-06	Salar de Atacama
1940-COP-07	Copiapó

## **VOLUMEN 4**

### **INFORMES DE CUENCAS**

1940-HUA-08	Huasco
1940-ELQ-09	Elqui
1940-LIM-10	Limarí
1940-PUP-12	Pupío

**VOLUMEN 5**  
**INFORMES DE CUENCAS**

1940-CHO-11	Choapa
1940-PET-13	Petorca
1940-LIG-14	Ligua
1940-ACO-15	Aconcagua
1940-MAI-16	Maipo
1940-RAP-17	Rapel

**VOLUMEN 6**  
**INFORMES DE CUENCAS**

1940-MAT-18	Mataquito
1940-MAU-19	Maule
1940-ITA-20	Itata
1940-AND-21	Andalién
1940-PAI-23	Paicaví

**VOLUMEN 7**  
**INFORMES DE CUENCAS**

1940-BIO-22	Bío Bío
1940-IMP-24	Imperial
1940-TOL-25	Toltén
1940-VAL-26	Valdivia
1940-BUE-27	Bueno
1940-MLL-28	Mauñín

**VOLUMEN 8**  
**INFORMES DE CUENCAS**

1940-CIS-29	Cisnes
1940-AYS-30	Aysén
1940-SER-31	Serrano
1940-MIN-32	Las Minas
1940-SID-33	Side

**VOLUMEN ADICIONAL**  
**MANUAL SICA**

1.	Descripción del SICA.....	1
2.	Uso del Sistema .....	6
3.	Administración del Sistema.....	26
4.	Tablas y Relaciones del SICA.....	29
5.	Información Cartográfica Recibida de la DGA.....	32
6.	Organización de los Archivos .....	32

## **I. OBJETIVOS Y ELECCION DE CUENCAS**

### **1. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL ESTUDIO**

La disponibilidad del agua, en calidad y cantidad adecuadas, es un requisito esencial para el desarrollo sustentable de toda sociedad. Es por esto que universalmente se reconoce la necesidad imperiosa de disponer de antecedentes y herramientas de gestión para manejar adecuadamente el recurso.

En el caso de Chile, el tema de la calidad del agua ha tomado una gran relevancia, de forma tal que se han dado pasos importantes en la elaboración y aprobación de los decretos que establecen las normas primarias para aguas continentales superficiales y para aguas marinas. Junto con lo anterior, se han iniciado los procesos de elaboración de las normas secundarias de calidad de agua, los cuales serán asumidos regionalmente.

Las instrucciones para la dictación de Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales están contenidas en el Instructivo Presidencial (IP), el cual constituye un documento fundamental para el desarrollo de este estudio.

Teniendo presente el marco de referencia anterior, el objetivo central del presente estudio, denominado “Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad”, es establecer un procedimiento para clasificar los cursos de agua superficiales de acuerdo a las Instrucciones indicadas en el párrafo anterior, como también su aplicación en las cuencas prioritarias del país.

Los objetivos específicos del estudio, en el marco de las cuencas seleccionadas, son:

- Identificar los factores que inciden o puedan incidir en el futuro en la calidad del agua
- Establecer la calidad natural de cursos de agua
- Caracterizar la calidad actual y su variabilidad espacial y temporal
- Caracterizar usos actuales y futuros in situ y extractivos
- Establecer un índice de cumplimiento de calidad objetivo

- Definir procedimientos para el establecimiento de la zona de dilución (zonas de mezcla o de exclusión), y aplicar a la situación actual de los cursos en estudio.
- Identificar los cursos de agua que estarán bajo incumplimiento de norma
- Diseñar un Plan de Monitoreo Estándar
- Elaborar un Informe Público sobre la calidad de los cursos de agua.

## 2. NORMAS SECUNDARIAS

El IP, cuyo texto completo se adjunta en el anexo A1, señala que el proceso de elaboración y dictación de las normas secundarias de calidad de aguas requiere ser asumido por cada región del país, incorporando la realidad ambiental, económica y social de dicho territorio, pero también deben ser procesos homogéneos y estandarizados acordes con criterios nacionales de calidad.

La elaboración de las normas de calidad secundarias se realizará por áreas de vigilancia que, en el caso de las aguas continentales superficiales, corresponde a la totalidad de una cuenca hidrográfica o parte de ella.

En la elaboración de las Normas Secundarias se tendrán en cuenta los siguientes objetivos específicos:

- Mantener o recuperar la calidad de las aguas destinadas a la producción de agua potable
- Mantener o recuperar la calidad de las aguas para proteger y conservar las comunidades acuáticas
- Mantener o recuperar la calidad de las aguas para la conservación de especies hidrobiológicas de importancia para la pesca deportiva y recreativa y para la acuicultura.
- Proteger la calidad de las aguas para la bebida de animales, sea que vivan en estado silvestre o bajo el cuidado y dependencia del hombre.
- Proteger la calidad de las aguas para riego de manera de conservar los suelos y la flora silvestre o cultivada.
- Proteger cuerpos o cursos de agua de extraordinaria calidad como componentes únicos del patrimonio ambiental.

En el proceso de dictación de la norma secundaria de calidad para cada área de vigilancia, los valores de concentración del compuesto o elemento, podrán ser modificados sobre la base de la calidad natural y de los criterios sitio-específicos como la sensibilidad de las especies a las condiciones del medio natural en que habitan, las características físicas y químicas particulares del lugar que alteran la biodisponibilidad, la toxicidad y/o la existencia de recursos hídricos con características únicas, escasas y representativas.

Para efectos de la dictación de las normas secundarias de calidad, se considerarán las clases de calidad que a continuación se indican:

- Clase Excepcional
- Clase 1 : Muy buena calidad
- Clase 2 : Buena calidad
- Clase 3 : Regular calidad

Las aguas que excedan los límites establecidos para la clase 3, indicarán agua de mala calidad (clase 4), no adecuada para la conservación de las comunidades acuáticas ni para los usos prioritarios, sin perjuicio de su utilización en potabilización con tratamiento apropiado o uso industrial.

El IP incluye la tabla N° 1 (ver anexo A1), la cual indica los valores máximos y mínimos de los compuestos o elementos, según su clase de calidad.

### 3. ELECCIÓN DE CUENCAS

La Metodología de clasificación se aplicó a las cuencas prioritarias, cuya selección se realizó a partir de las 71 cuencas/subcuencas que actualmente tienen control fluviométrico por parte de la DGA.

Como criterios para la selección de las cuencas prioritarias, se han elegido aquéllas con régimen hidrológico permanente y que poseen una significativa importancia a nivel regional.

Al aplicar estos criterios, se han seleccionado 33 cuencas, que se listan a continuación:

**Tabla I.1: Cuencas Prioritarias**

	Región	Cuenca
1	I	Lauca
2		Lluta
3		Isluga
4		Quebrada Tarapacá
5	II	Loa
6		Salar de Atacama
7	III	Copiapó
8		Huasco
9	IV	Elqui
10		Limarí
11		Choapa
12		Pupio
13	V	Petorca
14		La Ligua
15		Aconcagua
16	Metropolitana	Maipo
17	VI	Rapel
18	VII	Mataquito
19		Maule
20	VIII	Itata
21		Andalién
22		Bío Bío
23		Paicaví

**Tabla I.1 (Continuación): Cuencas Prioritarias**

	Región	Cuenca
24	IX	Imperial
25		Toltén
26	X	Valdivia
27		Bueno
28		Mauñin
29	XI	Cisnes
30		Aysén
31	XII	Serrano
32		Las Minas
33		Side

Del conjunto de cuencas prioritarias, se escogieron 4 cuencas que sirvieron para la aplicación piloto de la metodología propuesta.

Las cuencas piloto son Lluta, Maipo, Bío Bío y Aysén. Ellas fueron elegidas en función de su representatividad en términos de tamaño, características hidrográficas, actividad productiva y económica e importancia regional.

Junto con la elección de las cuencas prioritarias, se preparó un listado preliminar de los cauces a estudiar en cada cuenca. Este listado sufrió algunas leves modificaciones durante el desarrollo del estudio, las que son posibles de apreciar en los informes particulares de cada cuenca.

**Tabla I.2: Cauces Seleccionados para el Estudio en cada Cuenca Prioritaria**

Cuenca Hidrográfica	Cauces seleccionados	Región
Lauca	Lauca, Guallatire, Desaguadero	I
Isluga	Isluga Cariquima	I
Lluta	Lluta, Colpitas, Caracarani	I
Tarapacá	Tarapaca, Coscaya	I
Loa	Loa, Salado, San Pedro, Toconce, San Salvador	II
Salar de Atacama	San Pedro, Vilama, Quebrada Camar, Vertiente de Peine, Quebrada Jerez, Quebrada Talabre	II
Copiapó	Copiapó, Pulido, Manflas, Jorquera	III
Huayco	Huasco, Tránsito, Carmen, Conay	III

**Tabla I.2 (Continuación): Cauces Seleccionados para el Estudio en cada Cuenca Prioritaria**

Cuenca Hidrográfica	Cauces seleccionados	Región
Elquí	Elqui, Estero Derecho, Claro, Turbio, Incahuaz, Malo, Toro, Laguna, Vacas Heladas, Cochihuaz	IV
Limarí	Limarí, Cogotí, Grande, Moztazal, Hurtado, Est. Punitaqui, Rapel, Huatulame, Tascadero, Molles, Pama, Combarbalá	IV
Choapa	Choapa, Illapel, Chalinga, Cuncumén, Est. Camisas, Auco	IV
Pupío	Est. Pupío	IV
Petorca	Petorca, Sobrante, Pedernal	V
La Ligua	Ligua, Alicahue, Los Angeles	V
Aconcagua	Aconcagua, Catemu, Putaendo, Colorado, Juncal, Blanco, Est. Pocuro, Limache, El Litre, Quilpue, Est. Las Vegas	V
Maipo	Maipo, Mapocho, Arrayán, Colorado, Olivares, Angostura, Volcán, Yerba Loca, Colina, Puangue, Molina, San Francisco, Polpaico, Yeso	R.M
Rapel	Rapel, Alhue, Cachapoal, Claro(1), Claro(2), Zamorano, Tinguiririca, La Cadena, Carén, Coya, Est. Teniente, Chimbarogo, Pangal	VI
Mataquito	Mataquito, Teno, Lontué, Claro, Palos, Upeo, Colorado	VII
Maule	Maule, Claro, Lircay, Canal Maule, Loncomilla, Cauquenes, Perquilauquén, Purapel, Longaví, Achibueno, Putagán, Los Puercos, Ancoa, Curipeumo.	VII
Itata	Itata, Cato, Ñuble, Chillán, Renegado, Sauces, Niblinto, Changaral, Larqui, Lonquén	VIII
Andalién	Andalién	VIII
Bío-Bío	Bío-Bío, Claro, Laja, Duqueco, Huaqui, Malleco, Lirquén, Mulchén, Nicodahue, Mininco, Rehue, Polcura, Bureo, Rucue, Renaico, Lonquimay, Vergara	VIII
Paicaví	Caramavida, Calebu, Butamalal, Elicura	VIII
Imperial	Imperial, Cautín, Quepe, Traiguén, Lumaco, Quino, Quillén, Cholchol, Muco, Purén, Dumo, Blanco, Huichahue, Colín	IX
Toltén	Toltén, Allipén, Donguil, Trancura (Pucón), Curaco, Liacura, Puyehue, Mahuidanche.	IX
Valdivia	Valdivia, Calle Calle, Iñaque, Cruces, Huenehue, Llanquihue, San Pedro, Liqueñe, Collileufu, Huahum, Enco	X
Bueno	Bueno, Pilmaiquén, Calcurrepe, Nilahue, Rahue, Negro, Damas, Cohihueco, Caunahue, Forrahue, Chirre	X
Maullín	Maullín. Negro	X
Cisnes	Cisnes, Grande, Moro, Ventisquero	XI
Aysén	Aysén, Mañiguales, Ñirehuao, Emperador Guillermo, Simpson, Claro, Oscuro, Huemules, Blanco Chico, Blanco (Antes Huemules), Blanco (Lago Caro)	XI
Serrano	Serrano, Paine, Grey, Baguales, Vizcachas, Las Chinas, Chorrilos	XII
Las Minas	Las Minas	XII
Side	Side	XII

#### 4. ETAPAS DEL ESTUDIO Y DESARROLLO DEL INFORME

El estudio se desarrolló en 7 etapas, cada una de las cuales contempla diversas actividades, las cuales se presentan en forma esquemática en la tabla I.3.

**Tabla I.3: Actividades y Etapas del Estudio**

ETAPA	ACTIVIDADES
1.	Actividad 1: Selección de cuencas prioritarias y pilotos Elaboración y entrega de Informe Etapa 1
2.	Actividad 2: Revisión Internacional Actividad 3: Identificación de factores actuales y futuros que pueden afectar la calidad de agua en cuencas piloto Actividad 4: Metodología para definir calidad natural de cursos de agua y aplicación en cuencas pilotos Actividad 5: Caracterización calidad actual y variabilidad espacial y temporal de cuencas pilotos Actividad 6: Caracterización usos actual y futuro in situ y extractivo de las cuencas piloto Actividad 7: Establecimiento de los índices de calidad Actividad 8: Definición zonas de dilución Actividad 9: Proposición de metodología de clasificación de cursos de agua de acuerdo a norma Elaboración y entrega de Informe Etapa 2
3.	Actividad 10: Difusión y ratificación de la definición de la metodología y procedimiento para la determinación de objetivos de calidad propuestos Elaboración y entrega de Informe Etapa 3
4 y 5	Actividad 11: Clasificación según objetivos de calidad de los cursos de agua de las cuencas prioritarias en base a la aplicación de la metodología propuesta Actividad 12: Traspaso a SIG de los resultados del estudio Actividad 13: Capacitación Elaboración y entrega de Informe Etapa 4 y 5
6.	Actividad 14: Difusión de la clasificación según objetivo de calidad de las cuencas prioritarias Elaboración y entrega de Informe Etapa 6
7.	Actividad 15: Elaboración y entrega de Informe Final Borrador

Si bien se elaboraron Informes por etapa, el presente Informe Final ha sido estructurado de una manera tal que se destaque, más que la cronología del proyecto, los resultados más relevantes, presentándolos de una forma que sea fácilmente comprensible al lector.

Dada la gran cantidad de información recopilada y elaborada, el Informe Final se compone de 12 volúmenes, cuyo contenido es el siguiente:

a) El Volumen 1 consta de 7 secciones (numeradas I a VII) con el siguiente detalle:

- I. Objetivos y elección de cuencas
- II. Metodología propuesta: contiene una explicación y justificación de la Metodología adoptada para la clasificación de las cuencas
- III. Informes Públicos: contiene los principales resultados que permiten caracterizar la calidad actual de las cuencas prioritarias
- IV. Talleres de difusión: incluye los objetivos y principales resultados de los talleres efectuados en Santiago y en regiones durante la elaboración del estudio
- V. Sistema de Información de Calidad de Agua (SICA): describe el traspaso de datos a un Sistema de Información Geográfico (SIG) y el uso y funcionalidad del módulo SICA
- VI. Proposición para la clasificación de los cuerpos lénticos: dado que en el presente estudio no se aborda la clasificación de lagos y embalses, esta sección contiene la proposición de un procedimiento para abordarla
- VII. Conclusiones y Recomendaciones: tratándose del primer estudio a nivel nacional de calidad de agua, se resumen las principales conclusiones y recomendaciones

b) El Volumen 2 contiene los anexos que dan soporte técnico al texto del Volumen 1. Los anexos considerados son los siguientes:

- A-1 Normas secundarias
- A-2 Revisión de la experiencia internacional
- A-3 Caracterización de usos actuales y futuros del agua
- A-4 Factores actuales y futuros que inciden en la calidad del agua
- A-5 Establecimiento de Índice de calidad de las aguas
- A-6 Definición de zonas de dilución

Los siguientes volúmenes incluyen los informes particulares de cada cuenca analizada. Los volúmenes 3 a 12 se han organizado de la siguiente manera:

- Volumen 3 : Informes de cuencas I Región (Lauca, Lluta, Isluga, Quebrada Tarapacá)
- Volumen 4 : Informes de cuencas II Región (Loa, Salar de Atacama)
- Volumen 5 : Informes de cuencas III y IV Región (Copiapó, Huasco, Elqui, Limarí, Choapa, Pupío)
- Volumen 6 : Informes de cuencas V Región (Petorca, Ligua, Aconcagua)
- Volumen 7 : Informes de cuencas RM y VI Región (Maipo, Rapel)
- Volumen 8 : Informes de cuencas VII Región (Mataquito Maule)
- volumen 9 : Informes de cuencas VIII Región (Itata, Andalién, Bío Bío, Paicaví)
- Volumen 10 : Informes de cuencas IX Región (Imperial, Toltén)
- Volumen 11 : Informes de cuencas X Región (Valdivia, Bueno, Maullín)
- Volumen 12 : Informes de cuencas XI y XII Región (Cisnes, Aysén, Serrano, Las Minas, Side)

## **II. METODOLOGIA PROPUESTA**

El objetivo de esta sección es presentar un procedimiento para clasificar los cursos de agua superficiales de acuerdo a las clases consideradas en el Instructivo.

La elaboración de una Metodología de clasificación constituyó una de las actividades fundamentales del proyecto, en la cual participaron activamente los profesionales del Consultor y de la contraparte técnica, contando también con el aporte de numerosos especialistas, fundamentalmente a través de los varios talleres que se organizaron.

Dado el carácter interdisciplinario del estudio, para definir la metodología de clasificación en el plazo disponible, fue necesario formar diversos grupos de trabajo que trabajaron en forma relativamente independiente y que analizaron diversos aspectos que son relevantes en el tema de calidad de agua. Los antecedentes recopilados y elaborados forman parte de las diferentes secciones y anexos del informe, los cuales confluyen en la proposición de un procedimiento metodológico que sea aplicable a todas las cuencas del país.

Dentro de los antecedentes, cabe destacar la revisión de la experiencia internacional en el tema de clasificación de los cursos de agua. Se realizó una revisión bibliográfica orientada a conocer el “estado del arte” en diferentes países, la cual se presenta en el anexo A2. Asimismo se organizó un taller dedicado a este tema, cuyos principales contenidos aparecen en la sección IV.

Otro de los aspectos analizados en detalle se refiere a los diversos usos del agua. Para ello se distingue entre usos in-situ, usos extractivos y usos ancestrales, describiendo por separado cada uno de ellos. Se incluye, también, las proyecciones del uso del agua y los requerimientos de calidad para sus diversos usos (ver anexo A3).

El anexo A4 está destinado a la identificación de factores actuales y futuros que pueden incidir en la calidad del agua. Junto con una descripción general de los factores que intervienen, se destacan aquellos que influyen en la producción de elementos inorgánicos y orgánicos. Se distingue también lo que es contaminación difusa y contaminación puntual y se propone una caracterización y jerarquización de la importancia relativa de estos factores en cada una de las cuencas.

El anexo A5 establece los criterios y características que debe tener un Índice de Calidad de Agua (ICA) para representar de manera general el nivel de cumplimiento con la clase objetivo asignada a un curso de agua o tramo de éste.

El anexo A6 aborda el tema de las zonas de dilución. Se hace referencia a la experiencia internacional en este tema y a las normas que son actualmente aplicables en Chile.

Durante el desarrollo del estudio, la proposición de la Metodología de Clasificación estuvo sometida a un permanente proceso de mejoramiento, partiendo su aplicación en 4 cuencas piloto. De este modo, la Metodología presentada en esta sección es el resultado del proceso anterior y constituye uno de los logros más importantes del presente proyecto.

La Metodología propuesta contempla 7 etapas secuenciales, las cuales se describen individualmente.

#### 1. ETAPA I: ELECCION DE LA CUENCA Y DEFINICION DE CAUCES

La Metodología propuesta se aplica a un Area de Vigilancia que se define como el territorio o área geográfica determinada por la autoridad competente para efectos de proponer, asignar y gestionar la calidad. Para el caso de las aguas continentales superficiales, puede abarcar la totalidad de una cuenca hidrográfica o parte de ella.

En consecuencia, la primera actividad consiste en la selección de una cuenca y la definición de la red fluvial que será objeto de análisis. Dentro de la red fluvial se incluyen el cauce principal y los cauces afluentes que poseen control fluviométrico.

## 2. ETAPA II: RECOPIACION DE LA INFORMACION Y CARACTERIZACION DE LA CUENCA

La Etapa II contempla la recopilación de toda la información disponible que permita una apropiada caracterización de la cuenca.

La recopilación de información está dirigida a caracterizar la cuenca en 5 aspectos fundamentales:

### 2.1 Cartografía y Segmentación

Dado que todo el trabajo de clasificación de los cursos de agua superficiales contempla el diseño de una Base de Datos asociado a un Sistema de Información Geográfico (SIG), la recopilación de información debe comenzar por la cartografía. En el Anexo A7 se describe la base cartográfica que se ha utilizado en el presente estudio

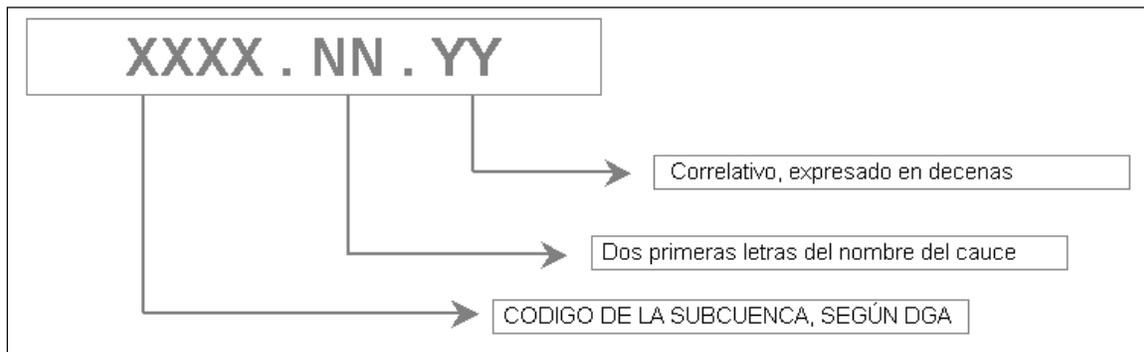
Tan pronto se cuente con la cartografía, se procede a la segmentación de los cauces.

Esta consiste en la subdivisión de los cauces en porciones menores denominadas “segmentos”, lo que se logra siguiendo los criterios descritos a continuación:

- i. El área de definición de segmentos estará asociada a cada sub-cuenca de la cuenca en estudio.
- ii. Se procederá a la subdivisión de un cauce, perteneciente a una sub-cuenca, cuando sea considerado extenso para efectos del análisis, en un número de segmentos continuos no superior a tres.
- iii. Los extremos de los segmentos son los nodos y estarán asociados a algunos de los siguientes elementos físicos:
  - Cabecera del curso
  - Confluencia con otro curso seleccionado
  - Desembocadura al mar
  - Punto definido por la intersección del límite inferior de la subcuenca y el curso a subdividir
  - Cola y salida de un curso lenticular (Lagos y embalses)

- Estación de Calidad de Agua, cuando ésta se encuentre significativamente alejada de una confluencia o de una cabecera
- Nodo de impacto donde se concentran los efectos de la contaminación puntual.
- Otro elemento significativo.

Se ha adoptado una nomenclatura para codificar los segmentos, tal que su denominación sea única, para lo cual se sigue la fórmula mostrada en la figura siguiente:



En resumen, el segmento está definido por la unión de dos o más nodos contiguos (reales o ficticios), de modo que se cumple la siguiente expresión:

$$\text{Segmento } k = \{ \text{nodo }_{k+1} - \text{nodo }_k \}$$

$$\text{Segmentos} = \{ \text{seg1, seg2, seg3, \dots, seg}_n \}$$

La etapa II de la Metodología incluye la recopilación de antecedentes que permite la caracterización de la cuenca. Los aspectos fundamentales que son considerados en la caracterización son los siguientes:

- sistema físico natural
- flora y fauna acuática
- sistemas humanos
- usos del suelo

En el anexo A7 se incluyen detalles de la orientación que debe tener la recopilación de información y la caracterización de las cuencas, según se resume a continuación.

## 2.2 Sistema Físico Natural

El sistema físico natural tiene una fuerte influencia en la calidad del agua.

Para describir el sistema físico natural de cada cuenca, se deberán considerar los siguientes aspectos:

- **Clima:** se deben definir las principales variables climáticas de la cuenca, en particular el régimen pluviométrico y la evaporación. Un ejemplo es la incidencia directa del clima en la calidad del agua que se produce en las cuencas del Norte Grande, donde la relación precipitación- evaporación genera aguas con altos contenidos de sales disueltas.
- **Geología y volcanismo:** puede influir en la calidad del agua debido a la composición química de las rocas y a procesos físico-químicos como la lixiviación. Los antecedentes para describir la geología y volcanismo se encuentra en las cartas geológicas del SERNAGEOMIN y en el texto Volcanes de Chile de González Ferrán del IGM.
- **Hidrogeología:** se debe detectar la existencia de acuíferos, en especial no confinados, que en sus zonas de contacto alimenten el cauce superficial, influyendo en la calidad de agua de este último. El Mapa Hidrogeológico de la Dirección General de Aguas es un buen antecedente ya que dispone de información de ubicación y extensión de los acuíferos y productividad de pozos los cuales incluyen los niveles freáticos.
- **Geomorfología:** la geomorfología de la cuenca debe ser analizada fundamentalmente en términos de los procesos de erosión, transporte de sedimentos y depositación. Existen Sistemas de Información Geográficos que disponen de variadas herramientas que permiten generar información relativa a pendientes; sobre éstas se pueden realizar análisis de la geomorfología y determinar zonas en las cuales pueden ocurrir procesos erosivos, siempre y cuando se cuente con la información adecuada para ello.

- Suelos: sus características influyen en la calidad del agua en cuanto constituyen uno de los orígenes de la carga sedimentaria de los ríos y la ocurrencia de escorrentías. En CIREN – CORFO existen estudios agrológicos a nivel regional en los cuales se describe la textura de los suelos.

### 2.3 Flora y Fauna Acuática

Se recopilan antecedentes que identifican las especies de flora y fauna acuática que alberga la cuenca.

Debe tenerse presente que todos los aspectos ligados a la preservación y conservación de comunidades acuáticas es tratado en la actividad Usos del Agua, que es parte de la etapa III de la Metodología.

En aquellas cuencas donde existe información fidedigna, deben especificarse las especies que podrían verse afectadas por un deterioro de la calidad del agua. La caracterización de la biota – tanto nativa como introducida – se obtiene a partir de Estudios de Impacto Ambiental de proyectos regionales presentados al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental SEIA, y de estudios y publicaciones realizados por universidades u otras instituciones públicas y privadas.

### 2.4 Sistemas Humanos

Los sistemas humanos tienen una fuerte incidencia en la calidad del agua. Dentro de ellos, interesan dos aspectos fundamentales:

- Asentamientos humanos, con una descripción de los principales centros urbanos, su ubicación y población.
- Actividades económicas principales que se desarrollan en la cuenca, ya que tienen una fuerte influencia en el tipo de contaminación que generan.

## 2.5 Usos del Suelo

Los usos del suelo tienen fuerte incidencia en la calidad del agua, produciéndose cambios en los niveles de salinidad, incorporación de sustancias exógenas o contaminantes, recarga de sedimentos en los escurrimientos superficiales y alteración de los acuíferos.

Con la ayuda del Sistema de Información Geográfico (SIG), cada cuenca debe ser caracterizada en términos de usos del suelo. Por su relación con la calidad del agua, las categorías mínimas a considerar son las siguientes:

- Uso agrícola
- Uso forestal
- Uso urbano

La metodología incluye la representación gráfica de los usos del suelo, para lo cual se elabora una lámina por cuenca. La lámina va acompañada de tablas en las que se indica la superficie asociada a cada uso y su importancia relativa en términos porcentuales.

### 3. ETAPA III : ESTABLECIMIENTO DE LA BASE DE DATOS

La siguiente actividad de la Metodología consiste en la recopilación de información y Establecimiento de la Base de Datos, todo lo cual debe agruparse en 4 categorías:

- Información fluviométrica
- Usos del agua
- Descargas al río
- Datos de calidad de agua

A continuación se describe como se debe conformar la base de datos de cada una de ellas.

#### 3.1 Información Fluviométrica

Una información de gran relevancia se refiere a determinar la variación estacional de caudales en cada cauce particular. Con este propósito, se debe recopilar todos los registros fluviométricos disponibles en la cuenca, a nivel de caudales medios mensuales.

Ciertamente que la mayor parte de la información proviene de las estaciones fluviométricas que opera la DGA, pero no debe descartarse ninguna información que tenga valor estadístico.

Los registros de caudales así obtenidos constituirán la Base de Datos Hidrológicos, los cuales serán incluidos en un anexo por cuenca.

Previo al análisis estadístico de estos datos, se debe examinar la información de cada estación, de modo de validarla y rellenar los blancos. Para esto último, se deben utilizar los procedimientos estándares de la Hidrología.

La Base de Datos Hidrológicos estará constituida fundamentalmente por planillas de caudales, una por estación, en la cual figuran los meses en las columnas y los años en las filas.

## 3.2 Información de Usos del Agua

La información referente a usos del agua se debe clasificar en tres categorías:

- Usos in – situ
- Usos extractivos
- Usos ancestrales

Los usos del agua son representados en una lámina por cuenca, la cual se construye sobre la base de los conceptos que se resumen en los párrafos siguientes. Todos los detalles referentes al tema de Usos del Agua aparecen en el Anexo A3.

### 3.2.1 Usos In situ

Los usos in situ del agua corresponden a aquellos que permiten emplear el agua sin consumirla y aprovechar el recurso sin extraerla de su fuente original. Dentro de los usos in situ, se pueden distinguir, al menos, cuatro tipos:

- turismo, deportes y recreación
- acuicultura
- pesca deportiva y recreativa
- usos ambientales del agua

El uso para turismo, deportes y recreación está relacionado con sitios de interés para desarrollar actividades, ya sea con contacto directo (natación, rafting, canotaje, fuentes de agua termales, entre otros) o sin contacto directo (fotografía, caminatas, camping, etc.). La recreación con contacto directo estará regulada por las normas primarias de calidad ambiental, de modo que en los informes de cuencas no se indaga en estas áreas de uso.

Según el IP, la acuicultura es la “actividad organizada por el hombre que tiene por objeto la producción de recursos hidrobiológicos, cualquiera sea su finalidad”. El IP la incluye dentro de los usos prioritarios del agua e indica que la clase 2 es agua apta para el desarrollo de la acuicultura.

Tratándose de las aguas continentales superficiales, corresponde a la Subsecretaría de Pesca informar sobre la existencia de zonas destinadas a la acuicultura. En consecuencia, la Metodología contempla la identificación de dichas zonas que se ubican en el cauce mismo. La acuicultura que se realiza fuera del cauce se incluye como uso extractivo de tipo industrial.

En relación a la pesca deportiva y recreativa, el IP la define como “actividad realizada por personas naturales, nacionales o extranjeras, que tiene por objeto la captura de especies hidrobiológicas sin fines de lucro y con propósito de deporte, recreo, turismo o pasatiempo y que se realiza con un aparejo de pesca personal apropiado al efecto”.

En virtud que corresponde al Servicio Nacional de Pesca y a la Subsecretaría de Pesca informar sobre la existencia de zonas donde se practique en forma preferente esta actividad, la metodología considera la identificación de dichas zonas.

Los usos ambientales del agua están referidos a la conservación de la biodiversidad y sustentabilidad de un determinado ecosistema, todo ello orientado al mantenimiento y preservación de especies que viven o están asociadas al agua.

Los usos ambientales consideran sitios de importancia ecológica en las cuencas (cuencas de captación, humedales, reservas forestales, entre otras); superficie de importancia a nivel local, regional o nacional; asociación con sitios de interés turístico o recreacional y sitios con importancia ambiental según criterios de singularidad ecológica relacionados con la disponibilidad y uso actual de los recursos hídricos.

El IP define comunidades acuáticas como el “conjunto de poblaciones biológicas que tiene en el medio acuático su medio normal o más frecuente de vida y que dependen directa y/o indirectamente de éste. Son organismos que por ser únicos, escasos, representativos y/o de valor económico para el país, requieren de protección para asegurar su conservación”.

El IP considera la clase Excepcional y la clase 1 como adecuadas para la conservación de las comunidades acuáticas. Sin embargo su aplicación práctica resulta muy difícil ya que no se especifica a qué poblaciones biológicas se refiere. Por este motivo, la Metodología propuesta incluye una descripción de la flora y fauna acuáticas, pero no es posible, por ahora, vincular su conservación a una determinada calidad de agua.

La conservación y preservación de la vida acuática es abordada, según la Metodología propuesta, desde el punto de vista del Sistema Nacional de Areas Protegidas del Estado (SNASPE); de la Estrategia de Biodiversidad y de la identificación de algunos otros sitios de interés (sitios CONAF, etc.)

En la lámina de usos del agua, se deben representar los Parques Nacionales, Reservas Nacionales y Monumentos Naturales, todos los cuales son parte del SNASPE. Junto con lo anterior, se ubicarán los sitios de biodiversidad prioritarios de resguardar de acuerdo al catastro elaborado por CONAMA.

### 3.2.2 Usos extractivos

Los usos extractivos corresponden a aquellos que emplean el recurso hídrico por medio de la captación del agua del cauce al que pertenece, pudiendo no regresarla al cauce una vez que la haya utilizado, o regresarla previo su uso. Así, los usos extractivos se clasifican en dos grandes grupos, que son los usos consuntivos y no consuntivos.

Entre los usos consuntivos, están las extracciones de agua para riego, para agua potable y para las actividades industrial y minera. Para efectos de la elaboración de las normas secundarias, los más importantes son los dos primeros ya que son mencionados como usos prioritarios en el Instructivo.

Entre los usos no consuntivos, el principal es el destinado a la generación hidroeléctrica, el cual no tiene influencia directa en la definición de clases de calidad.

La metodología considera la siguiente clasificación de los usos extractivos:

- agua potable
- riego
- generación de energía eléctrica
- actividad industrial y minera

### 3.2.3 Usos ancestrales

Se debe recopilar toda la información disponible en la DGA, CONADI y otras reparticiones públicas con el objeto de identificar los usos del agua reservados a los pueblos nativos.

### 3.2.4 Compendio de usos del agua

En forma resumida, la Metodología considera un informe de usos de agua por cuenca, el cual aborda fundamentalmente los usos definidos en el IP y los complementa con otros usos que permiten tener una visión global de la cuenca:

Los usos considerados son:

- a) Usos in-situ
  - Acuicultura
  - Pesca deportiva y recreativa
  
- b) Usos extractivos
  - Riego
  - Captación para agua potable
  - Hidroelectricidad
  - Actividad industrial
  - Actividad minera

#### c) Biodiversidad

Se incluyen sitios SNASPE, sitios prioritarios, de interés particular, etc.

#### d) Usos ancestrales

Corresponde a los usos de agua reservados a los Pueblos Nativos.

Todos los usos anteriores son llevados a una tabla en la cual se identifica el tipo de uso del agua en cada segmento de un cauce. Si bien el IP incluye la bebida para animales entre los usos prioritarios, éste no ha sido incluido en la tabla ya que no es posible asociar este uso a un determinado segmento. Del mismo modo, el IP distingue entre riego irrestricto y riego restringido. La información existente sólo permite ubicar geográficamente la ubicación de una bocatoma destinada a riego, pero no es posible distinguir qué uso específico se le da al agua captada. Por este motivo, la tabla contiene una columna única destinada al riego.

En la página siguiente se ilustra un ejemplo de la tabla de Usos del Agua.

**Tabla II.1: Usos del Agua en la Cuenca del Copiapó**

Cauce	Segmento	Usos in situ		Extractivos					Biodiversidad	Ancestrales
		Acuicultura	Pesca Deportiva Y Recreativa	Riego	Captación A.P.	Hidroelectricidad	Actividad Industrial	Actividad Minera		
Río Manflas	0342MA10									
	0342MA20									
	0342MA30									
Río Pulido	0341PU10			•						
	0341PU20			•						
Río Jorquera	0340JO10			•						
Río Copiapó	0343CO10			•						
	0343CO20			•						
	0343CO30			•					•	
	0343CO40									
	0345CO10			•				+	•	
	0345CO20			•					•	
	0345CO30			•					•	
0345CO40								•		

+ = Con los antecedentes disponibles no es posible asignar los usos a un segmentos específicos.

### 3.3 Descargas

Con el objeto de determinar las cargas contaminantes que descargan al cauce superficial, se debe crear una base de datos que reúna todas las descargas existentes y sus características.

La clasificación de las descargas incluye:

- Aguas servidas
- Aguas industriales
- Contaminación difusa

Para constituir la base de datos de las descargas, se deben considerar las siguientes características:

#### a) Aguas servidas

La Base de Datos incluye lo siguiente:

- centro urbano o localidad
- segmento asociado a la descarga
- cuerpo receptor
- empresa de servicios sanitarios
- cobertura de tratamiento de aguas servidas
- población estimada total y población saneada
- existencia de planta de tratamiento
- caudal de la descarga
- valores de los parámetros característicos de las aguas servidas (medidos o estimados)

Para elaborar la base de datos de las descargas de aguas servidas se puede utilizar información contenida en el Informe Anual de Coberturas de Servicios Sanitarios – SISS, Informes regionales del SAG, información digital de la Comisión Nacional del Riego (CNR) y estudios específicos existentes de las cuencas. Para el futuro, se recomienda recurrir a los antecedentes del Manual de Procedimientos (MAPRO) que actualmente está en funcionamiento a través de un acuerdo de fiscalización conjunta regional (SISS, Servicios de Salud Regionales, SAG, CONMA, etc.).

b) Aguas industriales

La Base de Datos de las descargas industriales, incluyendo la minería, considera las siguientes características:

- identificación de la industria
- comuna
- identificación del segmento donde se ubica
- cauce receptor
- Identificación según CIIU
- Caudal de la descarga
- Valores de los parámetros medidos (o estimados)

Para elaborar esta Base de Datos se puede utilizar la información del Catastro de Riles de la SISS actualizada a 1998, informes regionales del SAG, CNR, Compendio de la Minería Chilena y estudios específicos existentes en las cuencas.

c) Contaminación difusa

El Servicio Agrícola Ganadero (SAG) posee indicaciones en varias cuencas, la mayoría de las cuales están ligadas a actividades silvícolas, agrícolas y pecuarias. Asimismo, estudios de impacto ambiental han efectuado mediciones de orgánico-plaguicidas, todo lo cual debe ser integrado a la Base de Datos.

Adicionalmente a esta información, se debe consultar el VI Censo Nacional Agrícola, usos del suelo del SIG de la CNR, Agenda del Salitre 2001 y las siguientes direcciones de internet: [www.syngenta.cl](http://www.syngenta.cl); [www.basf.cl](http://www.basf.cl); [www.anasac.cl](http://www.anasac.cl), entre otras.

En general, la información disponible de contaminación por compuestos órgano plaguicidas existente en el país es escasa. Para tener una estimación cuantitativa gruesa, se ha desarrollado, en colaboración con un experto del INIA, un procedimiento que sirve para identificar potenciales problemas de contaminación por orgánico- plaguicidas que se aplicará en las cuencas con intensa actividad agrícola. El detalle de este procedimiento se encuentra en el Anexo A4.

### 3.4 Datos de Calidad de Agua

La base de datos fundamental a constituir en la etapa III se refiere a los registros de calidad de agua.

Siendo éste un estudio de caracterización y clasificación de los cauces superficiales en términos de la calidad del agua, esta etapa tiene una gran importancia en cuanto recopilar toda la información disponible, la cual, en el caso de algunas cuencas es muy escasa.

#### 3.4.1 Fuentes de información

Se deben recopilar todos los antecedentes de mediciones de la calidad del agua. En términos generales, se pueden mencionar los siguientes:

- Monitoreo de calidad de agua de la DGA
- Programas de monitoreo del SAG, Servicios de Salud, etc.
- Muestreos realizados en Estudios de Impacto Ambiental
- Programa de muestreo puntual realizado por CADE-IDEPE con ocasión de este estudio.

Los datos de calidad de aguas recopilados para cada elemento se clasifica en 5 niveles, a saber:

- Nivel 1: datos de calidad de agua provenientes de un programa de muestreo sistemático, con frecuencia mayor que cuatro veces al año y duración superior a tres años (ejemplo: programa de monitoreo de la DGA en la mayoría de las cuencas de Chile). El registro debe tener al menos 10 valores de cada parámetro.
- Nivel 2: datos de calidad de agua provenientes de un programa de monitoreo sistemático, pero que no cumple los requisitos anteriores. En este nivel se consideran monitoreo que tienen entre 5 a 10 valores registrados por parámetro.
- Nivel 3: datos provenientes de una campaña de muestreo puntual, que puede haber sido realizada como resultado de un estudio específico. Hay varios ejemplos de este tipo de información (ejemplos: estudios para empresas

sanitarias, estudios para CONAMA, etc.). Se incluyen campañas de 2 a 5 datos registrados de un mismo parámetro.

- Nivel 4: registros de calidad de agua provenientes de los muestreos realizados durante el desarrollo del presente estudio. Corresponde a mediciones puntuales, con una única medición.
- Nivel 5: estimaciones teóricas de parámetros de calidad de agua a partir de datos existentes. Frente a la imposibilidad de conseguir datos medidos, en algunas cuencas se hace necesario realizar estimaciones de parámetros mediante el uso de fórmulas empíricas.

Se privilegiará la información de los 4 primeros niveles y cuando ésta no exista, se recurrirá a estimaciones teóricas consideradas en el nivel 5.

Para facilitar el análisis, la información recopilada se resume en planillas que contienen el cauce monitoreado, el número de parámetros medidos y que están considerados en el Instructivo, el periodo de registro, la frecuencia de muestreo y la medición o no del caudal en el mismo punto.

#### 3.4.2 Aceptabilidad de los programas de monitoreo

La evaluación de la calidad de aguas es una materia compleja, vinculada a la propia definición que se ofrezca de este concepto. Así, según se adopte una u otra definición y según sean los objetivos que se persigan con la toma de datos, se requerirá uno u otro tipo de red de medida y/o control. Un ejemplo de esto es el diseño actual de la red de monitoreo de aguas de la DGA que fue diseñada para el control de la calidad de aguas para riego, pero que puede servir a otros objetivos dada su larga serie de valores.

Los objetivos principales de una red de medida de la calidad de las aguas son:

- Describir condiciones actuales de la calidad de las aguas
- Analizar las tendencias a largo plazo
- Identificar los factores que afecten a la calidad de aguas

La red de monitoreo de la calidad de aguas debe considerar la ubicación de los puntos de muestreo y el establecimientos de programas de control de la calidad obedeciendo a un objetivo de evaluación bien definido, lo cual requiere definir la precisión y el intervalo de

confianza de los análisis; el número de muestras a obtener; la frecuencia en cada caso y el número de parámetros a determinar.

La aceptabilidad de datos de un programa de monitoreo obedece a la necesidad de validar, en términos objetivos, la confiabilidad de la información que será posteriormente utilizada en el trabajo.

El procedimiento de aceptabilidad de los datos busca establecer aspectos tales como:

- La presencia de valores sospechosos (outliers): el análisis de outliers está destinado a revisar la validez del uso de valores de los parámetros que presentan discrepancias notables respecto de la masa total de datos. En tal sentido, pueden usarse métodos no estadísticos como sería la simple inspección de los datos, o bien, lo que es más objetivo, un test estadístico como el de Dixon, que utiliza el siguiente criterio.

$$* \quad D = ( X_{n+1} - X_n ) / ( X_n - X_1 ) < 0.56 \implies X_{n+1} \text{ no es outlier al } 95\% \text{ de confianza}$$

donde :  $X_1$  hasta  $X_{n+1}$  corresponde a la serie de mediciones ordenadas de menor a mayor o viceversa.

- El cumplimiento de límites físicos, a través de identificar rangos, límite de detección utilizado, valores mínimos y máximos, etc.
- La existencia de relaciones físicas entre los parámetros, que se representa por la comparación de la suma de aniones con la de cationes, expresadas en unidades de equivalentes químicos.
- La presencia de correlaciones entre variables, como es el caso de la conductividad con los iones presentes.

Las fuentes de información identificadas en 3.4.1 constituyen la Base de Datos Bruta (BBB). La aplicación del procedimiento de aceptabilidad de los datos permite depurar la información, conformándose así la Base de Datos Depurada (BDD), la cual constituye el soporte fundamental para los análisis de calidad de agua. Finalmente, para la caracterización de la calidad de agua de la cuenca, se establece la denominada Base de Datos Integrada (BDI) la cual se describe en el acápite 4.2.4.

#### 4. ETAPA IV : ANALISIS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

La etapa IV de la Metodología está orientada al análisis y procesamiento de la información de las bases de datos depuradas establecidas en la etapa anterior.

Los temas específicos que son objeto de análisis son los siguientes:

- Información fluviométrica
- Información de calidad de agua
- Factores incidentes en la calidad del agua

##### 4.1 Análisis de la Información Fluviométrica

El estudio hidrológico está orientado a determinar la variación estacional de los caudales de cada cauce controlado fluviométricamente dentro de la cuenca.

Para esto, se utilizan los registros estadísticos de las estaciones que opera la DGA. El procedimiento consiste en definir una estación patrón y analizar y completar los registros de las otras estaciones sobre la base de la estación patrón.

Para cada estación fluviométrica, en la cual se disponga de información suficiente (más de 20 años de estadística), se debe efectuar un análisis de frecuencia a nivel mensual, usando diferentes modelos probabilísticas.

La secuencia de actividades es la siguiente:

- a) Selección de modelos. Se debe seleccionar el modelo representativo para cada mes, en función de la aplicación de test de bondad de ajustes y considerando como criterio general que se debe seleccionar, en lo posible modelo iguales para periodos hidrológicos similares. El análisis estadístico de validez de los modelos se realiza aplicando el test de bondad de ajuste de Chi – Cuadrado y de Kolmogorov – Smirnov.
- b) Presentación de resultados. Se debe confeccionar una tabla y un gráfico, para cada estación, con los valores de caudales de cada mes para distintas probabilidades de excedencia (5, 10, 20, 50, 85 y 90%). Se debe indicar en la

tabla, para cada mes, el modelo seleccionado, el valor de sus parámetros y el valor de los estadígrafos de los test de bondad de ajuste.

- c) Análisis de estacionalidad. En función de los resultados obtenidos, se debe realizar un análisis orientado a establecer, cualitativamente, los periodos estacionales para los caudales. Este análisis debe efectuarse en base a una inspección visual de los resultados, lo que se debe traducir en determinar los distintos períodos del año (meses) en los cuales se presentan regímenes de escurrimiento similares. Se debe identificar los meses de caudales mínimos.
- d) Cuando se disponga de estaciones fluviométricas con menos de 20 años de estadística, se debe proceder de la siguiente manera:
- Entre 10 y 20 años de estadística. Se debe realizar un análisis similar al efectuado para las estaciones con 20 o más años de estadística, pero señalando expresamente el número de datos con los cuales se realiza los cálculos. Esta información debe ser incluida en la tabla de resultados.
  - Menos de 10 años de estadística. No se debe realizar el análisis estadístico y sólo de debe calcular los estadísticos de la muestra (promedio, desviación estándar, máximo, mínimo). Se debe indicar además el número de datos con los cuales se calculó estos estadígrafos.

#### 4.2 Análisis de Calidad de Agua

En la Etapa IV, el análisis y procesamiento estadístico de la información de calidad de aguas debe considerar las siguientes actividades:

- Selección de parámetros
- Análisis de tendencia central
- Programa de muestreos
- Conformación de la Base de Datos Integrada
- Análisis por periodo estacional

#### 4.2.1 Selección de parámetros

La base de datos debe tener, idealmente, información de todos los parámetros considerados en el Instructivo. Ante la imposibilidad de contar con esta información, se ha considerado que existen parámetros obligatorios de analizar y parámetros principales, los cuales dependen de la cuenca en estudio.

Los parámetros considerados “obligatorios” son: DBO<sub>5</sub>, conductividad eléctrica o sólidos disueltos, oxígeno disuelto, pH, sólidos suspendidos y coliformes fecales o coliformes totales. Esta selección es esencialmente empírica, basada en el reconocimiento de que estos parámetros se ven afectados, en la mayoría de las cuencas, por las características de la intervención antrópica.

Las características particulares de cada cuenca requiere incluir otros parámetros en el análisis, los cuales han sido denominados parámetros principales.

Para seleccionar los parámetros principales, se debe recurrir a la BDD y preparar una tabla en que se listen todos los parámetros medidos, se establezca su rango de variación (valor mínimo y valor máximo) y se comparen los valores anteriores con el correspondiente a la clase 0. Todos los parámetros que presentan, aunque sea un valor sobre el límite de dicha clase, son seleccionados para el análisis.

Los parámetros, cuyo valor máximo registrado en la BDD no excede el límite de la clase 0, se consideran que siempre pertenecen a dicha clase.

#### 4.2.2 Análisis de tendencia central

Los registros de calidad de agua conforman un conjunto de datos que debe ser analizado siguiendo los lineamientos típicos de la estadística. Esto implica, al menos, el cálculo de los valores centrales y las medidas de dispersión.

La medición de tendencia central se puede realizar en base a los siguientes estadígrafos:

- Media
- Mediana
- Moda

De estas tres medidas de tendencia central, la media es la más utilizada, en especial cuando se considera que no hay influencia de puntos extremos. En tal sentido, el análisis realizado incorpora en forma previa la detección de elementos extremos sospechosos (outliers). Si no fuese así, sería útil calcular medianas o modas, donde estos valores extremos no influyen.

Por otra parte, si atendemos a las características de los parámetros de calidad de agua, estos presentan en general dos fenómenos que requieren cierta atención: la correlación, como es el caso de variables como la  $DBO_5$  y los SST en aguas servidas, y la auto correlación. Esta última es importante ya que establece la correlación de una serie con valores retardados de sí misma; también conocida como correlación serial. Esta función suele representarse a través de una gráfica.

Las mediciones de calidad de agua de cada parámetro se presentan en series de tiempo en cada estación de monitoreo, con distintos periodos de medición. Es a partir de esta información que se desea estimar los dos patrones más significativos de una serie de tiempo: tendencia y estacionalidad.

En este trabajo se ha considerado que la tendencia está determinada por la media, una de las tres formas de medición posibles de ser usadas. Esta selección se basa en la verificación empírica que permite comprobar que los valores de una serie de esta clase tiende a un valor único, dado por la media, en periodos de tiempo suficientemente largos, que suele ser del orden de 10 o más años. Esta comprobación se realiza en forma gráfica para cada uno de los parámetros de los cuales se disponen de suficientes registros, utilizando la media simple hasta el punto analizado.

Si la curva que así se genera fuese de pendientes distintas de cero o muy distinta a este valor, se estaría en condiciones de suponer que existe una tendencia de largo plazo, positiva o negativa, que requiere de otras formas de análisis. En los casos analizados, esta situación en general no se produce, pudiéndose observar que la media tiende a un valor constante a medida que el tiempo aumenta.

Este hecho ha sido observado por diversos autores<sup>1</sup> que postulan que un parámetro de calidad de agua puede ser expresado a través de la siguiente expresión:

$$P(x, t) = T(x,t) + E(x,t) + X(x,t), \text{ es decir :}$$

$$\text{Parámetro} = \text{Tendencia Central} + \text{Estacionalidad} + \text{Ruido}$$

Lo que puede expresarse como:

$$P(x,t) - E(x,t) = T(x,t) + X(x,t)$$

Donde x representa el espacio y t el tiempo.

En el límite cuando t es muy grande, la variable T tiende a un valor que se denomina central, determinística, que puede ser considerada como la media de los valores existentes en la serie. Este planteamiento asume que las series disponibles son demasiado cortas para lograr observar un cambio de la tendencia en el largo plazo, producto de fenómenos físicos que están fuera del alcance de este estudio. De hecho en el estudio citado, se proponen expresiones para T dada por la curva de Gompertz:

$$T(x,t) = \exp(a - b \exp(-ct)) \text{ con } c > 0$$

Los análisis de series de tiempo disponen de metodologías estándar que pueden ser consultadas en bibliografía<sup>2</sup>.

El análisis de las tendencias centrales de las series de tiempo representativas de los parámetros de calidad de agua muestra que la concentración de un contaminante dado tiende a ser mayor en cualquiera de los periodos estacionales, no necesariamente en el de estiaje o menores caudales. Este periodo, una vez identificado, representa las condiciones críticas donde la contaminación medida en términos de concentraciones será más alta. Esto determina la necesidad de que el estudio hidrológico se haga para cada mes y periodo estacional del año.

Cuando el efecto de estacionalidad es evidente, resulta conveniente asumir esta situación de inmediato, lo que implica seleccionar un periodo del año como base del resto del análisis, lo que facilita la mejor comprensión de la variación temporal de la calidad de agua.

---

<sup>1</sup> Axel Lehmann, Michael Rode “long term behaviour and cross correlation water quality analysys of the river Elbe, Germany”, Wat. Res. Vol. 35, N° 9, pp. 2153-2160 (2001).

<sup>2</sup> <http://www.statsoftinc.com/textbook>

El periodo de concentraciones mayores puede ser común a varios parámetros o corresponder a distintos periodos estacionales, situación variable dependiendo de las condiciones particulares de cada cuenca.

Un ejemplo de aumento de la concentración respecto del caudal es la cantidad de oxígeno disuelto, que muestra mayores valores con caudales más altos, pero debe notarse que el oxígeno no es un contaminante sino que un indicador del estado del agua, que mientras mayor sea se entiende más positivo hacia la vida acuática y los usos del agua. Este ejemplo muestra lo importante que es considerar el perfil físico-químico y microbiológico en forma integral, unido al entorno y cumpliendo las relaciones científicas propias de un análisis de agua.

#### 4.2.3 Programa de muestreos

El programa de muestreos debe orientarse a complementar la información existente en la base de datos disponible y considera tres aspectos claves: en primer lugar, la red actual de monitoreo existente está orientada a medir parámetros inorgánicos de tal modo que no se dispone de información orgánica; en segundo término, la información complementaria está enfocada a verificar la clase actual en algunos segmentos de los cauces seleccionados y, en tercer lugar, se requiere contar con una información puntual en cauces en los cuales se carece de toda otra información.

Es importante señalar que el muestreo es puntual y, por lo tanto, debe considerarse como tal en cuanto a la validez y representatividad del resultado. Como se indicó el objetivo principal de este monitoreo es entregar orientaciones de parámetros inexistentes en la base de datos (nivel de información tipo 4), o bien aportar datos de parámetros que requieren ser corroborados.

Los detalles del programa de muestreos realizado durante el desarrollo de este estudio, aparecen en el Anexo A8.

#### 4.2.4 Base de Datos Integrada (BDI)

Para la caracterización de la calidad de agua de la cuenca, se establece la denominada Base de Datos Integrada (BDI), la cual contiene datos recopilados de monitoreos o muestreos realizados a la fecha (información de nivel 1 al nivel 3), datos del Programa de Muestreo Puntual realizado por CADE-IDEPE durante el desarrollo de la presente consultoría

(información nivel 4) y estimaciones teóricas (información nivel 5) de los parámetros obligatorios DBO<sub>5</sub>, sólidos suspendidos y coliformes fecales, en caso de carecer de información de nivel superior. El método de cálculo de estos parámetros se presenta en el anexo A4.

En forma específica, se ha considerado lo siguiente:

- En el caso de disponer de un número de registros  $> 10$  por período estacional, se procede a calcular el percentil 66%, lo que equivale según la metodología a información de nivel 1. La elección del percentil es arbitraria. Se ha elegido 66% por considerarlo un valor moderado y porque corresponde al percentil utilizado en el Instructivo.
- Cuando se dispone de un número de registros entre 5 y 10 por período estacional, se procede a calcular el promedio de los valores, lo que equivale a información de nivel 2 y se representa en las tablas de calidad del agua por el valor entre paréntesis. (ejemplo OD = (10,5))
- Si sólo se dispone de un número menor que 5 registros por período estacional, se procede a calcular el promedio de los valores, que equivale a información de nivel 3 y se representa en las tablas de calidad del agua por el valor entre dos paréntesis. (ejemplo OD = ((10,5)))

#### 4.2.5 Análisis de datos por periodo estacional

Tomando como información la Base de Datos Integrada (BDI), la Metodología propone realizar el análisis estacional de los registros de calidad, distinguiendo períodos estacionales que son propios del análisis hidrológico:

- Verano :diciembre a febrero
- Otoño :marzo a mayo
- Invierno : junio a agosto
- Primavera :septiembre a noviembre

Estos períodos estacionales son aplicables a la gran mayoría de las cuencas de Chile, y se han definido con el objeto de sistematizar el análisis. Sin embargo, es factible su modificación para alguna cuenca en particular.

Para el cálculo de percentiles, los procedimientos son de dos tipos:

- Análisis de tipo empírico, que consiste en disponer los valores de menor a mayor y elegir el valor que corresponda a  $p * n$ , siendo  $p$  el percentil deseado (en forma decimal) y  $n$  el número de valores de la muestra.
- Análisis probabilístico, que consiste en aplicar el conjunto de datos una distribución probabilística. De acuerdo a la experiencia que se puede extraer de la literatura técnica, las distribuciones más apropiadas son :
  - Normal
  - Log-Normal
  - Pearson tipo III

De acuerdo a lo expresado en la literatura técnica<sup>3</sup>, salvo que la distribución probabilística entregue un buen ajuste, el método más seguro es estimar los percentiles usando el método no paramétrico. En función, de lo anterior la Metodología propuesta considera el análisis de tipo empírico.

Según el nivel de calidad de la información disponible en cada período estacional, se procede a calcular, para los parámetros seleccionados, el valor característico de cada uno de ellos (de acuerdo a 4.2.4), conformando tablas, cuyo ejemplo se muestra a continuación:

**Tabla ejemplo: Valor del Parámetro por Períodos Estacionales**

ESTACIÓN DE MUESTREO	Conductividad Eléctrica (µS/cm)							
	Invierno		Otoño		Primavera		Verano	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
RIO JORQUERA EN VERTEDERO	((1408,0))	2	1402,0	2	1360,0	2	1464,0	2
RIO PULIDO EN VERTEDERO	(602,3)	1	598,0	0	634,0	1	549,0	0
RIO MANFLAS EN VERTEDERO	((917,5))	2	455,0	0	477,2	0	430,6	0
RIO COPIAPO BY PASS EN LAUTARO	((868,4))	2	((647,0))	1	((1095,5))	2	(913,6)	2
RIO COPIAPO EN LA PUERTA	(1111,6)	2	(1058,0)	2	((1170,8))	2	(1064,2)	2
RIO COPIAPO EN MAL PASO	(1097,7)	2	1148,0	2	1142,0	2	1085,0	2
RIO COPIAPO EN PUENTE BODEGA	((1394,5))	2	((1503,8))	3	(1460,6)	2	(1514,8)	3
RIO COPIAPO EN PIEDRA COLGADA	((2330,3))	4	(1818,7)	3	(2118,7)	3	(2410,0)	4
RIO COPIAPO EN ANGOSTURA	((4496,5))	4	5600,4	4	(4665,2)	4	5872	4

Se establecen así tantas tablas como parámetros se encuentren registrados en la BDI.

<sup>3</sup> R.W. Crabtree et al, "Percentile Estimation for Water Quality Data", Water Research Vol 21 N° 5, Great Britain.

#### 4.3 Análisis de Factores Incidentes en la Calidad del Agua

La calidad del agua superficial está condicionada tanto por las características propias de las hoyas hidrográficas (factores naturales) como por las actividades del hombre (factores antrópicos).

En el Anexo A4 se presenta un estudio de las características que alcanza la contaminación natural y la contaminación de origen antropogénico, especificando los elementos o compuestos que se ven afectados por una u otra.

La Metodología propone que el análisis de los factores incidentes que afectan la calidad del agua se realice mediante una tabla de doble entrada en la cual se identifica, en la primera columna, el segmento en estudio, mediante la estación de calidad asociada a éste. La segunda columna identifica los factores tanto naturales como antropogénicos que explican los valores de los parámetros contaminantes. La tercera identifica aquellos parámetros seleccionados que sobrepasan la clase de excepción del Instructivo asociados al segmento correspondiente y de los cuales se dispone de información ya sea proveniente de la red de monitoreo de la DGA y/o de muestreos puntuales realizados por otra entidad. La última columna fundamenta y particulariza los factores incidentes.

La tabla siguiente es un ejemplo que se aplica a la cuenca del río Copiapó.

**Tabla ejemplo: Factores Incidentes en la Calidad del Agua en la Cuenca**

SEGMENTO RÍO	FACTORES INCIDENTES		PARÁMETROS QUE PUEDEN VERSE AFECTADOS	CARACTERIZACIÓN DEL FACTOR
	NATURALES	ANTROPOGENICOS		
Río Jorquera en Vertedero 0340-JO-10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lixiviación superficial y volumétrica de franja metalogénica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actividad minera de oro</li> <li>• Contaminación difusa por depósitos de estériles</li> </ul>	CE, Cu, Cr, Mo, SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , B, Fe, Mn, Al, As, Hg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Franja metalogénica F-9</li> <li>• Formaciones litológicas de rocas sedimentario - volcánicas del periodo Terciario, consistente en coldas, brechas y tobas intercaladas con areniscas, calizas y otras zonas con rocas hipoabisales del tipo intrusivos graníticos de muy baja a nula permeabilidad</li> <li>• Mina (Au): La Pepa y Refugio.</li> <li>• Plantas de beneficio de minerales: La Pepa y Cianuración Refugio</li> </ul>
Río Pulido en Vertedero 0341-PU-10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lixiviación superficial y volumétrica de rocas sedimento volcánicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actividad agrícola</li> </ul>	CE, SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , Cu, Cr, Fe, Mn, Mo, Al, B, Hg, SD, Sn	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rocas volcano sedimentarias del período terciario: coladas, brechas y tobas de baja permeabilidad.</li> <li>• Veranadas</li> </ul>
Río Manflas en Vertedero 0342-MA-20	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lixiviación superficial y volumétrica de rocas sedimento volcánicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Veranadas</li> </ul>	CE, Cu, Cr, Fe, Mn, Al, B, Sn	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rocas volcano- sedimentarias del período Jurásico de baja permeabilidad</li> </ul>
Río Copiapó bypass en Lautaro 0343-CO-10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lixiviación superficial y volumétrica de rocas sedimento volcánicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actividad agrícola</li> <li>• Actividad Minera</li> </ul>	OD, CE, SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , Cu, Cr, Fe, Mo, Al, B, Mn, Hg, SD, Sn	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Embalse Lautaro</li> <li>• Minas Amolanas I y II</li> <li>• Planta de beneficio de minerales Amolanas I.</li> <li>• Depósitos consolidados y rocas en conjunto con sedimentos volcánicos sedimentarios del período terciario.</li> </ul>

## 5. ETAPA V : CALIDAD ACTUAL Y NATURAL DE LOS CURSOS SUPERFICIALES

### 5.1 Conceptos Generales

La calidad del agua es la expresión objetiva de las características físico-químicas y biológicas que tiene un cuerpo de agua, que permite interpretar el estado en que éstas se encuentran, tanto en sentido temporal como espacial. Se reconoce que la intención de esclarecer el estado de las aguas tiene directa relación con los potenciales usos que este recurso puede tener para la sociedad.

Por otra parte, la contaminación del agua se produce por la acción antrópica al introducir materia o energía extraña al cuerpo de agua, que modifica las características propias o naturales, de modo tal que producen alteraciones que limitan o reducen los usos potenciales del recurso hídrico. Según esta definición, no corresponde asignar carácter contaminante a fenómenos de origen natural, aún cuando sean limitantes del uso del agua.

A partir de esta comprensión de la calidad del agua, es posible referirse a las definiciones que son aplicables a los conceptos de calidades natural, actual y objetivo. Para todos los efectos del presente estudio, se adoptan los criterios y definiciones que están contenidos en el Instructivo.

En tal sentido, cabe destacar la definición de Calidad Natural : *Es la unidad o concentración de un compuesto o elemento en el cuerpo o curso de agua continental superficial que corresponde a la situación original del agua sin intervención antrópica más las situaciones permanentes, irreversibles o inmodificables de origen antrópico. Esta calidad será de conocimiento público y será determinada por la Dirección General de Aguas y/o por la Dirección General de Territorio Marítimo y de Marina Mercante.*

A su vez, por Intervención antrópica se entiende lo siguiente: *Intervención del hombre que altera la calidad de las aguas mediante actividades tales como extracción de caudal o descarga directa o difusa de contaminantes a cuerpos o cursos de agua receptores.*

De lo anterior se desprende que la calidad natural se puede entender como la característica propia del sistema, no sujeta a variaciones dentro de los horizontes temporales considerados en el estudio, lo que le otorga un sentido atemporal, es decir, constante en el tiempo para un tramo de río determinado.

$$\text{Calidad natural} = \text{Calidad original} + \text{Cambios permanentes o Irreversibles}$$

Como vía práctica para acercarse al concepto de calidad original, ésta puede ser entendida como la calidad de agua en la zona de cabecera de cada cuenca, previo a cualquier intervención antrópica.

$$\text{Calidad Original} = \text{Calidad en los tramos de cabecera de la cuenca}$$

Los cambios permanentes son por esencia irreversibles, de tal modo que ambos términos están expresando una condición que no podrá ser alterada por la dinámica temporal. Estos cambios pueden atribuirse a condiciones naturales, por ejemplo un sismo de grandes proporciones, o lo más habitual, a modificaciones de carácter antrópico, aspecto que entendemos refleja el sentido del Instructivo. Las obras hidráulicas, tales como presas, embalses, acueductos y otras que intervienen el cauce de un río, son ejemplos significativos de alteración y consecuente cambio permanente.

Al identificar los factores que intervienen en la calidad del agua es posible definir qué valores de los parámetros están reflejando la calidad natural y cuales otros son atribuibles a efectos de las intervenciones antrópicas.

La calidad real del sistema en el tiempo, que se puede denominar calidad actual para representar la situación presente, puede ser analizada a partir de las series de tiempo que tienen los parámetros de calidad de agua. Su tendencia en el tiempo nos indica el estado del sistema acuático, que eventualmente es posible de ser proyectado dependiendo de diversos escenarios futuros. La calidad actual es analizada en el presente estudio mediante los estudios de tendencia central de aquellos parámetros que tienen estadísticas temporales extendidas y mediante el análisis espacial a lo largo del cauce.

Esta calidad actual presenta dos grandes variaciones temporales, una en el largo plazo, que representamos por el estudio de la serie de tiempo, y otra que guarda relación con los cambios en periodos estacionales dentro del año. Ambos son abordados en esta metodología, utilizando el concepto de la media móvil, para la tendencia de largo plazo, con

todos los valores medidos, y separando las mediciones en las cuatro estaciones del año, para observar su efecto en los parámetros de calidad de agua.

En síntesis, se reconoce que la calidad de agua actual esta determinada por los efectos antrópicos y naturales, con distintos grados de influencia según sean las características particulares de la cuenca y de los asentamientos humanos.

$$\text{Calidad Actual} = \text{Calidad Natural} + \text{Cambios Reversibles Antrópicos} - \text{Capacidad de Autodepuración}$$

Cabe señalar que las expresiones que se muestran tienen un carácter conceptual donde el signo de suma no debe ser entendido literalmente, sino que corresponde a procesos complejos que se dan en la naturaleza para integrar los distintos aspectos que inciden en la calidad ambiental.

A los conceptos de calidad natural y de calidad actual, se agrega el de calidad objetivo que corresponde a la meta de calidad para el recurso que se desea mantener o alcanzar en un determinado periodo. La calidad objetivo corresponde a una de las clases de calidad (Excepcional, Clase 1, Clase 2, Clase 3) a que hace mención el Instructivo.

El texto actual del IP no se refiere específicamente al concepto de calidad objetivo, sino que indica que las autoridades competentes, coordinadas por la Comisión Nacional de Medio Ambiente, formularán una propuesta técnica de “*asignación de la calidad para los cursos y cuerpos de agua de cuencas prioritarias del país*”. A continuación, el IP agrega que tal proposición será realizada “*teniendo en cuenta que la calidad establecida no deberá ser inferior a la calidad existente o natural del recurso*”.

La propuesta de *asignación de calidad*, indicada en el párrafo anterior, precederá el inicio del proceso de dictación de la Norma Secundaria de Calidad Ambiental, de conformidad a lo establecido en Decreto Supremo N°93 de 1995 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.

En la definición de clases de calidad se combinan dos conceptos. Por un lado, se entiende clases de calidad como la tipificación del agua de acuerdo a niveles de calidad por compuesto o elemento. Surge, así, la tabla N°1 del IP que contiene los valores máximos y mínimos de las concentraciones o unidades totales de 61 parámetros, para las clases de

excepción, clase 1, clase 2 y clase 3. Por otro lado, la definición de clases tiene un carácter extensivo, de acuerdo a los usos prioritarios que corresponden a cada clase.

La Metodología propuesta toma como punto de partida la calidad actual del agua, dada por las mediciones que existan de los distintos parámetros de las normas secundarias. Una vez dilucidado este punto, corresponde evaluar qué factores incidentes de carácter natural y antrópico están definiendo el perfil de calidad de agua en un tramo del río. Como resultado del análisis se podrá distinguir qué parámetros están afectados por la influencia antrópica, lo que conduce a la definición de calidad actual y por defecto, a la calidad natural del agua, clasificación que está siempre referida a cada parámetro de calidad de agua.

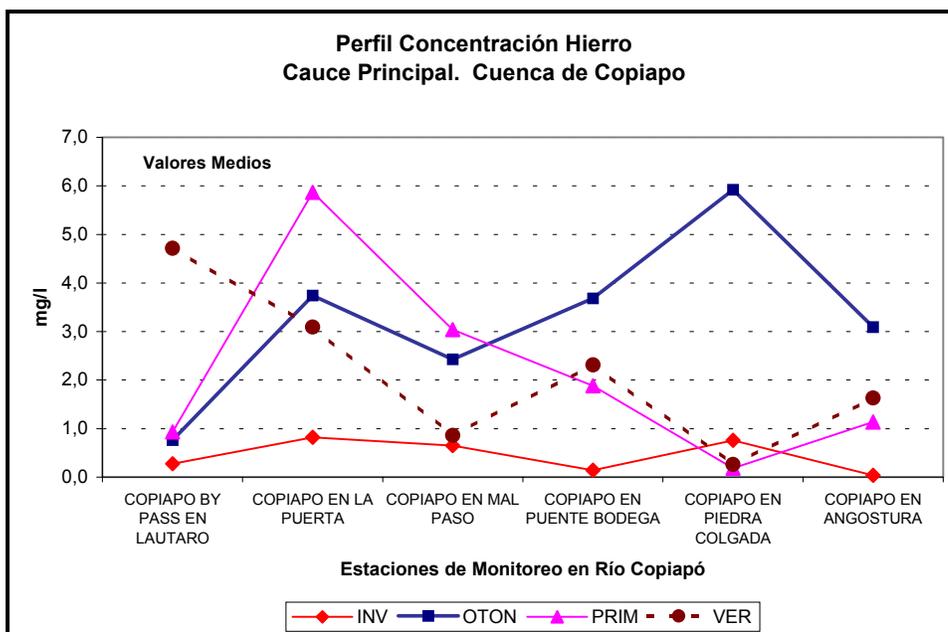
En los siguientes acápite, se propone una metodología para la clasificación de los cursos de agua de acuerdo a las clases definidas en el IP.

## 5.2 Análisis Espacio-Temporal en Cauce Principal

La calidad actual de un curso de agua superficial se obtiene del análisis y evaluación de los valores de cada parámetro registrado en la BDI. Para tal efecto se utilizan los estadígrafos, percentiles o medias, dependiendo del nivel de información, para asignar una clase de calidad del IP a cada parámetro de calidad de agua.

El análisis espacio temporal puede efectuarse en cauces que dispongan de más de una estación de monitoreo que, en general, en las cuencas prioritarias, corresponde al menos al cauce principal. Los cauces secundarios son sometidos a este análisis cuando se dispone de información adecuada.

El análisis de la calidad actual se representa en un gráfico que tiene, en la abscisa, las estaciones de monitoreo existentes y, en ordenada, los valores de un parámetro de calidad de agua en los 4 periodos estacionales del año. De esta forma es posible visualizar las variaciones espacio temporales en los cauces que disponen de información en la BDI, con al menos dos estaciones de monitoreo por cauce. Un ejemplo de este gráfico aparece en la siguiente figura:



Para los cauces que tienen información de nivel 1, el gráfico de la variación espacial de los parámetros está basado en el percentil 66% con los valores registrados en la BDI, siguiendo el perfil longitudinal del cauce.

A partir de las figuras anteriores, se prepara una ficha por parámetro, indicando las conclusiones que se desprenden de ellas. De las figuras es posible desprender directamente cómo varía el parámetro desde la cabecera hasta la desembocadura en cada periodo estacional del año.

### 5.3 Caracterización de la Calidad del Agua a Nivel de Cuenca

Sobre la base de la información presentada en 4.2.5 (valores que alcanzan los parámetros por período estacional), en esta etapa se lleva a cabo un análisis global de la calidad del agua en la cuenca.

Para este análisis a nivel de cuenca, los parámetros se clasifican en 7 grupos, a saber:

- Parámetros Físico químicos
- Parámetros Inorgánicos

- Parámetros Orgánicos
- Plaguicidas
- Metales Esenciales
- Metales No Esenciales
- Indicadores Microbiológicos

La Metodología contempla la preparación de fichas, por grupo de parámetros, en que se establece el comportamiento del parámetro, a nivel de toda la cuenca, indicando su variación espacial y temporal.

#### 5.4 Asignación de Clases de Calidad Actual

El análisis realizado en los acápites anteriores permite elaborar una tabla (cuyo ejemplo aparece en la próxima página), en la cual se clasifican los distintos parámetros según la clase a la que pertenecen en un segmento específico.

Esta tabla integra todos los niveles de información disponibles. Esto implica que en el futuro, en la medida que se vaya extendiendo y mejorando la información de algunos parámetros, la clase asignada para ellos podría sufrir modificaciones.

Para la asignación de clases se utiliza la información de mejor nivel, de modo que la de niveles inferiores se emplea como verificación.

Teniendo en cuenta lo anterior, el criterio de asignación es el siguiente:

- Para aquellos parámetros que poseen información de nivel 1, se utiliza el valor correspondiente al percentil 66% para el período estacional más desfavorable.
- Para aquellos parámetros que poseen información de nivel 2 ó 3, se utiliza el valor promedio para el período estacional más desfavorable
- Respecto a aquellos parámetros que fueron incluidos en el programa de muestreo de CADE-IDEPE y que no cuentan con información de nivel superior (niveles 1 a 3), se utilizan los datos puntuales obtenidos (información nivel 4).

**Tabla ejemplo: Asignación de Clases de Calidad Actual**  
**Cauce Principal - Río Aconcagua**

Estación de Calidad	Código de Segmento	Clases según Instructivo					Parámetro con valor en límite de detección	Parámetro seleccionado sin información	Observación
		0	1	2	3	4			
Aconcagua en Chacabuquito	0541-AC-10	CE , OD, pH, Cl, As, CF	Zn, DBO <sub>5</sub>	Mo, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , SD	Fe	Al, Cu, Mn,	B, Cr total	Otros parámetros seleccionados	Información nivel 1 excepto Mn, Zn, Al nivel 2, datos DGA.  Información nivel 2, datos SAG en canal Hurtado Mo , SD.  Información nivel 3: datos de Kristal: CF, DBO <sub>5</sub> .
Aconcagua en San Felipe	0541-AC-30	CE , OD, pH, Cl, As, DBO <sub>5</sub>	Zn, CF	Mo, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ,	Cu, Fe	Mn, Al, SST		Otros parámetros seleccionados	Información nivel 1 excepto Mn, Zn, Al nivel 2, datos DGA:  Datos de ESVAL: CF, DBO <sub>5</sub> , SST (aguas arriba y aguas debajo de la planta de tratamiento Cordillera )

- En el caso de los parámetros DBO<sub>5</sub>, sólidos suspendidos y coliformes fecales, si no se dispone de ninguna información de nivel superior, se emplea como valor de referencia la estimación del Consultor (información nivel 5). El método de estimación de dichos parámetros se presenta en el Anexo A4.
- Cuando se dispone de información de distintas fuentes para un mismo parámetro, se le asigna a éste la clase correspondiente a la fuente de información que contenga un mayor número de registros (mejor nivel de información de acuerdo a la metodología).

### 5.5 Calidad Natural y Factores Incidentes

La metodología empleada toma como punto de partida la calidad actual del agua, dada por las mediciones que existan de los distintos parámetros seleccionados. A continuación se evalúan los factores incidentes de carácter natural y antrópico que están definiendo el perfil de calidad en un tramo del río, análisis que se efectúa por parámetro seleccionado. Como resultado de este análisis, se distingue qué parámetros están afectados por la influencia antrópica y cuales son de origen natural. En general, la variación de un parámetro a lo largo del perfil longitudinal del río debe tener una explicación ya sea por factores naturales identificables, o bien, por factores de intervención antrópica.

En ciertos casos la influencia antrópica es evidente, como queda reflejada en la presencia de coliformes fecales cuyo único origen son las aguas servidas; sin embargo en otros casos la relación causa efecto no es única. En estos últimos casos se evalúa la calidad en función de los factores incidentes a fin de detectar las influencias más significativas.

Para facilitar el análisis, la Metodología propone la preparación de una tabla en que se indiquen los valores estacionales máximos de los parámetros naturales de la cuenca. Se adjunta un ejemplo tomado de la cuenca del Elqui.

La inspección de la tabla permite deducir conclusiones que son propias de cada cuenca.

**Tabla ejemplo: Valor estacional máximo de los parámetros naturales en la cuenca del Elqui**

Curso de Agua	SEGMENTO	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	pH	Cl(mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	B (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Mo (mg/L)	Ni (mg/L)	Zn (mg/L)	Al (mg/L)	As (mg/L)	Pb (mg/L)
Río Vacas Heladas antes junta río Malo	0430-VA-10	1943	5,6	107	805	5,6	200	20,72	(4,46)	((<0,01))	((<0,01))	((0,69))	(14,41)	0,624	((<0,01))
Río Malo después del tranque minera El Indio	0430-MA-10	1831	4,6	Clase 0	1099	1,5	21361	44,64	(8,01)	((<0,01))	((60))	((4,5))	(34,92)	1,476	((0,04))
Río Malo antes junta río Vacas Heladas	0430-MA-20	1735	4,9	Clase 0	901	4,6	17596	28	((6,5))	((<0,01))	(44)	(2,8)	((27,81))	1,344	((<0,01))
Río del Toro a/j río Laguna	0430-TO-10	1910	5,1	113	899	4,6	9250	26,07	(5,26)	((<0,01))	((<0,01))	(2,1)	(21,64)	0,865	((<0,01))
Río Turbio después de río del Toro y Laguna	0430-TU-10	1076	Clase 0	Clase 0	403	1,6	2374	7,38	((1,37))	((<0,01))	((<0,01))	((0,61))	((8,5))	0,303	((<0,01))
Río Turbio en Guanta	0430-TU-20	773	Clase 0	Clase 0	250	1,2	1434	6,24	(1,24)	((<0,01))	((<0,01))	(0,36)	((7,02))	0,196	((0,02))
Río Turbio en Varillar	0430-TU-30	656	Clase 0	Clase 0	211	1,1	930	4,49	((0,74))	((<0,01))	((<0,01))	(0,41)	(5,7)	0,117	((<0,01))
Río Incaguaz a/j río Turbio	0430-IN-10	Clase 0	Clase 0	Clase 0	Clase 0	0,7	103	0,81	((0,31))	((<0,01))	((<0,01))	((<0,01))	((2,69))	((<0,01))	((<0,01))
Río Claro en Rivadavia	0431-CL-20	Clase 0	Clase 0	Clase 0	Clase 0	1,0	22	Clase 0	Clase 0	((<0,01))	((<0,01))	((<0,01))	((0,33))	((<0,01))	((<0,01))
Estero Derecho en Alcohuz	0431-ED-10	Clase 0	Clase 0	Clase 0	Clase 0	0,5	22	Clase 0	(0,04)	((0,02))	((<0,01))	((<0,01))	((0,37))	((<0,01))	((<0,01))
Río Elqui en Algarrobal	0432-EL-10	Clase 0	Clase 0	Clase 0	142	1,0	709	2,46	((0,41))	((<0,01))	((<0,01))	(0,16)	((5,15))	0,06	((0,02))
Río Elqui en Almendral	0432-EL-30	609	Clase 0	Clase 0	148	0,8	267	2,34	((0,08))	((<0,01))	((<0,01))	((<0,01))	((0,41))	0,054	((<0,01))
Río Elqui en pte Las Rojas	0433-EL-10	704	Clase 0	Clase 0	164	0,7	(149)	(0,83)	((0,07))	((<0,01))	((<0,01))	((<0,01))	((0,85))	((<0,01))	((0,02))
Río Elqui en La Serena	0433-EL-20	1452	Clase 0	236	280	1,0	80	Clase 0	((0,04))	((0,02))	((<0,01))	((<0,01))	((0,26))	((<0,01))	((<0,01))

Fuente: Elaboración propia

s/i: sin información

Valores sin paréntesis: Percentil 66% (información nivel 1); Valores con 1 paréntesis: Promedios (información nivel 2); Valores con 2 paréntesis : Promedios (información nivel 3)

## 6. ETAPA VI : PROPOSICIÓN DE CLASES OBJETIVOS

Para la elaboración de las normas secundarias, los valores a considerar tienen por objetivo general proteger, mantener y recuperar la calidad de las aguas continentales superficiales de manera de salvaguardar el aprovechamiento del recurso, la protección y conservación de las comunidades acuáticas y de los ecosistemas lacustres, maximizando los beneficios sociales, económicos y medioambientales.

De esta manera, las normas de calidad secundarias asociadas a los usos prioritarios deberán considerar las clases de calidad que a continuación se indican:

- a) Excepcional: Indica un agua de mejor calidad que la clase 1, que por su extraordinaria pureza y escasez, forma parte única del patrimonio ambiental de la República.

Esta calidad es adecuada también para la conservación de las comunidades acuáticas y demás usos definidos cuyos requerimientos de calidad sean inferiores a esta clase.

- b) Clase 1: Muy buena calidad. Indica un agua apta para la protección y conservación de las comunidades acuáticas, para el riego irrestricto y para los usos comprendidos en las clases 2 y 3.
- c) Clase 2: Buena calidad. Indica un agua apta para el desarrollo de la acuicultura, de la pesca deportiva y recreativa, y para los usos comprendidos en la clase 3.
- d) Clase 3: Regular calidad. Indica un agua adecuada para bebida de animales y para riego restringido.

Las clases de calidad comprendidas entre la Clase Excepcional y la Clase 3, son aptas para la captación de agua para potabilizarla, según el tratamiento que se utilice.

Las aguas que excedan los límites establecidos para la clase 3, indicarán un agua de mala calidad (clase 4), no adecuada para la conservación de las comunidades acuáticas ni para los usos prioritarios a los que se hizo referencia, sin perjuicio de su utilización en potabilización con tratamiento apropiado o para aprovechamiento industrial.

En caso que un cuerpo o curso de agua tenga como calidad natural una peor a la clase 3 o al estado mesotrófico, deberá ser protegido hasta el valor de su calidad natural, con el objeto de que ésta no empeore.

Dada la relación entre clases de calidad y usos del agua, la metodología propuesta considera la elaboración de una lámina de usos del agua donde se identifica el tipo de uso y su localización geográfica. Junto con lo anterior, en la Etapa III se prepara una matriz de usos del agua, apareciendo en las filas los segmentos de la cuenca y, en las columnas, el tipo de uso.

### 6.1 Establecimiento de Tramos

La caracterización de la calidad del agua está basada en definir tramos de los ríos con características similares, de modo tal que un determinado rango de concentración para un grupo de parámetros físico-químicos sea representativo de dicha calidad en el tramo. Esto exige la definición de una red de nodos, segmentos y tramos que será la base del estudio.

El estudio de un río obliga a considerar dos conceptos fundamentales, que son los siguientes:

- El río es un sistema continuo
- El río es un sistema solidario

El concepto de sistema continuo indica que el estudio de un río debe ser abordado sobre la base de una red no interrumpida físicamente, donde es posible identificar claramente una estructura ramificada, en la cual cada rama es un cuerpo de agua superficial integrante de un solo sistema hídrico.

El concepto de solidaridad recoge dos situaciones claves en un estudio de calidad de aguas y que se expresa señalando que cada punto del río (o nodo) representa todos los efectos aguas arriba a través de su caudal y calidad de aguas, cualquiera que haya sido su origen y que, asimismo, está aportando a la situación aguas abajo, con características que integran y resumen la influencia de la subcuenca superior.

Consecuente con esta visión de un sistema hídrico, se ha optado por definir la Red Fluvial Hidrológica (RFH), que incluye la definición de los siguientes conceptos:

- Nodos : puntos dentro la red
- Segmentos : extensión lineal entre nodos

- Tramos : agrupación de segmentos contiguos

Desde la perspectiva hidrológica, los nodos que inicialmente son más simples de identificar son aquellos que corresponden a las cabeceras y desembocaduras de los ríos y afluencias a cursos principales.

Además, en la medida que se identifican y caracterizan los efectos naturales o antrópicos en la calidad de las aguas se definen puntos adicionales que se han denominado nodos de impacto, que bien pueden corresponder a lugares de descargas de aguas servidas, industriales o a zonas con efectos de contaminación difusa.

Los tramos se forman por la sumatoria de los segmentos que pertenecen a una misma clase de calidad objetivo del agua. Para su definición, se aplican los principios de continuidad y solidaridad descritos anteriormente.

En términos generales, la definición de tramos viene dada por la siguiente expresión:

$$TR_k = \text{TRAMOS } k = \sum_{\text{Seg } i \in C_j} \text{segmentos } i$$

$C_j = \text{clase de calidad objetivo } j \text{ (} j = 0, 1, 2, 3 \text{)}$

Se cumple que:

$$RIO = \sum_{J=1} TR_k$$

## 6.2 Asignación de Clases Objetivos por Tramos

El Instructivo indica que el establecimiento de las Normas Secundarias se realizará por áreas de vigilancia (equivalentes a cuencas hidrográficas o parte de ellas). Esto implica que los procesos de elaboración y dictación de las normas secundarias deben ser asumidos regionalmente, “incorporando la realidad ambiental, económica y social de dicho territorio, pero también deben ser procesos homogéneos y estandarizados acordes con criterios nacionales de calidad”.

El IP señala que la Comisión Nacional de Medio Ambiente coordinará a las autoridades competentes en la formulación de una propuesta técnica de asignación de la calidad para los cursos de agua de cuencas prioritarias del país. Esta propuesta tendrá en cuenta que “la calidad establecida no deberá ser inferior a la calidad existente o natural del recurso. La asignación técnica de dicha clase de calidad será determinada sobre la base de usos prioritarios actuales, potenciales o futuros”.

En el proceso de dictación de la norma secundaria de calidad para cada área de vigilancia (cuena), los valores de concentración de un compuesto o elemento particular, podrán ser modificados sobre la base de la calidad natural y de criterios sitio-específicos como la sensibilidad de las especies a las condiciones del medio natural en que habitan, las características físicas y químicas particulares del lugar que alteran la biodisponibilidad, la toxicidad y/o la existencia de recursos hídricos con características únicas escasas y representativas.

Teniendo en cuenta los conceptos anteriores, el procedimiento para asignar la calidad objetivo considera la preparación de una tabla con la siguiente información (ver ejemplo en la siguiente página):

- Cauce: indica el río que se analiza
- Tramo: especifica el tramo del río

**Tabla Ejemplo: Requerimientos de Calidad según Usos del Agua en la Cuenca del Huasco**

Cauce	Tramo	Acuicultura y pesca deportiva	Biodiversidad	Riego	Clase actual más característica	Clase de uso a preservar	Clase objetivo del tramo	Excepciones en el tramo		Parámetros seleccionados que requieren más estudios
								Clase Excep.	Parámetros que difieren de la clase Objetivo	
Río del Tránsito	TR-TR-10	..	(*)	Clase 1 a 3	2	1	1	0	pH, RAS, Cl, Zn, Ni, Se, As, DBO <sub>5</sub> , SST, CF	Otros parámetros seleccionados
								2	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , Cu, Cr, Mo	
								3	--	
								4	B, Fe, Mn, Al	
Río Huasco	HU-TR-10	..	(*)	Clase 1 a 3	2	2	2	0	pH, Zn, Ni, Se, As, DBO <sub>5</sub> , color aparente, SST, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , CN <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , S <sub>2</sub> <sup>-</sup> , CF	Otros parámetros seleccionados
								1	RAS	
								3	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , Al, SD	
								4	B, CE, Cl	

(\*) No se asignan clases de calidad a la biodiversidad por falta de antecedentes respecto de la relación biodiversidad-habitat en los segmentos correspondientes.

- *Usos del agua:* se aprovecha la información elaborada en la etapa III, reservándose tres columnas para indicar los usos del agua en el tramo de río especificado. La primera columna corresponde a Acuicultura y Pesca deportiva y recreativa. Para ambos usos, el Instructivo les asocia la clase 2. La segunda columna corresponde a Biodiversidad, que agrupa a sitios SNASPE, sitios prioritarios, sitios de interés, etc. La asignación de clase de calidad requiere de antecedentes respecto a la relación biodiversidad-habitat en el tramo correspondiente. La tercera columna incluye los usos para riego, en cuyo caso la clase requerida puede ser 1 (riego irrestricto) ó 3 (riego restringido).
- *Clase actual más característica:* corresponde a la clase de calidad de agua del *Instructivo* que agrupa la mayor parte de los valores de los parámetros representados por sus estadígrafos. Para este efecto se selecciona la clase de tal modo que aproximadamente no más del 10% de los parámetros quede con valores excedidos de la clase seleccionada (no más de 8 parámetros).
- *Clase de uso a preservar:* en función de los usos del agua en el tramo, en esta columna se trata de identificar la clase que es necesario preservar. Esta determinación no es automática, sino que requiere un análisis en profundidad. El problema principal se plantea en los tramos en que existe uso del agua para riego, pudiendo ser la clase a preservar 1 a 3. Para completar esta columna de la tabla, el criterio empleado considera dos fases secuenciales. En primer lugar, se consideran los usos del agua y sus respectivas clases, seleccionando la de mejor calidad como representativa de la demanda existente por el recurso. Luego, en una segunda fase de análisis, se verifica si esta clase es compatible con la calidad actual del agua que registra la base de datos. En algunos casos, la verificación es inmediata, de modo tal que la clase a preservar surge directamente de los usos del agua en el tramo. En otros casos, la situación no es tan simple ya que la calidad actual del agua no es consistente con las calidades requeridas por los usos del agua. En estas circunstancias, se asigna como clase a preservar a la más cercana a la clase idealmente requerida, pero que es compatible con la clase actual. Esto obliga a considerar la condición que algunos parámetros puedan ser mejorados, particularmente aquellos de influencia antrópica. El levantamiento de las restricciones de la calidad actual del agua supone acciones que sean alcanzables en un periodo de tiempo acorde con el horizonte para el cual se define la calidad objetivo.

- *Clase Objetivo del tramo*: es una proposición que toma en cuenta diversos aspectos, como son: usos del agua, calidad natural, calidad actual de los parámetros, y valores a lograr en un futuro cercano, entendido como el plazo de validez de la calidad objetivo propuesta. En principio esta proposición considera que hay parámetros determinados por las características naturales de la cuenca o subcuenca, mientras que otros están condicionados, en distintos grados, por las acciones antrópicas. En particular, los parámetros afectados por aguas servidas son corregidos y asignados a clase 0, ya que ellos corresponden a acciones que se espera corregir dentro del plazo de validez de la calidad objetivo propuesta en este informe. En otros casos, se analiza el comportamiento del parámetro en función del conocimiento de la cuenca o subcuenca, ya sea a través de los factores incidentes o por evidentes acciones perturbadoras, a fin de dilucidar si es mejorable o no la calidad respecto de dicho parámetro. Aún así, cabe señalar que en la mayoría de los parámetros ajenos a las aguas servidas no existe suficiente información para establecer qué parte del valor medido corresponde a efectos antrópicos y cuál a situaciones naturales, de tal modo que no se modifica su asignación de la clase actual. Para aquellos parámetros en que no existe información, se establece que la Calidad Objetivo será la definida para el tramo. Para el grueso de los parámetros, se trata de mejorar o al menos mantener la calidad natural del agua.

La clase objetivo se representa también gráficamente en una lámina, distinguiendo la clase asignada por tramo con distintos colores.

- *Excepciones en el tramo*, corresponde a los parámetros cuyos estadígrafos muestran que sus valores corresponden a clases de calidad distinta de la objetivo, ya sea con calidades mejores o peores. En cada situación se indican los parámetros con la clase correspondiente. Se ha considerado que estos parámetros tendrán las clases que por condiciones naturales le corresponden.
- *Parámetros seleccionados que requieren más estudios*, donde se incluyen los que tengan escasa o nula información, como asimismo los que por límites de detección de las mediciones existentes presentan problemas para su asignación de clases. Algunos de ellos no disponen de información de tal modo que la asignación de clase objetivo deberá ser ratificada con monitoreos posteriores.

### 6.3 Grado de Cumplimiento de la Calidad Objetivo

Con el fin de presentar el Grado de Cumplimiento de la Calidad Objetivo, se elabora, para todos los parámetros obligatorios y para aquellos parámetros principales que poseen información que permite hacer una distinción estacional, una tabla que contiene la siguiente información:

- Nombre de la Estación de Monitoreo
- Valor estacional del parámetro
- Clase asignada estacionalmente
- Tramo en el que se ubica la estación de monitoreo
- Clase Objetivo del Tramo (obtenida desde Tabla 6.2)
- Valor del parámetro según el Instructivo para la Clase Objetivo del Tramo

Un ejemplo de la tabla se presenta a continuación:

#### **Asignación Clase Actual y Objetivo- Oxígeno Disuelto**

ESTACIÓN DE MUESTREO	Oxígeno Disuelto (mg/l)								TRAMO	Clase Objetivo Tramo	Valor Instructivo
	Invierno		Otoño		Primavera		Verano				
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase			
RIO JORQUERA EN VERTEDERO	(10,0)	0	(8,5)	0	((8,7))	0	7,9	0	JO-TR-10	2	5,5
RIO PULIDO EN VERTEDERO	((10,3))	0	(10,0)	0	(8,9)	0	8,3	0	PU-TR-10	2	5,5
RIO MANFLAS EN VERTEDERO	((10,2))	0	(9,0)	0	((9,0))	0	8,1	0	MA-TR-10	0	>7,5
RIO COPIAPO BY PASS EN LAUTARO	((7,9))	0	((7,1))	2	((8,4))	0	(7,3)	2	CO-TR-10	2	5,5
RIO COPIAPO EN LA PUERTA	(9,3)	0	(8,1)	0	((7,9))	0	((7,9))	0			
RIO COPIAPO EN MAL PASO	(9,3)	0	(9,7)	0	(8,9)	0	9,6	0			
RIO COPIAPO EN PUENTE BODEGA	((11,7))	0			((9,5))	0	((7,4))	2	CO-TR-20	3	5
RIO COPIAPO EN PIEDRA COLGADA	(9,0)	0	(13,6)	0	((8,5))	0	(8,8)	0			
RIO COPIAPO EN ANGOSTURA			((10,0))	0	((11,3))	0	(9,3)	0			

## 7. ETAPA VII : OTROS ASPECTOS RELEVANTES

Dentro del desarrollo de la etapa VII, se incluyen los siguientes aspectos relevantes:

- Índice de calidad de agua
- Zonas de dilución
- Programa de monitoreo futuro
- Sistema de Información geográfico

### 7.1 Índice de Calidad del Agua

#### 7.1.1 Conceptos

En el Anexo A5 se indican diversas alternativas para determinar un Índice de Calidad de Agua (ICA), indicando brevemente las ventajas y desventajas de ellas.

Por otro lado, en el Anexo A2 destinado a la revisión de la experiencia internacional, se dan a conocer algunos ejemplos de aplicación del ICA, particularmente en España, a través del Índice de Calidad General; en Francia, a través del S.E.Q y en Estados Unidos, a través del Water Quality Index (WQI).

Para definir un ICA que sea representativo de la situación en Chile, se ha tenido en cuenta que el universo de datos que se dispone para estimarlo es reducido. En efecto, la fuente de datos con que se cuenta para este estudio es, en general, de aproximadamente 20 parámetros, con lo cual se reducen las alternativas de elección de algún ICA del conjunto de metodologías disponibles. Adicionalmente a lo anterior, hay algunos parámetros que se repiten en los índices internacionales y de los cuales no se cuenta con mediciones.

Considerando las restricciones anteriores, se estima que el método del Water Quality Index (WQI) es el que mejor se adapta a las condiciones locales, particularmente respecto a las restricciones indicadas más arriba. El WQI considera los parámetros y factores de ponderación que se indican en la tabla II.7.1.

**Tabla II.7.1: Parámetros y Factores de Ponderación del WQI**

Parámetro	Unidades	Factores de Ponderación
Oxígeno disuelto	% saturación	0,17
Coliformes fecales	Coli/100 ml	0,16
pH	--	0,11
DBO <sub>5</sub>	mg/l	0,11
Cambios de temperatura	°C	0,10
Fosfato total	mg/l	0,10
Nitrato	mg/l	0,10
Turbidez	NTU	0,08
Sólidos totales	mg/l	0,07

Fuente: <http://pathfinderscience.net/stream/cbg4wqi.cfm>

De los parámetros indicados en la tabla anterior, la norma secundaria no incluye el fosfato total, nitratos y turbidez. La metodología propuesta anteriormente, se adaptará a los ríos chilenos, para lo cual se considera el reemplazo de estos tres parámetros por otros que sean representativos de la cuenca (ejemplo: algunos metales).

#### 7.1.2 Selección de Parámetros para un Índice de Calidad de Aguas Superficial (ICAS)

En primer lugar, el índice propuesto incluye los parámetros seleccionados como obligatorios que son algunos de los de mayor ponderación en la metodología del WQI.

Adicionalmente se seleccionan los parámetros que presentan excedencia de la clase de excepción en todas las estaciones de muestreo de la cuenca. Estos deben ser distintos de los obligatorios y su número es variable para cada cuenca, los que se han denominado como Parámetros Relevantes.

**Tabla II.7.2: Parámetros obligatorios y relevantes para elaborar un ICAS**

Parámetros Obligatorios	Parámetros Relevantes
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oxígeno Disuelto (OD)</li> <li>• pH</li> <li>• Conductividad Eléctrica (CE)</li> <li>• Coliformes Fecales (CF)</li> <li>• Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</li> <li>• Sólidos Suspendidos (SS).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los que exceden la clase de excepción en la cuenca en estudio</li> <li>• Los que son indicadores de calidad</li> </ul>

Por lo tanto, los parámetros que incluye el Índice de Calidad de Agua Superficial Chileno (ICAS) son los siguientes:

$$\text{Parámetros ICAS} = \text{Parámetros Obligatorios} + \text{Parámetros Relevantes}$$

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

### 7.1.3 Definición de un Índice de Calidad de Agua Superficial

#### a) Criterios de diseño del ICAS

El índice de calidad de agua superficial chileno se plantea a partir de las siguientes consideraciones:

- Reconoce que los valores límites definidos para cada parámetro en las clases de calidad de agua (0, 1, 2, 3) son indicadores del grado de afectación de las aguas respecto de los usos definidos en el Instructivo.
- Considera que los valores cuantitativos deben variar en una escala porcentual, a fin de facilitar el uso del índice.

Consecuentemente, el ICAS chileno variará entre cero y cien, siendo cero un agua de mala calidad, mientras que un valor cercano a cien representa un agua de Muy Buena Calidad o Excelente.

Los rangos de ICAS pueden ser asimilados a una escala nominal cualitativa que refleja globalmente la calidad del agua según la siguiente tabla:

**Tabla II.7.3: Rangos de Calidad**

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

Fuente : elaboración propia

b) Normalización de escalas de medición

Para disponer de escalas porcentuales normalizadas, se ha considerado como referencia el sistema elaborado por la National Sanitation Foundation (NSF) en la construcción de un índice de calidad de agua, que se basa en curvas que relacionan los valores físicos de los parámetros con una escala porcentual.

Para llevar a cabo este propósito se requiere disponer de Curvas de Estandarización<sup>4</sup>, las cuales han sido establecidas a partir de los valores de los parámetros que aparecen en el Instructivo.

Las Curvas de Estandarización son obtenidas a partir de la Tabla N°1 del Instructivo en el que se establecen los máximos y mínimos permitidos para cada parámetro en la clase correspondiente. Para poder realizar una lectura directa del valor de la calidad del parámetro, se realiza previamente la siguiente estandarización de las clases:

**Tabla II.7.4: Estandarización de Clases**

Clase	Qi
Clase 0	100
Clase 1	90
Clase 2	70
Clase 3	50
Clase 4	25

Fuente: elaboración propia

---

<sup>4</sup> / Se denominan Curvas de Estandarización a las que representan la relación entre el valor medido de un parámetro de calidad de agua y su correspondiente asignación de clase, es decir, dicha calidad satisface la condición de la clase seleccionada.

En la tabla II.7.4,  $Q_i$  representa el valor del parámetro, expresado en forma porcentual, siendo 100% el valor que corresponde a clase 0.

En el anexo A5 se presentan las curvas de estandarización de todos los parámetros incluidos en el ICAS. Cada curva tiene, en la abcisa, el valor del parámetro para las clases 0 a 4 y, en la ordenada, el puntaje de 0 a 100.

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

- Los seis parámetros obligatorios pesan cada uno  $w_i = 11,67\%$  con  $i=1...6$  lo que les da una ponderación total de 70%.
- Los parámetros relevantes pesan en total 30%, que se reparte en ponderaciones iguales para cada uno de ellos, es decir si son 10 parámetros se tendrán pesos individuales de  $w_i = 3\%$  para  $i=1...10$ .

De este modo, el ICAS Chileno queda definido como:

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

En donde  $n$  corresponde al número de parámetros que formarán el ICAS Chileno para la cuenca, siendo los 6 primeros los obligatorios.

## 7.2 Zonas de Dilución

Por zona de dilución (también denominada “mixing zone” o zona de mezcla), se entiende el volumen, área o zona donde se produce la dilución de uno o más compuestos o elementos en el cuerpo receptor provenientes de las descargas de residuos líquidos de establecimientos emisores. Para el caso de los cauces superficiales, dicha zona será determinada por la Dirección General de Aguas.

Como resultado del examen de la literatura técnica y experiencia internacional, se propone a la DGA los criterios para la determinación de zonas de dilución, los cuales deben ser aplicados caso a caso. En primer término, se describen las condiciones generales que debe cumplir una zona de mezcla y, a continuación, se establecen algunos criterios específicos para su determinación. Dado que el establecimiento de zonas de dilución debe ser estudiado para

cada caso particular, los criterios generales que aquí se describen tienen el carácter de una guía metodológica.

#### 7.2.1 Criterios generales para la definición de una zona de dilución

Con el objeto que los usos del agua en la cuenca no se vean deteriorados, se deben aplicar los siguientes criterios generales en relación a las zonas de dilución:

- a) La zona de mezcla debe ser tan pequeña como sea posible de modo que su tamaño o forma no cause o contribuya al deterioro de los usos del agua fuera de ella.
- b) La zona de mezcla debe ser diseñada de modo que permita una zona de paso para el movimiento o rumbo de todas las etapas de la vida acuática.
  - i) para aquellos elementos que tienden a la anulación de la vida acuática, la zona de mezcla no debe ocupar más de una parte de la sección de escurrimiento del río (criterios geométricos), de modo que la zona de mezcla no actúe como una barrera física que impida el paso de la vida acuática.
  - ii) La zona de mezcla no debe ser agudamente letal a la vida acuática que pasa por la zona de mezcla (criterios ecotóxicos).
  - iii) Las zonas de mezcla no deben interferir con las rutas migratorias que son esenciales a la reproducción, crecimiento o sobrevivencia de especies acuáticas
  - iv) Las zonas de mezcla no deben causar consecuencias irreversibles a organismos vegetales y animales o incrementar la vulnerabilidad a la depredación.
  - v) Donde existen dos o más zonas de mezclas muy próximas, ellas deben ser definidas de modo que exista una ventana de paso a la vida acuática.
  - vi) Las zonas de mezcla no deben interceptar las desembocaduras de ríos o la intersección de cauces.
- c) Las zonas de mezcla no deben interferir con tomas para agua potable o áreas de recreación que permitan la natación.

- d) Se deben tomar precauciones en el caso que la calidad objetivo ya se encuentre naturalmente sobrepasada en la situación sin proyecto, y no se vislumbren mecanismos de compensación.

#### 7.2.2 Normativa chilena vigente

El DS 90/00 del 30 de mayo de 2000 establece las Normas de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos de Aguas Continentales Superficiales.

Previo a la definición de una zona de dilución, debe verificarse que, en el extremo de la cañería de descarga (“end of pipe”), se cumplan los límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos según se establece en la Tabla N° 1 de la citada Norma.

Las fuentes emisoras podrán aprovechar la capacidad de dilución del cuerpo receptor, incrementando las concentraciones límites establecidas en la tabla N°1, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$C_i = T_{li} \times (1 + d)$$

en que:

$C_i$  : límite máximo permitido para el contaminante  $i$

$T_{li}$  : límite máximo permitido establecido en la Tabla N° 1 para el contaminante  $i$

$d$  : tasa de dilución del efluente vertido, igual a la razón entre el caudal disponible en el cuerpo receptor y el caudal medio mensual del efluente vertido

Si  $C_i$  es superior a lo establecido en la Tabla N° 2, entonces el límite máximo permitido para el contaminante  $i$  será indicado en dicha Tabla.

#### 7.2.3 Condiciones hidráulicas del cuerpo receptor

Dentro de las variables que permiten predecir el proceso de mezcla de un efluente están las condiciones hidráulicas del río, caracterizadas por el caudal, altura, velocidad y tipo de régimen de escurrimiento. Todas ellas están interrelacionadas entre sí, siendo el caudal la variable fundamental que condiciona el resto.

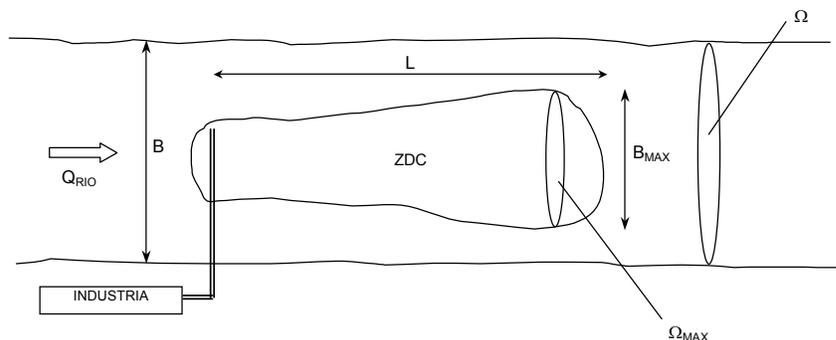
Siendo el caudal una variable aleatoria con fuertes variaciones durante el año y entre diferentes años hidrológicos, el cálculo hidrodinámico del proceso de mezcla requiere la consideración de diferentes escenarios según varía el caudal del río.

Las instalaciones para el tratamiento de efluentes son típicamente diseñadas para cumplir los objetivos de calidad de agua para caudales tan bajos como el correspondiente al caudal medio mínimo en un período de 7 días consecutivos que ocurre una vez en 2 años ó en 10 años ( $7Q_{10}$ ) y para caudales tan altos como el caudal medio diario de una crecida con período de retorno de 10 años. El tiempo entre ocasiones en que los objetivos de calidad de agua son excedidos será mayor que 2 ó 10 años porque la probabilidad conjunta de máxima descarga y mínimo caudal es menor.

Corresponde a la DGA definir el valor del caudal de dilución para el caso particular de la descarga analizada. El criterio establecido por la DGA es que el caudal de dilución debe corresponder al caudal ecológico, por ser éste el mínimo disponible después de ser extraídos todos los derechos, lo que corresponde al escenario más desfavorable. En los cauces sin caudal ecológico establecido, se deberá realizar un análisis hidrológico que permita la definición del caudal de dilución.

#### 7.2.4 Criterios geométricos para definir la zona de dilución

Dentro de los criterios generales (ver 7.2.1 b) i) se establece que la zona de mezcla no debe ocupar más que una parte de la sección de escurrimiento del río para permitir el tránsito de las especies acuáticas.



$$B_{MAX} < B/4$$

$$\Omega_{MAX} < \Omega/4$$

$B_{MAX} / \Omega_{MAX}$ : ancho/sección de la zona de mezcla al momento de cumplirse la calidad objetivo

B: ancho medio de escurrimiento

De la experiencia internacional recabada, es claro que la tendencia general es la de analizar cada caso en particular, aún cuando pueden establecerse dimensiones máximas de referencia para las zonas de mezcla. En este sentido, el criterio geométrico más aceptado para el caso de los ríos es limitar la sección transversal de la zona de mezcla de manera que no supere el 25% de la sección transversal de escurrimiento. En el caso que la temperatura del efluente es mayor que la temperatura natural del agua, las descargas de efluentes tenderán a ser positivamente boyantes (es decir, tienden a salir a la superficie), de modo que si la descarga se realiza desde el fondo, la mezcla completa en la vertical se alcanzará en forma relativamente rápida. De esta forma, el criterio de un máximo de 25% de la sección transversal de escurrimiento puede asimilarse a establecer que el ancho de la zona de mezcla no supere el 25% del ancho medio de escurrimiento en el río.

Respecto a la definición de la longitud  $L$  de la zona de mezcla, no existen criterios explícitos a nivel internacional e incluso, en algunos países, no se la menciona. Como valor de referencia, se propone considerar que la longitud máxima  $L$  varíe entre 20 y 100 anchos de escurrimiento ( $B$ ).

#### 7.2.5 Criterios matemáticos (Modelación de la pluma efluente)

El comportamiento de la descarga de efluentes en un cauce superficial está gobernado por la interacción entre el cuerpo de agua receptor y las características de la descarga, lo que puede conceptualizarse como un proceso de mezcla continuo que ocurre en dos zonas separadas: la zona interior o cercana a la descarga y la zona exterior o lejana a la misma.

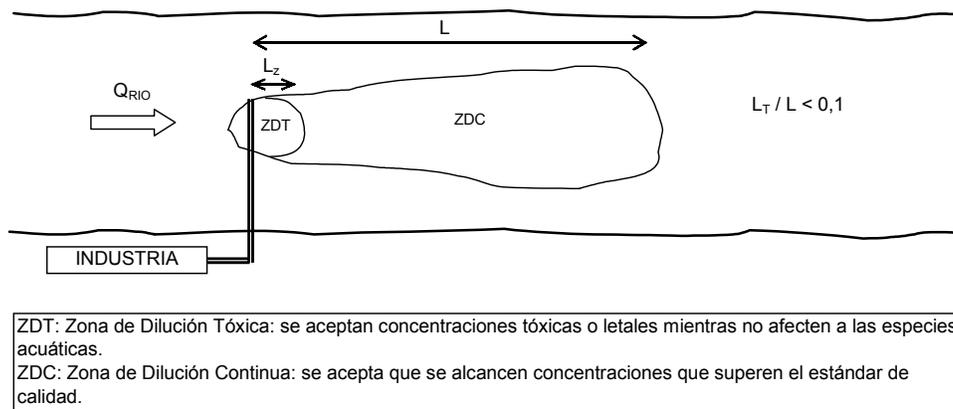
Los criterios geométricos de definición de una zona de dilución constituyen una referencia de carácter general, lo que no reemplaza el cálculo hidrodinámico del proceso de mezcla. Con el objeto de conocer la dilución que se genera en la zona cercana y en la zona lejana, se debe llevar a cabo un análisis matemático complejo que requiere el empleo de un modelo de computación.

Se recomienda el modelo CORMIX el cual fue elaborado en conjunto por la EPA y la Universidad de Cornell. Es un programa específicamente diseñado para el análisis de difusores de boquillas múltiples.

### 7.2.6 Criterios ecotóxicos

En el caso que la descarga contenga agentes tóxicos, la autoridad deberá evaluar si define o no una zona de mezcla, ya que la dilución en un cuerpo de agua no reemplaza el tratamiento del efluente antes de que éste sea vertido. Para un parámetro o conjunto de ellos, es preciso distinguir entre toxicidad aguda (de corto plazo) y toxicidad crónica (de largo plazo).

En caso que justificadamente no se pueda alcanzar el límite de concentración tóxica aguda antes de la descarga, ésta deberá alcanzarse dentro de los límites de la zona de dilución tóxica (ZDT).



Si la zona de dilución tóxica no pueda ser confinada a las inmediaciones de las boquillas de descarga, la ZDT no debe extenderse más allá que el valor mínimo entre los 3 valores siguientes definidos por la US EPA: 50 veces el diámetro de la(s) boquilla(s) de descarga, 5 veces la altura de escurrimiento en estiaje, y el 10% de la longitud aceptada para la zona de mezcla. En relación a concentraciones con efecto crónico; se recomienda alcanzar el límite de concentración crónica dentro de los límites de la zona de dilución continua (ZDC). Los criterios anteriores son referenciales, y dependerá de la autoridad definir el nivel de confinamiento de dicha zona tóxica en función del contaminante.

### 7.3 Programa Monitoreo Futuro

#### a) Objetivos

La base del programa de monitoreo futuro (estándar) considera que su objetivo es la verificación de la norma secundaria y que las mediciones se efectuarán como complemento de la actual red de monitoreo de la DGA, situación que se materializa en definir los parámetros adicionales en cada estación existente y en agregar otras estaciones, si es estrictamente necesario.

En conformidad a lo dispuesto en el Instructivo, la frecuencia mínima del muestreo corresponderá a los cuatro periodos estacionales: verano, otoño, invierno y primavera, incluyendo los parámetros que se han definido como seleccionados.

#### b) Metodología

La metodología a aplicar en cada cuenca considera 5 pasos:

**Paso 1.** Definir qué se pretende obtener de la información y los métodos estadísticos y reportes necesarios para lograrlo.

**Paso 2.** Confirmar que las características de la población de muestras no violen las suposiciones establecidas en el análisis de datos del punto anterior.

**Paso 3.** Utilizando la información de los pasos 1 y 2, determinar donde muestrear, qué medir y con qué frecuencia hacerlo.

**Paso 4.** Definir en detalle todos los planes y procedimientos involucrados en el sistema de monitoreo.

**Paso 5.** En especial, definir los procedimientos de reporte de información. En los pasos definidos anteriormente, la estadística juega un papel muy importante para definir los productos a obtener de la información generada (paso N° 1); confirmar que las herramientas estadísticas seleccionadas son apropiadas considerando el comportamiento de las variables de calidad de aguas (paso N° 2); y los controles de calidad necesarios para todo el sistema (paso N° 4).

Los criterios de diseño de la Red de Monitoreo son:

i) Localización de las estaciones de muestreo

La localización de las estaciones de muestreo es un factor clave que puede determinar la validez de la información que se pretende inferir, a través del análisis de las muestras colectadas en la misma. Pueden definirse tres niveles en el proceso de selección de las estaciones de monitoreo y puntos de toma de muestras:

Debe existir un criterio técnico consensuado por todos los interesados en los usos prioritarios (por ejemplo los encargados de zonas recreacionales, plantas potabilizadoras de agua, agricultores, etc.), respecto a la escala de mapas a emplear para esta selección 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, es decir, cuando un tributario es capaz de elevar la jerarquía de curso receptor por el caudal vertido, carga orgánica por ejemplo en DBO, tóxicos, o por su incidencia bacteriológica.

ii) Categorías de estaciones de monitoreo

Los requerimientos para cada estación, son fijados en parte por la clasificación y/o categorización de la estación como:

- Fija / Permanente (Base): El objetivo es determinar la calidad de agua, para utilizarla como patrón de comparación frente a la calidad resultante de los factores antrópicos incidentes. Se suelen monitorear tendencias a largo plazo de una serie significativa de parámetros de calidad de agua, asociados a la preservación de usos prioritarios.
- Transitoria: Las estaciones transitorias, tienen por finalidad el seguimiento de un número menor de parámetros de calidad, por periodos acotados temporalmente. Son, en cierto modo, más flexibles porque su ubicación puede modificarse, relocalizándose en función de resultados de las primeras campañas y su cantidad reducirse; si con menos estaciones se sigue cumpliendo con los objetivos del estudio, para los contaminantes priorizados en el cauce. 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

La experiencia internacional, que se ha presentado en la sección III de este informe, muestra que la densidad de la red tiende a ser un parámetro característico de los programas de monitoreo. En la tabla siguiente se resume la información europea, que se adopta como criterio de diseño mínimamente aceptable.

Tipo de red	Objetivo	Densidad
Básica	Caracterizar estadísticamente la calidad del agua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al menos 1 estación cada 2.000 km<sup>2</sup></li> </ul>
Impacto	Evaluar la contaminación con carácter general	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 estación cada 10.000 km<sup>2</sup> en zonas con poblaciones &lt;50hab/km<sup>2</sup>.</li> <li>1 estación cada 3.000 km<sup>2</sup> en zonas con poblaciones entre 50 y 100 hab/km<sup>2</sup>.</li> <li>1 estación cada 10.000 km<sup>2</sup> en zonas con poblaciones &gt; 100 hab/km<sup>2</sup>.</li> </ul>
Causa-Efecto	Detectar los mayores impactos producidos por la contaminación y compara la calidad resultante con la calidad original de las aguas	

La estructura general de la red propuesta deberá cumplir lo indicado en la tabla siguiente:

Red	Parámetros a medir	Frecuencia
Red Básica	Todos los incluidos en la norma	Anual
	ICA	Trimestral
Red impacto	ICA + Parámetros específicos según emisor	Trimestral

#### 7.4 Sistema de Información Geográfico

Uno de los objetivos principales del estudio es diseñar e implementar una base de datos, asociada a un sistema SIG integrado como módulo al SIGIRH, que es el Sistema de Información Geográfico de Recursos Hídrico de la DGA.

La incorporación de estos resultados se hará utilizando las bases espaciales y alfanuméricas que maneja el SIGIRH, desarrollando un módulo independiente denominado Sistema de Información de Calidad de Agua (SICA).

La elaboración del SICA es un proceso que implica integrar la información de calidad de agua, sustentada en una base de datos con soporte geográfico. A esta base de datos concurren no sólo los datos analíticos que suministran las estaciones fluviométricas y de calidad, sino también toda la información relevante sobre usos del suelo, usos del agua, sectores protegidos, descargas a los cauces, normativa vigente, etc.

El traspaso de datos a un sistema de Información Geográfica y la creación del módulo SICA se explican en detalle en el capítulo V y en el Manual Correspondiente.

En cada cuenca, la Base de Datos que es integrada al SIG se representa en 3 láminas:

- Usos del suelo
- Estaciones de medición y usos del agua
- Calidad objetivo

#### **IV. TALLERES DE DIFUSION**

Durante el desarrollo del proyecto, se realizaron 6 talleres de trabajo, con la siguiente temática:

- Taller de revisión de la experiencia internacional
- Taller de análisis de la Metodología de clasificación de los cauces
- Taller de difusión de los resultados : cuencas de la I , II y III Región
- Taller de difusión de los resultados : cuencas de la IV a la VI región
- Taller de difusión de los resultados: cuencas de la VII, VIII y IX Región
- Taller de difusión de los resultados : cuencas de la X, XI y XII Región

En los capítulos siguientes, se describe el desarrollo de cada uno de los talleres, incluyendo el alcance de las presentaciones y los resultados.

##### **1. TALLER DE REVISIÓN DE LA EXPERIENCIA INTERNACIONAL**

Se llevó a cabo el 26 de enero de 2003, en las oficinas de CONAMA, y contó con la participación de 40 personas.

El programa desarrollado fue el siguiente:

JORNADA	HORARIO	PRESENTACION	EXPOSITOR
Mañana	8:30-8:45	Introducción al Taller	Rodrigo Caro, Jefe del Proyecto
	8:45-10:15	Introducción a sistemas integrados de manejo de calidad de agua.	Pedro Restrepo, Consultor Internacional
	10:15-10:30	Café	
	10:30-12:00	Descripción de aplicaciones de Sistemas de Modelación Modular en calidad de agua	Pedro Restrepo, Consultor Internacional
	12:00-13:15	Contaminación Difusa	Sergio González, INIA
	13:00-14:30	Almuerzo	Invitados a cargo de la organización
Tarde	14:30-16:00	Bioindicadores y aspectos bióticos relacionados con la calidad de agua	Cristian Andrade, CADE-IDEPE
	16:00-16:15	Café	
	16:15-17:30	Experiencia Internacional en Calidad Objetivo	Sebastián Videla, CADE-IDEPE
	17:30-18:30	Mesa Redonda Conclusiones	Rodrigo Caro, Moderador

Después de cada presentación, se abrió un debate con amplia participación de los asistentes.

Dentro de las presentaciones, cabe destacar la realizada por el asesor Sr. Pedro Restrepo, quien fue especialmente invitado a participar en este taller. El Sr. Restrepo hizo la presentación de un caso específico- el estado de Colorado en los EEUU—indicando la forma de abordar el tema de calidad de agua. Los aspectos principales de la presentación del Sr. Restrepo aparecen en el anexo A2.

Las principales conclusiones del Taller son las que se exponen a continuación:

- a) Uso del SIG: la principal herramienta de utilización de la información disponible es el SIG, tanto para la realización de las actividades previas, como la distribución de las estaciones de monitoreo (U.S.A.), la identificación de zonas potencialmente contaminantes (Sudáfrica), la espacialización de la información de salida obtenida a través de los índices de calidad y de las modelaciones utilizadas.

La espacialización de los resultados (Francia, U.S.A., Sudáfrica) permite centrar los esfuerzos de recuperación de la integridad de los recursos hídricos en zonas específicas, implementando medidas particulares según la problemática ambiental involucrada.

- b) En general la experiencia muestra que es necesario recurrir a aproximaciones cualitativas o modelaciones (ríos Arno y Po en Italia o el Ruhuna en Sri Lanka), para dar cuenta del aporte de fenómenos contaminantes difíciles de cuantificar (contaminación difusa).
- c) La elección y adaptación de un índice de calidad requiere de un acabado estudio de la representatividad y sensibilidad a las variaciones en las condiciones reales particulares de cada cuenca, a fin de facilitar una interpretación confiable de la calidad de los recursos hídricos nacionales.

Países como México, Estados Unidos o España recurren a un esquema de Índice General de Calidad de Aguas bastante similar (ICA, WQI, ICG), existiendo una directa relación con los parámetros de control denominados “básicos” (DBO<sub>5</sub>, OD, pH, Nitratos, Fosfatos, etc.) utilizados en la confección del índice, variando el aporte o ponderación que cada uno de ellos tiene sobre el valor del índice final. La escala numérica de 1 a 100 resulta ser la más utilizada, variando los rangos de clases de calidad involucrados. La asociación de un color particular a las categorías de calidad (Francia, España) hace más práctica su interpretación y espacialización en formato SIG.

El uso de un índice simplificado (ISCA) en Cataluña (España) y Montevideo (Uruguay), basado en 5 parámetros de medición directa, resulta acorde a sus necesidades de caracterización de calidad de aguas, de acuerdo a sus estudios de validación y correlación con otros índices, resultando una alternativa de fácil manejo.

- d) La metodología para la definición de calidad objetivo es un procedimiento secuencial que progresivamente va integrando toda la información relativa al agua en la cuenca. Sus procedimientos tienen una base científica, avalada en estudios sistemáticos de la calidad del agua y sus efectos sobre la vida acuática o el ecosistema. Esta metodología no requiere de un conocimiento detallado de todos los parámetros, exigiendo una selección de ellos como representativos de los usos del agua o de las acciones de protección que se deseen implementar en la cuenca.

- e) Respecto a los Programas de Monitoreo, los parámetros medidos y la frecuencia de monitoreo dependen de las necesidades requeridas que la confección del índice de calidad seleccionados o adaptado. En el caso de Estados Unidos la distribución de las estaciones de monitoreo se realiza con la ayuda de los Sistemas de Información Geográfica desarrollados para estos efectos, de tal manera de conseguir una óptima representatividad de las distintas condiciones e intervenciones a los que está sujeto el cauce en estudio. La agrupación de las estaciones, según los parámetros de medición y su frecuencia de muestreo, es un criterio usado tanto en los Estados Unidos, como en España, teniendo así Estaciones Básicas, destinadas a la recolección de la información necesaria para la confección de los índices de calidad, Estaciones Sinópticas, encargadas de monitorear la calidad en sectores de alto riesgo de contaminación, como áreas industriales o agrícolas, y otras estaciones para la evaluación de fenómenos específicos. Las recomendaciones de la Agencia Europea del Medio Ambiente sobre redes de monitoreo hacen una distinción similar en cuanto a la densidad de estaciones de control según su tipo.

## 2. TALLER DE PRESENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA

### 2.1 Objetivos del Taller

Con fecha 3 de septiembre de 2003, se llevó a efecto un taller de carácter nacional cuyo objetivo fue presentar y analizar la Metodología de Clasificación de los cauces de agua superficiales y su aplicación a las cuencas piloto.

El Taller se dividió en dos partes:

- Primera parte: Metodología para Calidad Actual y Natural. El procedimiento utilizado en esta parte del taller consistió en la presentación de las respectivas metodologías para la determinación de la Calidad Actual y Calidad Natural en las cuencas pilotos. Para facilitar la comprensión de la metodología, cada tema se presentó aplicado a una de las cuencas pilotos: Calidad Actual en la cuenca del río Bío Bío y Calidad Natural en la cuenca del río Maipo.
- Segunda Parte: Metodología para Calidad Objetivo, Índice de Calidad y Zonas de Dilución. En esta parte se describieron las metodologías aplicadas, presentando los resultados obtenidos para las cuatro cuencas pilotos.

El programa desarrollado fue el siguiente:

JORNADA	HORARIO	PRESENTACION	EXPOSITOR
Mañana	09:00-09:30	Introducción al Taller y al Estudio	Sra. Mesenia Atenas, DGA
	09:30-10:00	Presentación General de la Metodología	Rodrigo Caro, Jefe del Proyecto CADE-IDEPE
	10:00-10:45	Discusión	
	10:45-11:00	Café	
	11:00-11:20	Metodología: Calidad de Agua Actual. Ej. Cuenca del Bío Bío	Sebastián Videla, CADE-IDEPE
	11:20-12:00	Discusión	
	12:00-12:20	Metodología: Calidad Natural. Ej. Cuenca del Maipo	Alex Rey, CADE IDEPE
	12:20-13:00	Discusión	
Tarde	15:00-16:00	Tópicos relevantes en las Cuencas pilotos Calidad Objetivo Índices de Calidad Zonas de dilución	Sebastián Videla, Rodrigo Caro Alex Rey, CADE-IDEPE
	16:00-16:15	Café	
	16:15-17:30	Resultados de la aplicación de la Metodología: Cuencas del Lluta, Maipo, Bío Bío y Aysén	María Teresa Badinella Alex Rey, CADE-IDEPE
	17:30-18:15	Mesa Redonda	Participantes Taller

## 2.2 Desarrollo del Taller

### a) Presentación de CONAMA. (Sra. Pamela Zenteno)

En su exposición, la Sra. Zenteno señaló que el objetivo del IP es definir los criterios básicos, de carácter nacional, para establecer las clases objetivos.

La proposición de clases objetivos se debe realizar en base a:

- Usos prioritarios/comunidades acuáticas
- Calidades
- Parámetros Principales
- Frecuencia de monitoreo
- Zonas de dilución de residuos líquidos
- Otros

Los objetivos por cuenca están relacionados con los siguientes aspectos:

- No degradación de recursos hídricos
- Protección
- Criterio de multiuso del recurso
- Singularidad y variabilidad de los ecosistemas
- Flexibilidad en el control de la norma (por diversos motivos es imposible monitorear los 61 parámetros con la misma frecuencia)
- Gradualidad se consideran 6 cuencas prioritarias de las 33 que abarca el estudio, que son: Elqui, Loa, Aconcagua, Maipo-Mapocho, Bío-Bío y Cachapoal
- Participación de privados en el control de la norma
- Dar información periódica a la comunidad, informes de calidad, etc.

Comentarios de los participantes: no se realizaron.

### b) Presentación de Metodologías del Estudio. (Sr. Rodrigo Caro C.)

El Sr. Caro, en su calidad de Jefe de proyecto, procedió a presentar la estructura del desarrollo metodológico, que en síntesis esta organizada en las siguientes 7 etapas:

- Etapa 1: elección de la cuenca y definición de cauces
- Etapa 2: recopilación de información y caracterización de la cuenca
- Etapa 3: establecimiento de la base de datos
- Etapa 4: análisis y procesamiento de la información
- Etapa 5: calidad actual y natural de los cursos superficiales
- Etapa 6: proposición de clases objetivos
- Etapa 7: otros aspectos relevantes

Comentarios de los participantes:

- Se consulta si las actividades contemplan participación de las juntas de vigilancia. En este estudio no está contemplado.
- Por parte de Bío Río, se pide acceso a la información de la cuenca del Bío Bío. Se señala que aún es temprano para proporcionar resultados, más adelante estará disponible para su consulta.
- Por parte de Aguas Andinas, surge la inquietud si la calidad actual contempla los planes de saneamiento que se están implementando. Se responde que la calidad actual se representa por los datos actuales, con planes ejecutados, los que a la fecha no contemplan en su totalidad los planes de saneamiento, pero que éstos se verán reflejados en la clase objetivo.
- No corresponde a una junta de vigilancia incorporar una estación de monitoreo ya que ésta debe formar parte de la red de monitoreo integrada.
- Sobre las descargas difusas provenientes de la agricultura, se aclara que para aquellas zonas en que no existen datos, el estudio realiza estimaciones simples (nivel 5 de información).
- Se pide puntualizar el criterio de segmentación, ya que se cree que este pudiese interferir en la visión de cuenca. El profesor Jackson Roehvig indica que en Europa este criterio es ampliamente utilizado para realizar caracterización de la calidad de los cuerpos de agua.
- Falta introducir criterios de biodiversidad para realizar la segmentación. Esto no ha sido posible incorporarlo debido a la falta de información, por lo que sólo se ha implementado en aquellas que se posee alguna información.
- No se consideran humedales y salares. El estudio contempla aguas dulces continentales de carácter lótico.

- c) Presentación de Calidad Actual. (Sr. Sebastián Videla H.)

El Sr. Videla presenta su exposición respecto de los siguientes temas:

- i) Etapa 4: ANALISIS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

#### 4.2 Análisis de Calidad de Agua

4.2.1 Selección de parámetros

4.2.2 Tendencia central

4.2.3 Base de Datos Integradas

4.2.4 Análisis por periodo estacional

- ii) Etapa 5: CALIDAD ACTUAL DE LOS CURSOS SUPERFICIALES

5.1 Análisis Espacio-Temporal en Cauce Principal

5.2 Caracterización de la Calidad de Agua a nivel de la cuenca

5.3 Asignación de Clases de Calidad Actual a Nivel de la Cuenca

Comentarios de los participantes:

- Manejo estadístico de los datos: Se aclara que se utilizaron 5 niveles de información que corresponden a la calidad de los datos existentes. En el primer nivel se trata de series históricas, del programa de monitoreo de la DGA, donde es posible calcular estadígrafos. En particular se utilizó el percentil del 66% en base a frecuencia empírica. En otros niveles sólo se pueden calcular valores medios. Los percentiles están incluidos en el IP y son usados en otros países.
- Manejo de caudales máxicos: Este tema ya ha sido discutido en ocasiones anteriores y se concluyó que no era posible su aplicación.
- Incorporación de bioindicadores: No se dispone de información por lo que no se ha incluido en el estudio. Se señala que Aguas Andinas posee información de bioindicadores (biomarcadores) para la cuenca del Mapocho; además que en el mes de octubre parte el estudio de bioindicadores para el Cachapoal y Elqui.

d) Presentación de Calidad Natural. (Sr. Alex Rey U.)

i) Etapa 5: CALIDAD NATURAL DE LOS CURSOS SUPERFICIALES

- Se seleccionan los parámetros que presentan valores que sobrepasan la clase de excepción de la BDD.
- Se confecciona tabla para visión macro de los cauces.
- Discusión de posibles orígenes e incidencia en el uso

Comentarios de los participantes:

- Factibilidad de realizar resta desde la Calidad Actual para obtener Calidad Natural: Esta es una resta teórica, ya que en la realidad para ciertos elementos se desconoce la distribución para poder realizar distinción entre lo que proviene naturalmente y lo que se aporta antrópicamente. En otros casos la acción antrópica es más evidente (coliformes fecales en zonas urbanas y ciertos metales en las cercanías de la industria minera).
- Incorporar en los tramos los ecosistemas particulares: No corresponde al estudio.

e) Presentación de Calidad Objetivo. (Sr. Sebastián Videla H.)

La exposición se refiere a los siguientes aspectos.

i) Etapa 6: PROPOSICION DE CLASES OBJETIVOS

6.1 Determinación de Tramos

6.2 Asignación de Clases Objetivos

Comentarios de los participantes:

- Falta incorporar bioindicadores para definir clase objetivo: No se dispone de información por lo que no se ha incluido en el estudio. Se señala que a futuro esto puede revertirse por parte de instituciones que posean información de este tema.
- Río Lluta no puede ser clase objetivo 4: Durante la exposición se muestra el plano de clase objetivo para esta cuenca en donde aparece con clase 4, se

hace la observación que la clase 4 no puede utilizarse como calidad objetivo por lo que debe clasificarse nuevamente.

- Río Bío Bío no puede ser clase objetivo 1 en la parte alta: Durante la exposición se muestra el plano de clase objetivo para esta cuenca en donde aparece con clase 1 en la parte alta, se hace la observación que esto no concuerda con los estudios realizados en la región por lo que se pide revisar esta clasificación.

f) Presentación de Índices de Calidad. (Sr. Alex Rey U.)

La exposición se refiere a los siguientes aspectos.

- Definición de ICAS
- Normalización de Escalas de Medición
- Curva Normalizada
- Selección de Parámetros
- Estimación de ICAS Objetivo
- Plan de Cumplimiento de la Calidad Objetivo

Comentarios de los participantes:

- Incorporación de otros parámetros como plaguicidas: Se señala que estos no son incorporado de manera preliminar debido a la falta de información, pero que si se cuenta con esta, y refleja incidencia en la calidad del agua debe incorporarse como parámetros principales en el ICAS.
- Pesos: Se señala que esta es una propuesta del ICAS y que posee cierta subjetividad en la asignación de pesos relativos.
- CONAMA señala que el ICAS es para dar información a la ciudadanía, el que contará con mayor difusión.

g) Presentación de Zonas de Dilución. (Sr. Rodrigo Caro C.)

El Sr. Caro presentó la metodología según el siguiente orden:

- Criterios generales para la definición de una zona de dilución
- Criterios geométricos para definir la zona de dilución
- Criterios Geométricos Internacionales en la Definición de una ZD

- Zona de Dilución Inicial v/s Zona de Dilución Lejana
- Programas Computacionales en el análisis de una ZD
- Configuraciones Posibles de ZD atrapadas en un medio estratificado según cálculo modelo CORMIX

Comentarios de los participantes:

- No se puede generalizar el mecanismo de descarga.
- Consideraciones a la zona de dilución: Debe considerarse que existen ríos que se secan en más de una oportunidad, lo que influye en el establecimiento de una zona de dilución y debe realizarse un estudio caso a caso.

### 2.3 Participantes

Los participantes en el taller fueron las siguientes personas:

Nombre	Institución	e-mail
Rodrigo Caro	CADE-IDEPE	<a href="mailto:rcaro@cadeidepe.cl">rcaro@cadeidepe.cl</a>
Mesenia Atenas	DGA	<a href="mailto:Mesenia.atenas.@moptt.gov.cl">Mesenia.atenas.@moptt.gov.cl</a>
Sebastián Videla	CADE-IDEPE	<a href="mailto:svidela@cadeidepe.cl">svidela@cadeidepe.cl</a>
María Teresa Badinella	CADE-IDEPE	<a href="mailto:mtbadinella@cadeidepe.cl">mtbadinella@cadeidepe.cl</a>
Rodrigo Palma	SAG-IX	<a href="mailto:rodrigo.palma@sag.gov.cl">rodrigo.palma@sag.gov.cl</a>
Juan Carlos Jofré	CONAMA Nacional	<a href="mailto:JcjoFRE@conama.cl">JcjoFRE@conama.cl</a>
Jorge Castillo G	Consultor	<a href="mailto:castillo@netline.cl">castillo@netline.cl</a>
Andrés Arriagada	DGA	<a href="mailto:andrés.arriagada@moptt.gov.cl">andrés.arriagada@moptt.gov.cl</a>
Lars Ribbe	Univ.Ciencias Aplicada Colonia	<a href="mailto:lars.ribbe@fh-koeln.de">lars.ribbe@fh-koeln.de</a>
Jackson Roehrig	Univ. Ciencias Aplicada Colonia	<a href="mailto:jackson.roehrig@dvz.fh-koeln.de">jackson.roehrig@dvz.fh-koeln.de</a>
Zandra Monreal	SAG	<a href="mailto:zandra.monreal@sag.gov.cl">zandra.monreal@sag.gov.cl</a>
Pablo Rengifo	PUC	<a href="mailto:prengifo@ing.puc.cl">prengifo@ing.puc.cl</a>
Baldomero Saez	IGSA consultores	<a href="mailto:bsaez@igsaconsultores.cl">bsaez@igsaconsultores.cl</a>
Gonzalo Benavides	DGA	<a href="mailto:gonzalo_benavides@moptt.gov.cl">gonzalo_benavides@moptt.gov.cl</a>
Verónica Rodríguez	CONAMA RM	<a href="mailto:vrodriguez.rm@conama.cl">vrodriguez.rm@conama.cl</a>
Juan A. Garces	Aguas Andinas	<a href="mailto:jgarces@aguasandinas.cl">jgarces@aguasandinas.cl</a>
Alex Rey U	CADE-IDEPE	<a href="mailto:arey@cadeidepe.cl">arey@cadeidepe.cl</a>
Andrea Paredes	CADE-IDEPE	
Pamela Zenteno	CONAMA RM	<a href="mailto:pzenteno.rm@conama.cl">pzenteno.rm@conama.cl</a>
Alejandra Figueroa	CONAMA Nacional	<a href="mailto:afigueroa@conama.cl">afigueroa@conama.cl</a>
Evelyn Habit	Centro EULA Univ. de Concepción	<a href="mailto:ehabit@udec.cl">ehabit@udec.cl</a>
Carlos Valdovinos	Universidad Mayor	<a href="mailto:evaldovinos@email.cl">evaldovinos@email.cl</a>

Nombre	Institución	e-mail
Cristian Nuñez	Univ. de Chile	<a href="mailto:cnunez@ing.uchile.cl">cnunez@ing.uchile.cl</a>
Javier Bravo	ESVAL S.A	<a href="mailto:jbravo@esval.cl">jbravo@esval.cl</a>
Mónica Musalem	DGA	<a href="mailto:monica.musalem@moptt.gov.cl">monica.musalem@moptt.gov.cl</a>
Alejandro Muñoz	DGA	<a href="mailto:alejandro.muñoz.m@moptt.gov.cl">alejandro.muñoz.m@moptt.gov.cl</a>
Ana María Sancha	Univ. de Chile	<a href="mailto:amsancha@ing.uchile.cl">amsancha@ing.uchile.cl</a>
María de la Luz Vásquez	Ministerio de Minería	<a href="mailto:mvasquez@minmineria.cl">mvasquez@minmineria.cl</a>

### 3. TALLER DE DIFUSIÓN EN ANTOFAGASTA

#### 3.1 Desarrollo del Taller

Con fecha 24 de noviembre de 2003, se llevó a cabo el Taller de difusión de resultados, enfocado a las regiones I, II, y III.

El programa del Taller fue el siguiente:

- Objetivos y alcance del estudio
- Programa del Taller
- Presentación y discusión de la Metodología
- Presentación y análisis de resultados de la cuenca del río Loa
- Presentación y análisis de resultados de la cuenca del Lluta
- Presentación y análisis de resultados de la cuenca del Copiapó
- Presentación de resultados de otras cuencas
- Conclusiones

#### 3.2 Conclusiones del Taller

##### a) Cuenca del río Loa

Los cauces estudiados son:

- río Loa
- río Salado
- río San Pedro
- río Toconce
- río San Salvador

Los principales centros poblados son Calama, Chuquicamata, María Elena y Pedro de Valdivia.

La red fluviométrica considera 11 estaciones vigentes mientras que la red de monitoreo de calidad de agua de la DGA incluye 12 estaciones.

La cuenca del Loa destaca por su intensa actividad minera y una actividad agrícola que se centra en ciertos lugares específicos.

Para la clasificación de la calidad objetivo, el río Loa ha sido dividido en 4 tramos. El primero de ellos es hasta la confluencia con el río San Pedro; el segundo, hasta la confluencia con el río Salado; el tercer tramo, hasta la confluencia con el río San Salvador y el cuarto, hasta la desembocadura en el mar. Sólo el primer tramo presenta una calidad objetivo clase 2, mientras que tres tramos siguientes han sido clasificados en clase 3.

A los ríos Toconce, Salado y San Pedro, se les ha asignado una calidad objetivo clase 2, mientras que el río San Salvador es clase 3.

El análisis de los resultados de la cuenca del Loa permite deducir las siguientes conclusiones.

- En general, la calidad del río es clasificada como de regular a mala, donde exceden la clase de excepción los metales como el cobre, cromo, molibdeno, boro, aluminio, los sólidos disueltos y conductividad eléctrica.
- La parte media de la cuenca posee actividad minera importante cuyos efectos antrópicos han cambiado la calidad natural, las que sumadas a las lixiviaciones naturales de las franjas metalogénicas han ocasionado presencia de metales como el cobre, arsénico, hierro y cromo.
- El aporte de los metales indicados anteriormente es de origen mixto. Establecer el límite de qué parte es natural y qué parte es antropogénica es difícil, debido a que requiere del estudio intensivo de muchas variables que escapan del objetivo de este estudio.
- Las extracciones de agua para actividades mineras y los depósitos de descartes mineros (pilas de estériles y relaves) en las cercanías de los ríos Loa y San Salvador influyen en la calidad de las aguas superficiales del Loa y sus tributarios.

b) Cuenca del río Lluta

Los cauces incluidos en el estudio son:

- Río Lluta
- Río Colpitas
- Río Caracarani

El asentamiento humano de mayor población es Putre.

Tanto la información fluviométrica como la de calidad de agua constan de 5 estaciones. Esta última se complementa con monitoreos realizados por JICA y por SAG y el programa de muestreos en 5 puntos realizado durante el presente estudio.

A los ríos Caracarani, Colpitas y Lluta se le ha asignado una calidad objetivo de clase 3, aunque son muchos los parámetros que superan los límites de esta clase.

El análisis de los resultados obtenidos en esta cuenca permite formular las siguientes conclusiones:

- El río Lluta y sus tributarios principales tiene una contaminación fundamentalmente de origen natural en que predominan altos valores de Boro y Arsénico, compuestos inorgánicos y metales debido a la presencia de salares, suelos salinos y bajas precipitaciones que no le permiten una dilución de los contaminantes aguas abajo, concentrándose debido a la alta evaporación sufrida en el segmento.
- La parte alta de la cuenca está influenciada fuertemente por los factores volcánicos y los salares que adicionan contenido de metales e inorgánicos.
- La parte media y baja está influenciada por los efectos del suelo salino dado por la alta concentración de nitrato de sodio y otros compuestos en la cuenca.

c) Cuenca del río Copiapó

Los cauces incluidos en el estudio son los siguientes:

- río Copiapó
- río Pulido
- río Manflas
- río Jorquera

Los principales asentamientos humanos son Copiapó, Tierra Amarilla y Los Loros.

En la cuenca predominan la actividad minera y agrícola.

Para definir las características fluviométricas de los cauces se cuenta con 8 estaciones vigentes. Para mediciones de calidad de agua, la DGA cuenta con 7 estaciones vigentes. Estas se complementan con monitoreos realizados por SAG, empresas mineras y el muestreo realizado en 5 puntos durante el presente estudio.

En términos de la calidad objetivo, se le asignó clase de excepción al río Manflas y clase 2 a los ríos Pulido y Jorquera. El río Copiapó fue dividido en dos tramos (el límite entre ambos es Paipote), asignado clase 2 al tramo de aguas arriba y clase 3 al tramo de aguas abajo.

Las principales conclusiones son:

- En general, la calidad natural del río es clasificada como buena, donde exceden la clase de excepción los metales como el cobre, cromo, hierro, boro, aluminio y conductividad eléctrica. Estos tienen un origen mixto, siendo difícil establecer el límite entre lo natural y lo antropogénico.
- La parte media de la cuenca posee actividad minera importante cuyos efectos antrópicos han cambiado la calidad natural, las que sumadas a las lixiviaciones naturales de las franjas metalogénicas han ocasionado presencia de metales como el cobre, hierro y cromo.

#### 4. TALLER DE DIFUSIÓN EN VALPARAÍSO

##### 4.1 Desarrollo del Taller

Con fecha 26 de noviembre de 2003 se llevó a cabo en Valparaíso, el taller destinado a presentar los resultados obtenidos en las cuencas de la IV, V, RM y VI Región.

El programa del taller fue el siguiente:

- Presentación del estudio
- Programa del taller
- Metodología de clasificación
- Presentación y análisis de resultados de la cuenca del Aconcagua
- Presentación y análisis de resultados de la cuenca del Rapel
- Presentación y análisis de resultados de la cuenca del Elqui
- Conclusiones

##### 4.2 Conclusiones del taller

###### a) Cuenca del río Aconcagua

Los cauces estudiados son los siguientes: río Aconcagua, estero Catemu, río Putaendo, río Colorado, río Juncal, río Blanco, estero Pocuro, estero Limache, estero Los Litres, estero Quilpué y estero Las Vegas o Los Loros.

Los principales asentamientos humanos son Los Andes, San Felipe, Quillota, La Calera, Con-Cón y Limache.

En la cuenca se desarrolla una intensa actividad agrícola, industrial, minera y turística, lo que implica una gran cantidad de bocatomas para extraer aguas y numerosas descargas al río.

Para determinar las características fluviométricas se cuenta con 9 estaciones de la DGA. En cuanto a datos de calidad de agua, se cuenta con 14 estaciones vigentes de la DGA, 10 estaciones no vigentes, algunos programas de monitoreo y el programa de muestreos realizado durante el desarrollo de este estudio.

El río Aconcagua fue dividido en 4 tramos, ubicándose los límites en los siguientes puntos: Los Andes; río Putaendo; estero Los Litres y desembocadura. La calidad objetivo asignada es clase 2, salvo el tercer tramo que tiene clase 1.

La incorporación de las plantas de tratamiento de aguas servidas en las ciudades de Los Andes, San Felipe y Quillota ha mejorado notoriamente la calidad del agua del Aconcagua, sobretodo en los parámetros biológicos y de materia orgánica, quedando esta situación pendiente en esteros como Las Vegas y Los Litres que aún presentan valores altos para estos parámetros.

La calidad actual del río en general es buena, presentando en la parte alta (río Blanco) valores altos de metales debido a un origen mixto, por una parte debido a la actividad de la División Andina de Codelco y, por otra, la lixiviación natural de la franja metalogénica que pasa longitudinalmente por ese sector. Las sucesivas renovaciones de agua del Aconcagua mejoran su calidad actual alcanzando su mejor nivel en la parte media.

Respecto a la contaminación difusa por organo-plaguicidas, los muestreos realizados (Octubre 2003) aguas abajo de Quillota indican que todos ellos se encuentran bajo la clase de excepción, lo cual es un indicio que el Aconcagua no presenta serios problemas de contaminación por estos parámetros.

b) Cuenca del río Rapel

El río Rapel está formado por la confluencia de los ríos Cachapoal y Tinguiririca. Aparte de ellos, los otros cauces analizados son: estero Alhué, río Claro, estero Zamorano, estero La Cadena, estero Carén, estero Coya, estero Teniente, estero Chimbarongo y río Pangal.

Los principales centros poblados son Rancagua, San Fernando, Rengo, San Vicente de Tagua Tagua y Santa Cruz.

Dada la intensa actividad agrícola, industrial y minera, existen numerosas bocatomas a lo largo de los cauces y una gran cantidad de descargas de efluentes.

Para la información fluviométrica se cuenta con 8 estaciones vigentes y 4 no vigentes. Para estudiar la calidad del agua, se cuenta con 16 estaciones vigentes de la DGA y algunos programas de monitoreo de relativa corta duración.

Es destacable la diferente calidad del río Cachapoal y del río Tinguiririca. El río Cachapoal fue dividido en 6 tramos; se ha asignado clase 2 a los 3 tramos ubicados aguas arriba de estación DGA río Cachapoal en ribera Sur y clase 3 a los tres restantes. El río Tinguiririca tiene clase de excepción hasta confluencia con el estero Chimbarongo y clase 1 aguas abajo.

La calidad actual del río en general es de buena calidad, presentando en la parte alta (río Coya) valores altos de metales debido a un origen mixto, por una parte por la actividad de la mina El Teniente de Codelco, y por otra la lixiviación natural de la franja metalogénica que pasa longitudinalmente por ese sector. Los relaves mineros y depósitos de descartes mineros también son una fuente importante de contaminación difusa.

La contaminación por incorporación de aguas servidas a los cursos de agua superficiales de la cuenca no presenta mayores problemas. El estero La Cadena que recibe las aguas servidas de Rancagua y de Machalí cuenta desde el año 2002 con una planta de lodos activados que está paulatinamente mejorando los parámetros biológicos del Cachapoal. El estero Zamorano, que es el río colector de las aguas servidas de San Fernando y Rengo, presenta en ciertos tramos problemas de calidad, los cuales se depuran naturalmente por la recarga de aguas subterráneas desde Pelequén hacia la costa.

Respecto a la contaminación difusa por organo-plaguicidas, los muestreos realizados (Octubre 2003) en el esteros La Cadena, Zamorano y Cachapoal en Puente Arqueado, indican que todos ellos están bajo la clase de excepción, lo cual es un indicio que el río Cachapoal no presenta serios problemas de contaminación por estos parámetros.

c) Cuenca del río Elqui

Los cauces seleccionados para el estudio son: río Elqui, estero Derecho, río Cochiguaz, río Claro, río Turbio, río Incahuaz, río de La Laguna, río Toro, río Vacas Heladas y río Malo.

Los principales asentamientos humanos son La Serena, Vicuña, Andacollo y Paiguano.

Las actividades económicas más importantes son agricultura, minería e industria.

Para la información fluviométrica se cuenta con 8 estaciones vigentes. Para estudiar la calidad el agua, la DGA cuenta con 14 estaciones vigentes. A esto se agregan

algunos programas de monitoreo de corta duración y el programa de muestreos, que incluyó 4 puntos.

Los ríos de cabecera del sector norte de la cuenca presentan una calidad objetivo que es clase 3. Los ríos de cabecera que se ubican en el sector sur-río Incahuaz, río Cochiguaz y estero Derecho- presentan clase de excepción. El río Elqui ha sido dividido en dos tramos, siendo su punto de separación el límite entre las subcuencas 0431 y 0432. El tramo de aguas arriba es clase 1 mientras que el de aguas abajo es clase de excepción.

La calidad actual del río Elqui es buena a excepción de los ríos Toro, Malo, y Vacas Heladas los cuales presentan elevados valores de metales, que son de origen mixto: actividades mineras de la Compañía Minera El Indio (lixiviación de depósitos de estériles, drenajes de aguas de minas) y, en forma natural, por la lixiviación de filones mineralizados de una franja metalogénica que atraviesa longitudinalmente esa zona y los aportes hidrotermales de los Baños del Toro.

El río Elqui no presenta contaminación por parámetros biológicos, debido a la incorporación de plantas de tratamiento de aguas servidas en La Serena y Vicuña. Adicionalmente a lo anterior, los parámetros organo-plaguicidas tampoco indicaron valores detectables aguas abajo de La Serena, lo cual es un indicio que el Elqui no presenta serios problemas de contaminación por estos parámetros.

## 5. TALLER DE DIFUSIÓN EN PUERTO MONTT

### 5.1 Desarrollo del Taller

Con fecha 11 de diciembre de 2003, se llevó a cabo en Puerto Montt el Taller de difusión de resultados, enfocado a las regiones X, XI y XII.

El programa del Taller fue el siguiente:

- Objetivos y alcance del estudio
- Programa del Taller
- Presentación y discusión de la Metodología
- Presentación y análisis de resultados de la cuenca del Aysén
- Presentación y análisis de resultados de la cuenca de Las Minas
- Presentación y análisis de resultados de la cuenca del Bueno
- Presentación de resultados de otras cuencas
- Conclusiones

### 5.2 Conclusiones del Taller

#### a) Cuenca del río Aysén

Los cauces estudiados son:

- Río Aysén
- Río Mañiguales
- Río Nirehuao
- Río Emperador Guillermo
- Río Simpson
- Río Claro
- Río Oscuro
- Río Huemules
- Río Blanco Chico
- Río Blanco (antes de Huemules)
- Río Blanco (lago Caro)

Los principales centros poblados son Coyhaique, Puerto Aysén, Villa Mañihuales, Balmaceda, Villa Simpson y el Blanco.

La red fluviométrica considera 11 estaciones mientras que la red de monitoreo de calidad de agua de la DGA incluye 19 estaciones.

Para la clasificación de la calidad objetivo, el río Aysén ha sido dividido en un sólo tramo, al igual que los restantes ríos de la cuenca, con excepción del Simpson que se dividió en tres tramos.

Atendiendo a la calidad excepcional del agua superficial en esta cuenca, la calidad objetivo asignada es la Excepcional (Calidad 0) para todos los cauces seleccionados..

b) Cuenca del río Las Minas

Esta cuenca sólo tiene un cauce seleccionado, el río Las Minas, cuya característica es que se inicia en la Reserva Nacional Magallanes para finalmente atravesar la ciudad de Punta Arenas, desembocando en el Estrecho de Magallanes.

La información fluviométrica es la correspondiente a la zona de bocatoma de ESMAG, mientras que la calidad de agua proviene de dos estaciones DGA, en bocatoma y desembocadura, y de un estudio desarrollado para Conama sobre aguas servidas de Punta Arenas.

El análisis de los resultados obtenidos en esta cuenca permite formular las siguientes conclusiones:

- La contaminación de las aguas del río Las Minas tiene un origen estrictamente urbano, en la ciudad de Punta Arenas, donde se han identificado 4 descargas puntuales, que se suman a descargas difusas urbanas.
- Si se considera el saneamiento de estas cargas urbanas, la calidad de agua superficial debería ser la de aguas arriba. En tal sentido la calidad objetivo es la Excepcional (Clase 0).

c) Cuenca del río Bueno

Los cauces incluidos en el estudio son los siguientes:

- Río Bueno
- Río Pilmaiquen
- Río Calcurrepe
- Río Nilahue
- Río Rahue
- Río Negro
- Río Damas
- Río Chirre
- Río Coihueco
- Río Caunahue
- Río Forrahue

Los principales asentamientos humanos de la cuenca son las ciudades de Osorno, La Unión, Río Bueno, Purranque, Río Negro, Fresia, San Pablo y Lago Ranco.

Cabe señalar que los ríos Caunahue, Calcurrepe y Nilahue desembocan en el Lago Ranco, del cual nace el río Bueno. Esta situación le otorga un carácter especial a la cuenca ya que no se presenta la continuidad de los cuerpos de aguas lóaticos, como en las demás cuencas de este taller.

Para definir las características fluviométricas de los cauces se cuenta con 10 estaciones. Para mediciones de calidad de agua, la DGA cuenta con 10 estaciones, no necesariamente las mismas. Estas se complementan con monitoreos realizados por EULA y otras empresas.

La asignación de calidad objetivo consideró tres tramos en el río Bueno, con sólo uno en los ríos Caunahue, Calcurrepe, Nilahue, Pilmaiquén, Damas, Negro, Coihueco y Forrahue. El río Rahue tiene dos tramos de calidad objetivo. Los valores de la calidad actual del agua y el análisis de los factores incidentes permitió concluir que los ríos de la cuenca corresponden a Calidad Excepcional (Calidad 0), presentando dos cauces en calidad 2, el río Damas y el río Rahue, desde la confluencia del río Negro hasta desembocar en el río Bueno.

## 6. TALLER DE DIFUSIÓN EN CONCEPCION

### 6.1 Desarrollo del taller

Con fecha 12 de diciembre de 2003, se llevó a cabo en Concepción el Taller de difusión de resultados, enfocado a las regiones VII, VIII y IX.

El programa del Taller fue el siguiente:

- Objetivos y alcance del estudio
- Programa del Taller
- Presentación y discusión de la Metodología
- Presentación y análisis de resultados de la cuenca del Imperial
- Presentación y análisis de resultados de la cuenca de Mataquito
- Presentación y análisis de resultados de la cuenca del Bío Bío.
- Presentación de resultados de otras cuencas
- Conclusiones

### 6.2 Conclusiones del Taller

#### a) Cuenca del río Imperial

Los cauces estudiados son:

- Río Cautín
- Río Imperial
- Río Quepe
- Río Traiguen
- Río Puren
- Río Lumaco
- Río Dumo
- Río Quino
- Río Quillen
- Río Cholchol
- Río Blanco

- Río Huichahue
- Río Muco
- Río Collin
- Río Colpi

Los principales centros poblados son Temuco, Nueva Imperial, Carahue, Victoria, Lautaro, Vilcún, Traiguén, Curacautín, Puerto Saavedra, Purén, Galvarino, Perquenco.

La red fluviométrica considera 16 estaciones y la red de monitoreo de calidad de agua de la DGA incluye igualmente 16 estaciones, algunas coincidentes.

Para la clasificación de la calidad objetivo, el río Cautín ha sido dividido en cinco tramos, el Imperial en tres tramos, el Quillén y el Traiguén en dos tramos y el resto sólo en uno.

Del análisis y evaluación de los antecedentes generados se ha concluido que la calidad objetivo de agua corresponde a Clase Excepcional (Clase 0).

b) Cuenca del río Mataquito

Los cauces seleccionados son:

- Río Mataquito
- Río Teno
- Río Lontué
- Río Colorado
- Río Claro
- Río Patos
- Estero Upeo

La información fluviométrica corresponde a seis estaciones algunas no vigentes, mientras que la calidad de agua proviene de quince estaciones DGA, en los distintos cauces seleccionados.

La calidad objetivo se ha asignado en base a los tramos definidos para cada río. En tal sentido se definieron tres tramos en el río Lontué, dos en el Teno y uno sólo en el resto de los ríos seleccionados.

El análisis de los resultados obtenidos en esta cuenca permite formular las siguientes conclusiones:

- Las fuentes más visibles de contaminación corresponden aguas servidas en distintos puntos de las zonas urbanas.
- No existiendo esta contaminación, el agua superficial de los cauces seleccionados es posible de ser asignada a Clase Excepcional (Clase 0).

c) Cuenca del río Bío Bío

Los cauces incluidos en el estudio son los siguientes:

- río Bío Bío
- río Claro
- río Laja
- río Duqueco
- río Guaqui
- río Malleco
- río Lirquén
- río Mulchén
- río Nicodahue
- río Mininco
- río Rehue
- río Polcura
- río Bureo
- río Rucue
- río Renaico
- río Lonquimay
- río Vergara

Los principales asentamientos humanos de la Cuenca son las ciudades de Concepción, Los Angeles, Angol, Mulchén, Nacimiento, Cabreo, Laja, Collipulli, Yumbel, Santa Bárbara, Hualqui y Santa Juana.

Cabe señalar que el río Bío Bío nace en la IX Región, en Lonquimay, para ir progresivamente hacia la zona de Concepción, en la VIII Región, donde desemboca.

Para definir las características fluviométricas de los cauces se cuenta con 18 estaciones. Para mediciones de calidad de agua, la DGA cuenta con 17 estaciones, algunas no vigentes. Estas se complementan con monitoreos realizados por SAG, el programa BIORIO y ESSBIO. Adicionalmente se realizó un muestreo puntual por el proyecto, en 9 puntos con medición de 12 parámetros de calidad de agua.

La asignación de calidad objetivo consideró siete tramos en el río Bío Bío, con sólo uno en los ríos Lonquimay, Duqueco, Lirquén, Bureo, Mulchén, Mininco, Rehue, Guaqui, Nicodahue, Polcurra, Rucue y Claro. Los ríos Laja, Vergara, Malleco y Renaico tienen dos tramos.

Como consecuencia del estudio de los antecedentes de calidad de agua y los factores incidentes se concluyó que la asignación de calidad objetivo de los ríos que conforman la cuenca del Bío Bío es mayoritariamente Excepcional (Clase 0), quedando sólo el tramo final del Bío Bío en calidad 2, desde Santa Juana hasta la Desembocadura.

## V. TRASPASO DE RESULTADOS A SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO

El uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) durante el desarrollo del proyecto “Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua Según Objetivos de Calidad” tuvo tres ámbitos principales de utilización. Por una parte, como herramienta de exploración y análisis de los antecedentes disponibles sobre la calidad del agua, contribuyendo de esta manera en forma significativa a la elaboración de la metodología para determinar la calidad del agua. En segundo lugar, como un medio a través del cual se representan los resultados del estudio. En tercer lugar, como una plataforma de desarrollo a través de la cual se implementa la metodología para la determinación de la calidad de agua y que cobra forma como Sistema de Información de Calidad del Agua (SICA).

El primer aspecto se manifiesta a través del desarrollo mismo de la metodología del estudio, la cual está ampliamente descrita en el capítulo II de este informe. Por esta razón, en los puntos que siguen solo se explicitan algunos aspectos específicos y que dicen relación con las actividades de preparación y procesamiento de los datos mediante el uso del SIG.

El segundo aspecto está incluido en los respectivos informes de cada una de las 33 cuencas hidrográficas consideradas en este estudio, incluyendo los respectivos CD con los datos generados.

Respecto del tercer aspecto, esto es, el SICA, se incluye una descripción del sistema, en tanto el texto del Manual del Sistema se encuentra en el Anexo A8.

### 1. AJUSTE DE LA INFORMACIÓN DE SIGIRH

La información del SIGIRH (Sistema para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos) que se obtuvo para el desarrollo del proyecto se encuentra organizada en los siguientes tópicos:

- a) Cartografía Base
- b) Red Hidrométrica Nacional
- c) Mapa Hídrico de Chile
- d) Balance Hídrico
- e) Mapa Hidrogeológico de Chile

Un desglose detallado de la información se encuentra en el anexo A8.5

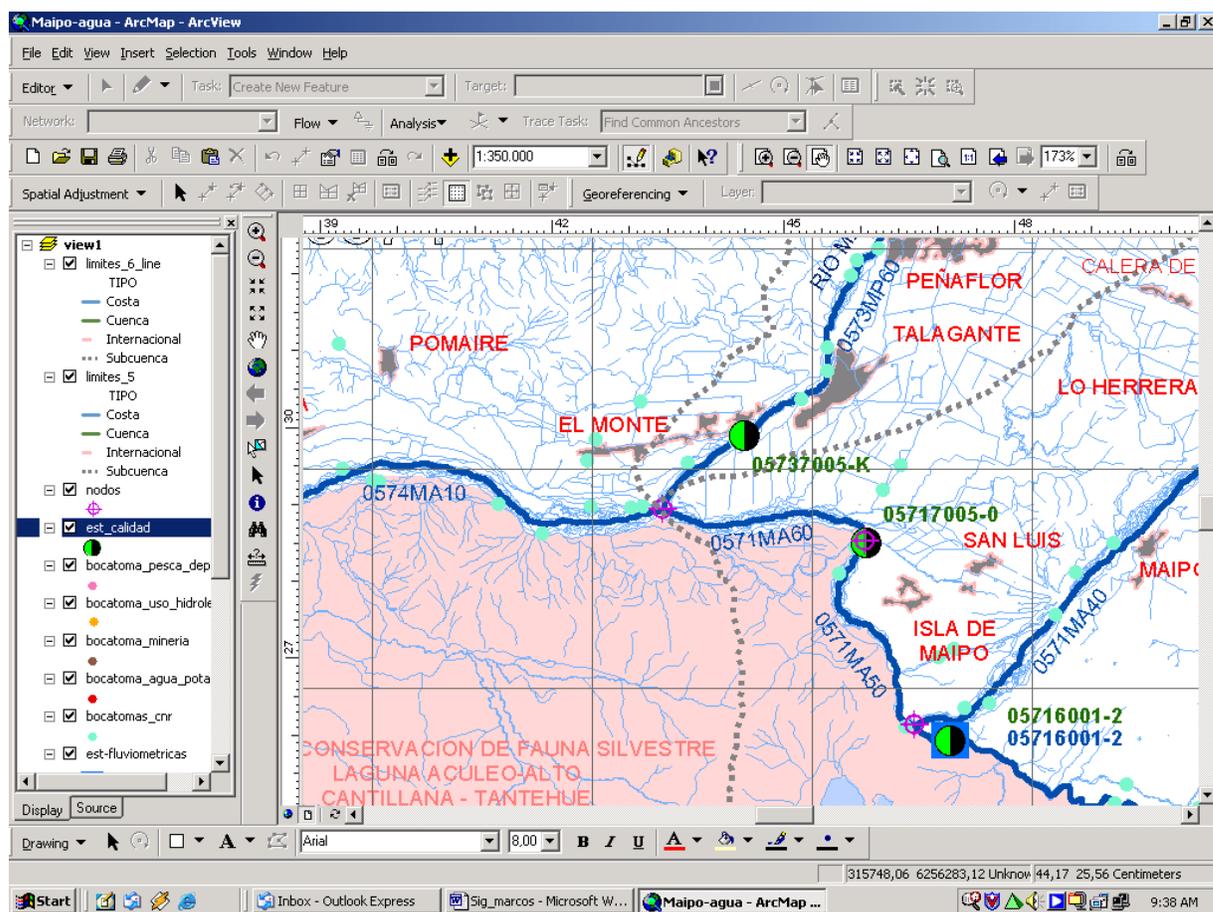
En el contexto de este proyecto se efectuaron modificaciones en las coberturas de los puntos a) y b) mencionados anteriormente. Dichas modificaciones dicen relación con cambios en los atributos de la base de datos alfanumérica de la hidrografía, ajustes en la localización de las estaciones de la red hidrométrica nacional, actualización de cascos urbanos y ajustes a la escala de trabajo de las áreas de protección y preservación.

Específicamente, los archivos modificados (bases gráficas y/o alfanuméricas) fueron:

- a. Hidrografía
- b. Estaciones de Calidad
- c. Estaciones Fluviométricas
- d. Entidades Urbanas mayores y menores
- e. SNASPE
- f. Sitios Prioritarios de Conservación de la Biodiversidad

## 2. GENERACIÓN DE EJES DE CAUCES SELECCIONADOS

Es sabido que los cauces representados en escala 1:50.000 y también en escala 1:250.000 exhiben múltiples brazos, principalmente en la depresión intermedia y sectores de desembocadura. Con el propósito de poder hacer más eficiente la asignación de atributos y permitir la posterior segmentación de los cauces seleccionados, se hizo necesario simplificar su trazado. Para tal efecto se trazó un arco (en el concepto de ArcInfo) por el eje central del cauce definido de acuerdo al Instituto Geográfico Militar (IGM) en su cartografía en escala 1:50.000 o 1:250.000 y cuya versión digital forma parte de las coberturas del SIGIRH de la DGA. La figura ilustra la simplificación de cauces en el río Maipo.



### 3. SEGMENTACIÓN

Todos los cauces si bien constituyen una unidad, no son homogéneos en sus características (caudal, pendiente, ancho, arrastre de sedimentos, etc), ni tampoco en cuanto a la calidad de sus aguas a lo largo de todo su recorrido. Por esta razón, se hizo necesario segmentar los cauces en unidades menores (los segmentos) dentro de los cuales se pueden considerar relativamente homogéneas sus características y propiedades.

Los criterios de segmentación utilizados fueron los siguientes:

- a. Confluencia de cauces seleccionados
- b. Entidades urbanas mayores, las cuales consideran en el criterio de segmentación tamaño y actividad de la población (PEA)
- c. Estaciones de monitoreo, vigentes o con un período de registro interesante.
- d. Límite de subcuencas.

A cada segmento generado se le asignó un código de 8 caracteres que se compone de 3 subcódigos distintos:

- El primer subcódigo corresponde al Código de Subcuenca definido por la DGA y que está compuesto de 4 dígitos (por ejemplo 1003)
- Un segundo subcódigo formado por dos letras que hacen referencia al nombre del cauce
- El tercer código corresponde a un número secuencial del segmento, partiendo desde la naciente. Este número secuencial está definido con incrementos de 10 en 10

Así por ejemplo el primer segmento del río Turbio en la IV Región es 0430TU10. Los atributos asociados a cada segmento son:

- a. Cauce seleccionado
- b. Código de segmento
- c. Código de tramo
- d. Clase objetivo
- e. Inicio
- f. Termino

#### 4. TRAMIFICACIÓN

Una vez que se asociaron atributos a los distintos segmentos, en términos de usos del agua, descargas de aguas servidas domésticas e industriales, y analizados los valores de la calidad del agua asociados a esos segmentos, se procedió a una reevaluación de estos en términos del grado de similitud o diferencia entre ellos. En los casos de dos o más segmentos consecutivos con características muy similares, se procedió a agrupar estos segmentos en tramos. La codificación de tramos utilizada es como sigue:

- Un primer subcódigo formado por dos letras que hacen referencia al nombre del cauce
- El segundo subcódigo está dado por las iniciales TR (tramo)
- El tercer código corresponde a un número secuencial del segmento, partiendo desde la naciente. Este número secuencial está definido con incrementos de 10 en 10

A modo de ejemplo, el código ACTR20 corresponde al tramo 20 del río Aconcagua.

## 5. COMPOSICIÓN CARTOGRÁFICA

Para el diseño de las composiciones o salidas gráficas, se adoptó la plantilla enviada por la DGA. Además se consideraron las observaciones con relación al formato de salida A1 horizontal, y de soluciones gráficas enviadas en las observaciones de las entregas parciales por parte de la DGA.

## 6. DESCRIPCION DEL SICA

### 6.1 Presentación

El Sistema de Información de Calidad de Agua (SICA) es uno de los resultados más del Estudio “Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua Según Objetivos de Calidad”.

Este sistema tiene como finalidad analizar y sistematizar la información de calidad de aguas, particularmente en lo que concierne al Instructivo Presidencial que imparte instrucciones para el establecimiento de Normas Secundarias de calidad ambiental para aguas continentales y aguas marinas. De este modo, el SICA es una herramienta que permite conocer el estado actual de la calidad del agua de los distintos cursos de agua del país que tienen estaciones de monitoreo.

El sistema como tal es una aplicación que se ha desarrollado con Visual Basic y que está inserta dentro de ArcView 8.x. Para su funcionamiento esta aplicación requiere de la instalación del SIG ArcView 8.x y del Administrador de Bases de Datos MsAccess. En cuanto a los datos con referencia espacial el sistema se alimenta de las distintas capas de información

contenidas en el Sistema de Información Geográfico de Recursos Hídricos (SIGIRH) de la DGA, en tanto los datos relativos a la Calidad de Agua provienen del Banco Nacional de Aguas (BNA), donde se encuentran almacenados los registros de la Red de Monitoreo de Calidad de Aguas de la DGA. No obstante lo anterior esta aplicación esta diseñada para soportar el ingreso de datos de calidad de aguas de otros programas de monitoreo que existan en el país.

La funcionalidad del sistema está definida de acuerdo a la metodología elaborada por el consultor y la DGA para determinar la calidad de agua actual y proporciona información para el análisis de la calidad natural y objetivo.

## 6.2 Alcances y Limitaciones

La funcionalidad del SICA está condicionada por las características de los distintos tipos de calidad que deben considerarse en relación a la calidad del agua. Esto es la calidad actual, calidad natural y calidad objetivo.

La calidad actual, es un reflejo de la situación actual de calidad del agua en los distintos cuerpos de agua continentales y, como tal, emana de los registros de calidad obtenidos a través de los Programas de Monitoreo de la DGA y otras instituciones. En este sentido, SICA tiene la funcionalidad necesaria para establecer la calidad actual a partir de los datos de los programas de monitoreo, de lo indicado en el Instructivo Presidencial y lo definido en la metodología elaborada por el Consultor.

La calidad natural se obtiene como resultado de una inferencia a partir de la calidad actual y de las características propias de la cuenca, desde sus condiciones físicas naturales, principalmente la geología, clima, suelos y vegetación, hasta las actividades económicas que inciden en la calidad del agua (agricultura, industria, minería, etc). Por lo tanto, no se trata de un proceso que por ahora pueda ser automatizado, sino más bien de una interpretación que puede ser elaborada por expertos. En este sentido, SICA sólo ofrece la posibilidad de consultar los antecedentes necesarios para estimar la calidad natural.

La calidad objetivo representa la aspiración de la sociedad en cuanto a la clase de calidad de agua que se quiere para cada curso de agua en un período determinado. Como tal, resulta de la conjunción de variados factores, en primer lugar, de la calidad actual. La calidad objetivo nunca podrá ser inferior a la calidad actual. Por otra parte, la calidad natural impone como restricción lógica que la calidad objetivo nunca podrá ser superior que la natural. En tercer lugar, está el hecho que tendrán que conciliarse los actuales usos del agua

con la calidad objetivo que se quiera establecer y, por lo tanto, en este nivel entran en consideración ya no solo criterios técnicos, sino también políticos y económicos. Además, al establecer la calidad objetivo también se consideran los factores tecnológicos o escenarios futuros a mediano o largo plazo como las plantas de tratamiento de aguas servidas, que pueden ser un factor determinante para el logro de una calidad de agua superior. Con relación a la calidad objetivo el SICA provee de información que permiten contribuir a la asignación de la misma.

En cuanto a la representación espacial de los distintos tipos de calidad, se ha establecido que la calidad actual siempre estará referida a la estación de monitoreo donde puntualmente se han realizado las mediciones pertinentes. Por lo tanto, en el SICA no se hace ninguna asignación de calidad a segmentos de cauce a partir de los datos de las estaciones de monitoreo. Realizar tal asignación supone la utilización de modelos que no han sido contemplados como parte de este desarrollo. En todo caso, para fines de interpretación se debe emplear el principio de continuidad y solidaridad formulado en el proyecto, donde se establece que lo registrado en un punto cualquiera de un cauce es el reflejo de lo que ocurre aguas arriba de éste.

Respecto de la calidad natural y objetivo, el usuario podrá hacer una asignación a cada uno de los segmentos. En este sentido, SICA solo facilita el trabajo de asignación, sin realizarla por sí mismo.

En cuanto al formato de los datos espaciales, se debe señalar que principalmente estos provienen del SIGIRH y que se encuentran en formato de coberturas de ArcInfo. Por otra parte, todos los datos espaciales que deben ser editados y modificados por SICA estarán en formato SHAPE dado que ArcView solo puede editar este tipo de archivos.

### 6.3 Funciones Internas de SICA

SICA tiene un conjunto de funciones internas que no son directamente visibles o evidentes para el usuario, pero que a su vez son parte esencial de la metodología elaborada para determinar la calidad del agua, en particular de la calidad actual.

### 6.3.1 Estacionalidad

Los datos de calidad de agua medidos en las distintas estaciones de monitoreo son agrupados por estaciones del año. Esto se debe a que las frecuencias de registros son, en general, del orden de cuatro mediciones al año. Este agrupamiento de los datos es fundamental, ya que sobre él se realizan los cálculos agregados de los datos, esto es, promedio, percentil 66 y otros. Las cuatro estaciones del año se definen por los meses que a continuación se indican:

Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Diciembre	Marzo	Junio	Septiembre
Enero	Abril	Julio	Octubre
Febrero	Mayo	Agosto	Noviembre

### 6.3.2 Clasificación por Niveles

De acuerdo a la frecuencia de mediciones registradas para cada parámetro en cada estación del año se define un nivel de medición. La definición del nivel es importante, puesto que en función de éste se establece el tipo de estadígrafo a utilizar. Los datos serán catalogados en cuatro niveles en función de la frecuencia de registros que existan para cada parámetro, en cada estación del año.

<i>Nivel</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
<i>Frecuencia</i>	$\geq, = 10$	$\geq, = 5$	$\geq, = 2$	1

- Nivel 1 = Cuando la serie de datos para un parámetro dentro de una estación de monitoreo sea igual o mayor a 10
- Nivel 2 = Cuando la serie de datos para un parámetro dentro de una estación de monitoreo sea igual o mayor a 5 y menor que 10
- Nivel 3 = Cuando la serie de datos para un parámetro dentro de una estación de monitoreo sea igual o mayor a 2 y menor que 5
- Nivel 4 = Cuando la serie de datos para un parámetro dentro de una estación de monitoreo sea igual a 1. En particular, dentro de esta categoría se

clasifican muestreos puntuales llevados a cabo durante el desarrollo del presente estudio.

Además, se ha definido un nivel 5 que corresponde a valores estimados o calculados para parámetros sin datos.

Los estadígrafos a calcular según el nivel son:

- Nivel 1, se calcula percentil 66%
- Niveles 2 y 3 se calcula sólo el promedio
- Nivel 4, se mantiene el valor original

### 6.3.3 Calidad actual

La calidad actual se calcula automáticamente a partir de los datos contenidos en la base de datos de SICA. Para el cálculo de la calidad actual se siguen los siguientes pasos:

- Agrupación de los datos por estación del año (ver sección Estacionalidad)
- Clasificación de los datos en niveles (ver Clasificación por Niveles)
- Cálculo de estadígrafos de acuerdo al nivel que corresponda

Los valores obtenidos de estos cálculos se comparan con los rangos de clase estipulados en el Instructivo Presidencial.

### 6.3.4 Clase actual más característica

Se refiere a la clase de calidad actual que resulta más representativa para una estación de monitoreo. Esta se obtiene acumulando el número de parámetros presentes en cada clase, partiendo desde la clase de excepción (clase 0) en adelante. La clase en que se logre acumular el 90% de los parámetros, será definida como la clase actual más característica. De este modo, si de un total de 10 parámetros medidos en una estación de monitoreo se distribuye del modo que sigue:

<i>Clase actual</i>	Clase 0	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
<i>Nº Parámetros</i>	3	2	2	2	1
<i>Frecuencia acumulada (%)</i>	30	50	70	90	100

Entonces la clase 3 resulta ser la más representativa o característica para esta estación de monitoreo.

#### 6.3.5 Selección de Parámetros

Los análisis conducentes a la determinación de la calidad actual, natural y objetivo del agua se hará sobre la base de un subconjunto de los parámetros incluidos en el Instructivo Presidencial. Por una parte están los parámetros obligatorios, que corresponden al conjunto mínimo de parámetros a considerar en el análisis de una cuenca. Por otra parte están todos aquellos parámetros que en alguna ocasión hayan excedido el valor límite de la clase 0 en cualquiera de las estaciones de monitoreo dentro de una cuenca. A este subconjunto se le denomina parámetros principales. Ambos subconjuntos conforman el conjunto de los parámetros seleccionados dentro de una cuenca.

Los restantes parámetros no seleccionados pueden corresponder a alguno de los siguientes grupos:

- Parámetros no medidos en la cuenca
- Parámetros medidos, pero con problema de Límite de Detección<sup>1</sup>
- Parámetros medidos, pero que están dentro del rango definido para la Clase 0

En el Anexo A8 se incluye el Manual de Uso del SICA.

---

<sup>1</sup> En algunos casos la técnica analítica utilizada tiene un límite de detección que se encuentra por sobre el umbral superior de la clase de excepción. En estos casos es imposible determinar a que clase de calidad corresponde el parámetro.

## VI. PROPOSICIÓN PARA LA CLASIFICACIÓN DE LOS CUERPOS LÉNTICOS

### 1. OBJETIVOS Y ALCANCES DE LA PROPOSICIÓN

Esta sección del Informe Final tiene como objetivo presentar una discusión teórica respecto al tema de clasificación de lagos y embalses e incluye un planteamiento preliminar respecto al procedimiento a seguir.

Como objetivos específicos, se pueden anotar los siguientes:

- Revisar los aspectos teóricos que permitan identificar los lineamientos del procedimiento de clasificación
- Establecer las necesidades de información
- Definir los criterios de selección de cuencas
- Recomendar la recopilación de experiencia extranjera relacionada al tema

## 2. ASPECTOS TEÓRICOS

Un sistema léntico tiene comportamientos que se relacionan con distintas disciplinas y áreas del conocimiento, entre ellas la hidrología y la limnología, cuyos estudios están destinados a comprender y manejar el recurso agua. Para tal efecto se requiere identificar los siguientes aspectos:

- Condiciones actuales del sistema formado por el agua y su cubeta.
- Análisis de la fenomenología que explica las variaciones de calidad en función de variables identificables del sistema
- Identificación de los sucesos estacionales que inciden en la calidad del agua
- Influencia de factores incidentes de origen natural y antrópicos.

Consecuente con este enfoque general, como paso inicial de un estudio de clasificación del agua, se necesita revisar y establecer el estado del conocimiento respecto de cada cuerpo léntico en materias como las que se describen a continuación.

### 2.1 Hidrodinámica

Los cuerpos lénticos corresponden a grandes acumulaciones de agua, de carácter natural o artificial. Los primeros incluyen los lagos y lagunas, dependiendo del tamaño que puedan tener; los segundos se relacionan con obras civiles como los embalses. Son parte de estos cuerpos superficiales los humedales, de gran interés como habitat acuático de numerosas especies tal como lo reconoce la Convención Ramsar. Las masas de agua acumuladas presentan fenómenos muy variados y de alta complejidad, que se relacionan con los movimientos, la estratificación térmica, los volúmenes y su dinámica de recarga, fenómenos explicables en su mayor parte por la hidrodinámica. En un estudio de clasificación deberán considerarse estos aspectos por la importancia que tiene explicar el comportamiento del sistema para la calidad del agua, tanto a nivel puntual como del conjunto del sistema.

En particular se deberá establecer la estratificación del reservorio, incluyendo la ubicación de las isoclinas de temperatura y oxígeno disuelto. Se deben identificar las zonas del epilimnio, metalimnio e hipolimnio.

## 2.2 Estado Trófico

En general se distinguen 4 clasificaciones respecto del estado trófico de los lagos, que corresponden a las siguientes situaciones:

- Oligotrófico: Corresponde a cuerpos con aguas claras, bajo contenido de materia orgánica o sedimentos y mínima actividad biológica.
- Mesotrófico: Se trata de aguas con más nutrientes, y por lo tanto, una mayor actividad biológica.
- Eutrófico: Aguas extremadamente ricas en nutrientes, con alta productividad biológica.
- Hipereutrófico: Muy cercano a humedales, altísima actividad biológica, ecosistema de alta complejidad.
- Distrófico: Corresponde a situaciones bajas en nutrientes, alta coloración por disolución de materia orgánica húmica.

## 2.3 Paleolimnología

La caracterización del agua en su estado natural u original de un lago corresponde a una disciplina denominada paleolimnología. Su importancia es enorme para las fuentes de agua de consumo humano ya que la rehabilitación de gran parte de ellas desde un estado actual deteriorado es una de las estrategias prioritarias de la sustentabilidad. El diseño de estos estudios puede variar en profundidad, siendo al menos recomendable realizar un análisis preliminar simple, que en lo sustancial incluirá el estudio de los sedimentos para determinar si hay cambios significativos en la composición de la taxa u otros fenómenos relacionados con la vida acuática o la calidad del agua. Si se detectan efectos importantes se podrán recomendar investigaciones posteriores que expliquen la dinámica del cambio de calidad de agua, incluyendo el estudio de efectos químicos o biológicos de origen natural o antrópico.

El contenido de materia orgánica, nitrógeno y fósforo en los sedimentos son una muestra de la historia del sistema, que se relaciona con los cambios del estado trófico. Por su parte, la composición granulométrica de la columna del sedimento se relaciona con los procesos de transporte de materia y las condiciones de depositación. El estudio limnológico de los organismos presentes en el sedimento, tales como los frústulos de diatomeas, foraminíferos, espículas de esponjas y silicofitolitos indican diferentes condiciones de composición iónica y pH, salinidad y estado trófico.

## 2.4 Calidad de Agua

La EPA y otras agencias ambientales identifican ciertos parámetros como fundamentales, que según la metodología que se ha desarrollado para los cuerpos lóticos, correspondería definirlos como parámetros obligatorios para estas situaciones.

En tal sentido, se propone considerar como Parámetros Obligatorios, al menos los siguientes:

Mediciones	Métrica	Observaciones
Perfil de Temperaturas	T° Epilimnion	Temperatura Media del perfil
	T° Hypolimnion	Temperatura Media del perfil
	T° Metalimnion	Punto de inflexión del perfil de temperatura
Perfil de oxígeno disuelto (OD)	T° Epilimnion	Media del perfil
	T° Hypolimnion	Media del perfil
	Profundidad Oxiclina	Profundidad en la cual el OD cae a menor de 2 mg/l
	Volumen Hipóxico	Volumen de agua con OD > 2 mg/l (media anual o estacional)
Profundidad Secchi (SD)	$TSI (SD) = 60 - 14.41SD$	Medición de la transparencia del medio al paso de la luz. TSI es el Índice de estado trófico de Carlson
N total (NT)	$TSI (N) = 54.45 + 14.43 \ln(NT)$	Enriquecimiento de Nitrógeno usando el índice de Carlson
P total (PT)	$TSI (P) = 4.15 + 14.42 \ln(PT)$	Enriquecimiento de Fósforo usando el índice de Carlson. La razón N:P se relaciona con las cianobacterias
	Cálculo de N :P	
Sílice	SiO <sub>2</sub>	
PH	PH	
Capacidad de neutralización de acidos (ANC)	ANC	Sensibilidad a la acidificación
Sólidos totales disueltos (TDS)	TDS	Minerales disueltos

Fuente: EPA, Monitoring and Assessing Water Quality, Chapter 5 Habitat Measurement Unidades de análisis

### 3. CLASIFICACIÓN DE LOS CUERPOS LÉNTICOS

La EPA<sup>1/</sup> establece que no hay un sistema único para la mejor clasificación de los lagos. Sin embargo, describe que hay dos grandes enfoques, uno “a priori” y otro “a posteriori”. El primero consiste en un conjunto de reglas lógicas para la clasificación basadas en patrones observados de las características del objeto de análisis. En esta forma recomienda usar variables tales como: región, área superficial, profundidad máxima, información que esté disponible al inicio del estudio. El enfoque “a posteriori” identifica tipologías a partir de una base de datos generada por el estudio, que se considera no apropiada para estudios de evaluación de recursos.

La clasificación “a priori” de unidades de análisis requiere de un protocolo jerárquico para que considere aspectos tales como:

- **Región Geográfica o Ecoregión:** se relaciona con aspectos esenciales del patrón geográfico local, tales como clima, topografía, geología, suelos, geomorfología, vegetación. La ecoregión se relaciona con la variabilidad de la calidad del agua y su biota.
- **Características de la Cuenca:** relacionadas con hidrología, sedimentos, cargas de nutrientes, alcalinidad y sólidos disueltos. En particular interesa lo relacionado con: drenaje de la cuenca, uso de la tierra, relación entre área del lago y la cuenca, pendientes, suelo y geología.
- **Características del reservorio del lago:** reconoce que la morfología influencia la hidrodinámica y las respuestas frente a contaminantes en el agua. Se incluyen aspectos tales como: profundidad (media, máxima); área superficial, tipo de sedimentos y fondo, riberas, descargas en el epilimnio/hipolimnio.
- **Hidrología:** cobra especial interés en lo relacionado con patrones de mezcla y circulación que determinan el movimiento de nutrientes. Interesa identificar tiempos de retención, estratificación y grado de mezcla, circulaciones, fluctuaciones de nivel de agua.

---

<sup>1/</sup> EPA, Monitoring and Assessing Water Quality, Chapter 4: Selection and Characterization of Reference Conditions.

- Calidad de agua, para lo cual puede usarse una clasificación que distingue entre lagos afectados por condiciones alcalinas, ombrotrofia, etc. Los parámetros mínimos que podrían considerarse para una rápida clasificación deben ser simples tales como: alcalinidad, salinidad, conductividad, turbiedad, color.

#### 4. ANTECEDENTES DE IMPORTANCIA

##### 4.1 Biogeografía de Chile

La aplicación al caso chileno de los criterios mencionados atraviesa por una adecuada comprensión de nuestra biogeografía. Al respecto es importante considerar la división del país en regiones biogeográficas.

En este sentido, Schlatter et al<sup>2/</sup> distinguen las siguientes regiones basados en el estudio de Quintanilla (1983):

- Provincia Alto Andina, que corresponde a la región cordillerana, desde el Altiplano hasta la Patagonia, con alturas desde más de 4000 metros en la zona Norte hasta 400 metros en Tierra del Fuego. Esta región se caracteriza porque la actividad biológica se concentra en los meses de verano, con diferencias de temperaturas estacionales muy significativas. Se presentan zonas húmedas en altura, generadas por derretimiento de nieves, dando origen a riachuelos lóticos, lagunas de poca productividad biológica, bofedales y salares, algunos de grandes magnitudes. Estos cuerpos de agua son de baja productividad, con conexiones fluviales hacia el valle, muy pobres en avifaunas y especies acuáticas. De norte a sur van cambiando las características bióticas y abióticas, hasta llegar al extremo andino-austral con humedales turbosos con charcas y lagunas biológicamente muy pobres.
- Provincia Chilena Central, entre los paralelos 33° y 38° de latitud Sur, entre la precordillera y la costa. Desde el punto de vista bioclimático, posee regiones mediterráneo-árida a per húmeda, es decir, con lluvias que se concentran en la época otoño-invierno y veranos secos. En la zona norte de esta provincia se desarrolla el bosque esclerófilo, dominado por los géneros *Cryptocarya*, *Schinus*, *Kaegeneckia*, *Quillaja*, *Lithrea* y otros. En los bosques degradados se reconocen los espinales de *Acacia caven*, con manchones de arbustivos (*Prosopis*, *Trevoa* y *Colliguaya*), y en quebradas

---

<sup>2/</sup> Adaptado de un trabajo de Roberto P. Schlatter, Instituto de Zoología, Universidad Austral de Chile, Luis A. Espinosa, Colegio Germanía, Puerto Varas CHILE y Yerko A. Vilina, Dpto. Biol. Celular y Genética, Facultad de Medicina, Universidad de Chile.

<http://www.wetlands.org/inventory&/SAA/Body/15chile@.htm#2b>

umbrófilas y húmedas extensos matorrales de *Chusquea* sp. En esta región se encuentran humedales de cierta importancia, pero altamente intervenidos. También se identifican embalses artificiales para el riego, junto con pequeñas lagunas.

- Distrito Valdiviano, comprendido entre los 38° a los 47° de latitud Sur. Se presenta una flora nativa de gran riqueza, caracterizada por robles, alerces, etc. Existen humedales, lagos oligotróficos de origen glacial (la mayoría de los lagos chilenos tiene este origen) y diversos pantanos y marismas. Los lagos y ríos son oligotróficos y por tanto pobres en fauna a no ser que por factores erosivos se haya producido colonización con pajonales de *Scirpus* spp., donde nidifican aves acuáticas, como las taguas (*Fulica*) y los zambullidores (*Podiceps*).
- Distrito Magallánico, que se extiende desde los 47° a los 56° de latitud Sur, con las islas Diego Ramírez. El bosque está constituido por *Nothofagus betuloides*, *N. antartica* y *N. pumilio* y *Drimys*, *Maytenus* y *Pilgerodendron*. Se caracteriza por tener lagunas asociadas a turberas esfagnosas, pobres en fauna y dependientes de la alta pluviosidad.

Un estudio detallado de las zonas biogeográficas de Chile fue realizado por E. R. Hajek (1991) a partir de un estudio de Di Castri (1968) . En él se identifican 5 grandes tendencias en Chile, que se descomponen a su vez en regiones, tal como se resumen a continuación:

- Desértica (Regiones Litoral e Interior)
- Tropical (Regiones Marginal y Andina)
- Mediterránea (Regiones Per-Arida, Arida, Semi-Arida, Subhúmeda, Húmeda, Per-Húmeda)
- Oceanica (Regiones Mediterranea, Templada Fría, Subantártica, Trсандina)
- Continental (Región Andina)

En el capítulo 6 se entrega la descripción completa de Hajek.

## 4.2 Información Existente

La DGA inicia en 1983 el monitoreo de lagos con la definición de una red mínima de control de estos cuerpos lénticos, para lo cual se utilizó un catastro con una caracterización de los lagos y embalses. Las características utilizadas para el catastro fueron las siguientes:

- Actividad antrópica en el entorno
- Fuentes de agua potable
- Riego
- Actividades Hidroeléctricas
- Usos recreativos
- Atracción Turística
- Valor comunitario

La red de la DGA tiene 60 estaciones de monitoreo, estimándose en 2330 las muestras que se analizan anualmente, con 13160 análisis. Estos valores son bastante inferiores a la red de monitoreo de los ríos, que tiene 343 estaciones.

En forma complementaria existen estudios realizados por distintos investigadores de lagos de distintas zonas del país.

## 5. PROCEDIMIENTO DE CLASIFICACIÓN

Dentro de las actividades necesarias de realizar para la clasificación de los cuerpos lénticos, se proponen las siguientes:

- a) Revisión de la normativa vigente, dentro de la cual vale la pena indicar el Instructivo Presidencial para la Dictación de Normas Secundarias; el Decreto N°90, etc.
- b) Revisión de la experiencia internacional

La fuente preferente es la EPA que cuenta con diversas publicaciones y manuales sobre el tema. Asimismo varios países europeos disponen de políticas específicas sobre la calidad de agua de cuerpos lacustres. Esta información deberá ser recopilada y ordenada en un sistema de manejo computacional.

- c) Selección de cuencas

El criterio de selección de las cuencas que incluyen cuerpos de agua lénticos debe estar basado en los siguientes aspectos:

- Incluir las distintas regiones biogeográficas de Chile
- Seleccionar en cada región biogeográfica cuerpos lénticos naturales: lagos, lagunas, humedales,
- Identificar y seleccionar embalses artificiales según división política del país
- Considerar en la selección que estén representados cuerpos lénticos con alta y baja intervención antrópica
- Incluir los cuerpos que están siendo monitoreados por la DGA.

- d) Metodología de clasificación

El procedimiento de clasificación de la calidad de agua de cuerpos superficiales lénticos, naturales o artificiales, considera lo siguiente:

- Las mismas definiciones sobre las calidades de agua actual y natural que se utilizaron en los cuerpos lénticos. En este sentido la calidad actual es la que corresponde al sistema tal como se encuentra, medida a través de

estadígrafos e indicadores representativos, mientras que la calidad natural corresponde a la original más los cambios antrópicos de carácter permanente o irreversible.

- En principio, la metodología considera pasos similares a los empleado en los cursos de agua superficiales, en cuanto a identificar sucesivamente la calidad actual, los factores incidentes en dicha calidad, la calidad natural y las falencias de información.
- Pese a lo anterior se considera que la fenomenología de los cuerpos lénticos presenta particularidades que necesariamente conducen a variar el enfoque metodológico, no en su secuencia, sino que en los contenidos de cada proceso. Cabe señalar que los lagos y embalses tienen características físicas y biológicas que les otorgan una alta vulnerabilidad frente a las contaminaciones.
- En general, el estudio de cuerpos lénticos debe incluir una investigación sobre aspectos biológicos atendiendo a que los lagos y lagunas son habitat de numerosas especies. En tal sentido esta proposición metodológica asume que el medio biótico es fundamental para entender la calidad de agua de cuerpos lénticos.

6. SINTESIS DE LAS REGIONES ECOLOGICAS DE CHILE

La próxima tabla indica las zonas biográficas de Chile, según el trabajo realizado por E.R. Hajek.

Tendencia	Región	Ubicación	Clima	Geología	Suelo	Vegetación dominante	Intervención humana
Desértica	1.Desértica Litoral	Banda estrecha a lo largo de la costa	Período de aridez de 12 meses	Sedimentos del Jurásico	Suelos rojos, salinos, bastante profundos	Semidesierto con caméfitos, cactáceas y plantas anuales. Desiertos absolutos. Vegetación en las lomas	Poca intervención por poca utilización
	2.Desértica Interior	Entre el límite de la región desértica litoral hasta los 2500-3000 m	12 meses áridos. Variaciones térmicas considerables; bajas temperaturas nocturnas	Geología más reciente del Terciario Superior o Cuaternario. Presencia de salares	Suelos rojos y esqueléticos (casi sin materia orgánica)	Caméfitos. Sabanas abiertas (tamarugo)	Intervenida, destrucción progresiva de las sabanas, cambio en valles por cultivo, introducción de especies
Tropical	1.Tropical Marginal	Entre el desierto interior y la región tropical andina	9-11 meses de aridez. Lluvias en verano. 3 meses fríos	Formaciones del Terciario Medio, mientras que más al sur sedimentos son más antiguos	Suelos rojos y rojos-pardos por fósiles. Pendiente como limitante	Jaral desértico. Vegetación de arbustos higrófilos	Intervenciones antiguas del período preincásico
	2. Tropical Andina	Meseta del norte grande	Período de aridez: 7-10 meses	Formaciones del Terciario Medio. Fenómenos volcánicos	Suelos esqueléticos	Vegetación con zonación altitudinal 1 Tolar 2 Pajonal 3 Llaretal  Existencia de vegas o bofedales	Recolección de pastos - Pastoreo - Extinción de especies
Mediterránea	1. Mediterránea per-árida	Partes bajas de la III Región	9-11 meses de aridez. Lluvias corrientes en invierno. Humedad elevada y neblina persistente	Formaciones del Jurásico. Sedimentos fluviales en los valles transversales	Suelos rojos desérticos	Jaral Espinal	Evidente por cultivos irrigados; en la zona meridional, pastoreo caprino
	2. Mediterránea árida	Partes bajas de la IV Región	Decrecimiento de la influencia desértica. Ausencia de período frío. Variabilidad anual de las lluvias. Las influencias	Similar al mediterráneo per-árido. Sustratos de tipo bosque valdiviano (Fray Jorge)	Suelos pardo-cálcicos	Por la costa el bosque esclerófilo; matorral de espino en el interior	Desmote Monocultivo  Excesiva densidad de cabras

Tendencia	Región	Ubicación	Clima	Geología	Suelo	Vegetación dominante	Intervención humana
			marítimas penetran hacia los valles transversales				
	3. Mediterránea semi-árida	Partes bajas de la V Región y R.M.	7 meses de aridez. 1-2 meses semi-árido	Presencia de fajas longitudinales (costera, central y andina)	Suelos pardos-acálicos y en los contrafuertes andinos, suelos pardo-forestales	Estepas arbustivas. Selvas esclerófilas (maleza espinosa). Sabana de espino; en la costa bosque higrófilo	Desmante de los pastizales e irrigación que erosiona la cordillera costera
	4. Mediterránea sub-húmeda	Partes bajas de la VI y VII Regiones	5-6 meses de aridez. 1-2 meses semi-áridos	Presencia de fajas longitudinales (costera, central y andina)	Suelos pardos-acálicos y en los contrafuertes andinos, suelos pardo-forestales	Bosque esclerófilo	Monocultivos
	5. Mediterránea húmeda	Partes central de la VIII Región	Período húmedo más prolongado que en árido. División en dos partes : a. Septentrional (5 meses de sequía) b. Meridional (2-3 meses de semi-aridez)	Valle longitudinal más amplio. Sedimentos del Terciario Superior y Cuaternario	Trumaos (suelos volcánicos). Suelos pardo-forestales	En la zona septentrional: sabana de espinos Selva parque Vegetación de tipo valdiviano	Desmante Cultivos sin rotación Introducción de pinos
	6. Mediterránea per-húmeda	Parte costera de la VIII Región y norte de la IX	1-2 meses semiárido	Sedimentos glaciares y metamórficos precámbricos. Sedimentos del Terciario Superior o Cuaternario	Lateritas costeras y trumaos	Selva valdiviana con aspecto de bosque-parque	Desmante Reemplazo de especies Pastizales y cultivos
Oceánica	1. Oceánica con influencia mediterránea	Desde el sur de la IX Región hasta el sur de la X Región	Decrece pluviosidad en verano, con 3-4 meses sub-húmedos	Sedimentos metamórficos precámbricos y sedimentos terciarios en la zona costera	Suelos fósiles, trumaos	Dominación de la selva valdiviana	Desmante Introducción de especies
	2. Oceánica templado-fría	Parte cisandina de Aysen hasta un poco al sur del paralelo 47°S	Lluvias a lo largo del año con leve decrecimiento en verano	Sedimentos metamórficos del precámbrico (en archipiélago). Parte continental diorita	Suelos pardos podzólicos y suelos de turberas en las zonas húmedas	Selva valdiviana, "selva de Chiloé", con varias coníferas (Mañío, Ciprés del las Guaitecas)	En la zona continental, el desmante

Tendencia	Región	Ubicación	Clima	Geología	Suelo	Vegetación dominante	Intervención humana
				andina del Cretáceo Medio			
	3. Oceánica sub-antártica	Archipiélago magallánico	Aumento de influencias polares. Lluvias todo el año. Aumento en verano	Diorita andina, con pocos sedimentos metamórficos	Turberas y suelos de gley, podzoles en regiones forestales	Tundra pantanosa; en zonas mejor drenadas, selva magallánica	Muy limitada
	4. Oceánica trasandina	Vertiente oriental de los Andes en la XI Región	Aparece período de aridez variable. Vientos fuertes	Podzoles, suelos de praderas alpinas, suelos estépicos		Bosque de transición, tipo valdiviano, selva magallánica, estepa patagónica	Pastoreo excesivo. Introducción de liebres, destrucción de la capa vegetal
Continental	Andina	Vertiente occidental de la cordillera de los Andes en la XII Región	Gran amplitud térmica de una estación a otra y del día a la noche	Queratófilos y porfiritas del geocinclinal andino (Jurásico y Cretaceo inferior)	Litosuelos, suelos del prado alpino	Estepa de gramíneas y tundra	Degradación de praderas por pastoreo estival; introducción de conejos y liebres

## **VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **1. CONCLUSIONES**

1. Las instrucciones para la dictación de las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales están contenidas en el Instructivo Presidencial (IP), el cual constituye el marco de referencia para el presente estudio.

La elaboración de las Normas Secundarias se realizará por cuenca hidrográfica (área de vigilancia) y se tendrá en cuenta, como objetivos específicos, la protección de las aguas superficiales para la protección y conservación de las comunidades acuáticas y para los usos prioritarios.

2. Teniendo en cuenta lo anterior, el objetivo central del estudio es establecer una Metodología para clasificar los cursos de agua superficiales y aplicarla a 33 cuencas prioritarias a lo largo de todo el país.

3. La definición de una metodología de clasificación requirió:

- definir conceptos como calidad actual, calidad natural y calidad objetivo,
- reunir todos los antecedentes que permitan determinar, por cuenca, los usos del agua, los factores incidentes en la calidad del agua, las zonas de dilución, los índices de calidad de agua, los programas de monitoreo, etc.
- analizar estadísticamente la información fluviométrica y la información de calidad de agua, proveniente no sólo de las estaciones de la DGA sino de otros programas de monitoreo que se han desarrollado en forma particular en algunas cuencas del país.

4. El enfoque metodológico propuesto reúne la experiencia internacional en el tema. Para lograrlo, se realizó una revisión bibliográfica orientada a conocer el “estado del arte” en diferentes países y se organizó un taller para intercambiar información. Se concluyó que existe actualmente una vertiente de pensamiento que es bastante uniforme en todos los países, que incluye la utilización de redes de monitoreo, métodos estadísticos, uso de Sistemas de Información Geográfico, establecimiento de Índices de Calidad de Agua y reglas de operación y administración orientadas a regular el uso y la calidad del recurso hídrico al nivel de cuencas.

Las principales conclusiones de la revisión de la experiencia internacional son las siguientes:

- a) Uso del SIG: la principal herramienta de utilización de la información disponible es el SIG, tanto para la realización de las actividades previas, como la distribución de las estaciones de monitoreo, la identificación de zonas potencialmente contaminantes, la espacialización de la información de salida obtenida a través de los índices de calidad y de las modelaciones utilizadas.
- b) Con el objeto de establecer clasificaciones específicas y estándares de calidad de agua, los cursos de agua superficiales deben ser identificados de acuerdo a la cuenca y/o subcuencas y a segmentos específicos.

Los segmentos son tramos de la vía principal de un río y se definen de acuerdo con los puntos en los cuales el uso, características físicas o de calidad de agua cambian significativamente.

- c) La elección y adaptación de un índice de calidad requiere de un acabado estudio de la representatividad y sensibilidad a las variaciones en las condiciones reales particulares de cada cuenca, a fin de facilitar una interpretación confiable de la calidad de los recursos hídricos nacionales.

La escala numérica de 1 a 100 resulta ser la más utilizada, variando los rangos de clases de calidad involucrados. La asociación de un color particular a las categorías de calidad (Francia, España) hace más práctica su interpretación y espacialización en formato SIG.

- d) La metodología para la definición de calidad objetivo es un procedimiento secuencial que progresivamente va integrando toda la información relativa al agua en la cuenca. Sus procedimientos tienen una base científica, avalada en estudios sistemáticos de la calidad del agua y sus efectos sobre la vida acuática o el ecosistema. Esta metodología no requiere de un conocimiento detallado de todos los parámetros, exigiendo una selección de ellos como representativos de los usos del agua o de las acciones de protección que se deseen implementar en la cuenca.
- e) Respecto a los Programas de Monitoreo, los parámetros medidos y la frecuencia de monitoreo dependen de las necesidades requeridas para la confección del índice de calidad seleccionado o adaptado. En el caso de

Estados Unidos, la distribución de las estaciones de monitoreo se realiza con la ayuda de los Sistemas de Información Geográfica desarrollados para estos efectos, de tal manera de conseguir una óptima representatividad de las distintas condiciones e intervenciones a los que está sujeto el cauce en estudio.

6. La Metodología propuesta considera 7 etapas, que son las siguientes:
  - Etapa I Elección de la cuenca y definición de cauces
  - Etapa II Recopilación de la información y caracterización de la cuenca. Incluye la segmentación de los cauces.
  - Etapa III Establecimiento de bases de datos depuradas : incluye información fluviométrica, descargas a cursos de agua e información sobre calidad de agua.
  - Etapa IV Análisis y procesamiento de la información: contiene el análisis estadístico de los registros fluviométricos y de calidad de agua y un análisis de los factores incidentes sean naturales o antrópicos.
  - Etapa V Calidad actual y natural de los cursos superficiales: aprovechando toda la información elaborada en las etapas anteriores, se caracterizan los cauces en cuanto a su calidad actual y natural, asignando diferentes clases a segmentos específicos de los cauces estudiados.
  - Etapa VI Proposición de clases objetivos: se definen clases objetivos por tramos, teniendo particularmente presentes los usos prioritarios del agua y la calidad natural.
  - Etapa VII Otros aspectos relevantes: incluye la proposición de un Índice de Calidad de Aguas Superficiales (ICAS) adaptado a la realidad chilena; establece un procedimiento para definir Zonas de Dilución; propone un programa de muestreos a realizar durante el desarrollo del estudio; propone un programa de monitoreo futuro e incluye la aplicación del SIG a cada cuenca.
  
7. La información referente a usos del agua se ha clasificado en tres categorías: usos in-situ; usos extractivos y usos ancestrales. Dentro de los usos in-situ se distingue la acuicultura, la pesca deportiva y recreativa y los usos ambientales del agua. Tanto para la acuicultura como para la pesca, corresponde a la Subsecretaría de Pesca informar sobre la existencia de zonas destinadas a estas actividades.

Los usos ambientales del agua están referidos a la conservación de la biodiversidad y sustentabilidad de un determinado ecosistema, todo ello

orientado al mantenimiento y preservación de especies que viven o están asociadas al agua.

El IP considera la clase Excepcional y la clase 1 como adecuadas para la conservación de las comunidades acuáticas. Sin embargo, su aplicación práctica resulta muy difícil ya que no se especifica a qué poblaciones biológicas se refiere. Por este motivo, la Metodología propuesta incluye una descripción de la flora y fauna acuáticas, pero no es posible, por ahora, vincular su conservación a una determinada calidad de agua.

La conservación y preservación de la vida acuática es abordada, según la Metodología propuesta, desde el punto de vista del Sistema Nacional de Áreas protegidas del Estado (SNASPE); de la Estrategia de Biodiversidad y de la identificación de algunos otros sitios de interés (sitios CONAF, etc.)

En la lámina de usos del agua, se representan los Parques Nacionales, Reservas Nacionales y Monumentos naturales, todos los cuales son parte del SNASPE. Junto con lo anterior, se ubican los sitios de biodiversidad prioritarios de resguardar de acuerdo al catastro elaborado por CONAMA.

8. La información de calidad de agua ha sido clasificada, por parámetro, en 5 niveles. El nivel 1 corresponde a datos de calidad de agua proveniente de un programa de muestreo sistemático, de modo tal que el número de registros por parámetros es mayor que 10. Sólo cuando se tiene información de nivel 1 se han calculado percentiles. Para los niveles inferiores (2 y 3), se trabaja con los valores medios. El nivel 4 corresponde a los registros obtenidos en el programa de muestreos desarrollado durante el presente estudio, mientras que el nivel 5 corresponde a estimaciones teóricas.
9. Dada la gran variación que presentan los valores de la mayoría de los parámetros analizados a lo largo del año, la Metodología propone realizar el análisis estacional de los registros de calidad, distinguiendo 4 periodos estacionales, que son propios del análisis hidrológico.
10. La asignación de clases de calidad actual se realiza a nivel de un punto específico en el cauce, sea éste el principal o un afluente. En general, los puntos escogidos corresponden a la ubicación de estaciones de calidad de agua, las que se identifican según el segmento donde se localizan.

11. La asignación de calidad objetivo no se realiza puntualmente sino por tramos del río. Los tramos se forman por la sumatoria de segmentos que pertenecen a una misma clase de calidad objetivo. De esta forma, la calidad objetivo asignada se presenta en forma de una tabla, distinguiendo desde la clase 0 a la clase 3, o bien, en forma gráfica, asignando un color característico a cada clase.
12. El Índice de Calidad de aguas propuesto considera 6 parámetros que son obligatorios y que ponderan el 70% del índice. El restante 30% incluye los parámetros seleccionados para el análisis y que corresponden a aquellos que en algún momento o lugar de la cuenca no cumplen con la clase Excepcional (clase 0).
13. La Metodología incluye un procedimiento para definir zonas de dilución, teniendo en consideración la normativa chilena vigente y criterios hidrológicos, geométricos y de toxicidad.

## 2. RECOMENDACIONES

Como consecuencia del estudio realizado, se ha logrado una visión general del tema de la calidad del agua superficial de cuerpos lóticos en Chile. Esta visión esta respaldada por la importante revisión de antecedentes que el proyecto logró analizar durante un periodo aproximado al año de ejecución de las tareas que lo comprenden.

Al respecto, cabe destacar que parte de las premisas iniciales del estudio no fueron concordantes con los análisis y resultados, verificándose una vez más que el mejor conocimiento de los sistemas físicos se logra a partir de las experiencias directas sobre el terreno, previo estudio de todos los antecedentes disponibles.

Consecuente con esta apreciación, es posible dar una recomendación principal para que en futuros estudios se otorgue un mayor plazo al periodo de definición de la metodología, con un mayor énfasis en el trabajo de terreno y en la discusión de los aspectos centrales con la comunidad regional, con el debido reconocimiento que más allá de los planteamientos teóricos lo que manda es la realidad concreta.

En las fases siguientes que vendrán posteriores a este estudio deberán acentuarse algunos aspectos esenciales para definir calidad objetivo de las aguas superficiales. Entre ellos se recomiendan los siguientes:

- a) Dar mayor atención a la definición de los usos prioritarios del agua, a través de perfeccionar la tabla que relaciona los segmentos con estos usos. Este trabajo requiere de la participación regional.
- b) Reforzar los planteamientos respecto de la biodiversidad, con estudios que permitan un mejor conocimiento de las características de calidad de agua en aquellos sitios destinados a ser protegidos. Es conveniente establecer la compatibilización entre el concepto de biodiversidad científicamente reconocido y la definición utilizada para los sitios prioritarios de conservación.
- c) Levantar catastros actualizados de usuarios del agua por cuenca, con identificación de puntos de descarga y sus parámetros relevantes.
- d) Consolidar el concepto de calidad natural, como orientación fundamental a tener en cuenta para la definición de la calidad objetivo.

- e) Realizar seminarios de difusión de la metodología en todas las regiones del país que permitan ampliar la discusión ya iniciada en los talleres de difusión recientemente hechos en cuatro regiones del país.
- f) Ampliar la base de datos con monitoreos de más alta frecuencia y cubriendo al menos todos los parámetros seleccionados. En lo posible realizar mediciones referenciales de todos los parámetros del Instructivo Presidencial.
- g) Dilucidar la situación de incoherencia entre los límites superiores de ciertos parámetros, principalmente metales, de la Clase Excepcional, que no concuerdan con los límites de detección (LD) de los métodos propuestos en el Instructivo Presidencial (IP). Por ejemplo el cobre que tiene un límite de clase 0 de 7.2 con respecto al LD. de 10 ug/l). Obsérvese que el IP presenta otras debilidades que es conveniente abordar previo al desarrollo de normas. Un aspecto no menor es si puede optarse por definir parámetros para cada cuenca según sus propias características atendiendo a la diversidad de la geografía nacional.
- h) Hacer estudios específicos sobre como diferenciar los aportes antrópicos en ciertos contaminantes de gran importancia en algunas cuencas del país. Por ejemplo, respecto del arsénico o el cobre, presente en cuencas de carácter minero, que parte tiene origen natural y cual es antrópica. Esto permitirá afinar aún más la asignación de calidad objetivo y la definición de calidad natural. Cabe señalar que estos coeficientes de partición son simples de estimar en ríos afectados por las aguas servidas, pero no hay estudios para otros parámetros.
- i) Respecto de la información es recomendable agilizar mediante convenios con las instituciones del Estado y los organismos privados la transferencia de datos hacia el SIGIRH, incluyendo el módulo de calidad de agua.
- j) Hacer un esfuerzo adicional para evaluar la necesidad de incorporar al análisis un conjunto de indicadores biológicos, en especial en cauces relacionados con sectores industriales que eventualmente descargan componentes tóxicos. Este planteamiento es concordante con la tendencia mundial de las mediciones de calidad de agua, que reconocen que es necesario complementar los indicadores fisico-químicos, con aquellos de tipo biológicos o relacionados con la toxicidad. Es conveniente considerar el carácter integrado y holístico de la cuenca, con sus múltiples componentes y relaciones.

- k) En el mismo sentido, es recomendable fortalecer los estudios de las interacciones fenomenológicas que presentan los cuerpos superficiales, considerando el tema en una forma más integral. Esto significa incorporar aspectos tales como los sedimentos y su interacción con la columna de agua, la relación agua superficial con agua subterránea, la combinación de cursos lóticos con lénticos, etc. En este último aspecto, se recomienda iniciar el estudio de los cuerpos lénticos a la brevedad.

## **ANEXO A1**

# **CRITERIOS NACIONALES PARA EL ESTABLECIMIENTO DE LAS NORMAS SECUNDARIAS DE CALIDAD AMBIENTAL**

**A1. CRITERIOS NACIONALES PARA EL ESTABLECIMIENTO DE LAS NORMAS SECUNDARIAS DE CALIDAD AMBIENTAL**

En las próximas páginas se reproduce el Título III, incisos del 1 al 5, del Instructivo Presidencial para la Dictación de Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales.

1. El presente Instructivo no será aplicable a las aguas minerales.
2. Los valores a considerar para la elaboración de las normas secundarias tendrán por objetivo general proteger, mantener y recuperar la calidad de las aguas continentales superficiales de manera de salvaguardar el aprovechamiento del recurso, la protección y conservación de las comunidades acuáticas y de los ecosistemas lacustres, maximizando los beneficios sociales, económicos y medioambientales.

Asimismo, los valores a considerar para la elaboración de las normas secundarias tendrán por objetivo específico:

- Mantener o recuperar la calidad de las aguas destinadas a la producción de agua potable.
  - Mantener o recuperar la calidad de las aguas para proteger y conservar las comunidades acuáticas.
  - Mantener o recuperar la calidad de las aguas para la conservación de especies hidrobiológicas de importancia para la pesca deportiva y recreativa y para la acuicultura.
  - Proteger la calidad de las aguas para la bebida de animales sea que vivan en estado silvestre o bajo el cuidado y dependencia del hombre.
  - Proteger la calidad de las aguas para riego de manera de conservar los suelos y la flora silvestre o cultivada.
  - Mantener o recuperar el estado trófico de los cuerpos lacustres.
  - Proteger cuerpos o cursos de agua de extraordinaria calidad como componentes únicos del patrimonio ambiental.
3. Para efectos de la dictación de las normas secundarias de calidad ambiental para las aguas aptas para la protección y conservación de las comunidades acuáticas

y los usos prioritarios, sin perjuicio de lo establecido en el punto III, numeral 4, los valores máximos y mínimos a considerar serán los siguientes:

Los valores máximos y mínimos aquí expresados están referidos a concentraciones o unidades totales de los compuestos o elementos que corresponda.

TABLA N°1

	GRUPO DE COMPUESTOS O ELEMENTOS	Unidad	CLASE DE EXCEPCION	CLASE 1.	CLASE 2.	CLASE 3.
<b>INDICADORES FISICOS Y QUIMICOS</b>						
1.	Conductividad eléctrica	µS/cm	<600	750	1.500	2.250
2.	DBO <sub>5</sub>	mg/L	<2	5	10	20
3.	Color aparente	Pt-Co	<16	20	100	>100
4.	Oxígeno disuelto <sup>1</sup>	mg/L	>7,5	7,5	5,5	5
5.	pH <sup>2</sup>	Unidad	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5
6.	RAS <sup>3</sup>	-	<2,4	3	6	9
7.	Sólidos disueltos	mg/L	<400	500	1.000	1.500
8.	Sólidos suspendidos	mg/L	<24	30	50	80
9.	Temperatura <sup>4</sup>	ΔT°C	<0,5	1,5	1,5	3
<b>INORGANICOS</b>						
10.	Amonio	mg/L	<0,5	1	1,5	2,5
11.	Cianuro	µg/L	<4	5	10	50
12.	Cloruro	mg/L	<30	100	150	200
13.	Fluoruro	mg/L	<0,8	1	1,5	2
14.	Nitrato	mg/L	<0,05	0,06	>0,06	>0,06
15.	Sulfato	mg/L	<120	150	500	1.000
16.	Sulfuro	mg/L	<0,04	0,05	0,05	0,05
<b>ORGANICOS</b>						
17.	Aceites y Grasas	mg/L	<4	5	5	10
18.	Bifenilos policlorados (PCBs)	µg/L	*	0,040	0,045	>0,045
19.	Detergentes (SAAM) <sup>5</sup>	mg/L	<0,16	0,2	0,5	0,5
20.	Indice de fenol	µg/L	<1,6	2	2	10
21.	Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos	µg/L	<0,16	0,2	1	1
22.	Hidrocarburos	mg/L	<0,04	0,05	0,2	1,0
23.	Tetracloroetano	mg/L	*	0,26	0,26	>0,26
24.	Tolueno	mg/L	*	0,3	0,3	>0,3
<b>ORGANICOS PLAGUICIDAS</b>						
25.	Acido 2,4 diclorofenoxiacético (2,4-D)	µg/L	*	4	4	100
26.	Aldicarb <sup>6</sup>	µg/L	*	1	11	11
27.	Aldrin <sup>6</sup>	µg/L	*	0,004	0,004	0,7
28.	Atrazina + N-dealkyl metabolitos	µg/L	*	1	1	1
29.	Captán	µg/L	*	3	10	10
30.	Carbofuranó	µg/L	*	1,65	45	45
31.	Clordano <sup>6</sup>	µg/L	*	0,006	0,006	7
32.	Clorotalonil	µg/L	*	0,2	6	6
33.	Cyanazina	µg/L	*	0,5	0,5	10
34.	Demeton	µg/L	*	0,1	0,1	0,1
35.	DDT <sup>6</sup>	µg/L	*	0,001	0,001	30
36.	Diclofop-metil	µg/L	*	0,2	0,2	9
37.	Dielsén <sup>6</sup>	µg/L	*	0,5	0,5	0,5
38.	Dimetoato	µg/L	*	6,2	6,2	6,2
39.	Heptaclor <sup>6</sup>	µg/L	*	0,01	0,01	3
40.	Lindano	µg/L	*	4	4	4
41.	Paratión	µg/L	*	35	35	35

42.	Pentaclorofenol <sup>1</sup>	µg/L	*	0,5	0,5	0,7
43.	Simazina	mg/L	*	0,005	0,01	0,01
44.	Trifluralina	µg/L	*	0,1	45	45
<b>METALES ESENCIALES (disueltos)</b>						
45.	Boro	mg/L	<0,4	0,5	0,75	0,75
46.	Cobalto <sup>2</sup>	µg/L	<7,2	9	200	1.000
47.	Cromo total	µg/L	<8	10	100	100
48.	Hierro	mg/L	<0,8	1	5	5
49.	Manganeso	mg/L	<0,04	0,05	0,2	0,2
50.	Molibdeno	mg/L	<0,008	0,01	0,15	0,5
51.	Níquel <sup>1</sup>	µg/L	<42	52	200	200
52.	Selenio	µg/L	<4	5	20	50
53.	Zinc <sup>1</sup>	mg/L	<0,096	0,120	1	5
<b>METALES NO ESENCIALES (disueltos)</b>						
54.	Aluminio	mg/L	<0,07	0,09	0,1	5
55.	Arsénico	mg/L	<0,04	0,05	0,1	0,1
56.	Cadmio <sup>2</sup>	µg/L	<1,8	2	10	10
57.	Estadío	µg/L	<4	5	25	50
58.	Mercurio	µg/L	<0,04	0,05	0,05	1
59.	Plomo <sup>2</sup>	mg/L	<0,002	0,0025	0,2	5
<b>INDICADORES MICROBIOLÓGICOS</b>						
60.	Coliformes fecales (NMP)	UFC/ml	<10	1.000	2.000	5.000
61.	Coliformes totales (NMP)	UFC/ml	<200	2.000	5.000	10.000

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

1= Expresado en términos de valor mínimo

2= Expresado en términos de valor máximo y mínimo

3= Razón de adsorción de sodio (RAS). Relación utilizada para expresar la actividad relativa de los iones sodio en las reacciones de intercambio con el suelo. Cuantitativamente como miliequivalentes:

$$RAS = \frac{Na}{[(Ca + Mg)/2]^{1/2}}$$

En que, Na; Ca y Mg = Son respectivamente las concentraciones, en miliequivalentes por litro, de iones sodio, calcio y magnesio.

4= Diferencia de temperatura entre la zona monitoreada y la temperatura natural del agua.

5= Sustancias activas al azul de metileno (SAAM).

6= Con prohibición de uso agrícola establecida por el Servicio Agrícola y Ganadero.

7= Con suspensión de uso establecida por el Servicio Agrícola y Ganadero.

8= Las concentraciones de estos compuestos o elementos para las clases de excepción y la clase 1, son calculados para una dureza de 100 mg/L de CaCO<sub>3</sub>. Para otras durezas, la concentración máxima del compuesto o elemento, para la clase 1, expresada en µg/L, se determinará de acuerdo a las fórmulas siguientes. Para la clase de Excepción el cálculo se obtendrá a partir del 80% del valor obtenido en la clase 1.

Compuesto o elemento	Expresión
Cadmio	$\{1,101672 - [\ln(\text{dureza}) + (0,041838)]\} + \exp(0,7852 [\ln(\text{dureza})] - 2,715)$
Cobre	$0,960 + \exp(0,8545 [\ln(\text{dureza})] - 1,702)$
Plomo	$\{1,46203 - [\ln(\text{dureza}) + (0,145712)]\} + \exp(1,273 [\ln(\text{dureza})] - 4,705)$
Níquel	$0,997 + \exp(0,8460 [\ln(\text{dureza})] + 0,0584)$
Zinc	$0,986 + \exp(0,8473 [\ln(\text{dureza})] + 0,884)$

4. Las normas de calidad secundarias para las aguas continentales superficiales deberán considerar que durante los 2 primeros años de vigencia de las mismas, los valores máximos de concentración para metales, medidos como fracción total en aguas continentales superficiales deberán ser:

GRUPO DE COMPUESTOS O ELEMENTOS		Unidad	CLASE DE EXCEPCION	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3
METALES ESENCIALES ( Totales)						
46.	Boro	mg/L	<0,4	0,5	0,75	0,75
47.	Cobre	µg/L	<7,5	9,4	200	1.000
48.	Cromo total	µg/L	<32	40	100	100
49.	Hierro	mg/L	<0,8	1	5	5
50.	Manganeso	mg/L	<0,04	0,05	0,2	0,2
51.	Molibdeno	mg/L	<0,008	0,01	0,15	0,5
52.	Níquel	µg/L	<42	52	200	200
53.	Selenio	µg/L	<4	5	20	50
54.	Zinc	mg/L	<0,097	0,122	1	5,071
METALES ESENCIALES (Totales)						
55.	Aluminio	mg/L	<0,07	0,09	0,1	5
56.	Arsénico	mg/L	<0,04	0,05	0,1	0,1
57.	Cadmio	µg/L	<2	2,2	10	10
58.	Estaño	µg/L	<4	5	25	50
59.	Mercurio	µg/L	<0,08	0,1	0,1	1
60.	Plomo	mg/L	<0,0025	0,0032	0,2	5

5. Las normas de calidad secundarias asociadas a la protección de las aguas continentales superficiales para la protección y conservación de las comunidades acuáticas y para los usos prioritarios, deberán considerar las clases de calidad que a continuación se indican:

a) Excepcional: Indica un agua de mejor calidad que la clase 1, que por su extraordinaria pureza y escasez, forma parte única del patrimonio ambiental de la República.

Esta calidad es adecuada también para la conservación de las comunidades acuáticas y demás usos definidos cuyos requerimientos de calidad sean inferiores a esta clase.

b) Clase 1: Muy buena calidad. Indica un agua apta para la protección y conservación de las comunidades acuáticas, para el riego irrestricto y para los usos comprendidos en las clases 2 y 3.

c) Clase 2: Buena calidad. Indica un agua apta para el desarrollo de la acuicultura, de la pesca deportiva y recreativa, y para los usos comprendidos en la clase 3.

d) Clase 3: Regular calidad. Indica un agua adecuada para bebida de animales y para riego restringido.

Las clases de calidad comprendidas entre la Clase Excepcional y la Clase 3, son aptas para la captación de agua para potabilizarla, según el tratamiento que se utilice.

Las aguas que excedan los límites establecidos para la clase 3, indicarán un agua de mala calidad (clase 4), no adecuada para la conservación de las comunidades acuáticas ni para los usos prioritarios a los que se hizo referencia, sin perjuicio de su utilización en potabilización con tratamiento apropiado o para aprovechamiento industrial.

Asimismo, deberá determinarse que las aguas que exceden los límites establecidos para el estado mesotrófico, señalados en el punto 6, indican un cuerpo lacustre eutroficado.

En caso que un cuerpo o curso de agua tenga como calidad natural una peor a la clase 3 o al estado mesotrófico, deberá ser protegido hasta el valor de su calidad natural, con el objeto de que ésta no empeore.

	Grupo Compuestos o Elementos	Unidad	Clase de Excepción	Clase 1	Clase 2	Clase 3
INDICADORES Y QUIMICOS						
1.	Conductividad Eléctrica	μS/c	<600	750	1.500	2.250
2.	DBO <sub>5</sub>	mg/L	<2	5	10	20
3.	Color aparente	Pt*Co	<16	20	100	>100
4.	Oxígeno disuelto*	mg/L	>7,5	7,5	5,5	5
5.	pH*	Unidad	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
6.	RAS*	-	<2,4	3	6	9
7.	Sólidos disueltos	mg/L	<400	500	1.000	1.500
8.	Sólidos suspendidos	mg/L	<24	30	50	80
9.	Temperatura*	ΔT°C	<0,5	1,5	1,5	3
INORGANICOS						
10.	Amonio	mg/L	<0,5	1	1,5	2,5
11.	Cianuro	μg/L	<4	5	10	50
12.	Cloruro	mg/L	<80	100	150	200
13.	Fluoruro	mg/L	<0,8	1	1,5	2
14.	Nitrito	mg/L	<0,05	0,06	>0,06	>0,06
15.	Sulfato	mg/L	<120	150	500	1.000
16.	Sulfuro	mg/L	<0,04	0,05	0,05	0,05
ORGANICO						
17.	Aceites y Grasas	mg/L	<4	5	5	10
18.	Bifenilos policlorados (PCB <sub>2</sub> )	μg/L	*	0,040	0,045	<0,045
19.	Detergentes (SAAM)*	mg/L	<0,16	0,2	0,5	0,5
20.	Indice de fenol	μg/L	<1,6	2	2	10
21.	Hidrocarburos Arom.Policíclicos	μg/L	<0,16	0,2	1	1
22.	Hidrocarburos	mg/L	<0,04	0,05	0,2	1,0
23.	Tetracloroeteno	mg/L	*	0,26	0,26	<0,26
24.	Telueno	mg/L	*	0,3	0,3	<0,3
ORGANICOS PLAGUICIDAS						
25.	Acido 2,4 diclofenoxiático (2,4-D)	μg/L	*	4	4	100
26.	Aldicarb*	μg/L	*	1	11	11
27.	Aldrín*	μg/L	*	0,004	0,004	0,7
28.	Atrazina + N-dealkyl metabolitos	μg/L	*	1	1	1
29.	Captán	μg/L	*	3	10	10
30.	Carbofurano	μg/L	*	1,65	45	45
31.	Clordano*	μg/L	*	0,006	0,006	7
32.	Clorotalonil	μg/L	*	0,2	6	6
33.	Cyanazina	μg/L	*	0,5	0,5	10
34.	Demetón	μg/L	*	0,1	0,1	0,1
35.	DT*	μg/L	*	0,001	0,001	30
36.	Diclofop-metil	μg/L	*	0,2	0,2	9
37.	Dieldrín	μg/L	*	0,5	0,5	0,5
38.	Dimetoato	μg/L	*	6,2	6,2	6,2
39.	Hepaclor*	μg/L	*	0,01	0,01	3
40.	Lindano	μg/L	*	4	4	4
41.	Paration	μg/L	*	35	35	35

42.	Pentaclorofenol *	µg/L	*	0,5	0,5	0,7
43.	Simazina	µg/L	*	0,005	0,01	0,01
44.	Trifluralina	µg/L	*	0,1	45	45
METALES ESENCIALES (disuelto)						
45.	Boro	mg/L	<0,4	0,5	0,75	0,75
46.	Cobre*	µg/L	<7,2	9	200	1.000
47.	Cromo total	µg/L	<8	10	100	100
48.	Hierro	mg/L	<0,8	1	5	5
49.	Manganeso	mg/L	<0,04	0,05	0,2	0,2
50.	Molibdeno	mg/L	<0,008	0,01	0,15	0,5
51.	Níquel*	µg/L	<42	52	200	200
52.	Selenio	µg/L	<4	5	20	50
53.	Zing*	Mg/L	<0,096	0,120	1	5
METALES NO ESENCIALES (disuelto)						
54.	Aluminio	mg/L	<0,07	0,09	0,1	5
55.	Arsénico	mg/L	<0,04	0,05	0,1	0,1
56.	Cadmio*	µg/L	<1,8	2	10	10
57.	Esaño	µg/L	<4	5	25	50
58.	Mercurio	µg/L	<0,04	0,05	0m05	1
59.	Plomo*	mg/L	<0,02	0,0025	0,2	5
INDICADORES MICROBIOLÓGICOS						
60.	Coniformes fecales (NMP)	gérmenes/100 ml	<10	1.000	2.000	5.000
61.	Coniformes totales (NMP)	gérmenes/100 ml	<200	2.000	5.000	10.000

Compuesto o elemento	Expresión
Cadmio	$\{1,101672 - [\ln(\text{durezza}) * (0,41838)]\} * \exp(0,7852 [\ln(\text{durezza})] - 2,715)$
Cobre	$0,960 * \exp(0,8545 [\ln(\text{durezza})] - 1,702)$
Plomo	$\{1,46203 - [\ln(\text{durezza}) * (0,145712)]\} * \exp(1,273 [\ln(\text{durezza})] - 4,705)$
Níquel	$0,997 * \exp.(0,8460 [\ln(\text{durezza})] + 0,0584)$
Zinc	$0,986 * \exp.(0,8473 [\ln(\text{durezza})] + 0,0584)$

**ANEXO A2**  
**REVISION DE LA EXPERIENCIA INTERNACIONAL**

## **A2. REVISION DE LA EXPERIENCIA INTERNACIONAL**

En este anexo se presenta la información recopilada respecto a la experiencia internacional en los siguientes tópicos:

- Estructura del manejo y monitoreo de cuencas seleccionadas
- Sistemas de Clasificación de la Calidad Superficial de Agua
- Metodologías para la asignación de calidad objetivo
- Taller de Trabajo
- Presentación de casos
- Conclusiones

La experiencia internacional respecto a zonas de dilución es objeto de un anexo especial (ver sección A6, Zonas de Dilución).

### **1. ESTRUCTURA DEL MANEJO Y MONITOREO DE CUENCAS SELECCIONADAS**

En primer término, se presentan algunas experiencias en Estados Unidos y luego en Europa, Asia y Africa. Al final de la descripción se incluye una tabla resumen con la experiencia de 7 cuencas (ver tabla A2.1.2). Los casos fueron seleccionados de acuerdo a criterios tales como la extensión geográfica, el carácter territorial (que se encuentre dentro de los límites de una nación) y la existencia de instituciones encargadas del manejo y control de la calidad del recurso hídrico.

#### **1.1 Experiencia en Manejo de Cuencas en U.S.A.**

En los Estados Unidos se lleva a cabo el Programa NAWQA (National Water Quality Assessment) a cargo del U.S.G.S. (United States Geological Survey), el que tiene como objetivo la evaluación de las condiciones de calidad de los cursos de agua en más de 50 cuencas pertenecientes a su territorio.

Los informes elaborados para este programa incluyen la descripción física e hidrológica de la Cuenca (Unidad de Estudio), el resumen de los resultados más importantes obtenidos en cuanto a la degradación de la calidad de los ríos, el diseño del sistema de

monitoreo aplicado y la evaluación de la calidad en comparación con las otras Unidades de Estudio.

En general, las estaciones de monitoreo fueron distribuidas de manera que sean representativas de áreas homogéneas relativas a regiones ecológicas, hidrogeología y uso de suelos, utilizando para ello los Sistemas de Información Geográfica (SIG) disponibles.

Las Estaciones de Monitoreo para la determinación de la Calidad Química del Agua se dividieron en básicas, intensivas y sinópticas dependiendo de los parámetros monitoreados, frecuencia de muestreo y objetivos planteados, además de estaciones de pruebas adicionales de sedimentación y biota. Están distribuidas según uso de los suelos.

La calidad ecológica es monitoreada con estaciones de tipo Intensiva y Sinóptica, muestreando peces, macroinvertebrados y algas, y siendo distribuidas según regiones ecológicas. La Calidad de las Aguas Subterráneas es evaluada mediante la inspección de pozos existentes de uso doméstico y la perforación de nuevos pozos en sitios de interés, distribuidos según mapas hidrogeológicos. Estudios especiales de infiltración de dioxinas y furanos, sólidos suspendidos y la interacción entre acuíferos y aguas superficiales se llevan a cabo en la Cuenca Willamette, mientras que en el Río Sacramento se estudian las concentraciones de metales traza, dada la histórica actividad minera realizada en la zona.

## 1.2 Experiencia en Manejo de Cuencas en el Continente Europeo

En la Unión Europea existen más de 20 programas propios de cada país para evaluar la calidad general de las aguas superficiales, variando enormemente el número de estaciones por km<sup>2</sup>, la frecuencia en la toma de muestras y el número de parámetros medidos (Tabla A2.1.1).

**Tabla A2.1.1: Comparación en Redes de Control de Calidad  
en diferentes Países Europeos**

País	Nº Estaciones	Frec. (muestras/año)	Nº parámetros	Km <sup>2</sup> /estación
Austria	244	6	59	343.7
	48	12		1747
Bélgica	957	8	19	31.9
	90	5	108	338.9
Alemania	146	26	19	2445.2
España	456	9	42	1109.5
Francia	1082	12	40	502.7
Grecia	6	12	26	21990.7
Irlanda	1500	12	18	46.7
Luxemburgo	217	1-13	20-25	12
Holanda	26	13-52	120	1615
Noruega	10	12	14	32400
	20	12	12	16200
	25	12-24	5-22	12960
Portugal	109	12	24	831.8
Reino Unido	230	6-52	80	1043.5

En 1995 la Agencia Europea de Medio Ambiente publicó las primeras recomendaciones sobre redes de monitoreo de la calidad del agua, de acuerdo a los siguientes criterios:

- a) Red básica: con el objetivo de caracterizar estadísticamente la calidad de las aguas, se recomienda una densidad de al menos 1 estación cada 2000 km<sup>2</sup>.
- b) Red de impacto : con el objetivo de evaluar la contaminación de las aguas con carácter general la densidad propuesta es :
  - 1 estación cada 10000 km<sup>2</sup> en zonas con poblaciones < 50 hab/km<sup>2</sup>.
  - 1 estación cada 3000 km<sup>2</sup> en zonas con poblaciones entre 50 y 100 hab/km<sup>2</sup>.
  - 1 estación cada 1000 km<sup>2</sup> en zonas con poblaciones > 100 hab/km<sup>2</sup>.
- c) Red de relación causa efecto: definida con el fin de detectar los mayores impactos producidos por la contaminación y comparar la calidad resultante con la calidad original de las aguas.

Como referencia de una Red de Monitoreo se tiene la situación de España<sup>1</sup>. La actual clasificación de las estaciones pertenecientes a la Red de Control y los parámetros y frecuencia con que estos son medidos están de acuerdo a las necesidades de los índices de calidad utilizados.

Los objetivos principales de la red de control de la calidad de las aguas son:

- Describir condiciones actuales de la calidad de las aguas.
- Analizar tendencias a largo plazo.
- Identificar factores que afectan la calidad de las aguas.

La red de control consiste en la ubicación de los puntos de muestreo y en el establecimiento de programas de control de calidad de las aguas (objetivo principal, N° de muestras y frecuencia de muestreo) que permitan evaluar la efectividad de las políticas ambientales, los efectos que los usos de suelos tienen sobre la calidad del agua y caracterizar estadísticamente la contaminación.

En España, ejemplos de este tipo de redes son las denominadas COAS (Control Oficial de Abastecimientos), que controlan los abastecimientos urbanos y permiten realizar los análisis de prepotabilidad y la Red Ictiofauna, que tiene por objeto conocer la aptitud del agua para albergar la vida acuática y que controla 140 tramos de ríos. La red COCA (Control Oficial de la Calidad del Agua) muestrea periódicamente aquellos parámetros que sirven para confeccionar las estadísticas del ICG (Índice de Calidad General del Agua). La Red COCA cuenta en la actualidad con 408 estaciones que controlan un total de 40 parámetros, entre los que se cuentan Temperatura, Oxígeno Disuelto, DBO<sub>5</sub>, etc. Las estaciones están clasificadas en tres grandes categorías, diferenciándose esencialmente por la frecuencia con que se miden o analizan los cuatro grupos de parámetros, oscilando entre una determinación mensual, trimestral, semestral, o anual.

En el año 1993 se diseñó la Red Integrada de la Calidad de las Aguas (ICA). Esta red integró a las ya existentes (COCA, COAS e Ictiofauna) e incrementó su número en algunos tramos concretos.

La actual red ICA también incluye Estaciones Automáticas de Alerta (EAA) que, ejecutadas bajo el proyecto SAICA (Sistema Automático de Información de Calidad de las Aguas), producen información continua de algunos parámetros de calidad, y la transmiten en tiempo real a una serie de centros de control y de decisión.

---

<sup>1</sup> (Libro Blanco del Agua en España. [Hispagua.cedex.es/Grupo1/Documentos/1\\_b/cap3\\_a2.pdf](http://Hispagua.cedex.es/Grupo1/Documentos/1_b/cap3_a2.pdf)).

Las EAA se han instalado en aquellos puntos en los que la existencia de usos especialmente críticos determina la necesidad de adoptar acciones inmediatas de prevención y en aquellos otros en los que conviene detectar “peaks” de contaminación para actuar en consecuencia y con la rapidez requerida. El equipamiento de una EAA incluye tanto equipos propiamente analíticos, como de transmisión de datos.

En lo que se refiere a las aguas subterráneas, el Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE) ha realizado una implantación gradual de una Red de Observación de Calidad de Aguas Subterráneas (ROCAS) para estudiar la evolución de diferentes parámetros físicoquímicos. Esta red controla en la actualidad un total de 1.650 puntos. En estos puntos se analiza con periodicidad semestral los macroconstituyentes químicos.

Las experiencias en las cuencas del río Sena en Francia y del río Arno en Italia, son descritas en el anexo III.1.

### 1.3 Experiencia en manejo de Cuencas en Africa y Asia

#### 1.3.1 Cuenca del Río Olifants, Sudáfrica<sup>2</sup>

El estudio se enfoca a la localización espacial de las áreas de mayor potencial de arrastre de sólidos hacia los cursos de agua de la Cuenca del Río Olifants, detallando el procedimiento de combinación de la información cualitativa disponible y obteniendo conclusiones acerca de la factibilidad de extender la metodología a la identificación de otras fuentes no puntuales de contaminación.

La alta concentración de sólidos suspendidos es uno de los problemas más importantes que afectan la calidad de agua en Sudáfrica y debido a los limitados recursos con que se cuenta, se hace necesario enfocar los esfuerzos de remediación en aquellas áreas que aportan la mayor cantidad de sedimentos.

El actual sistema de monitoreo de la cuenca del río Olifants resultó insuficiente para generar todos los datos de un estudio de calidad de agua avanzado ya que se encuentra concentrado en ciertas áreas, y la frecuencia de muestreo en algunos puntos es muy baja. Además, la mayoría de los métodos de estimación, como USLE, son aplicados en pequeña

---

<sup>2</sup> [www-dwaf.pwv.gov.za/IWQS/reports/slopes\\_olifants/sed\\_olif.htm](http://www-dwaf.pwv.gov.za/IWQS/reports/slopes_olifants/sed_olif.htm)

escala y necesitan información detallada. Estos hechos apoyaron la necesidad de la evaluación de métodos alternativos para la identificación de áreas de riesgo potencial en las grandes cuencas.

El estudio de esta cuenca combina mediante matrices, los factores que afectan la disponibilidad potencial de sedimentos (cubierta y erosionabilidad del suelo) con aquellos que afectan el arrastre potencial de sedimentos (pendiente, cantidad y erosividad de las precipitaciones), identificándose áreas de alto, medio o bajo potencial de producción de sedimentos.

El método opera con información escasa, situación típica de esta cuenca, permitiendo una rápida visión de los grandes problemas asociados a la calidad de agua. Esto permite que puede ser usado para una identificación preliminar de áreas con alto potencial de producción de sedimentos.

El manejo de la información entregada por este procedimiento puede, luego, formar la base para estudios más detallados enfocados en áreas críticas de contaminación difusa. De la misma manera, el procedimiento puede ser modificado y dirigido a otras fuentes de contaminación difusa.

Este método no asigna una evaluación cuantitativa de la contribución de la contaminación difusa.

### 1.3.2 Cuenca del río Chao Phraya, Tailandia<sup>3</sup>

Este documento se enmarca dentro del programa WWDR (Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos) de la UNESCO, como una de las cuencas seleccionadas a nivel mundial. El estudio comprende la identificación de los problemas de contaminación de las aguas y la descripción de las medidas implementadas para la recuperación de la integridad del recurso.

Los resultados de un estudio realizado en 1997 por el Instituto Tailandés de Medio Ambiente (TEI) para el Departamento de Control de Contaminación del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente indicaron que entre los principales ríos de la cuenca

---

<sup>3</sup> [www.unesco.org/water/wwap/case\\_studies/chao\\_phraya/index.shtml](http://www.unesco.org/water/wwap/case_studies/chao_phraya/index.shtml)

inferior había evidencia de una fuerte contaminación en los ríos Chao Phraya y Tha Chin, mientras la calidad del agua era aceptable en los ríos Pasak y Sakae Krang.

El río Chao Phraya ofrecía una contaminación orgánica y bacterial muy alta. Asimismo, la calidad de agua en el río Tha Chin estaba muy degradada, por la combinación de vertidos industriales, domésticos y rurales. También se encontró que el agua de los principales ríos de la cuenca superior estaba contaminada o en proceso de degradación, sobre todo en las cercanías de los núcleos urbanos. La degradación de la calidad del agua cerca de los núcleos urbanos ha sido atribuida a la alta contaminación bacterial de los vertidos de efluentes domésticos junto con los vertidos de establecimientos comerciales y fábricas localizadas en las orillas del río.

La extensa red de vías fluviales interconectadas junto con el principal sistema de irrigación del delta, constituyen una red que facilita la difusión de las diversas clases de contaminación. La contaminación del agua es causada por los vertidos de desechos agrícolas (pesticidas, fertilizantes, efluentes de granjas de cerdos, etc.), salidas de alcantarillado e industrias.

Los principales componentes químicos que afectan la calidad de las aguas subterráneas son el sodio y el cloruro. Las concentraciones de nitrato permanecen casi invariablemente bajas en todas las cuencas. No se conoce el grado en que la calidad química se ve afectada por la contaminación, excepto en algunas áreas específicas.

La conservación de la integridad del río se basa en el mantenimiento de una corriente mínima de descarga para impedir la intrusión salina en la parte inferior del río, reducir al mínimo los niveles de agentes contaminantes y mantener niveles de oxígeno disuelto mínimos para asegurar que la calidad del ecosistema acuático no caiga por debajo de niveles aceptables.

La mayor parte de los vertidos de aguas residuales de origen doméstico e industrial está cada vez más controlada y reducida por la implantación de medidas de separación de vertidos por parte de varias agencias gubernamentales de regulación. Además, la regulación de los caudales en el Chao Phraya mediante descargas de los embalses aguas arriba manejados por EGAT (Autoridad de Generación de Electricidad de Tailandia) y RID (Departamento Real de Irrigación) puede, en cierta medida, mejorar, aguas abajo, la baja calidad del agua durante la estación seca.

### 1.3.3 Cuenca Ruhuna-Walawe, Sri Lanka<sup>4</sup>

El documento revisado pertenece los estudios realizados por el IWMI (International Water Management Institute) e incluye la descripción física e hidrológica de la cuenca, los principales usos de suelo y de aguas, la estructura institucional y la disponibilidad de información y modelos desarrollados. Esta cuenca también es uno de los casos piloto seleccionado por la UNESCO para su programa WWDR.

El agua potable en la cuenca es principalmente obtenida de acuíferos de pobre calidad, con altas concentraciones de sales, flúor y hierro. La recarga de este recurso se ha visto afectada por las obras de canalización. El desarrollo de la actividad agrícola en el sur de Sri Lanka ha tenido un negativo impacto en el ambiente. Un importante número de lagos han sido severamente afectados por la reducción de los flujos de agua, o por incremento del mismo, debido al drenaje de aguas de regadío.

El Mahaweli Authority of Sri Lanka (MASL) es la Agencia que tiene a su cargo el manejo de la Cuenca. En áreas piloto se han promovido las organizaciones locales de agricultores, encargadas de la mantención de canales de regadío y de la planificación de cultivos.

Existe gran cantidad de información disponible en el MASL y en otras agencias de gobierno. El IWMI ha desarrollado un modelo de balance hídrico para la cuenca, por encargo del MASL. Se cuenta con una espacialización preliminar en SIG que incluye los usos y tipos de suelo, además de la infraestructura básica en la cuenca.

---

<sup>4</sup> [www.cgiar.org/iwmi/benchmark/ruhuna.htm](http://www.cgiar.org/iwmi/benchmark/ruhuna.htm)

**Tabla A2.1.2: Resumen de la Revisión Bibliográfica de la Experiencia Internacional en manejo de Cuencas**

Cuenca	Condiciones Ambientales e Hidrológicas	Principales Problemas en el Manejo de Aguas	Instituciones Responsables de la Cuenca	Medidas Implementadas
<p><b>Cuenca Willamette, U.S.A.</b></p> <p>REF: Water.usgs.gov/pubs/circ/circ1161/</p>	<p><b>Ubicación:</b> NorOeste del Estado de Oregon  <b>Area:</b> 30720 km<sup>2</sup>  <b>Precipitación anual promedio:</b> 1570 mm  <b>Población:</b> cerca de 2 millones de habitantes  <b>Uso de suelo:</b> tierras forestadas: 70 %, Tierras agrícolas: 22 %, uso urbano: 6 %, Otros usos: 2%.</p>	<p>Existe una alta presencia de Pesticidas en ríos.  Existe una alta presencia de Nutrientes en ríos y aguas subterráneas.  Dioxinas y Furanos fueron detectados en todas las muestras de sedimentos y tejidos animales, incluso en aquellas provenientes de estaciones de referencia.  A pesar de estar prohibidos desde 1980 o antes, pesticidas organoclorados y PCBs aún están presentes en sedimentos y biota acuática en lagos y ríos.  Las concentraciones de elementos traza en el lecho de ríos y lagos exceden las recomendaciones ambientales canadienses para la protección de la vida acuática en 26 de las 52 estaciones</p>	<p>Instituciones involucradas en el estudio:  USGS (United States Geological Survey)  US Department of the Interior  Oregon Department of Agriculture  Oregon Department of Environmental Quality  Oregon Water Resources Department  Oregon Department of Fish and Wildlife</p>	<p>Estaciones de monitoreo distribuidas con ayuda de la información geográfica disponible (SIG), cubriendo áreas representativas de regiones ecológicas, tipo de suelo e hidrogeológicas y destinadas a reunir información de la calidad química y ecológica de las aguas superficiales, además de la calidad de las aguas subterráneas y estudios especiales de concentraciones de Dioxinas, Furanos y Sólidos Suspendidos.</p>
<p><b>Cuenca del Río Sacramento, U.S.A.</b></p> <p>REF: Water.usgs.gov/pubs/circ/circ1215/</p>	<p><b>Ubicación:</b> ocupa el Norte de la parte central del Estado de California.  <b>Area:</b> 70000km<sup>2</sup>  <b>Precipitación anual promedio:</b> 914 mm  <b>Población:</b> cerca de 2 millones de habitantes  <b>Uso de suelo:</b> más de 8000 km<sup>2</sup> destinados a cultivos irrigados. La mayoría de las tierras adyacentes al valle se encuentran forestadas. En el valle de Sacramento se concentran los núcleos urbanos.</p>	<p>Insecticidas Organofosfatados, usados en áreas agrícolas y urbanas, se encuentran en concentraciones que exceden el criterio recomendado para la protección de la vida acuática. La toxicidad es reducida cuando estos pesticidas son diluidos por el río.  Los niveles de Fósforo fueron elevados en la mayoría de las muestras colectadas en cursos de agua cercanos a áreas agrícolas y urbanas.  Las concentraciones de Mercurio en el agua excedieron las recomendaciones para la protección de la vida acuática.  Las Aguas subterráneas se ven afectadas por los usos agrícolas y urbanos del suelo.</p>	<p>Instituciones involucradas en el estudio:  USGS (United States Geological Survey)  US Department of the Interior  California Regional Water Control Board  California Department of Water Resource  California State Water Resources Control Board</p>	<p>Estaciones de monitoreo distribuidas con ayuda de la información geográfica disponible (SIG), cubriendo áreas representativas de regiones ecológicas, tipo de suelo e hidrogeológicas y destinadas a reunir información de la calidad química y ecológica de las aguas superficiales, además de la calidad de las aguas subterráneas y estudios especiales de Metales Traza en el río Sacramento.</p>
<p><b>Cuenca Sena Normadía, Francia</b></p> <p>REF: www.unesco.org/water/wwap/case_studies/seine_normandy/</p>	<p><b>Ubicación:</b> situada al Noreste de Francia.  <b>Area:</b> 97000 km<sup>2</sup>  <b>Precipitación anual promedio:</b> 750 mm  <b>Población:</b> densidad demográfica media de 900 hab/km<sup>2</sup>  <b>Uso de suelo:</b> La agricultura intensiva se ha desarrollado en el 60% de la superficie de la cuenca, produciendo cerca del 80% del azúcar francés, el 75% de las oleaginosas, el 49% de proteaginosas y el 27 % de los cereales para la fabricación del pan.</p>	<p>La alta densidad demográfica media crea una enorme presión humana en los ríos, naturalmente caracterizados por sus caudales moderados (escorrentía anual media de unos 200 milímetros). El mismo ecosistema sustenta igualmente el 40% de la producción industrial nacional, el 60% de la industria del automóvil y el 37% de las refinerías de petróleo del país. La agricultura intensiva se ha desarrollado en el 60% de la superficie de la cuenca Una consecuencia directa de toda esta situación es que más de la mitad del caudal real del río puede estar compuesto por aguas residuales.</p>	<p>Agencia del Agua Sena-Normandía responsable de implantar un sistema de gestión integral del agua a nivel de la cuenca hidrográfica que resulte sostenible, enmarcado por leyes nacionales acorde con las directivas europeas y que implique:  - asegurar la seguridad del abastecimiento del agua;  - proteger el patrimonio natural del medio ambiente del río;  -reducir la contaminación accidental;  - mejorar la eficacia de las obras hidráulicas.</p>	<p>Planificación hidrológica usando el Plan Maestro de Cuencas (SDAGE). Otros planes (los SAGE), a nivel local en las cuencas secundarias, vienen a reforzar el plan maestro.  Las agencias del agua han puesto en común sus bases de datos sobre el agua con las de la Red Nacional de Aguas (RNDE) y han desarrollado Sistemas de Evaluación de la Calidad (SEQ).  La Agencia Sena-Normandía realizan un informe de valoración anual basado en indicadores de rendimiento. Éste incluye el monitoreo de 45 indicadores de varios tipos, de acuerdo con los objetivos específicos del SDAGE.</p>

**Tabla A2.1.2 (Continuación): Resumen de la Revisión Bibliográfica de la Experiencia Internacional en manejo de Cuencas.**

Cuenca	Condiciones Ambientales e Hidrológicas	Principales Problemas en el Manejo de Aguas	Instituciones Responsables de la Cuenca	Medidas Implementadas
<p><b>Cuenca del Río Arno, Italia</b></p> <p>REF: Www.life.cpr.it/homeing.html</p>	<p><b>Ubicación:</b> se encuentra en la región de Toscana, el río se origina en la montaña Falterona ( a 1654 msnm.), situada en la frontera norte de Casentino.</p> <p><b>Area:</b> 8228 km<sup>2</sup></p> <p><b>Precipitación anual promedio:</b> 631 mm</p> <p><b>Población:</b> en promedio 154 hab/km<sup>2</sup></p> <p><b>Uso de suelo:</b> Vegetación baja (arbustos): 38 %, Siembra: 35 %, Cultivos especiales (olivos y viñas): 11 %, Pastoreo: 7,5%, Áreas Urbanas : 4.3 %,Bosques: 4.2 %</p>	<p>Sustancias orgánicas: principalmente de aguas residuales urbanas, ganadería y la industria del papel.</p> <p>Fosfatos y coliformes de aguas residuales urbanas y de la ganadería</p> <p>Detergentes de aguas residuales municipales, de lavaderos y de la industria de textil.</p> <p>Metales pesados sobre todo del área textil e industrias</p> <p>Causas naturales: períodos de bajo caudal, favorecen la eutrofización del río, y la contaminación difusa arrastra sustancias nocivas usadas en agricultura.</p> <p>La contaminación por sustancias orgánicas es lejos la más importante.</p>	<p>El rol del Estado Italiano es el de legislar de acuerdo a la unión europea.</p> <p>El control de la polución y el monitoreo en Italia están a cargo de las Agencias Ambientales Regionales, siguiendo las directivas de la unión europea.</p> <p>Las Autoridades Locales tienen a su cargo el manejo y organización de los servicios de aguas</p>	<p>Sistema Integrado</p> <p>Se utilizan dos modelos de calidad del agua: el WODA, modelo químico y el QUALè modelo ecológico.</p> <p>Debe ser posible representar los resultados de las simulaciones en SIG, permitiendo la espacialización y comparación de los resultados.</p>
<p><b>Río Olifants, Sudáfrica</b></p> <p>REF: www_dwaf.pww.gov.za/IWQS/reports/slopes_olifants/sed_olif.htm www.cgiar.org/iwmi/benchmark/olifants.htm</p>	<p><b>Ubicación:</b> se extiende desde el sur de Witbank, en Mpumalanga hasta Phalaborwa en la provincia Northern, a través del parque nacional Kruger.</p> <p><b>Area:</b> 54570 km<sup>2</sup></p> <p><b>Precipitación anual promedio:</b> 631 mm</p> <p><b>Población:</b> cerca de 3.4 millones de habitantes, la mayoría habita zonas rurales carentes de sistemas de saneamiento y agua potable.</p> <p><b>Uso de suelo:</b> Agrícola (100000) ha. Con cultivos de maíz, algodón, vegetales, cítricos y tabaco. Forestal 71500 ha. Parque Nacional Kruger: 20000 ha.</p>	<p>La calidad del agua será de gran importancia en el futuro, especialmente debido a la existencia de contaminantes provenientes de minas cerradas.</p> <p>La posible expansión de la irrigación a pequeña escala afectará la disponibilidad del recurso para otros sectores.</p> <p>El sobrepastoreo en las regiones altas y bajas está causando altas cargas de sedimentos, agravado por el tipo de suelo altamente erosionable encontrado en esta zona.</p>	<p>DWAF (Department of Water Affairs and Forestry): responsable del manejo de las aguas.</p> <p>Water Users Associations: responsables del manejo local de la infraestructura y control del agua de riego.</p> <p>Gobernaciones locales: responsables del aprovisionamiento doméstico</p>	<p>Desarrollo de una metodología cualitativa basada SIG (sistemas de información geográfica) que combina los factores que afectan la disponibilidad potencial de sedimentos (cubierta y erosionabilidad del suelo) con aquellos que afectan el arrastre potencial de sedimentos (pendiente, cantidad y erosividad de las precipitaciones), identificándose áreas de alto, medio o bajo potencial de producción de sedimentos.</p>
<p><b>Cuenca del Río Chao Phraya, Tailandia</b></p> <p>REF: www.unesco.org/water/wwap/case_studies/chao_phraya/index.shtml</p>	<p><b>Ubicación:</b> abarca la parte sur del centro de Tailandia</p> <p><b>Area:</b> 159283 km<sup>2</sup></p> <p><b>Precipitación anual promedio:</b> Varía de un mínimo de 1000 mm en la parte occidental hasta 2000 mm al este, en el delta.</p> <p><b>Población:</b> La población total es de 23 millones de habitantes. Aproximadamente el 68 % de la población total de la cuenca es rural.</p> <p><b>Uso de suelo:</b> Más del 90 % de la superficie de la cuenca se utiliza para usos agrícolas o está cubierta por bosques. El uso urbano entre un 1 a 3 % en todas las sub-cuencas</p>	<p>La contaminación de las aguas superficiales es causada por los vertidos de desechos agrícolas (pesticidas, fertilizantes, efluentes de granjas de cerdos, etc.), salidas de alcantarillado (contaminación orgánica y bacteriana) y vertidos industriales (establecimientos comerciales y fábricas localizadas en las orillas del río).</p> <p>Los principales componentes químicos que afectan la calidad de las aguas subterráneas son el sodio y el cloruro. Las concentraciones de nitrato permanecen casi invariablemente bajas en todas las cuencas.</p>	<p>Las entidades involucradas en este estudio son las siguientes:</p> <p>El Instituto Tailandés de Medio Ambiente (TEI)</p> <p>El Departamento de Control de Contaminación del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente</p> <p>El Consejo Nacional de Medio Ambiente (NEB)</p> <p>El Departamento de Control de Contaminación (PCD) y</p> <p>El Ministerio de Salud Pública (MOPH)</p>	<p>La conservación de la integridad del río se basa en el mantenimiento de una corriente mínima de descarga para impedir la intrusión salina en la parte inferior del río, reducir al mínimo los niveles de agentes contaminantes y mantener niveles de oxígeno disuelto mínimos para asegurar que la calidad del ecosistema acuático no caiga por debajo de niveles aceptables. La mayor parte de los vertidos de aguas residuales de origen doméstico e industrial está cada vez más controlada y reducida por la implantación de medidas de separación de vertidos por parte de varias agencias gubernamentales de regulación.</p>
<p><b>Cuenca Ruhuna-Walawe, Sri Lanka</b></p> <p>REF: www.cgiar.org/iwmi/benchmark/ruhuna.htm</p>	<p><b>Ubicación:</b> Sur de Sri Lanka</p> <p><b>Area:</b> 2442km<sup>2</sup></p> <p><b>Precipitación anual promedio:</b> 2.050 mm.</p> <p><b>Población:</b> aproximadamente 300000 mil habitantes, la mayoría población rural.</p> <p><b>Uso de suelo:</b> los mayores tipos de usos de suelos en la cuenca son: bosques (29%), tierras de pastoreo (26%), cultivos temporales (23%), forraje (10%), el resto se reparte entre usos urbanos y parques (12%).</p>	<p>La recarga de acuífero, la principal fuente de agua potabilizable en la cuenca, se ha visto afectada por las obras de canalización.</p> <p>El desarrollo de la actividad agrícola en el Sur de Sri Lanka ha tenido un negativo impacto en el ambiente.</p> <p>Un importante número de lagos han sido severamente afectados por la reducción de los flujos de agua, o por incremento del mismo, debido al drenaje de aguas de regadío.</p>	<p>La Mahaweli Authority of Sri Lanka (MASL) es la agencia encargada del manejo de la cuenca.</p> <p>En áreas piloto se han promovido las organizaciones locales de agricultores, encargadas de la mantención de canales de regadío y de la planificación de cultivos.</p>	<p>Existe bastante información disponible en el MASL y en otras agencias de gobierno. El IWMI (International Water Management Institute) ha desarrollado un modelo de balance hídrico para la cuenca.</p> <p>Se cuenta con una espacialización preliminar en SIG que incluye los usos y tipos de suelo, además de la infraestructura básica en la cuenca.</p>

## 2. SISTEMAS DE CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD SUPERFICIAL DE AGUA

### 2.1 Antecedentes

La importancia de contar con información de la calidad de los cursos de agua de un país, estado o ciudad para el eficiente aprovechamiento de este recurso ha llevado a realizar numerosos estudios en cuanto a índices y estimaciones que permitan una interpretación confiable del real estado de los cursos fluviales. La dificultad de adaptar índices generales a las condiciones propias de cada región han llevado a que muchas ciudades adopten versiones propias e individuales para la calificación de la calidad de las aguas. Esta situación es la que se expone en la presente revisión bibliográfica.

El sistema comúnmente usado para la clasificación es a través de índices de calidad, que permiten asignar un valor a la calidad tomando como referencia un parámetro o grupo de parámetros medidos. Tienen la ventaja de ser fáciles de usar y proporcionan una idea rápida e intuitiva de la calidad, si bien son arbitrarios y pueden inducir a error a causa de su reduccionismo. Los índices constituyen una herramienta muy útil para resumir grandes volúmenes de información, permitiendo una rápida interpretación y reconocimiento de las tendencias en la calidad del cuerpo de agua a lo largo del espacio y el tiempo.

Dentro de las principales características, los índices de calidad deben cumplir con los siguientes objetivos:

- Uso de parámetros representativos de los objetivos de calidad y uso, de sencilla y fácil determinación
- Sensibilidad a las variaciones de los parámetros de importancia para los objetivos de calidad y uso
- Capacidad de representar adecuadamente las variaciones en las condiciones reales del curso
- Correlación con otros índices
- Potencialidad de determinación automática mediante el uso de parámetros medibles en tiempo real.
- Factibilidad de reproducción

Con índices complementarios se obtiene una idea más precisa y completa de la calidad.

## 2.2 Ejemplos de Clasificación en el Continente Europeo

### 2.2.1 Criterios de clasificación en España<sup>5</sup>

#### a) Clasificación para consumo humano

Las aguas se clasifican en 4 grupos según su calidad para el consumo humano (tabla A2.2.1). Para hacer esta clasificación se usan 20 parámetros de los que los más importantes son: DQO, DBO<sub>5</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NTK, conductividad, Cl<sup>-</sup>, CN<sup>-</sup>, recuentos microbiológicos y algunos metales (Fe, Cu, Cr).

**Tabla A2.2.1: Clasificación del Agua según su aptitud para el Consumo Humano, España**

A1	Aguas potabilizables con un tratamiento físico simple como filtración rápida y desinfección
A2	Aguas potabilizables con un tratamiento físico-químico normal, como percloración, floculación, decantación, filtración y desinfección.
A3	Potabilizable con un tratamiento adicional a la A2, tales como ozonización o carbón activo.
A4	Aguas no utilizables para el suministro de agua potable, salvo casos excepcionales, y con un tratamiento intensivo.

#### b) ICG ( índice de calidad general)

Integra 23 parámetros de calidad de aguas, de los cuales 9 se denominan básicos y son necesarios en todos los casos, los otros 14 responden al nombre de complementarios y sólo se usan para aquellos períodos en los que se analizan. El procedimiento de cálculo no se encuentra disponible en las fuentes de información analizadas, sólo se sabe que pondera los parámetros siguiendo una metodología desarrollada en los años ochenta en Canadá.

La información obtenida señala que a partir de fórmulas matemáticas que valoran a través de ecuaciones lineales la influencia de cada uno de ellos en el total del índice, se deduce un valor final que se sitúa entre 0 y 100, de forma que la calidad del agua queda descrita según los rangos descritos en la tabla A2.2.2.

---

<sup>5</sup> Ciencias de la Tierra y del medio Ambiente, Contaminación de Ríos y Lagunas.  
<http://www.ceit.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/11Cagu/130RioLa.htm>

**Tabla A2.2.2: Calidad de Agua según el Valor del Índice de Calidad General, España**

Calidad del Agua	ICG
Excelente	Entre 85 y 100
Buena	Entre 75 y 85
Regular	Entre 65 y 75
Deficiente	Entre 50 y 65
Mala	Menor que 50

c) Índice Biótico BMWP (Biological Monitoring Working Party)

Se determina un índice que suele tener valores entre 0 y un máximo indeterminado que, en la práctica, no suele superar el 200. Según el índice se establecen 6 clases de calidad del agua (tabla A2.2.3), las que son representadas mediante un color asignado.

**Tabla A2.2.3: Clasificación de la Calidad de las Aguas según BMWP**

Clase	Valor del índice	Significado	Color asignado
I	>120	Aguas muy limpias, buena calidad	Azul
II	101-120	Aguas no contaminadas o no alteradas de modo sensible. Calidad aceptable	Azul
III	61-100	Evidentes algunos efectos de contaminación	Verde
IV	36-60	Aguas contaminadas. Mala calidad	Amarillo
V	16-35	Aguas muy contaminadas	Naranja
VI	<15	Aguas fuertemente contaminadas	Rojo

d) Modelo SCAF

Determina los distintos tipos de estado ambiental, combinando los índices de diversidad y el índice biótico BMWP. A cada tipo le corresponderá, a su vez, unos usos potenciales (tabla A2.2.4).

Permite hacer estudios de comparación o determinar que impactos negativos sobre el ecosistema pueden estar afectando a la calidad del río.

**Tabla A2.2.4: Clases de Calidad del Agua y Usos Potenciales según Modelo SCAF**

Clase ambiental	Características	Usos potenciales
E1 Ambiente muy duro Color Rojo	Inmadurez extrema Aguas muy contaminadas	Aguas inutilizables (A4) No óptimos para salmónidos y ciprínidos
E2 Ambiente duro Color Marrón	Madurez baja Aguas contaminadas	Potabilizable con tratamiento intensivo (A3) No óptimos para salmónidos y ciprínidos
E3 Ambiente fluctuante Color Amarillo	Madurez media Eutrofización	Potabilizable con tratamiento normal y desinfección (A2) Óptimo para ciprínidos. Riego
E4 Ambiente estable Color Azul	Madurez notable Aguas limpias	Tratamiento físico simple y desinfección (A1), Recreativo, baño Óptimos para salmónidos y ciprínidos
E5 Ambiente maduro Color Verde	Madurez plena y ambiente muy heterogéneo Aguas oligomesotrófica	Todos los usos No óptimos para salmónidos y ciprínidos

e) Índices de diversidad

Indican la riqueza ecológica de diferentes tramos del río, algunos ejemplos:

- Índice de diversidad de Shannon Weaver (H): se basa en la teoría de la información y se mide en bits/individuo. El valor máximo que adquiere en los ríos para las comunidades de invertebrados bénticos es de 4,5. Valores inferiores a 2,4 – 2,5 indican que el sistema está sometido a tensión (vertidos, dragados, canalizaciones, regulación por embalses, etc.). Es un índice que disminuye mucho en aguas muy contaminadas.
- Índice de diversidad de Simpson-Gini (Y): expresa la probabilidad compuesta de que dos individuos extraídos al azar de una comunidad pertenecen a la misma especie. Si dicha probabilidad es alta, la comunidad es poco diversa.
- Índice de diversidad de McIntosh: trabaja los tamaños de las poblaciones de los distinto taxones, indicando la dominancia de alguno de ellos
- Índice de Berger Parker (B): Mide dominancia del taxón más abundante

## 2.2.2 Sistema de evaluación de la calidad de los cursos de agua en Francia<sup>6</sup>

### a) Principios generales

- Características principales:

El sistema es aplicable a todos los tipos de cursos de agua, obteniéndose resultados comparables entre sí. Además, es posible la incorporación de nuevos conocimientos y permite diferentes utilizaciones en función de las necesidades de información (toma de decisiones, definición de acciones). El sistema identifica la naturaleza de la perturbación y evalúa su incidencia sobre el ambiente, sobre su potabilización, etc.

La evaluación de la calidad del curso de agua comprende tres grandes aspectos:

- Las características fisicoquímicas del agua
- Las características físicas (hidromorfología e hidrología)
- Las comunidades biológicas.

Para cada uno de estos tres aspectos se realizan 2 evaluaciones principales: la evaluación de los diferentes componentes de la calidad, llamados alteraciones, criterios o indicadores y la evaluación de la incidencia de la calidad sobre las funciones naturales y sobre los usos antrópicos.

- S.E.Q del agua

El sistema comprende 15 grupos de alteraciones capaces de perturbar las funciones biológicas del curso de agua, es decir, la aptitud del hábitat para permitir la vida acuática y los usos potenciales del Agua (tabla A2.2.5).

---

<sup>6</sup> Les Etudes des Agences de l'eau:

N° 72 les outils d'évaluation de la qualité des cours d'eau

N°64 système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau France, 2000

**Tabla A2.2.5: Grupos de Alteraciones y los Parámetros considerados Obligatorios de medir para la Evaluación según S.E.Q, Francia**

Alteración	Parámetro
Materia orgánica oxidable	OD o DQO o DBO <sub>5</sub> , NKJ o NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Fosfatos	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> o Ptotal
Partículas en suspensión	MES o turbiedad o transparencia
Color	Color
Temperatura	Temperatura
Mineralización	Conductividad
Acidificación	PH
Microorganismos	Coliformes Fecales
Fitoplancton	Clorofila, pigmentos o algas
Microcontaminantes minerales	Hg, Cd
Metales	As, Hg, Cd, Cr, Pb, Zn, Cu, Ni
Pesticidas	Atrazina, Simazina, Lindano, Trifluralina
Microcontaminantes orgánicos	Tetracloroetano, tricloroetileno, tricloroetano

Las alteraciones de calidad son expresadas mediante índices de calidad comprendidos en una escala de 0 a 100, subdividida en 5 clases que, a fin de su representación cartográfica, tienen un color asociado (tabla A2.2.6).

**Tabla A2.2.6: Clases de calidad según el valor del S.E.Q. del agua, Francia**

Índice	Clase		Color
80-100	1 <sup>a</sup>	Muy buena	Azul
60-80	1B	Buena	Verde
40-60	2	Aceptable	Amarillo
20-40	3	Mala	Naranja
0-20	4	Muy mala	Rojo

Las clases potencialidad biológica, potabilización y aptitud para recreación condicionan fuertemente la evolución de los índices y clases de calidad en función de las variaciones de concentración de los diferentes parámetros fisicoquímicos. Otras clases de usos, como riego, acuicultura o bebida animal también son evaluadas (tabla A2.2.7).

El paso de parámetros a índices y clases de calidad se efectúa según cálculos y reglas específicas de calificación, cuyos resultados están tabulados.

El S.E.Q. ofrece las siguientes posibilidades:

- Evaluar la calidad de agua para un amplio rango de contaminantes (alteraciones), con una escala que va de 0, la peor, a 100, la mejor. Las clases e índices de calidad por alteración permiten la eficaz implementación de acciones sobre las fuentes de contaminación de aguas.
- Evaluar la incidencia de la calidad sobre la potencialidad biológica y usos potenciales del agua.
- Comparar esta potencialidad efectiva con la deseada, identificando la o las alteraciones que presentan problemas y definir objetivos de restauración de la calidad para cada alteración involucrada.
- Permitir el seguimiento, por medio de las clases e índices, de la eficacia de las políticas de recuperación implementadas.

- S.E.Q. del medio físico

El sistema de evaluación de la calidad del medio físico del curso de agua involucra un conjunto de elementos fisicoestructurantes del curso de agua, además del régimen hidrológico.

La evaluación de la calidad física del curso de agua se basa en criterios de calidad que evalúan parámetros como anexos fluviales, la estructura de las riberas y la morfología del lecho mineral. Estos criterios son agrupados en 3 grupos: el lecho mayor, la ribera y el lecho mineral. Son igualmente identificados 3 criterios complementarios: hidrología, conectividad y potencialidad de regeneración.

La calidad para cada criterio y grupo está evaluada por un índice que va de una escala de 0 a 100, de similar forma que para calidad de agua.

**Tabla A2.2.7: Clases de calidad y su potencialidad de usos, según sistema de evaluación en Francia**

Clase	Color / Calidad	Vida acuática	Producción de agua potable	Regadío	Recreación y actividades acuáticas	Acuicultura	Consumo animal
	<b>Azul Muy Buena</b>	Sin riesgo de efectos nefastos sobre las especies.	requiere de tratamiento de desinfección	Permitido el riego en todo tipo de suelos, incluso cultivos muy sensibles	Calidad óptima para recreación y deportes acuáticos de contacto directo (natación)	Apta para todas las especies y edades (huevos, alevines, adultos) incluso especies sensibles (salmónidos)	Permitido el consumo de todas las especies, incluso crías, hembras preñadas o amamantando.
<b>1B</b>	<b>Verde Buena</b>	Riesgo de efectos crónicos sobre las especies más sensibles y juveniles	Necesidad de un tratamiento simple	Permitido el riego en todo tipo de suelos, incluso cultivos sensibles.			
<b>2</b>	<b>Amarillo Aceptable</b>	Riesgo de efectos crónicos, posible reducción de la abundancia. Predominio de las especies tolerantes.	Necesidad de un tratamiento clásico	Permitido el riego de cultivos resistentes o de suelos alcalinos o neutros.	De calidad aceptable para actividades recreativas y deportivas. Requiere de supervisión y monitoreo.	Apta para especímenes adultos poco sensibles	Permitido el consumo en animales adultos menos vulnerables (bovinos y ovinos). Puede ser necesaria la supervisión
<b>3</b>	<b>Naranja Mala</b>	Riesgo de efectos letales sobre las especies sensibles, disminución de la abundancia	Necesidad de un tratamiento complejo	Permitido el riego de cultivos muy resistentes o de suelos alcalinos o neutros.	No apta para cualquier actividad deportiva o recreativa	No permitida su utilización directa en acuicultura	Consumo animal No permitido
<b>4</b>	<b>Rojo Muy Mala</b>	Gran riesgo de efectos letales sobre las especies, disminución de la abundancia y variedad	No apta su potabilización	No apta para el riego			

El S.E.Q. del Medio Físico permite:

- Evaluar la calidad física para todo el curso de agua, separadamente, por la morfología del lecho mineral, la ribera y el lecho mayor o por criterios funcionales.
- Evaluar las incidencias directas de la calidad sobre las funciones naturales de los cursos de agua y los usos antrópicos.
- Apreciar los efectos de uno o más parámetros y constituir una herramienta de orientación de programas de acción.

- S.E.Q. Biológico

Se basa en la examinación de diferentes grupos de organismos vegetales o animales.

El sistema está elaborado con el doble objetivo de suministrar convenios para el tratamiento de la información (en la mayoría de los casos, índices basados en invertebrados) y de proveer un cuadro general de desarrollo de métodos complementarios basados en el examen de otros grupos biológicos (peces, vegetales superiores, etc.) o destinados a describir otros nichos biológicos.

El S.E.Q. Biológico permite apreciar la calidad biológica a distintos niveles:

- Globalmente, evaluando la integridad biológica del curso de agua.
- Para cada grupo biológico (vegetales, peces, invertebrados)
- Para cada compartimento físico.

Por tema, fuertemente ligado a problemas de gestión: fenómenos o problemas de desequilibrios biológicos particulares, proliferación de especies, niveles de comunidades sensibles, presencia de flora/fauna resistentes.

Informa igualmente de la incidencia de fenómenos o problemas biológicos sobre los usos potenciales (pesca, deportes náuticos o recreación).

## 2.3 Ejemplo de Clasificación en el Continente Americano

### 2.3.1 Clasificación mediante el Índice de Calidad de Agua de la Fundación Nacional de Sanidad (NSF WQI), U.S.A.

Un índice usado comúnmente es el Water Quality Index (WQI) desarrollado por la National Sanitation Foundation (NSF) en 1970.

El índice incluye 9 parámetros de calidad de agua, los que se presentan en la tabla A2.2.8, junto a su respectivo factor de ponderación:

**Tabla A2.2.8: Parámetros y Factores de Ponderación para el Cálculo del NSF WQI, U.S.A.**

Parámetro	Unidades	Factor de ponderación
Oxígeno disuelto	% saturación	0.17
Coliformes fecales	col/100ml	0.16
PH	-	0.11
DBO <sub>5</sub>	mg/l	0.11
Cambios de Temperatura	° C	0.10
Fosfato total	mg/l	0.10
Nitrato	mg/l	0.10
Turbidez	NTU o ft.	0.08
Sólidos totales	Mg/l	0.07

Después de que los parámetros son medidos y registrados, se procede a estimar el valor Q para cada parámetro, mediante gráficas establecidas. Cada valor Q es multiplicado por el factor de ponderación respectivo, que da una idea de la incidencia de ese parámetro en la calidad del agua. Los nueve resultados son sumados, obteniéndose así el Índice de Calidad de Agua (WQI).

Los rangos de WQI han sido definidos según se indica en la tabla A2.2.9:

**Tabla A2.2.9: Calidad asignada según el valor del WQI, U.S.A.**

Rango	Calidad
90-100	Excelente
70-90	Buena
50-70	Regular
25-50	Mala
0-25	Muy mala

2.3.2 Criterios de calidad de aguas para el estado de Dakota del Norte

En las tablas A2.2.10, A2.2.11 y A2.2.12 se presentan los criterios de clasificación de las aguas superficiales y subterráneas en Dakota del Norte, U.S.A.

**Tabla A2.2.10: Clasificación de los ríos, Dakota del Norte, U.S.A.**

Clasificación	Descripción
Clase I	La calidad de esta clase debe ser apta para la propagación y/o protección de especies nativas y biota acuática y para la natación, navegación y otras actividades recreativas. Disponible sin riesgos para regadío y vida salvaje. Potabilizable para uso municipal después de tratamientos como coagulación, filtración y cloración.
Clase IA	La calidad de esta clase debe permitir los mismos usos que la clase I, excepto que para uso municipal requiere técnicas de tratamiento adicionales suaves.
Clase II	La calidad de esta clase debe permitir los mismos usos que la clase I, pero requiere tratamientos adicionales para su uso municipal.
Clase III	Apta para uso agrícola e industrial ( riego, lavado, enfriado, etc.) De bajos flujos promedio y limitado valor para recreación y vida acuática.

**Tabla A2.2.11: Clasificación de los lagos, Dakota del Norte, U.S.A.**

Clase	Características
1	Pesca de agua fría Aguas capaces de mantener el crecimiento de salmones y biota acuática asociada
2	Pesca de agua fría Aguas capaces de mantener el crecimiento y propagación de especies no salmónidas y biota acuática asociada
3	Pesca de aguas tibias Aguas capaces de mantener el crecimiento y propagación de especies no salmónidas y biota acuática asociada
4	Aguas de pesca estacional
5	Aguas no aptas para la pesca, debido a su alta salinidad

- Pantanos

Estos cuerpos de agua son considerados de propiedad estatal y serán protegidos de acuerdo a la Ley.

**Tabla A2.2.12: Clasificación de las Aguas Subterráneas, Dakota del Norte, U.S.A.**

Clase	Característica
Clase I Groundwater	Concentración de sólidos suspendidos totales Menor a 10000mg/l
Clase II Groundwater	Concentración de sólidos suspendidos totales Mayor a 10000mg/l

### 2.3.3 Índices de calidad para los cuerpos de agua en Montevideo, Uruguay<sup>7</sup>

En el caso de los ríos de Montevideo, se considera imprescindible la aplicación de índices como medio de apreciar, en las mejores condiciones de costo – eficiencia, el lento proceso de recuperación que se espera comience a partir de la eliminación de los vertimientos directos del sistema de saneamiento y ampliación de la cobertura a nuevas zonas (obras del Plan de Saneamiento Urbano), sumado a la eliminación de las descargas no controladas de residuos sólidos.

El estudio revisado pertenece al Informe Ambiental Montevideo XXI, e incluye la evaluación de aplicabilidad de índices de calidad utilizados en Estados Unidos (WQI), Brasil (IQA) y Catalunya (ISQA). Para ello se analizó la representatividad de los parámetros que componen cada índice para las condiciones de los cuerpos de agua en estudio y su capacidad de representar de forma apreciable las variaciones de calidad entre las diferentes estaciones de muestreo y su evolución en el tiempo.

Las mejores correlaciones se obtuvieron aplicando el índice catalán, denominado Índice Simplificado de Calidad de Agua (ISCA). Este índice se aplica a cursos de agua urbanos, y ha demostrado cumplir con las condiciones requeridas para su utilización en los cuerpos de agua de Montevideo.

El ISCA utiliza solamente cinco parámetros, los que tienen en cuenta:

- los aportes de materia orgánica
- material en suspensión de origen orgánico o inorgánico, industrial o urbano
- contenido de oxígeno vinculado a la demanda de consumo y también al contenido de nutrientes que regulan los procesos de depuración.
- contenido de sales inorgánicas como cloruros y sulfatos

Cálculo del Índice Simplificado de la Calidad del Agua (ISQA o ISCA)

$$ISQA = T (A+ B+ C+ D)$$

T se deduce de la temperatura ( t) en °C del agua del río.

---

<sup>7</sup> [www.erres.org.uy/d0701.htm](http://www.erres.org.uy/d0701.htm)

[http://www.gencat.es/aca/cas/aigües\\_superficials/qualitat\\_aigües\\_superficials.htm](http://www.gencat.es/aca/cas/aigües_superficials/qualitat_aigües_superficials.htm)

Valores de 1 a 0,8.

Si  $t \leq 20^\circ \text{C}$

$$T = 1$$

Si  $t > 20^\circ \text{C}$

$$T = 1 - (t - 20) * 0,0125$$

A se deduce de la oxidabilidad al permanganato (a) expresada en mg/l.

Valores de 0 a 30.

Si  $a \leq 10$

$$A = 30 - a$$

Si  $60 > a > 10$

$$A = 21 - (0,35 * a)$$

Si  $a > 60$   $A = 0$

B se deduce a partir de la materia en suspensión (MES) en mg/l.

Valores de 0 a 25.

Si  $\text{MES} \leq 100$

$$B = 25 - (0,15 * \text{MES})$$

Si  $250 > \text{MES} > 100$

$$B = 17 - (0,07 * \text{MES})$$

Si  $\text{MES} > 250$

$$B = 0$$

C se deduce a partir del oxígeno disuelto ( $\text{O}_2$ ) en mg/l.

Valores de 0 a 25.

$C = 2,5 \cdot \text{O}_2 \text{ dis}$

Si  $\text{O}_2 \text{ dis} \geq 10$

$$C = 25$$

D se deduce de la conductividad expresada en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (c) a  $18^\circ \text{C}$ .

Valores de 0 a 20.

Si conductividad  $\leq 4000$

$$D = (3,6 - \log c) * 15,4$$

Si es  $> 4000$

$$D = 0$$

Nota: si la conductividad se ha medido a  $25^\circ \text{C}$ , para convertirla a  $18^\circ \text{C}$  hay que multiplicarla por 0,86.

En función de estos parámetros se establece una clasificación en la que el ISCA varía entre 0 y 100.

Cuanto mayor es el índice, mejor es la calidad del agua. Así pues, un agua para todos los usos debe tener un ISCA superior a 85, y por debajo de 30 no es apta para ningún uso.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el ISCA se considera un índice de calidad adecuado para los cuerpos de agua de Montevideo debido a que:

- Es un índice sencillo, con un bajo número de parámetros de cálculo.
- Se obtiene a partir de cálculos simples
- Presenta muy buena sensibilidad para reflejar las diferentes condiciones de calidad a lo largo de los cursos, de acuerdo a las condiciones de uso esperados
- Presenta muy buena sensibilidad para reflejar las diferencias entre las condiciones calidad de invierno y verano.

#### 2.3.4 Criterio de clasificación mediante el índice de calidad del agua (ICA), México<sup>8</sup>

##### a) Estimación del índice de calidad

La evaluación numérica del ICA, con técnicas multiplicativas y ponderadas con la asignación de pesos específicos, se debe a Brown et al. (1973), obteniéndose a partir de una media geométrica:

$$ICA = \prod_{i=1}^n [Q_i^{W_i}] \quad (A2-1)$$

Donde  $W_i$  son los pesos específicos asignados a cada parámetro ( $i$ ), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.  $Q_i$  es la calidad del parámetro ( $i$ ), en función de su concentración y cuya calificación oscila entre 0 y 100,  $\Pi$  representa la operación multiplicativa de las variables  $Q$  elevadas a la potencia  $W$ .

Finalmente el ICA que arroja la ecuación (A2-1) es un número entre 0 y 100 que califica la calidad, permitiendo estimar el nivel de contaminación.

La tabla A2.2.13, muestra las unidades de los parámetros y los valores de los pesos específicos  $W_i$  considerados en la fórmula anterior.

---

<sup>8</sup> Índices de Calidad del Agua (ICA), Forma de Estimarlos y Aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala. Luis F. León Vizcaíno, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México.

**Tabla A2.2.13: Pesos Específicos de los Parámetros Usados para el Cálculo del ICA, México**

Parámetro	Unidades	Valor de W
Oxígeno Disuelto	(OD-% Sat.)	0.103
Demanda Bioquímica Oxígeno	(DBO-mg/l)	0.096
Demanda Química de Oxígeno	(DQO-mg/l)	0.053
Grado Acidez/Alcalinidad	(pH -)	0.063
Sólidos Suspendidos	(SST-mg/l)	0.033
Coliformes Totales	(ColiT-#/100 ml)	0.083
Coliformes Fecales	(ColiF-#/100 ml)	0.143
Nitratos	(NO3-mg/l)	0.053
Amonios	(NH3-mg/l)	0.043
Fosfatos	(PO4-mg/l)	0.073
Fenoles	(Fenol-µg/l)	0.033
Diferencia Temperatura	(DT-°C)	0.043
Alcalinidad como CaCO <sub>3</sub>	(AlcT-mg/l)	0.055
Dureza como CaCO <sub>3</sub>	(DurT-mg/l)	0.058
Cloruros	(Clor-mg/l)	0.068

b) Evaluación utilizando el ICA

Asociado al valor numérico del ICA se definen 6 rangos de estado de calidad del agua: (E) Excelente; (A) Aceptable; (LC) Levemente Contaminada; (C) Contaminada; (FC) Fuertemente Contaminada y (EC) Excesivamente Contaminada. En función de esta clasificación se establecieron los criterios que se presentan en la tabla A2.2.14 y tabla A2.2.15, dependiendo del uso al que se destina el agua indicándose las medidas o límites aconsejables.

**Tabla A2.2.14: Clasificación según el Valor del ICA, para el Uso como Agua Potable, México**

Clasificación	Rango	Requerimiento
E	90-100	No requiere purificación para consumo.
A	80-90	Purificación menor requerida.
LC	70-80	Dudoso su consumo sin purificación.
C	50-70	Tratamiento potabilizador necesario.
FC	40-50	Dudosa para consumo.
EC	0-40	Inaceptable para consumo.

**Tabla A2.2.15: Clasificación según el ICA, para el Uso Agrícola, México**

Clasificación	Rango	Requerimiento
E	90-100	No requiere purificación para riego.
A	70-90	Purificación menor para cultivos que requieran de alta calidad de agua.
LC	50-70	Utilizable en mayoría de cultivos.
C	30-50	Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos.
FC	20-30	Uso solo en cultivos muy resistentes.
EC	0-20	Inaceptable para riego.

### 3. METODOLOGIA PARA DETERMINACION DE CALIDAD OBJETIVO

En esta sección se informa de las metodologías definidas en otros países para definir la calidad objetivo de aguas superficiales. Por razones prácticas que se orientan a no entregar exceso de información de similares características se describe en detalle la metodología aplicada en Canadá, país que tiene una especial preocupación por temas relacionados con la calidad de aguas superficiales, ríos o lagos. Otros países han aplicado la misma metodología con ciertos matices propios de las realidades particulares que tiene cada cuenca en el mundo.

#### 3.1 Metodología Canadiense para Definir la Calidad Objetivo

##### 3.1.1 Definiciones y siglas

En primer lugar cabe hacer notar que el término calidad objetivo corresponde a la sigla en inglés de WQO (Water Quality Objective) que acepta dos situaciones distintas, que se anotan en las referencias bibliográficas como PeWQO y FWQO correspondientes a calidades objetivos preliminares y definitivas respectivamente, cuyo procedimientos de determinación siguen ciertas pautas comunes en distintos países.

En Canadá las autoridades nacionales (o federales en EE.UU.) establecen los principios y disposiciones generales que deberán ser consideradas en la regulación del recurso agua en los distintos estados. Estas instrucciones se presentan en los denominados WQG, guías de Calidad de Aguas preparados por el Consejo de Ministros del Ambiente. Cada Estado, por su parte, elabora sus orientaciones básicas a través de un documento que se conoce como los WQC, criterios de calidad de agua. Ambos documentos sirven de fundamento al desarrollo de los WQO's.

En particular se entiende que los objetivos de calidad de agua deben estar definidos mediante herramientas de base científica, aceptando que exista participación de la comunidad para fijar orientaciones rectoras del tema. Estas herramientas describen las condiciones y características que los tomadores de decisión deben considerar como fundamento de las acciones que se implementen para proteger los usos seleccionados del agua dulce en las cuencas correspondientes.

Los WQO's corresponden a valores numéricos de parámetros o declaraciones narrativas de aspectos esenciales de la calidad del agua, cuyo sentido es proteger las características más sensibles del ecosistema o de los usos a los cuales se destina el recurso. Estos WQO's no tienen propiamente un fundamento legal pese a estar explícitamente reconocidos en las políticas públicas, de donde no pueden ejercerse acciones de refuerzo directo. Sin embargo, las descargas de contaminantes están reguladas y pueden ser sometidas a los ajustes que la autoridad pública considere necesarios para proteger el agua. El uso más frecuente de los WQO's es en el otorgamiento de permisos, evaluación ambiental de proyectos y planificación regional.

Los WQO's se desarrollan para conservar y proteger los usos reconocidos del cuerpo de agua tales como:

- Agua cruda requerida para potabilización
- Recreación y Estética
- Pesca deportiva
- Vida acuática y migración de especies
- Riego y usos agropecuarios
- Requerimientos de agua para industrias

Cabe destacar que la política federal identifica las aplicaciones de los WQO's, por ejemplo en la evaluación de acciones sobre el curso de agua, en la regulación y generación de estándares de calidad, en las medidas de protección de ecosistemas, el control de sustancias tóxicas, etc. En particular se reconoce la necesidad de fijar zonas de dilución inicial (IDZ, en su sigla inglesa), donde se produzca la mezcla de las descargas con el cuerpo de agua.

### 3.1.2 Procedimiento para definir WQO's<sup>9</sup>

El procedimiento que existe en Canadá es el resultado de muchos años de estudio del agua, tanto en su parte hidrológica como en sus características físicas, químicas y biológicas, de tal modo que la información soportante de cada tema es amplísima, lo que no se presenta en esta sección y puede ser consultado en las fuentes originales. A continuación se presenta una breve reseña del método, con sus pasos fundamentales adaptado a nuestra realidad, lo que evita exceso de explicaciones. Para no usar siglas en inglés se opta por definir en cada caso un término en castellano.

---

<sup>9</sup> <http://wlapwww.gov.bc.ca>

Paso 1: Analizar si la cuenca está bajo algún sistema de protección. Si la respuesta es positiva, la calidad objetivo del agua (COA) corresponderá al nivel basal que esté registrado históricamente en la cuenca. En tal sentido se entiende que se trata de cuencas con aguas prístinas, sin intervención antrópica y normalmente asimilables a parques nacionales o reservas ecológicas. En caso de respuesta negativa continua el proceso de análisis en el paso 2.

Paso 2: Identificar los usos prioritarios o asignados al agua en la cuenca. Para este efecto se hace mención a las decisiones de la autoridad pública, a los intereses de la comunidad local o a otras consideraciones de planificación del recurso. Con estos usos se elabora una lista que servirá de base al resto del estudio, por tramos, secciones o subcuencas.

Paso 3: Establecer los valores que deberían tener los parámetros principales de la calidad del agua según las normas vigentes para los usos definidos en la lista. Este paso envuelve dos etapas: la primera es seleccionar parámetros principales y la segunda consiste en la asignación de valores normados o estimados límites. Son parámetros principales aquellos que tienen directa relación con el uso de la cuenca o con características de la intervención antrópica, y asimismo se incluyen los que se relacionan con la calidad natural cuando se estiman limitantes de los usos.

Paso 4: Con la lista de parámetros y su límites establecidos se procede a comparar estos valores con los que se consideran representativos de la calidad natural del agua en la cuenca. Si el valor de la lista difiere del registro natural, se adopta como COA preliminar (COAP) el nivel menos exigente. Como este procedimiento requiere conocer el nivel natural de la calidad de agua, se han ilustrado diversos criterios para identificar esta situación. En primer lugar se estudia la historia de la cuenca, tratando de identificar desde cuando es la intervención antrópica y si existen registros de mediciones anteriores. En la mayoría de las cuencas se ha logrado observar que estos registros no existen. En tal caso se recomiendan dos alternativas sucesivas: primero, ver si hay datos de cabecera en el río analizado sin intervención antrópica y, si esto no es así, se opta por definir un nivel natural en base a información de cuencas aledañas o similares. Si la intervención antrópica es evidente puede obtenerse en forma rápida una estimación de efecto.

Paso 5: Con el valor de los COAP's se procede a realizar un análisis y evaluación con mayor profundidad. En tal caso existen diversas metodologías para corregir los valores logrados. Entre ellas destacamos, por estar incorporada en el instructivo presidencial, la corrección de límites por efecto de la dureza del agua. Como bien se conoce a mayor dureza, menor biodisponibilidad de metales esenciales, aspecto que permite modificar los límites exigidos en las normas. Este procedimiento es parte del método denominado WER (Water effect ratio), cuyo principio establece que los límites de ciertos parámetros pueden

verse modificados atendiendo a condiciones locales del agua, entre ellas la dureza, aspecto principal, el pH, la temperatura, etc. Este método rige en especial para la determinación de COA 's en zonas del curso de agua que estén destinadas a usos in-situ, análisis que se complementa con el uso de bioensayos para establecer los efectos que ciertas sustancias tienen sobre la vida acuática. En muchos casos se ha observado que existen grandes diferencias de límites tolerables por las especies de un sitio a otro, lo que conduce a recalcular los COA's ya definidos (Recalculation procedure). Este último, paso permite llegar a establecer los COA finales o recomendados (COAF).

### 3.2 Otras Metodologías para Definir la Calidad Objetivo<sup>10</sup>

Como se señaló anteriormente, gran parte de las metodologías para definir la calidad objetivo tiene la misma base que la de Canadá, de tal modo que no se estimó necesario incluir los detalles de su planteamiento. Sin embargo, cabe referirse a los importantes esfuerzos que se realizan en otros países respecto de este tema. Como ejemplo ilustrativo a continuación se presenta el caso de Australia, haciendo énfasis en los principios que orientan la definición de calidades objetivo del agua.

En octubre del 2000, el gobierno australiano anunció el Plan Nacional para la Calidad del Agua y la Salinidad (NAP), con un presupuesto de 700 millones de dólares destinados al estudio de 21 cuencas prioritarias en siete años.

Estos planes son la guía fundamental para orientar el manejo y definición de la calidad de agua en las cuencas. Con un procedimiento similar al de Canadá, se fijan los objetivos perseguidos para la calidad de agua (en este caso WQT, Water Quality Targets) incluyendo consideraciones políticas y comunitarias.

Los pasos propuestos en las guías señaladas son análogos a los anteriormente descritos, con el agregado que se incorporan los usos culturales o espirituales del agua, lo que hemos denominado usos ancestrales. Sin embargo, se hace especial referencia que en este caso no es posible fijar límites de calidad de agua y que, para su proposición, debe tratarse directamente con la comunidad o grupos de interés local.

La metodología define que los valores ambientales representan la expresión cuantitativa de los intereses de la sociedad en general, y de la comunidad en particular. En

---

<sup>10</sup> <http://www.ea.gov.au/water/quality/targets>

definitiva están guiados a proteger lo que la comunidad estima conveniente a sus intereses o visiones de la realidad. En tal sentido se recomienda que los objetivos de calidad tengan presente lo siguiente:

- Soporte de la comunidad local y/o grupos de interés
- Consistencia con usos del recurso en la cuenca
- Necesidades de comunidades aguas abajo
- Coherencia con el carácter solidario del agua

Los objetivos de calidad (WQT's) son definidos de tal modo que cumplan lo siguiente:

- Coherentes con la buena calidad ambiental de la cuenca
- Compatibles con exigencias ecosistémicas
- Mensurables y dependientes del tiempo
- Relacionados con las regulaciones existentes
- Proveen un foco a la acción y las políticas
- Basados en información científica, de tendencias y de la mejor calidad posible

Se recomienda que los objetivos de calidad correspondan a parámetros físicos, químicos y biológicos del sistema acuático, reconociendo que son indicadores para el manejo de la calidad del agua en la cuenca, que será respaldada por un eficiente sistema de monitoreo.

## 4. TALLER DE TRABAJO

### 4.1 Experiencia Internacional

Dentro de la actividad de revisión de la experiencia internacional, se organizó un taller de trabajo de carácter restringido, el cual contó con la participación de un especialista extranjero, el Dr. Pedro Restrepo, quien fue invitado especialmente para la ocasión.

Los objetivos planteados para el taller fueron los siguientes:

- Análisis de antecedentes que reflejan la experiencia internacional en sistemas de gestión y de clasificación de la calidad de aguas continentales superficiales
- Análisis de casos de especial interés por sus similitudes administrativas, hidrológicas o biológicas con nuestros sistemas.

Durante la primera parte del Taller, se presentaron aspectos relevantes de la revisión bibliográfica, los cuales aparecen descritos en los capítulos previos de esta sección. Específicamente los participantes del Taller pudieron conocer lo siguiente:

- Cuadro de comparación de redes de control en países europeos
- Experiencia española en redes de control
- Calidad de agua en la cuenca del río Sacramento (California, EEUU)
- Calidad de agua en el río Sena, Francia
- Calidad de agua del río Arno, Italia
- Experiencia internacional en Índices de Calidad de Agua

### 4.2 Análisis de Caso

En la segunda parte del Taller, el Sr. Restrepo hizo una presentación de un caso específico, que es el río Colorado en EEUU.

El esquema estadounidense considera tres cuerpos legales:

- Las leyes y actas del Congreso
- Las normas de la EPA, que obligan a todos los estados

- Las regulaciones y actas propias del estado de Colorado

En los párrafos siguientes, se presentan los aspectos más relevantes de la presentación del Sr. Restrepo, la cual contiene algunos conceptos de interés para este estudio.

a) Definiciones

Es interesante destacar algunas definiciones propias del estado de Colorado:

- *Estándar agudo*
  - ❖ Nivel que no será excedido por la concentración en una muestra única, o en el promedio de todas las muestras recolectadas durante un día.
  - ❖ En ciertas tablas de estándares, significa un valor igual a la mitad del LC-50 de 96 horas que protege el 95% de la población de un género de efectos letales. Este estándar se implementa en combinación con una duración y frecuencias de recurrencia seleccionadas.
- *Estándar crónico*
  - ❖ El valor que no será excedido por la concentración ya sea de una muestra única, o del promedio calculado durante un período de 30 días.
- *Biota de Agua Fría*
  - ❖ Vida acuática, incluyendo trucha, normalmente encontrada en aguas donde la temperatura de verano no excede con frecuencia los 20° C.
- *Biota de agua templada*
  - ❖ Significa vida acuática normalmente encontrada en aguas donde la temperatura de verano excede con frecuencia los 20°C
- *Humedales compensatorios*
  - ❖ Humedales construidos para mitigar el impacto adverso a otros humedales.
- *Humedales construidos*

- ❖ Aquellos intencionalmente diseñados, contruidos y operados para el propósito primario de tratamiento de aguas de lluvia o residuales. No son aguas del Estado ya que son contruidos en sitios que no tienen humedales o aguas superficiales o son contruidos en humedales existentes con la debida autorización.
- *Humedales creados*
  - ❖ Son aquellos humedales que no son compensatorios, pero no existirían sin la intervención humana, tales como aquellos creados inadvertidamente como resultado de actividades mineras, canalización de escorrentía de carreteras, etc.
- *Humedales tributarios*
  - ❖ Humedales que son fuentes de aguas superficiales, o humedales en la planicie de inundación que están hidrológicamente conectados con aguas superficiales ya sea a través de flujos superficiales o subterráneos.
- *Metales disueltos*
  - ❖ La porción de una muestra de agua y sedimento suspendido que pasa a través de un filtro de membrana de 0,4 ó 0,45 micrones. Puede incluir partículas coloidales en suspensión muy pequeñas.
- *LC-50*
  - ❖ La concentración de un parámetro que es letal al 50% de cierto organismo durante un período de tiempo definido.
- *Salinidad*
  - ❖ Sólidos totales disueltos (TDS).

- Estándar
  - ❖ Significa una narrativa y/o restricción numérica aplicada a las aguas superficiales del estado para proteger uno o más usos beneficiosos de tales aguas.
  
- *Zonas de dilución*
  - ❖ El área de un cuerpo de agua, designado caso por caso, que es contiguo a una fuente puntual, y en el cual ciertos estándares no aplican.
  
- b) Consideraciones en asignar clasificaciones
  - ❖ Están dirigidas a la obtención de las metas de calidad de agua siguiendo las actas federales y estatales.
  - ❖ Es política del Estado la de prevenir la degradación de la calidad de las aguas que pueda interferir con los usos actuales.
  - ❖ Las clasificaciones aguas arriba no pueden poner en peligro las clasificaciones aguas abajo y los usos actuales del agua.
  - ❖ Las clasificaciones deben proteger todos los usos y clasificaciones actuales, a menos que se determine que la rebaja del nivel de la norma (por ejemplo, aumento de la concentración de un contaminante) sea justificable después de una audiencia pública.
  - ❖ Las clasificaciones deben ser para la mejor calidad de agua alcanzable. El valor alcanzable debe juzgarse en un horizonte de tiempo de 20 años por medio de técnicas de control que, después de audiencias públicas, la comisión determine que sean ambiental, económica y socialmente aceptables.
  - ❖ Como mínimo, se considera que las metas de uso son alcanzables si pueden ser obtenidas por medio de la imposición de límites de efluentes requeridos bajo el Acta Federal para fuentes puntuales, o bajo prácticas de manejo razonable y económicamente efectivas para fuentes no puntuales, de acuerdo a las regulaciones en efecto.
  - ❖ Las características físicas, químicas y biológicas son áreas válidas de interés que pueden ser tomadas en consideración en el proceso de clasificación.

c) Actualización de las clasificaciones

- *Mejora de la clasificación*

- ❖ El estado mantendrá clasificaciones que reflejen el uso presente del agua. Si la clasificación existente especifica menos usos de agua que aquellos que realmente existen, la Comisión actualizará el uso del agua para reflejar todos los usos.

- *Desmejora de la clasificación*

- ❖ Como mínimo, el estado mantendrá la clasificación designada, a menos que se demuestre que la clasificación no esté siendo alcanzada o no podrá ser alcanzada dentro de los próximos 20 años. Dicha falla en alcanzar la meta puede ser debida a uno o más factores.

d) Factores para desmejorar la clasificación

- ❖ Las concentraciones de contaminantes naturales no permiten que se pueda llegar a la meta original

- ❖ Las condiciones naturales de caudales bajos, efímeros o intermitentes no permiten que se llegue a la meta, a menos que dichas condiciones puedan ser remediadas por descargas de agua sin violar los reglamentos de conservación de agua del estado.

- ❖ Condiciones antropogénicas o fuentes de contaminación impiden que se llegue a la meta dentro de 20 años, o causarían más daño ambiental que si se dejan en su sitio.

- ❖ Presas, diques u otras modificaciones hidrológico/hidráulicos impiden llegar a la meta y no es factible restaurar el cuerpo de agua a su condición original u operar tal obra en una forma que pudiera llevar a la consecución de la meta.

- ❖ Condiciones físicas relacionadas con las condiciones naturales del cuerpo de agua, tales como la falta de sustrato adecuado, cubierta, caudal, profundidad, etc. no relacionados con la calidad de agua, impiden que se pueda obtener la meta de protección de vida acuática.

- ❖ Controles más severos que los de las normas federales resultarían en amplios impactos económicos y sociales.

- ❖ Prácticas agrícolas que son consideradas como satisfactorias por la comunidad.

e) Segmentación

- ❖ Con el propósito de adoptar clasificaciones específicas y estándares de calidad de agua, los cuerpos de agua serán identificados de acuerdo a la cuenca y/o subcuencas y segmentos específicos.
- ❖ Dichos segmentos constituyen tramos de la vía principal de un río, un tributario específico, un lago o embalse, o un grupo de cuerpos de agua generalmente definidos dentro de la cuenca (por ejemplo, un segmento específico del cauce principal y sus tributarios).
- ❖ Los segmentos estarán delineados de acuerdo con los puntos en los cuales el uso, características físicas o de calidad de agua cambian significativamente, lo que requiera un cambio en la clasificación o estándares de calidad de agua. En muchos casos, dichos puntos de transición pueden ser específicamente identificados por medio de datos disponibles de calidad de agua. En otros casos, la definición de segmentos estará basada en el mejor criterio de donde hay cambios que ocurren de acuerdo con datos de mediciones.

f) Clasificación de usos del agua en Colorado

- *Recreación Clase 1*

- ❖ Contacto primario: Estas aguas superficiales son adecuadas o se quiere hacerlas adecuadas para actividades recreacionales en el agua o en la superficie cuando la ingestión de pequeñas cantidades de agua es probable. Tales aguas incluyen, pero no están limitadas, a aquellas utilizadas para nadar, navegación en balsa, kayak, neumáticos, windsurf, o esquí acuático.
- ❖ Dichas aguas serán clasificadas 1a o 1b, a no ser que un análisis de metas logrables demuestre que no hay un potencial razonable para usos de contacto primario durante los próximos 20 años.
- ❖ Clase 1a. Contacto primario existente
- ❖ Clase 1b. Contacto primario potencial.

- **Recreación Clase 2**
  - ❖ **Contacto Secundario:** aquellas aguas que no son adecuadas o serán adecuadas para recreación del tipo contacto primario, pero son adecuadas, o serán adecuadas para usos recreacionales no incluidos en la Clase 1, tales como vadeo de ríos, pesca y otras actividades a orillas de ríos y lagos.
  
- *Agricultura*
  - ❖ Aguas adecuadas o potencialmente adecuadas para irrigación de cultivos y que no sean dañinas para el ganado.
  
- *Vida acuática Clase 1*
  - ❖ **Vida acuática-agua fría.** Aguas que son capaces de sostener o podrían sostener una amplia variedad de biota acuática fría, incluyendo especies sensibles. Las aguas son consideradas en esta categoría cuando el habitat físico, los niveles o caudales del agua y las condiciones de calidad no resultan en restricciones a la abundancia y diversidad de especies.
  
- *Vida acuática Clase 1*
  - ❖ **Agua templada.** Igual a la de agua fría.
  
- *Vida acuática Clase 2*
  - ❖ **Aguas frías y templadas.** Todas las demás.
  
- *Suministro de agua de uso doméstico*
  - ❖ **Aguas adecuadas o potencialmente adecuadas para suministro de agua potable.** Después de recibir tratamiento estándar (coagulación, sedimentación, filtración y desinfección con cloro o equivalente), dichas aguas cumplen con las normas del estado de Colorado para agua potable.

- *Humedales*
  - ❖ No se aplica a los humedales construidos.
  - ❖ Los humedales compensatorios tendrán, como mínimo, la clasificación del segmento donde están ubicados.
  - ❖ Los humedales creados no serán originalmente clasificados.
  - ❖ Los humedales tributarios tendrán básicamente la clasificación del segmento del cual forman parte.
  
- g) Zonas de dilución
  - *Zona física de dilución*
    - ❖ La porción de un cuerpo de agua, rodeando o aguas abajo de una fuente puntual de descarga, donde los constituyentes de la descarga no están uniformemente dispersados en las aguas receptoras.
  
  - *Zona de excedencia*
    - ❖ Aquella porción de la zona física de dilución dentro de la cual un estándar numérico de calidad de agua no es cumplido durante condiciones críticas. La zona de excedencia puede ser diferente para distintos estándares numéricos en un mismo sitio.
  
  - *Zona regulatoria de dilución*
    - ❖ El tamaño máximo permitido para una zona de excedencia en un sitio dado. Pueden ser agudas o crónicas, dependiendo de los estándares correspondientes.
  
  - *Factores en consideración para la definición de zonas regulatorias (ríos)*
    - ❖ El tamaño de la zona crónica de dilución no será más de 6 veces el ancho del cauce.
    - ❖ Cuando el tamaño de la zona física de dilución excede el tamaño de la zona crónica de dilución, el tamaño de la zona crítica de dilución estará entre el 10% y el 25% del tamaño de la zona crónica de dilución.

- ❖ La suma total de las áreas de las zonas regulatorias crónicas de dilución para descargas puntuales en un tramo del río será no mayor que el 10% del área total del río.
- *Factores en consideración para la definición de zonas regulatorias (lagos)*
  - ❖ El tamaño de la zona regulatoria crónica de dilución será no mayor que el 3% del área promedio estacional Inter-anual o mensual. Este límite puede ser aplicado al lago completo o a una porción del mismo.
  - ❖ Cuando la zona física de la dilución excede el tamaño de la zona regulatoria crónica de dilución, el área de la zona regulatoria aguda de dilución estará entre el 10% y el 25% del área de la zona regulatoria crónica de dilución.

- *Restricciones adicionales*

Las zonas de dilución podrán ser limitadas o negadas bajo condiciones especiales

- ❖ Necesidad de proveer el paso de vida acuática.
- ❖ La probabilidad de acumulación de tóxicos en peces o vida silvestre.
- ❖ La importancia especial de ciertos habitat como desove de peces, áreas de crecimiento, o habitat que apoya especies amenazadas o en peligro.
- ❖ Potencial de exposición de humanos a contaminantes.
- ❖ Posibilidad de que vida acuática sea atraída al efluente.
- ❖ Potencial de efectos adversos a las aguas subterráneas.
- ❖ Toxicidad o persistencia de la sustancia descargada.

## 5. PRESENTACION DE CASOS

En este anexo se presentan algunos de los casos revisados en la bibliografía, de tal manera de tener una visión más profunda de la manera en que se ha abordado el manejo y caracterización de las aguas en estas cuencas.

Cabe destacar que esta revisión muestra ciertos detalles de los sistemas utilizados para caracterizar ambientalmente la cuenca, conocer las relaciones causa-efecto más significativas con respecto al agua y los factores incidentes, como asimismo utilizar los SIG como herramientas de análisis de la situación de contaminación del agua.

### 5.1 Cuenca del Río Olifants, Sudáfrica<sup>11</sup>

#### 5.1.1 Introducción

Los sólidos suspendidos son uno de los problemas más importantes que afectan la calidad de agua en Sudáfrica y debido a los limitados recursos con que se cuenta se hace necesario enfocar los esfuerzos en aquellas áreas que aportan la mayor cantidad de sedimentos.

Desafortunadamente, la mayoría de los métodos de estimación, como USLE, son aplicables en pequeña escala y necesitan información detallada. Es por esto que se hace necesaria la evaluación de métodos alternativos para la identificación de áreas de riesgo potencial en las grandes cuencas.

Una aproximación basada en SIG (sistemas de información geográfica) fue desarrollada y testada en la cuenca del Río Olifants. La aproximación cualitativa combina los factores que afectan la disponibilidad potencial de sedimentos (cubierta y erosionabilidad del suelo) con aquellos que afectan el arrastre potencial de sedimentos (pendiente, cantidad y erosividad de las precipitaciones), identificándose áreas de alto, medio o bajo potencial de producción de sedimentos. Como muchos indicadores microbiológicos, nutrientes y materiales

---

<sup>11</sup> J Moolman, G Quibell and B Hohls (Nutrientes)  
Institute for Water Quality Studies  
Department of Water Affairs & Forestry

tóxicos son arrastrados por las lluvias, el método puede ser extendido para identificar cualitativamente el potencial de contaminación por estos materiales.

## 5.1.2 Condiciones Ambientales e Hidrológicas

### a) Descripción física

El río Olifants se extiende desde el sur de Witbank, en la provincia de Mpumalanga hasta Phalaborwa en la provincia Northern, a través del Parque Nacional Kruger, en el Noreste de Sudáfrica (figura A2.5.1). El Río Olifants se une al Río Limpopo en Mozambique.

La cuenca posee un área de 54570 km<sup>2</sup> y elevaciones en un rango de alturas entre los 2300 y los 300 m.

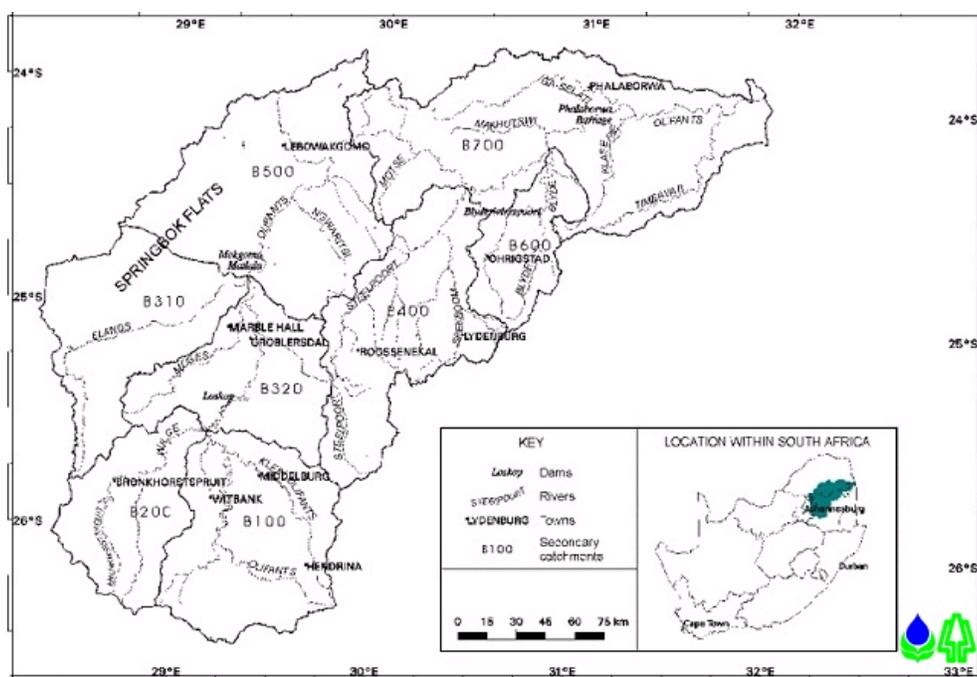


Figura A2.5.1: Descripción física de la cuenca del río Olifants en Sudáfrica

b) Uso de suelo

La actividad agrícola ocupa cerca de 100000 ha. con cultivos de maíz, algodón, vegetales, cítricos y tabaco. La actividad forestal ocupa unas 71500 ha. La mayor parte del Parque Nacional Kruger (el más grande de Sudáfrica) se encuentra en la Cuenca del Olifants.

La población, de cerca de 3.4 millones de habitantes, habita principalmente zonas rurales carentes de sistemas de saneamiento y agua potable.

c) Uso de agua

Existe uso urbano y agrícola a lo largo de todo el río. La agricultura comercial cuenta con alta tecnología y su producción es destinada a la exportación.

Uso industrial: más de la mitad de la energía eléctrica de Sudáfrica es generada en la cuenca del Olifants.

En usos recreativos se citan la navegación y pesca en el río y en la reserva nacional y la protección del medio ambiente, especialmente en el Parque Nacional.

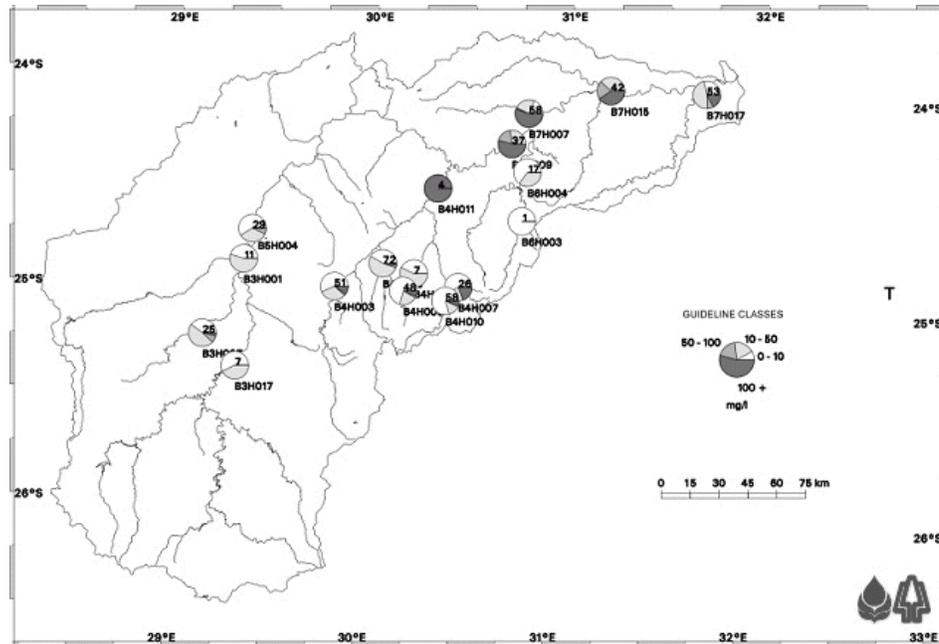
En cuanto a infraestructura, existen más de 2500 embalses, de los cuales cerca de 30 son clasificadas como grandes presas (sobre los 2 millones de m<sup>3</sup>).

d) Clima e hidrología

La cuenca se caracteriza por un clima subtropical, con temperatura que oscilan entre los 14 – 28 °C en el periodo veraniego (de Octubre a Abril), y entre los 7 – 21 °C en el periodo invernal (Mayo a Septiembre). La precipitación anual promedio es de 631 mm.

### 5.1.3 Monitoreo

El sistema de monitoreo actual de la cuenca del río Olifants se encuentra concentrado en ciertas áreas y no incluye todas las subcuencas (figura A2.5.2). Además, la frecuencia de muestreo es muy baja en algunos puntos lo que hace difícil esbozar conclusiones concernientes al origen de los sedimentos en el lecho del río Olifants. De la misma manera, existen muy pocos datos disponibles para calibrar modelos de producción de sedimentos. Estos hechos apoyan la necesidad de desarrollar una herramienta de rápida identificación de fuentes no puntuales de sedimentos.



**Figura A2.5.2: Red de Monitoreo en la Cuenca del Río Olifants, Sudáfrica**

Los diagramas de círculos muestran la frecuencia con que los sólidos suspendidos son medidos en cada punto de monitoreo en la cuenca del río Olifants (el número de muestras tomadas en cada punto está indicada en el centro de cada círculo).

5.1.4 Procedimiento usado para la modelación de áreas de producción de sedimentos y resultados obtenidos.

a) Factores que afectan la producción de sedimentos

Los factores de los que depende el arrastre de sedimentos pueden ser agrupados en:

1. Disponibilidad de sedimentos (riesgo de erosión y cubierta del suelo)
2. Arrastre de este sedimento (erosividad de la lluvia, precipitación media, pendiente)

Un manejo cualitativo de estos factores puede ser combinado para identificar áreas de alta, media o baja disponibilidad y arrastre de sedimentos.

Estos factores son posibles de espacializar, haciendo del SIG la plataforma perfecta para combinar estos datos y producir un mapa de áreas de potencial producción de sedimentos.

b) Datos requeridos

- Suelos

La erosividad de los suelos de Sudáfrica fue evaluada previamente por Lorentz y Schulze, y publicada en 1995, identificándose cinco clases de riesgo de erosión para todas las series de suelos en Sudáfrica. Estas cinco clases fueron reducidas a tres, para este estudio (tabla A2.5.1).

**Tabla A2.5.1: Riesgo de erosión del suelo según clases identificadas en la cuenca del Olifants**

Clase	Riesgo de erosión del suelo
1 – 2	(bajo)
3	(medio)
4 – 5	(alto)

- Cubierta de suelos

Los datos de cubiertas de suelo, basados en mapas satelitales, permiten estimar un valor de riesgo de erosión según la categoría de uso (tabla A2.5.3), asignando un valor de 1 a 8, según la opinión de expertos. Las 8 clases fueron reducidas, para el río Olifants, a tres clases, como se indica en la tabla A2.5.2.

**Tabla A2.5.2: Erosión potencial según la clase de cobertura de suelos, para la cuenca del Olifants**

Clase de Cobertura de suelo	Erosión potencial
1 – 2	1 (baja)
3 – 5	2 (media)
6 – 8	3 (alta)

**Tabla A2.5.3: Riesgo relativo de erosión según la cubierta del suelo**

Clase de Cubierta de Suelos	Riesgo
Cultivo: permanente – seco	3
Cultivo: permanente – irrigado	2
Cultivo: temporal – seco	3
Cultivo: temporal – irrigado	2
Cultivo: temporal – subsistencia seco	6
Degradada: selvas y bosques	7
Degradada: maleza y arbustos (etc.)	7
Degradada: praderas (pastoreo)	7
Sabanas y dunas	8
Selvas	1
Bosques	2
Plantación forestal	3
Praderas	2
Minas y canteras	7
Arbustos y malezas (etc.)	4
Praderas (pastoreo sin manejo)	5
Urbano : comercial	3
Urbano : industrial / transporte	3
Urbano : residencial	3

- Efecto erosivo de la lluvia

Este efecto puede ser descrito usando el valor  $EI_{30}$ , que resulta del producto entre la energía cinética de la lluvia y su máxima intensidad en 30 minutos (Smithen y Schulze, 1982). Smithen y Schulze (1982) identificaron nueve zonas en Sudáfrica, según el  $EI_{30}$ . Solo zonas de 3 a 9 se presentan en la cuenca del río Olifants, las que son divididas para este estudio en tres clases (tabla A2.5.4)

**Tabla A2.5.4: Clases cualitativas de energía de lluvia según Zonas  $EI_{30}$ , para la cuenca del Olifants**

Zona $EI_{30}$	Clase cualitativa energía lluvia
3 – 5	1 (baja)
5 – 7	2 (media)
7 – 9	3 (alta)

- Cantidad de lluvia

La distribución de la precipitación anual media (MAP) en Sudáfrica se encuentra disponible como parte del Water Research Commission Report on Surface Water Resources of South Africa (Midgely et al, 1996), identificándose las tres clases indicadas en la tabla A2.5.5:

**Tabla A2.5.5: Clasificación cualitativa de zonas según la distribución de precipitaciones en la cuenca del Olifants**

MAP	Clase
< 400 mm	1 (baja)
400 - 800 mm	2 (media)
> 800 mm	3 (alta)

- Inclinación del terreno (pendiente)

Sudáfrica cuenta con un modelo de elevación digital (DEM) con una resolución de 400m x 400m para el país completo. El DEM fue usado para determinar los gradientes de pendiente (como porcentaje de inclinación) en el río Olifants. Estos porcentajes fueron clasificados en bajo, medio y alto (tabla A2.5.6).

**Tabla A2.5.6: Clasificación según el % de la pendiente del terreno en la cuenca del Olifants.**

Pendiente (%)	Clase
0 – 5	1 (bajo)
5 – 25	2 (medio)
25 – 161	3 (alto)

- Combinación de la información cualitativa en matrices

Como se indicó antes, la **disponibilidad de sedimentos** depende de a) el tipo de suelo y su erosividad potencial, y b) el grado de cobertura de suelo, mientras que el **arrastré de sedimentos** depende de a) la pendiente del terreno, b) el efecto erosivo de la lluvia, y c) la cantidad de lluvia caída. Las clases cualitativas identificadas previamente son combinadas mediante las matrices presentadas en las Tablas A2.5.7 a A2.5.10.

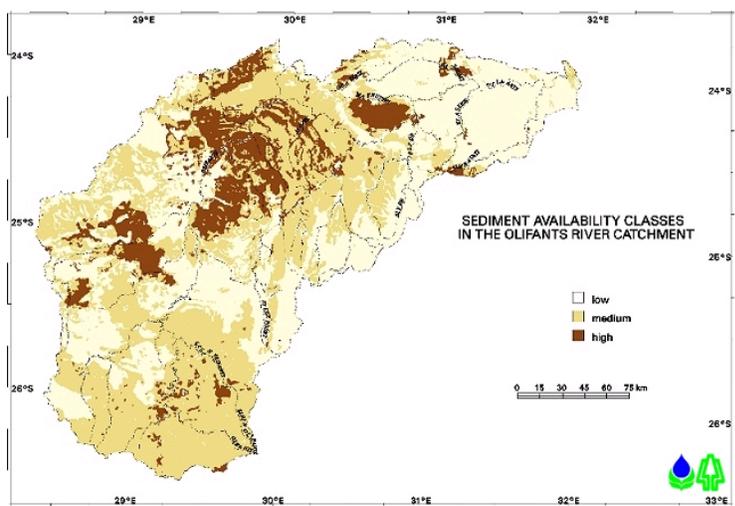
La Tabla A2.5.7 muestra cómo las categorías de tipo de suelo y cubierta son combinadas para identificar la disponibilidad de sedimentos. La figura A2.5.3 presenta el mapa resultante para la disponibilidad de sedimentos.

**Tabla A2.5.7: Matriz de disponibilidad de sedimentos**

		Suelos		
		1 (bajo)	2 (medio)	3 (alto)
Cobertura de suelos	1 (baja)	1	2	3
	2 (media)	2	4	6
	3 (alta)	3	6	9

Clasificación de la disponibilidad de sedimentos:

Baja		Media		Alta	
1	2	3	4	6	9



**Figura A2.5.3: Areas de alta, media y baja disponibilidad de sedimentos en la cuenca del río Olifants.**

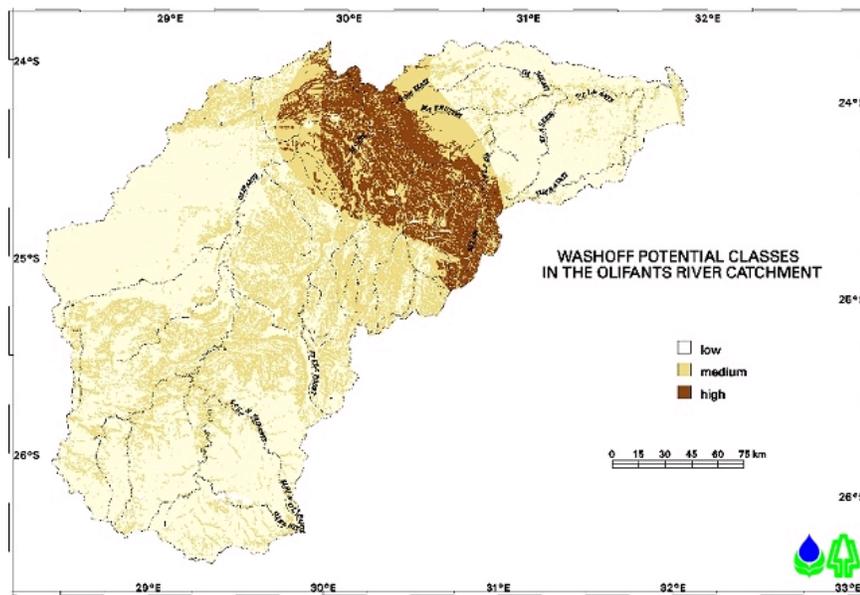
La Tabla A2.5.8 muestra cómo las distintas categorías de pendiente,  $EI_{30}$  y MAP se combinan para entregar el potencial de arrastre de sedimentos. La Figura II.1.4 presenta el mapa resultante.

**Tabla A2.5.8: Matriz lavado de suelos**

	MAP	1 (baja)			2 (media)			3 (alta)		
	EI30	1(bajo)	2(med)	3(alto)	1(bajo)	2(med)	3(alto)	1(bajo)	2(med)	3(alto)
Pen-diente	1(baja)	1	2	3	2	4	6	3	6	9
	2(med)	2	4	6	4	8	12	6	12	18
	3(alta)	3	6	9	6	12	18	9	18	27

Clasificación según el potencial de arrastre de sedimentos:

Bajo			Medio				alto		
1	2	3	4	6	8	9	12	18	27



**Figura A2.5.4: Areas de alto, medio y bajo potencial de arrastre de sedimentos.**

La producción potencial de sedimentos se obtiene combinando los factores anteriores usando la matriz de la Tabla A2.5.9.

**Tabla A2.5.9: Tabla de producción potencial de sedimentos integrando los factores de arrastre y disponibilidad de sedimentos.**

		Lavado		
		1 (bajo)	2 (med)	3 (alto)
Disponibilidad de sedimentos	1 (bajo)	1	2	3
	2 (med)	2	4	6
	3 (alto)	3	6	9

Clasificación según la producción potencial de sedimentos:

Bajo		medio		Alto	
1	2	3	4	6	9

Dado que la matriz esta basada en conocimiento teórico y cualitativo, un detallado conocimiento del problema de contaminación difusa y de la cuenca en cuestión puede ser usado para corregir el procedimiento. Para la cuenca del Olifants se realizaron las siguientes suposiciones:

Si el potencial de arrastre es alto (alta pendiente, por ej.), pero la disponibilidad es baja (áreas rocosas, por ej.), el potencial de erosión será bajo.

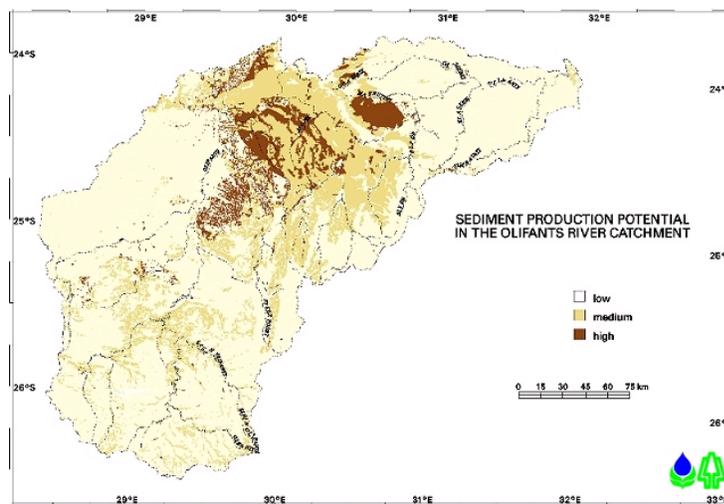
Si el potencial de arrastre es bajo y la disponibilidad de sedimentos es alta, la erosión potencial será baja, debido a la restricción de remoción de sedimentos.

Estas suposiciones fueron usadas para corregir la matriz de producción potencial, resultando la matriz presentada en la tabla A2.5.10. Cualquier otro conocimiento de la cuenca o de fuentes de contaminación difusa (como por ejemplo áreas donde se han implementado medidas de manejo) puede ser similarmente incorporado.

El mapa final de áreas potenciales de producción de sedimentos en la Cuenca del Olifants, basado en estas correcciones, se presenta en la Figura A2.5.5.

**Tabla A2.5.10: Clases de potencial de producción de sedimentos final**

		Lavado		
		1 (bajo)	2 (medio)	3 (alto)
Disponibilidad de sedimentos	1 (bajo)	Bajo	Bajo	Bajo
	2 (med)	Bajo	Medio	Medio
	3 (alto)	Bajo	Alto	Alto



**Figura A2.5.5: Mapa final que muestra las áreas de alto, medio y bajo potencial de producción de sedimentos, en la cuenca del Olifants, Sudáfrica.**

- Uso de la técnica para la estimación de otros problemas de contaminación difusa

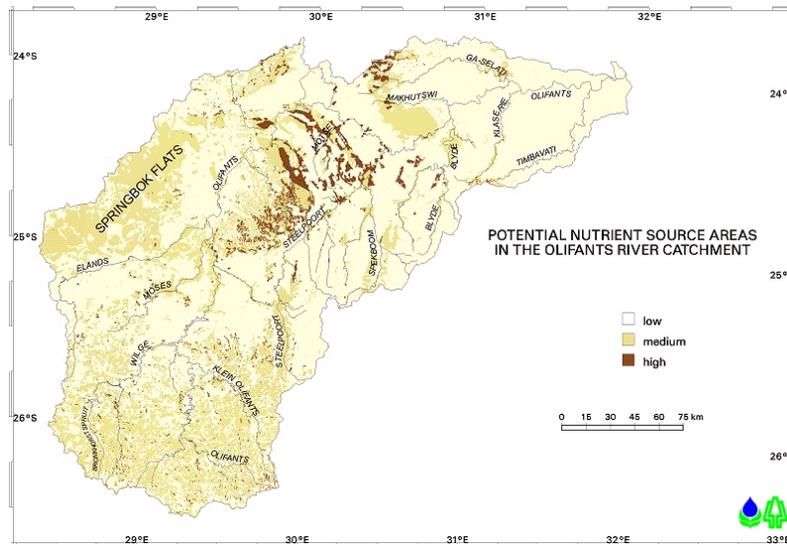
El concepto de relacionar factores para obtener un indicador de riesgo potencial puede ser extendido a otros problemas de contaminación difusa, usando el mismo principio básico: el potencial de contaminación difusa está determinado por la disponibilidad del contaminante y la capacidad del agua de arrastrarlo a los cursos fluviales. Como los sedimentos también actúan transportando sustancias como nutrientes (fosfatos y nitratos), el mapa de producción potencial de sedimentos puede ser combinado con un mapa de uso de suelos categorizados según su baja (1), media (2) o alta (3) disponibilidad potencial de nutrientes.

Los efectos de la cubierta del suelo en la disponibilidad de nutrientes están basados en las siguientes generalizaciones:

- Todas las tierras cultivadas tienen una alta disponibilidad de nutrientes.

- Areas de vegetación natural (selvas, bosques, arbustos y praderas naturales) tienen una baja disponibilidad de nutrientes.
- Areas de explotación forestal tienen una disponibilidad media de nutrientes, debido a la alternancia de periodos de gran intervención, con periodos de mínima alteración.
- Pantanos y cuerpos de agua son clasificados como de baja aporte.
- Areas Urbanas tienen un alto aporte de nutrientes, excepto donde existan significativas porciones de praderas las cuales son clasificadas como de aporte medio.
- Praderas mejoradas poseen una disponibilidad media, porque la aplicación de fertilizantes y otras prácticas como cosecha y desmalezado harán más disponibles los nutrientes.
- Tierras degradadas incrementan el valor de clase de la cubierta original (de bajo a medio, de medio a alto, etc.).
- Tierras erosionadas se clasifican como de aporte medio.

Estos principios fueron aplicados al mapa de cubierta de suelos y combinado con el mapa de producción de sedimentos, obteniéndose un mapa de la producción potencial de nutrientes (figura A2.5.6).



**Figura A2.5.6: Mapa final que muestra las áreas de alto, medio y bajo potencial de producción de nutrientes, en la cuenca del Olifants, Sudáfrica.**

### 5.1.5 Conclusiones

El método presentado en este estudio utiliza fuentes de datos disponibles para proveer una información inicial de gran alcance. Esta puede ser usada para una rápida identificación de áreas con potencial producción de sedimentos en una cuenca determinada. Un acabado conocimiento de la contaminación difusa y de la cuenca en cuestión puede ser usado para corregir la información de salida. Esto hace que el procedimiento sea muy flexible, y pueda ser modificado para casos particulares.

El manejo de la información entregada por este procedimiento puede luego formar la base para estudios más detallados enfocados en áreas críticas de contaminación difusa. De la misma manera, el procedimiento puede ser modificado y dirigido a otras fuentes de contaminación difusa.

El modelo identifica áreas de producción potencial, no describiendo en detalle los mecanismos involucrados, por lo tanto no puede ser utilizado para el estudio de los efectos de prácticas de prevención y minimización de contaminación. En suma, este método no asigna una evaluación cuantitativa de la contribución de la contaminación difusa y presenta ventajas considerables cuando es aplicado a gran escala.

## 5.2 Calidad del Agua en la Cuenca Willamette, Oregon<sup>12</sup>

### 5.2.1 Introducción

Este estudio se enmarca dentro del programa NAWQA (National Water Quality Assesment) llevado a cabo por el U.S. Geological Survey que tiene como objetivo caracterizar la situación actual de la calidad de las aguas en más de 50 cuencas de los Estados Unidos e incluye análisis de las condiciones físicas y biológicas de aguas superficiales y subterráneas. La información obtenida a través de este programa permitirá una comprensión acabada de la calidad de las aguas y de los factores que la afectan, tanto a nivel regional como nacional. Tal entendimiento es esencial para el manejo eficiente de los recursos hídricos y su protección para las generaciones futuras.

En este informe se resumen las condiciones ambientales e hidrológicas, los criterios de distribución y clasificación de las estaciones de monitoreo, parámetros y frecuencias de medición y los principales resultados de calidad del agua para la unidad de estudio de la Cuenca Willamette, en Oregon.

### 5.2.2 Condiciones ambientales e hidrológicas

#### a) Descripción física

La unidad de estudio de la Cuenca Willamette comprende las subcuencas de los ríos Willamette y Sandy, en el NorOeste del Estado de Oregon. Posee un área de 30720 km<sup>2</sup> y elevaciones que alcanzan los 1200 m en las colinas de la costa y los 3000 m en las montañas del Este. El valle intermedio, de sedimentos de origen aluvional, tiene una elevación cercana al nivel del mar (figura A2.5.7).

Los ríos Willamette y Sandy son tributarios del río Columbia, el cual fluye hacia el océano Pacífico a lo largo del límite Norte de Oregon.

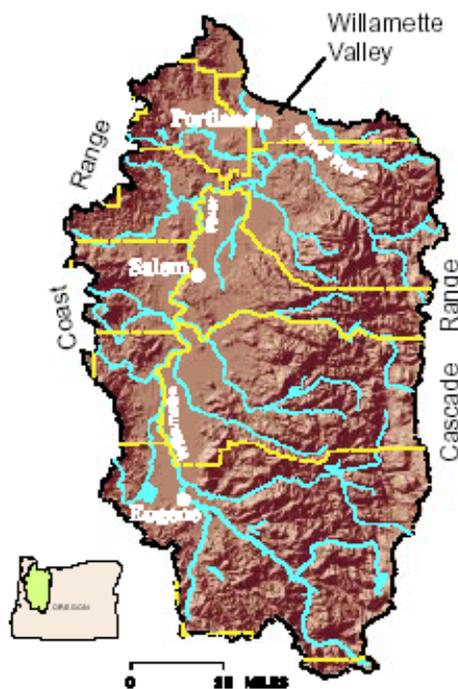
---

<sup>12</sup> [water.usgs.gov/pubs/circ/circ1161/](http://water.usgs.gov/pubs/circ/circ1161/)

b) Uso de Suelos

Las tierras forestadas (70% de la cuenca) dominan las colinas y montañas de la costa y del Este. Las tierras agrícolas, mayoritariamente cultivos, comprenden el 22% de la cuenca y se localizan predominantemente en el valle del Willamette. El área urbana (6 % de la cuenca) se localiza en el valle ribereño al cauce principal. Otros usos de tierras y acopio de aguas representan menos del 2% del área de la cuenca.

Cerca de 2 millones de personas (el 70% de la población del Estado de Oregon), habitan en la cuenca de Willamette. La ciudad de Portland, con 1.2 millones, es la más grande del Estado.



**Figura A2.5.7: Descripción física de la cuenca Willamette**

La Cuenca Willamette incluye parte de 13 condados del Estado de Oregon, en Estados Unidos.

c) Uso de aguas

Más de tres cuartas partes del agua usada en la cuenca proviene de aguas superficiales. El mayor uso (cerca del 35 %) es en regadío de cultivos de berries, remolacha y vegetales (brócoli, repollo, maíz, ajos y cebollas). El abastecimiento público es el segundo

gran uso (cerca del 30%). El principal uso industrial del agua es en las plantas papeleras y en usos comerciales se destaca la acuicultura.

#### d) Clima e hidrología

La cuenca se caracteriza por inviernos fríos y húmedos y veranos tibios y secos. Sobre el 70 % de las precipitaciones anuales caen entre Octubre a Marzo y menos del 5 %, entre Julio y Agosto. La mayoría de las precipitaciones sobre los 1500 m cae en forma de nieve. La temperatura media mensual del aire va en rangos de 3-5 °C durante Enero y 17-20 °C durante Agosto.

La precipitación anual promedio es de 1570 mm. La topografía influencia fuertemente la distribución de las precipitaciones, siendo de alrededor de 1000 mm anuales en el valle y de hasta 5000 mm en las montañas.

La descarga media anual del río Willamette en Portland es de 915 m<sup>3</sup>/s. El rango de caudales mensuales típicos va desde los 226 m<sup>3</sup>/s en Agosto hasta 1980 m<sup>3</sup>/s en Diciembre.

#### 5.2.3 Monitoreo

Los sitios de muestreo fueron distribuidos de manera de ser representativos de áreas homogéneas relativas a regiones ecológicas, hidrogeología y usos de suelos, con ayuda de la información geográfica disponible en SIG. Las estaciones de determinación de la Calidad Química del agua fueron espacializadas en función de los distintos usos de suelos, permitiendo un nivel de estratificación localizado, importante para este estudio debido al énfasis en determinar nutrientes y pesticidas provenientes de fuentes no puntuales de contaminación. Las estaciones que forman la red de calidad química pueden ser clasificadas en básicas, intensivas o sinópticas, según los parámetros medidos y la frecuencia de muestro. La Calidad Ecológica es monitoreada mediante estaciones intensivas y sinópticas ubicadas en áreas representativas de las distintas regiones ecológicas en la cuenca, existiendo coincidencias con la mayoría de las estaciones básicas y sinópticas de la red de calidad química. Las aguas subterráneas son controladas aprovechando los pozos existentes y perforando nuevos pozos en sitios de especial interés, distribuidos con la ayuda de mapas hidrogeológicos.

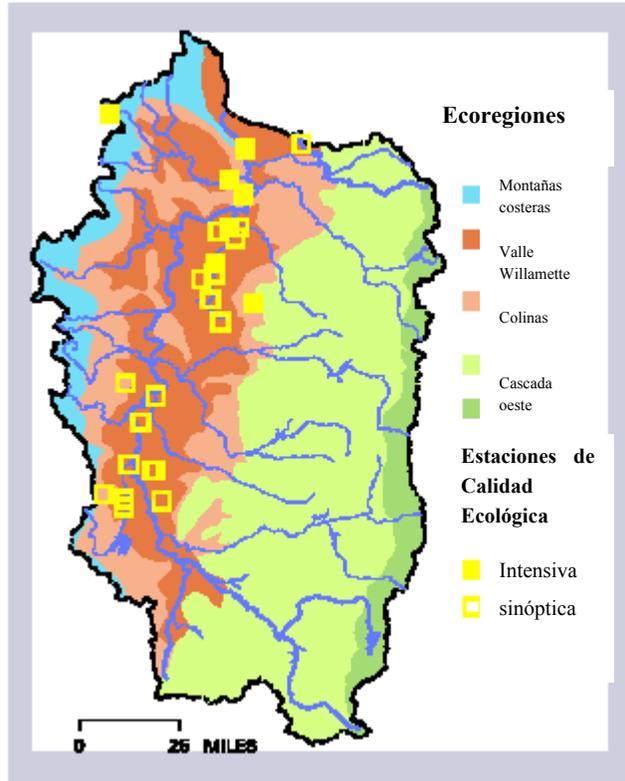
El resumen de los tipos de estaciones, los parámetros medidos y la frecuencia de muestreo se presentan en las tablas A2.5.11 y A2.5.12. La distribución de los distintos tipos de estaciones de monitoreo se puede apreciar en las figuras A2.3.8 (a), (b) y (c).

**Tabla A2.5.11: Resumen Monitoreo para Calidad Química y Ecológica, en la Cuenca Willamette.**

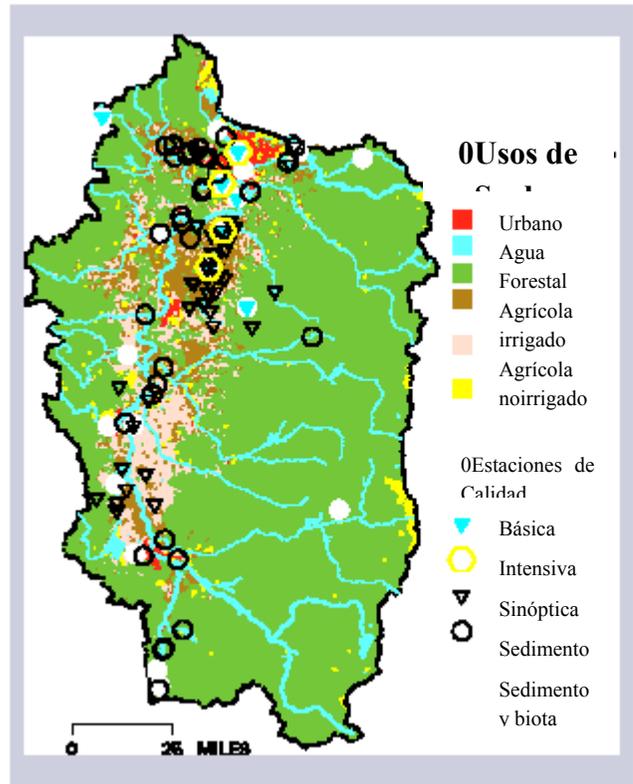
<b>Tipo de Estación</b>	<b>Información recolectada</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Tipos de sitios muestreados</b>	<b>N° de Estaciones</b>	<b>Frecuencia de muestreo</b>
<b>Calidad Química</b>					
<b>Básica Calidad general del agua</b>	Caudal, nutrientes, constituyentes químicos, carbono orgánico, sólidos suspendidos, temperatura, conductividad, pH y oxígeno disuelto.	Descripción de concentraciones y variaciones estacionales	Abarcando de 18 a 28000 km <sup>2</sup> de zonas forestadas, agrícolas, urbanas y con mezcla de usos de suelo.	7	Mensual Entre Abril 1993 - Agosto 1995
<b>Intensiva Pesticidas</b>	Todos los anteriores, además de aproximadamente 86 pesticidas disueltos.	Descripción de concentraciones y variaciones estacionales	Parte de las estaciones básicas en zonas de usos agrícolas y urbanos.	4	Mensual Entre Abril 1993 - Agosto 1995
<b>Sinóptica Nutrientes y pesticidas</b>	Caudal, nutrientes y/o pesticidas, carbono orgánico, sólidos suspendidos, temperatura, conductividad, pH y oxígeno disuelto.	Descripción, en condiciones de altos y bajos flujos, de las concentraciones y su distribución espacial	Abarcando de 18 a 1030 km <sup>2</sup> de zonas forestadas, agrícolas, urbanas y con mezcla de usos de suelo.	44	Una vez por cada estudio
<b>Contaminantes en el lecho del río</b>	PCBs total, 32 pesticidas organoclorados, 63 compuestos orgánicos semivolátiles y 44 elementos traza	Determinación de ocurrencia y distribución espacial	Zona de sedimentación de todos los sitios básicos e intensivos y la mayoría de los sitios sinópticos	52	Una vez 4 sitios, múltiples veces
<b>Contaminantes en la biota acuática</b>	PCBs total, 30 pesticidas organoclorados y 24 elementos traza. Tejido de moluscos y peces para contaminantes orgánicos y elementos traza.	Determinación de ocurrencia y distribución espacial	Todos los sitios básicos e intensivos, además de algunos sitios sinópticos	20	Una vez durante 92-93 3 sitios, múltiples veces
<b>Calidad Ecológica</b>					
<b>Intensiva</b>	Peces, macroinvertebrados, algas.	Estructuración de las comunidades biológicas acuáticas	Con las estaciones químicas básicas, cubriendo cada ecoregión.	7	Una vez en 1993, '94, '95
<b>Sinóptica</b>	Peces, macroinvertebrados, algas.	Distribución espacial de las comunidades biológicas acuáticas	Algunas estaciones sinópticas, representando zonas forestadas, agrícolas, urbanas y mezcla de	18	Una vez entre Julio-Septiembre de 1994

**Tabla A2.5.12: Resumen monitoreo para aguas subterráneas y estudios especiales en la cuenca Willamette**

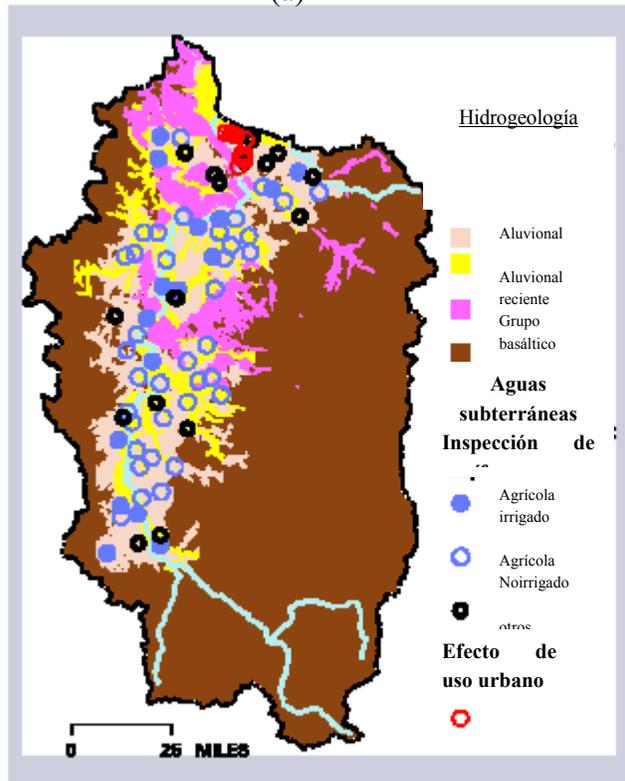
<b>Tipo de Estación</b>	<b>Información recolectada</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Tipos de sitios muestreados</b>	<b>N° de Estaciones</b>	<b>Frecuencia de muestreo</b>
<b>Aguas Subterráneas</b>					
<b>Inspección Acuíferos</b>	Constituyentes químicos, nutrientes, 85 pesticidas, 60 compuestos orgánicos volátiles, Radón, Arsénico.	Descripción de la calidad de las aguas subterráneas en acuíferos aluvionales usados para abastecimiento de agua potable.	Pozos domésticos existente de menos de 25 m de profundidad escogidos usando método estadístico de selección aleatoria	70	Una vez en 1993
<b>Efecto uso de suelo Agrícola</b>	Reinterpretación de datos de Inspección de acuíferos	Determinación de los efectos de los suelos agrícolas en la calidad de la recarga de aguas subterráneas.	Solo pozos en áreas de uso agrícolas, categorizados en zonas irrigadas y no irrigadas.	16 irrigados 37 no irrigados	Una vez en 1993
<b>Efectos uso de suelo Urbano</b>	Mayores constituyentes químicos, nutrientes, pesticidas, compuestos orgánicos volátiles y 17 elementos traza.	Determinación de los efectos de los suelos urbanos en la calidad de la recarga de aguas subterráneas	Pozos de monitoreo perforados a menos de 44 m de profundidad en el área metropolitana de Portland.	10	Una vez en 1995
<b>Estudios Especiales</b>					
<b>Sólidos Suspendidos</b>	Caudal, concentración de SS y tamaño de partículas sedimentables	Determinación de cambios en el transporte de sedimentos antes y después de la construcción de diques.	Río Willamette y sus mayores tributarios	7	12-18 veces entre 1991-93
<b>Interacción aguas superficiales / Aguas subterráneas</b>	Estudios de inyección de tinta y mediciones de ganancia/pérdida de caudal	Cuantificación de la extensión de la interacción aguas superficiales/aguas subterráneas	Estudios de inyección en 9 corrientes, ganancia/pérdida de caudal en 2 de estas corrientes	41 pruebas	Una vez entre 1992-95
<b>Dioxinas y Furanos</b>	Sedimento del lecho y tejido de peces (clase tetra)	Determinación de ocurrencia, distribución espacial y patrón congénito.	Algunos de los sitios monitoreados para compuestos organoclorados y elementos traza en el lecho sedimentado y tejidos.	22 sedimentos y 8 tejidos	Una vez entre 1992-95



(a)



(b)



(c)

**Figura A2.5.8: Distribución de las distintas estaciones de monitoreo según Ecoregiones (a), Uso de Suelos (b) e Hidrogeología (c).**

#### 5.2.4 Resumen de los principales resultados

La abundancia relativa de especies de peces sigue una buena correlación con la calidad del hábitat. El hábitat y las comunidades bióticas en cauces aledaños a zonas agrícolas y urbanas se encuentran degradados en comparación con otras unidades de estudio del programa NAWQA.

La erosión se ha incrementado corriente abajo de diques y presas.

El transporte de sólidos suspendidos se ha mantenido sin cambios en 10 presas desde su construcción, pero el tamaño medio de las partículas ha disminuido. Este hecho indica que la erosión se ha incrementado aguas abajo de las presas.

La interacción aguas superficiales / aguas subterráneas es significativa en grandes ríos con lecho de grava.

El intercambio de agua entre ríos y acuíferos adyacentes puede resultar en cambios en las concentraciones de nutrientes y pesticidas.

##### a) Presencia de pesticidas en ríos

Fueron detectados 50 pesticidas, 10 de ellos excedían el criterio establecido por la USEPA para la protección de la vida acuática.

Atrazina, Simazina, Metalocloro, Dietilatrazina, Diuron, y Diazinona fueron detectados en más de la mitad de las corrientes muestreadas. Su concentración varió estacionalmente en respuesta a escorrentías y fechas de aplicación.

49 pesticidas fueron detectados en cauces ubicados predominantemente en tierras agrícolas, 25 pesticidas fueron detectados en tramos de cauces en áreas urbanas. Las altas concentraciones de pesticidas generalmente ocurrían en sectores cercanos a tierras agrícolas.

##### b) Presencia de Nutrientes en ríos y aguas subterráneas

En el 45% de los cauces monitoreados, la concentración de fósforo total excedía los 0,1 mg/L, el cual es el máximo valor citado por la U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) para prevenir la eutrofización.

El 68% de los cauces que excedían las concentraciones de fósforo correspondían a tierras predominantemente agrícolas.

No existen criterios guías para la evaluación de los efectos de la concentración de nitratos en el crecimiento de algas, pero en solo 2 de los 51 cauces, la concentración de nitratos excedió los 10 mg/L (máximo nivel contaminante) establecido por la USEPA para agua potable. Ninguno de estos cauces era usado como fuente de agua potable.

La concentración de nitratos en aguas subterráneas excedió el máximo nivel establecido por la USEPA en 6 de 70 pozos domésticos del Valle Willamette.

En general, la calidad de las aguas subterráneas no ha sido degradada por pesticidas o compuestos orgánicos volátiles (VOCs). Las concentraciones de Radón, Sólidos Suspendidos y pesticidas fueron bajas en comparación a otras unidades de estudio del programa NAWQA.

Se detectaron pesticidas en cerca de un tercio de los pozos monitoreados, pero las concentraciones fueron típicamente bajas. Se encontró una gran variedad de pesticidas en altas concentraciones en áreas agrícolas y urbanas.

VOCs fueron detectados en cerca del 20% de los pozos monitoreados, siendo más frecuentemente encontrados en áreas urbanas y agrícolas.

Dioxinas y Furanos fueron detectados en todas las muestras de sedimentos y tejidos animales, incluso en aquellas provenientes de estaciones de referencia.

Las concentraciones de dioxina total y furanos en el lecho sedimentario de ríos y lagos excedieron las recomendaciones de la USEPA de riesgo para la pesca en 2 de los 22 sitios monitoreados; ambos sitios se encontraban aguas abajo de áreas industriales. Las concentraciones en muestras de tejido de peces no excedieron el umbral de riesgo en ninguno de los 8 sitios en que los individuos fueron colectados.

A pesar de estar prohibidos desde 1980 o antes, pesticidas organoclorados y PCBs aún están presentes en sedimentos y biota acuática en lagos y ríos.

Las concentraciones en el lecho sedimentario excedieron las recomendaciones de la USEPA para la protección de la vida acuática en 10 de los 47 sitios. El Clordano y sus componentes y el DDT y sus productos de degradación presentaron las mayores excedencias.

El compuesto organoclorado más comúnmente detectado fue el p,p'-DDE, un producto de la degradación del DDT.

Las concentraciones de elementos traza en el lecho de ríos y lagos exceden las recomendaciones ambientales canadienses para la protección de la vida acuática en 26 de las 52 estaciones; de cualquier forma, las concentraciones generalmente fueron bajas en comparación con otras unidades de estudios del programa NAWQA.

Cromo y Níquel, los cuales son relativamente abundantes en las rocas de la Cuenca Willamette, normalmente excedían las recomendaciones.

Las altas concentraciones de Cadmio, Plomo, Plata, y Zinc en el lecho sedimentario se presentaron en tramos urbanos de los ríos.

Una alta concentración de Mercurio en el lecho sedimentario se presentó corriente abajo de una mina de Mercurio abandonada.

### 5.3 Cuenca Sena Normadía, Francia<sup>13</sup>

El estudio revisado pertenece al Programa Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos (WWDR), creado por el Sistema de las Naciones Unidas y coordinado por la UNESCO, e incluye la revisión del actual sistema de gestión de calidad de aguas, los principales resultados obtenidos y las perspectivas a futuro.

- Identificación de los principales problemas de contaminación de las aguas

La alta densidad demográfica promedio en la cuenca crea una enorme presión humana en los ríos, naturalmente caracterizados por sus caudales moderados. El mismo ecosistema sustenta igualmente el 40% de la producción industrial nacional, el 60% de la industria del automóvil y el 37% de las refinerías de petróleo del país. La agricultura intensiva se ha desarrollado en el 60% de la superficie de la cuenca. Una consecuencia directa de toda esta situación es que más de la mitad del caudal real del río puede estar compuesto por aguas residuales.

---

<sup>13</sup> [www.unesco.org/water/wwap/case\\_studies/seine\\_normandy/](http://www.unesco.org/water/wwap/case_studies/seine_normandy/)

- La actual gestión del agua

La creación de Agencias de Cuencas Hidrográficas por la Ley del Agua de 1964 marcó el principio de la recuperación de los ecosistemas acuáticos en Francia.

Los principales retos medio ambientales de la Agencia del Agua Sena-Normandía son: mejorar el control de la contaminación agrícola y de las aguas urbanas, implementar el tratamiento de nutrientes y la restauración de humedales. También considera la evaluación de los costos económicos del agua, los escenarios económico y social para el 2015 y la valoración del costo/eficacia de los programas.

De la Ley del Agua de 1992 surge el Plan Maestro de Cuencas (SDAGE). Otros planes (los SAGE), elaborados por los comités locales del agua a nivel de las cuencas secundarias, vienen a reforzar el plan maestro. Desde 1992, las agencias del agua han puesto en común sus bases de datos sobre el agua con las de la Red Nacional de Aguas (RNDE) y han desarrollado Sistemas de Evaluación de la Calidad (SEQ).

La Agencia Sena-Normandía todavía gestiona su propia red de medidas y, desde 1995, viene realizando un informe de valoración anual basado en indicadores de rendimiento. Dicho sistema de valoración evalúa y controla la eficacia de las acciones medioambientales, económicas, sociales y administrativas aplicadas en la ejecución del plan maestro. Éste incluye 45 indicadores de varios tipos, de acuerdo con los objetivos específicos del SDAGE, y se reagrupan en 5 índices que corresponden a los diferentes capítulos. El informe se publica anualmente desde 1997.

- Resultados

Se construyeron más de 500 plantas de tratamiento de aguas residuales, que incrementaron la capacidad de depuración de los municipios en un 20% para la contaminación orgánica y en más del 50% para el nitrógeno y el fósforo. El tratamiento de vertidos industriales ha aumentado en más del 30%. Por lo tanto, los informes muestran una mejora continua de la calidad de los ríos, principalmente dentro de París. La única constante es el alto nivel de nitrógeno, el cual proviene en su mayor parte (66%) de las prácticas agrícolas.

A partir de 1997, la Agencia comenzó a adquirir y a restablecer humedales y cañaverales; y en 2001 creó una unidad permanente sobre humedales y ríos. Por último, la Agencia ha emprendido varios programas educativos y de creación de empleo en la cuenca.

- Perspectivas

Actualmente, la Agencia se muestra optimista sobre su capacidad para resolver los retos medioambientales antes mencionados. Para ello cuenta con el apoyo de una nueva Ley sobre el Agua, en concordancia con la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea. La nueva ley debería reforzar la legitimidad del proceso de toma de decisión a través de la participación pública al tiempo que lleva a cabo una repartición más equitativa del precio del agua y refuerza los mecanismos de solidaridad frente a los recursos hídricos.

#### 5.4 La Cuenca del Río Arno, Italia: Calidad de las Aguas<sup>14</sup>

El documento se presenta en dos partes principales. En la primera se realiza la descripción de las principales fuentes de contaminación existentes en la cuenca del río Arno, mientras que en la segunda se hace mención de la modelación de la calidad de agua y su utilización para la espacialización y control de la contaminación.

La cuenca del río Arno cuenta con áreas destinadas a la actividad ganadera, agrícola, urbana e industrial. Las áreas urbanas a menudo carecen de plantas de tratamiento de aguas residuales adecuadas. La situación más seria es en Florencia, ya que esta ciudad lanza sus aguas directamente al Río Arno sin ningún tratamiento previo. La mayoría de la contaminación del sector agrícola y ganadero se concentra en el área alrededor de Valle di Chiana. La carencia casi completa de plantas de tratamiento de aguas implica que la alta carga orgánica de estas actividades es dispersada casi totalmente al ambiente. Del sector industrial, las únicas descargas con fuerte impacto en el río son debido a la actividad textil y la industria del papel en el Valle di Nievole.

Los principales agentes contaminantes del río Arno son: sustancias orgánicas (principalmente de las aguas residuales urbanas, la ganadería y la industria del papel), fosfatos y coliformes (de aguas residuales urbanas y de la ganadería), detergentes (de aguas residuales municipales y de la industria textil) y metales pesados (textil e industrial). Otras formas de contaminación son: la eutrofización del río, en períodos de bajos caudales, y el aporte de la contaminación difusa, que arrastra al río sustancias nocivas utilizadas en la agricultura.

La contaminación por sustancias orgánicas biodegradables es claramente el problema más importante en la cuenca.

---

<sup>14</sup> [www.life.cpr.it/homeing.html](http://www.life.cpr.it/homeing.html)

Se utilizan dos modelos de calidad del agua: WODA, un modelo químico, y QUALè, un modelo ecológico.

En el modelo químico, la DBO (demanda bioquímica del oxígeno) y el OD (oxígeno disuelto) son suficientes para definir el estado del sistema en el cual el proceso de auto-depuración ocurre.

En QUALè, modelo ecológico, se puede simular el comportamiento de hasta 15 componentes que afecten la calidad de un río, como por ejemplo: Oxígeno Disuelto, DBO, Temperatura, Clorofila, Nitrógeno Orgánico, Amoníaco, Nitritos, Nitratos, Fósforo Orgánico, Fósforo Disuelto, Coliformes, etc.

Los modelos transmiten los resultados de las simulaciones al SIG para permitir la representación espacial y la comparación de los datos.

WODA se utiliza para conseguir una estimación general de la situación del río.

QUALè se utiliza para determinar las consecuencias de las descargas en el ecosistema del río, planificar los sitios de muestreo, identificar zonas de baja concentración de Oxígeno Disuelto, estimar efectos inducidos en el sistema por variaciones de las condiciones climáticas, etc.

El sistema permite simular aspectos hidráulicos y químicos del estado del río utilizando los modelos matemáticos y SIG.

## 6. CONCLUSIONES

A partir de la revisión de la experiencia internacional se pueden desprender, a grandes rasgos, las siguientes conclusiones:

- a) Uso del SIG: la principal herramienta de utilización de la información disponible es el SIG, tanto para la realización de las actividades previas, como la distribución de las estaciones de monitoreo (U.S.A.) o la identificación de zonas potencialmente contaminantes (Sudáfrica), como también para la espacialización de la información de salida obtenida a través de los índices de calidad y modelaciones utilizadas.

La espacialización de los resultados (Francia, U.S.A., Sudáfrica) permite centrar los esfuerzos de recuperación de la integridad de los recursos hídricos en zonas específicas, implementando medidas particulares según la problemática ambiental involucrada.

- b) En general la experiencia muestra que es necesario recurrir a aproximaciones cualitativas o modelaciones (ríos Arno y Po en Italia o el Ruhuna en Sri Lanka), para dar cuenta del aporte de fenómenos contaminantes difíciles de cuantificar (contaminación difusa).
- c) La elección y adaptación de un índice de calidad requiere de un acabado estudio de la representatividad y sensibilidad a las variaciones en las condiciones reales particulares de cada cuenca, a fin de facilitar una interpretación confiable de la calidad de los recursos hídricos nacionales.

Países como México, Estados Unidos o España recurren a un esquema de Índice General de Calidad de Aguas bastante similar (ICA, WQI, ICG), existiendo una directa relación con los parámetros de control denominados “básicos” (DBO<sub>5</sub>, OD, pH, Nitratos, Fosfatos, etc.) utilizados en la confección del índice, variando el aporte o ponderación que cada uno de ellos tiene sobre el valor del índice final. La escala numérica de 1 a 100 resulta ser la más utilizada, variando los rangos de clases de calidad involucrados. La asociación de un color particular a las categorías de calidad (Francia, España) hace más práctica su interpretación y espacialización en formato SIG.

El uso de un índice simplificado (ISCA) en Cataluña (España) y Montevideo (Uruguay), basado en 5 parámetros de medición directa, resulta acorde a sus necesidades de caracterización de calidad de aguas, de acuerdo a sus estudios de validación y correlación con otros índices, resultando una alternativa de fácil manejo.

- d) La metodología para la definición de calidad objetivo es un procedimiento secuencial que progresivamente va integrando toda la información relativa al agua en la cuenca. Sus procedimientos tienen una base científica, avalada en estudios sistemáticos de la calidad del agua y sus efectos sobre la vida acuática o el ecosistema. Esta metodología no requiere de un conocimiento detallado de todos los parámetros, exigiendo una selección de ellos como representativos de los usos del agua o de las acciones de protección que se deseen implementar en la cuenca.
  
- e) Respecto a los Programas de Monitoreo, los parámetros medidos y la frecuencia de monitoreo dependen de las necesidades requeridas que la confección del índice de calidad seleccionados o adaptado. En el caso de Estados Unidos la distribución de las estaciones de monitoreo se realiza con la ayuda de los Sistemas de Información Geográfica desarrollados para estos efectos, de tal manera de conseguir una óptima representatividad de las distintas condiciones e intervenciones a los que está sujeto el cauce en estudio. La agrupación de las estaciones, según los parámetros de medición y su frecuencia de muestreo, es un criterio usado tanto en los Estados Unidos, como en España, teniendo así Estaciones Básicas, destinadas a la recolección de la información necesaria para la confección de los índices de calidad, Estaciones Sinópticas, encargadas de monitorear la calidad en sectores de alto riesgo de contaminación, como áreas industriales o agrícolas, y otras estaciones para la evaluación de fenómenos específicos. Las recomendaciones de la Agencia Europea del Medio Ambiente sobre redes de monitoreo hacen una distinción similar en cuanto a la densidad de estaciones de control según su tipo.

**ANEXO A3**  
**USOS DEL AGUA**

### **A3. USOS DEL AGUA**

La determinación de los Usos del Agua en cada cuenca ha sido enfocada teniendo en consideración los conceptos expresados en el Instructivo Presidencial (IP).

En tal sentido, el IP distingue los usos prioritarios del agua, los que define de la siguiente manera: “corresponden a los usos más sensibles respecto de la condición del agua, cuyos requerimientos de calidad permiten asegurar el resto de los usos”. En el caso de las aguas continentales superficiales, “los usos prioritarios son captación de agua para potabilizarla, riego irrestricto, riego restringido, bebida para animales, acuicultura y pesca deportiva y recreativa”.

En los párrafos siguientes se presenta una caracterización de los usos del agua, clasificándolos como usos in-situ y usos extractivos.

#### **1. USOS IN SITU**

Los usos in situ del agua corresponden a aquellos que permiten emplear el agua sin consumirla y aprovechar el recurso sin extraerla de su fuente original. Dentro de los usos in-situ, se pueden distinguir, al menos, cuatro tipos: turismo, deportes y recreación; acuicultura; pesca deportiva y recreativa; y usos ambientales del agua.

El alcance de los diferentes tipos de usos es el siguiente:

- Turismo, deportes y recreación

El principal atractivo turístico de Chile son sus recursos naturales, la belleza escénica y la diversidad geográfica. A lo largo del país, se pueden encontrar diversas clases de climas, flora y fauna, otorgando la posibilidad de desarrollar múltiples actividades turísticas. El país cuenta con gran cantidad de zonas y áreas en donde el turismo tiene posibilidades de desarrollo y de otorgar una gran variedad de productos.

El uso recreativo está relacionado con sitios de interés para desarrollar actividades, ya sea con contacto directo (natación, rafting, canotaje, fuentes de aguas termales, entre otros) o sin contacto directo (fotografía, caminatas, camping, entre otros). La recreación con contacto directo estará regulada por las normas primarias de calidad ambiental, de modo que el presente documento no indaga en sus áreas de uso

- Acuicultura

La acuicultura, definida como la actividad que tiene por objeto la producción de recursos hidrobiológicos organizada por el hombre, se desarrolla fundamentalmente en ambientes marinos costeros y, secundariamente, en ríos y lagos. Esta actividad se ha concentrado casi totalmente en dos zonas del país: III – IV y X – XI regiones. En términos geográficos, esta actividad se ha desarrollado fundamentalmente en áreas rurales, lo que ha generado un importante crecimiento económico de algunas zonas extremas de nuestro país, especialmente de la Xª y XIª Región.

La acuicultura actualmente se caracteriza por el establecimiento de sistemas de cultivos comerciales para la producción de moluscos, peces y algas orientados principalmente a los mercados internacionales. El cultivo de peces, representado en forma casi exclusiva por la salmonicultura, ha sido la actividad más dinámica. La superficie total de las concesiones de acuicultura actualmente alcanza las 17.000 hectáreas.

Con respecto a la disponibilidad de espacios geográficos para desarrollar la acuicultura, nuestro país presenta condiciones ambientales apropiadas en todas las regiones (asociadas tanto a aguas marítimas como continentales) para desarrollar dicha actividad.

Sin embargo, según el artículo 67 de la Ley N° 18.892 y sus modificaciones, Ley General de Pesca y Acuicultura, establece que en los ríos y lagos que sean navegables por buques de más de cien toneladas de registro grueso, fijadas como apropiadas para el ejercicio de la acuicultura, existirán concesiones para actividades acuícolas. Hasta la fecha, las áreas autorizadas para el ejercicio de esta actividad, no existen en las aguas continentales, ya que no se han fijado dichas áreas.

- Pesca deportiva y recreativa

La pesca deportiva y recreativa es definida por el IP en los siguientes términos: “Actividad realizada por personas naturales, nacionales o extranjeras, que tiene por objeto la captura de especies hidrobiológicas sin fines de lucro y con propósito de deporte, recreo, turismo y pasatiempo y que se realiza con un aparejo de pesca personal apropiado al efecto. Corresponderá al Servicio Nacional de Pesca y a la Subsecretaría de Pesca, informar sobre la existencia de zonas donde se practique en forma preferente la pesca deportiva y recreativa”.

En relación a estas áreas y sitios autorizados y restringidos para la práctica de pesca deportiva, la actual normativa tiene un carácter bastante general, estableciendo algunas zonas en las cuales se pueden realizar dichas actividades.

- Usos ambientales del agua

Los usos ambientales del agua están referidos a la conservación de la biodiversidad y sustentabilidad de un determinado ecosistema, para el mantenimiento y preservación de especies que viven o están asociadas al agua.

Los usos ambientales consideran sitios de importancia ecológica en las cuencas (cuencas de captación, humedales, reservas forestales, entre otras); superficies de importancia a nivel local, regional o nacional; asociación con sitios de interés turístico o recreacional y sitios con importancia ambiental según criterios de singularidad ecológica relacionados con la disponibilidad y uso actual de los recursos hídricos.

El IP define como objetivo general de las normas secundarias “proteger, mantener y recuperar la calidad de las aguas continentales superficiales de manera de salvaguardar el aprovechamiento del recurso; la protección y conservación de las comunidades acuáticas y de los ecosistemas lacustres, maximizando los beneficios sociales, económicos y medioambientales”.

En forma específica, el IP define comunidades acuáticas como el “conjunto de poblaciones biológicas que tiene en el medio acuático superficial continental o marino, su medio normal o más frecuente de vida y que dependen directa y/o indirectamente de éste. Son organismos que por ser únicos, escasos, representativos y/o de valor económico para el país, requieren de protección para asegurar su conservación”.

El IP considera la clase Excepcional y la clase 1 como adecuadas para la conservación de las comunidades acuáticas. Sin embargo, su aplicación práctica resulta muy difícil ya que no se especifica a qué poblaciones biológicas se refiere. Por este motivo, los informes de cuencas incluyen una descripción de la flora y fauna acuáticas (etapa II de la Metodología), pero no es posible, por ahora, vincular su conservación a una determinada calidad de agua.

La conservación y preservación de la vida acuática es abordada, en el presente estudio, desde el punto de vista del Sistema Nacional de Areas Protegidas del Estado (SNASPE); de la Estrategia de Biodiversidad y de la identificación de algunos otros sitios de interés (Sitios CONAF, etc.)

El concepto de Área bajo Protección Oficial es un concepto homólogo al de Área Protegida. Por Área Protegida debe entenderse cualquier porción de territorio, delimitada geográficamente (georreferenciada) y establecida mediante acto de autoridad pública, con la

finalidad de asegurar la diversidad biológica, tutelar la preservación de la naturaleza y conservar el patrimonio ambiental. Las Áreas bajo Protección Oficial son los Parques Nacionales, las Reservas Nacionales y los Monumentos Naturales (pertenecientes al SNASPE). El SNASPE es un conjunto de ambientes naturales, terrestres o acuáticos, que el Estado protege y maneja para lograr su conservación, siendo sus principales objetivos proteger y conservar los rasgos representativos de la diversidad biológica y cultural presentes en dichas áreas; cumplir una labor educativa, fomentando la creación de una conciencia ambiental; y, fundamentalmente, suministrar un importante servicio a la comunidad, ya que en ellos se puede realizar actividades turísticas y recreativas en armonía con el entorno natural y cultural.

En conjunto, los Parques y Reservas Nacionales más los Monumentos Naturales representan una superficie de 14.123.571 hectáreas, lo que equivale al 19% del territorio nacional (continental e insular).

En Chile existen 32 Parques Nacionales, según el siguiente detalle:

**Tabla A3.1.1: Parque Nacionales (SNASPE)**

Región	Nombre	Superficie (ha)
I	Lauca	137.883
	Volcán Isluga	174.744
II	Llullaillaco	268.671
II/III	Pan de Azúcar	43.754
III	Llanos de Challe	45.708
	Nevados de Tres Cruces	59.082
IV	Bosque Fray Jorge	9.959
V	La Campana	8
	Archipiélago de Juan Fernández	9.571
	Rapa Nui	7.13
VI	Las Palmas de Cocalán	3.709

**Tabla A3.1.1 (Continuación): Parque Nacionales (SNASPE)**

Región	Nombre	Superficie (ha)
VIII	Laguna del Laja	11.6
IX	Conguillío	60.832
	Huerquehue	12.5
	Nahuelbuta	6.832
	Tolhuaca	6.374
	Villarrica	61
X	Chiloé	43.057
	Puyehue	107
	Vicente Pérez Rosales	253.78
	Alerce Andino	39.255
	Hornopirén	48.232
XI	Isla Guamblin	10.625
	Isla Magdalena	157.616
	Laguna San Rafael	1.742.000
	Queulat	154.093
XI/XII	Bernardo O'Higgins	3.525.901
XII	Alberto de Agostini	1.460.000
	Cabo de Hornos	63.093
	Pali Aike	5.03
	Torres del Paine	181.229
Superficie Total		8.718.260

En Chile existe 13 Monumentos Naturales, según el siguiente detalle.

**Tabla A3.1.2: Monumentos Naturales (SNASPE)**

Región	Nombre	Superficie (ha)
I	Salar de Surire	11.298
II	La Portada	31
IV	Pichasca	128
V	Isla Cachagua	4,5
RM	El Morado	3.009
IX	Contulmo	82
	Cerro Nielol	90

**Tabla A3.1.2 (Continuación): Monumentos Naturales (SNASPE)**

Región	Nombre	Superficie (ha)
X	Alerce Costero	2.308
	Islotes de Puñihuil	9
	Laguen Ñadi	200
XI	Dos Lagunas	181
	Cinco Hermanas	228
XII	Los Pingüinos	97
	Laguna de los Cisnes	25
	Cueva del Milodón	189
Superficie Total		17.879

Chile cuenta con 47 Reservas Nacionales, distribuidas a lo largo del territorio nacional:

**Tabla A3.1.3: Reservas Nacionales (SNASPE)**

Región	Nombre	Superficie (ha)
I	Las Vicuñas	209.131
	Pampa del Tamarugal	100.65
II	La Chimba	2.583
	Los Flamencos	73.987
III/IV	Pingüino de Humboldt	859
IV	Las Chinchillas	4.229
V	Río Blanco	10.175
	Lago Peñuelas	9.094
	El Yali	520
RM	Río Clarillo	10.185
VI	Río de los Cipreses	38.582
	Roblería del Cobre de Loncha	5.87
VII	Federico Albert	145
	Laguna Torca	604
	Los Ruiles	45

**Tabla A3.1.3 (Continuación): Reservas Nacionales (SNASPE)**

Región	Nombre	Superficie (ha)
	Los Bellotos del Melado	417
	Los Queules	147
	Altos del Lircay	12.163
	Radal Siete Tazas	5.148
VIII	Ñuble	55.948
	Isla Mocha	2.369
	Los Huemules de Niblinto	2.021
	Ralco	12.421
IX	Alto Bío Bío	35
	China Muerta	9.887
	Malalcahuello	13.73
	Malleco	16.625
	Nalcas	13.775
	Villarrica	60.005
X	Lago Palena	49.415
	Llanquihue	33.972
	Valdivia	9.727
	Futaleufú	12.065
	Mocho-Choshuenco	7.537
XI	Cerro Castillo	179.55
	Coihaique	2.15
	Katalalixar	674.5
	Lago Carlota	27.11
	Lago Cochrane	8.361
	Lago Jeinimeni	161.1
	Lago Las Torres	16.516
	Trapananda	2.305
	Lago Rosselot	12.725
	Las Guaitecas	1.097.975
	Río Simpson	41.621
XII	Alcalufes	2.313.875
	Laguna Parrillar	18.814
	Magallanes	13.5
Superficie Total		5.387.132

Con el objetivo de cumplir la meta establecida en la Agenda Ambiental País, en orden a proteger el 10% de la superficie de los ecosistemas más relevantes al 2006, la CONAMA elaboró un catastro con 68 sitios de biodiversidad prioritarios de resguardar, que corresponde a la Estrategia de Biodiversidad establecida.

**Tabla A3.1.4: Sitios de biodiversidad prioritarios**

Región	Nombre del sitio
I	Desembocadura del río Lluta
	Sector precordillera de Tigmar
	Punta Patache
	Salar del Huasco
	Bahía Chipana
II	Desembocadura del Loa
	Oasis de Quillagüa
	Península de Mejillones
	Laguna Lejía
	Salar Aguas Calientes IV
III	Salar de Pedernales y alrededores
	Estuario río Copiapó hasta morro Copiapó
	Zona del desierto florido
	Estuario río Huasco y Carrizal
	Lagunas Altoandinas (Grande, Valeriano)
III	Reserva Marina Punta Choros
	Punta Teatinos – Caleta Hornos
	Red de humedales costeros de comuna de Coquimbo
	Cerro Santa Inés
	Quebrada Culimo
V	Los Molles, Pichidangui
	Altos de Petorca, Alicahue
	Cordillera El Melón
	Bosque de Zapallar
	Laguna Verde
RM	Altos de Cantillana
	El Roble
	Altos del río Maipo
	El Morado
	Río Olivares, río Colorado, río Tupungato
VI	Topocalma
	La Roblería
	Laguna de Bucalemu
	Las Cardillas
	Alto Huemul

**Tabla A3.1.4 (Continuación): Sitios de biodiversidad prioritarios**

Región	Nombre del sitio
VII	Bosque de Ruil y Hualo de Curepto
	Arcos de Calán
	Tregualemu
	Bosque nativos de Digua y Bullileo
	Altos de Achibueno
VIII	Fundo Nonguén
	Cerro Cayumanque
	Nevados de Chillán
	Quebrada Caramávida
	Área marina isla Mocha
IX	Cerro Adencul
	Rucamanque
	Lago Budi
	Mahuidanche – Lastarria
	Vegas de Puén
X	Curiñanco
	Mocho Choshuenco
	Cordillera de la Costa
	Ampliación Parque Nacional Chiloé
	Bahía Tic Toc
	Río Maullín
	Chaiguata
XI	Islas oceánicas Guamblin – Ipun
	Isla Kent – Quitralco
	Bahía Anna Pink – Estero Walker
	Sector Hudson
	Estepa Jeinimeni – Lagunas Bahía Jara
	Entrada Baker
XII	Bahía Lomas
	Isla Carlos III e islote Rupper
	Lago Blanco – Kami
	Estancia Yendegaia
	Isla Ambarino

Todos los usos del agua, incluyendo los usos in-situ son representados gráficamente en una lámina por cuenca.

## 2. USOS EXTRACTIVOS

Los usos extractivos corresponden a aquellos que hacen uso del recurso hídrico por medio de la extracción del agua del cauce al que pertenece, pudiendo no regresarla al cauce una vez que la haya utilizado, o regresarla después del uso. Así, los usos extractivos se clasifican en dos grandes grupos que son:

- usos no consuntivos
  - usos consuntivos
- 
- Entre los usos no consuntivos del agua, el principal está destinado a la generación hidroeléctrica.
  - Entre los usos consuntivos, están las extracciones de agua para riego, para agua potable y para las actividades industrial y minera.
  - El uso de agua para riego es el más importante en términos de caudal. En este aspecto, el IP distingue el riego irrestricto y el riego restringido.
  - La definición de riego irrestricto es la siguiente: “ la aplicación de agua de origen natural o proveniente de tratamiento, cuyas características físicas, químicas y biológicas la hacen apta para uso regular en cada una de las etapas de desarrollo de cultivos agrícolas, plantaciones forestales o praderas naturales”.
  - En cuanto al riego restringido, la definición dice: “la aplicación controlada del agua de origen natural o proveniente del tratamiento, cuyas características físicas, químicas y biológicas no la hacen adecuada para su uso regular en cada una de las etapas de desarrollo de cultivos agrícolas, plantaciones forestales o praderas naturales”.
  - Además de los anteriores, se han recopilado antecedentes respecto a los denominados usos ancestrales, que corresponden a los usos del agua de acuerdo a derechos constituidos por comunidades indígenas.

La lámina de “Usos del Agua” que es elaborada por cuenca, representa gráficamente la ubicación de cada extracción.

### 3. REQUERIMIENTOS DE CALIDAD PARA DISTINTOS USOS DE AGUA

En el presente capítulo se presentan los distintos requerimientos de calidad establecidos en la normativa vigente, para posteriormente comparar estas exigencias con los límites establecidos en la Normas Secundarias De Calidad Ambiental Para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales.

Para realizar esta comparación se ha utilizado la siguiente nomenclatura:

- NN: Parámetro No Normado
- CE: Parámetro en el que a través de la clase de excepción cumple con la normativa de calidad
- C1: Parámetro en el que a través de la clase 1 cumple con la normativa de calidad
- C2: Parámetro en el que a través de la clase 2 cumple con la normativa de calidad
- C3: Parámetro en el que a través de la clase 3 cumple con la normativa de calidad

#### 3.1 Usos In Situ

##### 3.1.1 Turismo, deporte y recreación

Para determinar los requerimientos de calidad para los usos de agua in situ de turismo, deporte y recreación se ha considerado los límites establecidos por la norma NCh 1333.Of78 modificada en 1987, normativa que establece los requisitos de calidad del agua para diferentes usos. En particular para este uso se han considerado los límites establecidos para Estética y para Recreación sin Contacto Directo (puntos 7.1 y 7.3).

A continuación se presentan dos tablas, en las que se entrega una comparación entre los requisitos establecidos por la norma NCh 1333 y los límites establecidos para cada clase en las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales. La primera corresponde a los límites establecidos para Estética y la segunda para Recreación sin Contacto Directo:

**Tabla A3.3.1: Comparación de Requisitos para Estética**

Características	Requisito	Clase			Obs.	
	NCh 1333	Exc.	1	2		3
Materias que sedimenten formando depósitos objetables	Exenta					NN
Desechos flotantes, aceite, espuma y otros sólidos	Exenta					NN
Sustancias que produzcan color, olor, sabor o turbiedad objetable	Exenta					NN
Materias, incluyendo radionucleidos, en concentraciones o combinaciones que sean tóxicas o que produzcan reacciones fisiológicas indeseables en seres humanos, peces, otros animales y plantas	Exenta					NN
Sustancias y condiciones o combinaciones de éstas, en concentraciones que produzcan vida acuática indeseable	Exenta					NN

**Tabla A3.3.2: Comparación de Requisitos para Recreación sin contacto directo.<sup>1</sup>**

Características	Unidad	Requisito	Clase			Obs.	
		NCh 1333	Exc.	1	2		3
Sólidos flotantes visibles y espumas no naturales		Ausentes					NN
Aceites flotantes y grasas	mg/l	5	<4	5	5	10	C2
Aceites y grasas emulsificadas	mg/l	10	<4	5	5	10	C3
Sustancias que produzcan olor o sabor inconvenientes		Ausentes					NN

### 3.1.2 Acuicultura

Si bien para la acuicultura no existe una normativa respecto de requisitos de calidad de agua, se han considerado los requisitos establecidos por la norma NCh 1333.Of78, para vida acuática.

A continuación se presenta una tabla, en la que se entrega una comparación entre los requisitos establecidos por la norma NCh 1333 y los límites establecidos para cada clase en las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales para vida acuática:

<sup>1</sup> Para esta tabla se han comparado los parámetros de Aceites flotantes y grasas y Aceites y grasas emulsificadas de NCh1333 con Aceites y Grasas de la norma de calidad.

**Tabla A3.3.3: Comparación de Requisitos para Vida Acuática**

Parámetro	Unidad	Requisito	Clase				Obs.
		NCh 1333	Exc.	1	2	3	
Oxígeno disuelto	mg/l	> 5	> 7.5	7.5	5.5	5	C3
pH	unidad	6.0-9.0	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	C3
Alcalinidad total	mg/l de CaCO <sub>3</sub>	> 20					NN
Turbiedad	Escala Si	< 30 + valor natural					NN
Temperatura	ΔT°C	< 3°	< 0.5	1.5	1.5	3	C3
Color		Ausencia de colores artificiales					NN
Sólidos Flotantes visibles y espumas no naturales		Ausentes					NN
Sólidos sedimentables		No deben exceder valor natural					NN
Hidrocarburos	mg/l	No debe haber detección visual No debe haber cubrimiento de fondo, orilla o ribera No debe haber olor perceptible	< 0.04	0.05	0.2	1.0	NN

### 3.1.3 Áreas bajo protección oficial

Para las áreas bajo protección oficial no existe normativa de requerimientos de calidad para las aguas de las que se hace algún tipo de uso (distinto de recreación, estética y vida acuática) en éstas áreas.

## 3.2 Usos Extractivos

### 3.2.1 Riego

Para determinar los requerimientos de calidad para el riego se han considerado los límites establecidos por la norma NCh 1333.Of78 modificada en 1987, normativa que establece los requisitos de calidad del agua para diferentes usos. En particular para este uso se han considerado los límites establecidos para Riego (punto 6).

A continuación se presentan tres tablas, en las que se entrega una comparación entre los requisitos establecidos por la norma NCh 1333 y los límites establecidos para cada clase en las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales, la primera corresponde a los límites establecidos para los requisitos de pH y elementos químicos, la segunda, para la conductividad específica y la tercera para los sólidos disueltos totales:

**Tabla A3.3.4: Comparación de Requisitos para Riego**

Parámetro	Unidad	Requisito	Clase				Observación
		NCh 1333	Exc.	1	2	3	
pH	unidad	5.5 - 9.0	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	C3
Aluminio	mg/l	5.00	< 0.07	0.09	0.01	5	C3
Arsénico	mg/l	0.10	< 0.04	0.05	0.1	0.1	C3
Bario	mg/l	4.00					NN
Berilio	mg/l	0.10					NN
Boro	mg/l	0.75	< 0.4	0.5	0.75	0.75	C3
Cadmio	mg/l	0.010	< 0.0018	0.002	0.01	0.01	C3
Cianuro	mg/l	0.20	< 0.0004	0.005	0.01	0.05	C3
Cloruro	mg/l	200.00	< 80	100	150	200	C3
Cobalto	mg/l	0.050					NN
Cobre	mg/l	0.20	< 0.0072	0.009	0.2	1	C2
Cromo	mg/l	0.10	< 0.008	0.01	0.1	0.1	C3
Fluoruro	mg/l	1.00	< 0.8	1	1.5	2	C1
Hierro	mg/l	5.00	< 0.8	1	5	5	C3
Litio	mg/l	2.50					NN
Litio (cítricos)	mg/l	0.075					NN
Manganeso	mg/l	0.20	< 0.04	0.05	0.2	0.2	C3
Mercurio	mg/l	0.001	< 0.00004	0.00005	0.00005	0.001	C3
Molibdeno	mg/l	0.010	< 0.008	0.01	0.15	0.5	C1

**Tabla A3.3.4 (Continuación): Comparación de Requisitos para Riego**

Parámetro	Unidad	Requisito	Clase				Observación
		NCh 1333	Exc.	1	2	3	
Níquel	mg/l	0.20	< 0.042	0.052	0.2	0.2	C3
Plata	mg/l	0.20					NN
Plomo	mg/l	5.00	< 0.002	0.0025	0.2	5	C3
Selenio	mg/l	0.020	< 0.004	0.005	0.02	0.05	C2
Sodio porcentual	%	35.00					NN
Sulfato	mg/l	250.00					NN
Vanadio	mg/l	0.10					NN
Zinc	mg/l	2.00	< 0.096	0.12	1	5	C3
Coliformes fecales	NMP/100ml	≤ 1.000	< 10	2000	5000	10000	CE-C1

**Tabla A3.3.5: Comparación de Requisitos de Conductividad para Riego**

Clasificación	c μ mhos/cm a 25 °C	Clase				Obs.
		Exc.	1	2	3	
Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales	$c \leq 750$					C1
Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles	$750 < c \leq 1.500$					C2
Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos	$1.500 < c \leq 3.000$	< 600	750	1500	2250	C3
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos	$3.000 < c \leq 7.500$					C4

**Tabla A3.3.6: Comparación de Requisitos de Sólidos disueltos para riego para Riego**

Clasificación	s s, mg/l a 105°C	Clase				Obs.
		Exc.	1	2	3	
Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales	$s \leq 500$					C1
Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles	$500 < s \leq 1.000$					C2
Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos	$1.000 < s \leq 2.000$	< 400	500	1000	1500	C3
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos	$2.000 < s \leq 5.000$					C4

### 3.2.2 Agua potable

Para el agua que sea captada para su posterior uso como agua potable no existen requisitos establecidos en la normativa chilena. Sólo existen requisitos de calidad para el agua que sea entregada para su uso como agua potable posterior a su tratamiento. Sin embargo, a raíz que el costo de ejecutar, operar y mantener un sistema de agua potable depende directamente de la calidad del agua captada para ser tratada y posterior distribución como tal, se presentan los requerimientos de calidad para agua potable. Para determinarlos se han considerado los límites establecidos por la norma NCh 409, normativa que establece los requisitos de calidad del agua potable.

A continuación se presentan una tabla, en la que se entrega una comparación entre los requisitos establecidos por la norma NCh 409 y los límites establecidos para cada clase en las Normas Secundarias de Calidad Ambiental para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales:

**Tabla A3.3.7: Comparación de Requisitos para Agua Potable.<sup>2</sup>**

Parámetro	Unidad	Requisito	Clase				Observación
		NCh 409	Exc.	1	2	3	
Turbiedad	Unidades nefelométricas	5					NN
Color Verdadero	Unidades de escala platino-cobalto	20	< 16	20	100	> 100	C1
Olor	---	Inodora					NN
Sabor	---	Insípida					NN
Amoniaco	mg/l	0.25					NN
Arsénico	mg/l	0.05	< 0.04	0.05	0.1	0.1	C1
Cadmio	mg/l	0.01	< 0.0018	0.002	0.01	0.01	C3
Cianuro	mg/l	0.20	< 0.0004	0.005	0.01	0.05	C4
Cloruros	mg/l	250 *	< 80	100	150	200	C4
Cobre	mg/l	1.0 *	< 0.0072	0.009	0.2	1	C3
Compuestos fenólicos	mg/l	0.002					NN
Cromo hexavalente	mg/l	0.05	< 0.008	0.01	0.1	0.1	CE
Detergente	mg/l	0.50	< 0.16	0.2	0.5	0.5	C3
Fluor	mg/l	1.5					NN
Hierro	mg/l	0.3 *	< 0.8	1	5	5	CE

<sup>2</sup> El Ministerio de Salud puede aceptar un contenido mayor de estas sustancias.

**Tabla A3.3.7 (Continuación): Comparación de Requisitos para Agua Potable**

Parámetro	Unidad	Requisito	Clase				Observación
		NCh 409	Exc.	1	2	3	
Magnesio	mg/l	125					NN
Manganeso	mg/l	0.10 *	< 0.04	0.05	0.2	0.2	C1-C2
Mercurio	mg/l	0.001	< 0.00004	0.00005	0.00005	0.001	C3
Nitratos	mg/l	10 *					NN
Nitritos	mg/l	1.0					NN
Plomo	mg/l	0.05	< 0.002	0.0025	0.2	5	CE
Residuos sólidos filtrables	mg/l	1000 *					NN
Selenio	mg/l	0.01	< 0.004	0.005	0.02	0.05	C1-C2
Sulfatos	mg/l	250 *	< 120	150	500	1.000	C1-C2
Zinc	mg/l	5.0 *	< 0.096	0.12	1	5	C3
pH	unidad	6.0 – 8.5	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	C3
Estroncio 90	pCi/l	10.00					NN
Radium 226	pCi/l	3.00					NN
Actividad Beta Total (excluyendo Sr-90, Ra-226 y otros emisores Alfa)	pCi/l	1000					NN
Actividad Beta Total	pCi/l	50.00					NN
Actividad Alfa Total	pCi/l	15.00					NN
Coniforme	NMP/100ml	Ausencia	< 10	2000	5000	10000	CE
DDT	µg/l	1		0.001	0.001	30	C2-C3
Heptaclor epóxido	µg/l	0.1		0.01	0.01	3	C2-C3
2,4 D	µg/l	100		4	4	100	C3
Clordano	µg/l	0.3		0.006	0.006	7	C2-C3
Lindano	µg/l	3		4	4	4	C1-C2-C3
Metoxicolor	µg/l	30					NN
Hexaclorobenceno	µg/l	0.01					NN
Aldrin	µg/l	0.03		0.004	0.004	0.7	C2-C3
Dieldrin	µg/l	0.03		0.5	0.5	0.5	CE
Endrin	µg/l	0.2					NN
Fenoprop (2, 4, 5 TP)	µg/l	10					NN
Toxafeno (camfeclor)	µg/l	5					NN
Triclorometano	mg/l	0.1					NN

### 3.2.3 Generación de energía eléctrica

Para la generación de energía eléctrica no existe normativa de requerimientos de calidad de agua.

### 3.2.4 Actividad industrial

Para el agua utilizada en la actividad industrial no existe normativa de requerimientos de calidad. Las restricciones son establecidas por cada tipo de industria y la factibilidad técnico – económica de implementación de algún sistema de tratamiento del agua requerida para sus procesos industriales, en caso que así sea necesario.

### 3.2.5 Actividad minera

Para el agua utilizada en la actividad de la minería no existe normativa de requerimientos de calidad. Las restricciones son establecidas por cada tipo de minería y la factibilidad técnico – económica de implementación de algún sistema de tratamiento del agua requerida para sus procesos industriales, en caso que así sea necesario.

### 3.2.6 Usos ancestrales

En la normativa actualmente vigente no existen requerimientos de calidad asociados a los derechos ancestrales. Por lo que debería asignarse requerimientos de calidad de agua como para riego y agua potable, ya que corresponden a los usos primordiales que se le da al agua por las comunidades mapuches.

#### 4. USOS DE AGUA POR CUENCA

En forma resumida, el informe de usos de agua por cuenca aborda fundamentalmente los usos prioritarios definidos en el IP y los complementa con otros usos que permiten tener una visión global de la cuenca:

Los usos considerados son:

- a) Usos in-situ
  - Acuicultura
  - Pesca deportiva y recreativa
  
- b) Usos extractivos
  - Riego
  - Agua Potable
  - Generación energía eléctrica
  - Actividad industrial
  - Actividad minera
  
- c) Biodiversidad
  
- d) Usos ancestrales

Todos los usos anteriores han sido llevados a una tabla en la cual se identifica el tipo de uso del agua en cada segmento de un cauce. Si bien el IP incluye la bebida para animales entre los usos prioritarios, éste no ha sido incluido en la tabla ya que no es posible asociar este uso a un determinado segmento. Del mismo modo, el IP distingue entre riego irrestricto y riego restringido. La información existente sólo permite ubicar geográficamente la ubicación de una bocatoma destinada a riego, pero no permite distinguir qué uso específico se le da al agua captada. Por este motivo, la tabla contiene una columna única destinada al riego.

En la próxima página, se presenta un ejemplo de la tabla indicada.

Junto con la tabla anterior, se prepara una lámina por cuenca en que se indica gráficamente la ubicación de los usos del agua.

**Tabla ejemplo: Usos de agua por Segmento en la Cuenca Isluga**

Cauce	Segmento	Usos in situ		Extractivos					Biodiversidad*	Ancestrales
		Acuicultura	Pesca Deportiva Y Recreativa	Riego	Captación A.P.	Hidroelectricidad	Actividad Industrial	Actividad Minera		
Río Isluga	1041-IS-10	█	█	•	█	█	█	█	•	•
	1041-IS-20	█	█	•	█	█	█	█	•	•
Río Sitani	1041-SI-10	█	█	•	█	█	█	█	•	
	1041-SI-20	█	█	•	█	█	█	█	█	•
	1041-SI-30	█	█	•	█	█	█	█	█	•
	1041-SI-40	█	█		█	█	█	█	█	█
Río Grande	1041-GR-10	█	█		█	█	█	█		•
	1041-GR-20	█	█		█	█	█	█		█
Río Cariquima	1041-CA-10	█	█		█	█	█	█		•
	1041-CA-10	█	█		█	█	█	█		█

\* En esta columna se incluyen los SNASPES Y la “Estrategia Regional y Plan de Acción de la Biodiversidad I Región de Tarapacá”.

**ANEXO A4**  
**FACTORES QUE INCIDEN EN LA CALIDAD DEL**  
**AGUA**

#### **A4. FACTORES QUE INCIDEN EN LA CALIDAD DEL AGUA**

##### **1. INTRODUCCION**

###### **1.1 Conceptos Generales**

La calidad del agua de los cursos superficiales está condicionada por las características propias de las hoyas hidrográficas, así como por las actividades antrópicas que en ella se desarrollan. A nivel general, en Chile las características más relevantes de las hoyas hidrográficas en relación a la calidad de sus aguas son las siguientes:

- Las condiciones climáticas de aridez o semi aridez de las cuencas del Norte Grande y Norte Chico.
- Condiciones de clima altiplánico de influencia amazónica en los ríos altos del Norte Grande.
- Las condiciones de clima templado en la zona central desde la cuenca del río Aconcagua hasta el río Laja.
- Las condiciones climáticas de abundancia de precipitaciones en la zona templada húmeda, particularmente desde la cuenca del río Bío Bío hasta la cuenca del río Puelo
- Las condiciones de clima templada, húmeda, oceánica y patagónica desde el río Futaleufú hasta el cabo de hornos.
- La presencia del cordón montañoso de la cordillera de los Andes, con sus plegamientos, fallas y conos volcánicos.
- La presencia de la cordillera de la Costa y los valles transversales del Norte Chico.
- El corto recorrido de los ríos, producto de la angosta extensión transversal del territorio nacional.
- La abrupta pendiente de la mayoría de los ríos chilenos que disipan gran cantidad de su energía como torrentes.
- El intercambio napa – río que ocurre por lo general desde el llano central hasta la desembocadura en el océano Pacífico.
- La existencia de reservorios de aguas subterráneas especialmente en los llanos centrales del Norte Grande y zona central.
- Existencia de salares y depósitos de evaporitas en el Norte Grande.
- La presencia de grandes masas de hielo y/o nieve de las cuales se generan gran parte de los cursos de agua desde la cuenca del Toltén al sur.

- Existencia de franjas metalogénicas que se distribuyen desde la Región de Tarapacá hasta la VI Región en ambas cordilleras, en sentido longitudinal norte sur.
- Composición de alto contenido de aluminosilicatos (arcillas) en los suelos, producto de la meteorización de las micas e ignimbritas volcánicas, que se encuentra ampliamente distribuido longitudinalmente en la totalidad del territorio nacional.
- Composición de alto en contenido de algunos inorgánicos como el calcio y magnesio en la litología que le confieren cualidades “duras” a las aguas desde las cuencas del Lluta hasta la del Rapel.
- La presencia de una enorme masa boscosa y arbustiva de origen nativo en la pre cordillera desde la región de la Araucanía al sur.
- Presencia de turbales de las regiones Patagónicas.

Respecto a las actividades antropogénicas que alteran la calidad de las aguas destacan:

- La concentración espacial de la población y actividades industriales, principalmente en las ciudades de Santiago, Concepción y Valparaíso.
- Centros urbanos ubicados contiguos a los cursos de agua.
- Extracciones de agua para uso minero especialmente en la zona norte del país.
- Efluentes líquidos de la industria minera metálica y no metálica. Relaves mineros y plantas de beneficios de minerales desde el Norte Grande a la VI Región.
- Presencia de embalses para riego y de generación eléctrica.
- Extracciones de agua de los cursos fluviales a partir de canales de regadío.
- Las amplias zonas de cultivos agrícolas de la zona central.
- La amplias zonas de plantaciones de pinus radiata y eucaliptus globulus en la zona centro – sur, especialmente en la cordillera de la costa.
- La presencia de ganado caprino en el Norte Chico y de ganado bovino y ovino en la Zona Patagónica.
- Actividades ganaderas bovinas en la X Región y parte de la Araucanía.

## 2. INCIDENCIA DE LOS FACTORES EN LA CALIDAD DEL AGUA

### 2.1 Identificación de Factores

Como se afirmó anteriormente, la composición química de las aguas superficiales está condicionada por *factores naturales* provenientes de las particularidades físicas de la hoya hidrográfica como son: geografía local, régimen de precipitaciones, temperaturas, litología, suelos, volcanismo, hidrogeología, cobertura vegetal y por *factores antropogénicos* como los asentamientos humanos y actividades económicas como: industrias, minería, agricultura, ganadería, silvicultura, e infraestructuras como obras hidráulicas y urbes.

La tabla A4.2.1 entrega una visión a nivel general de los efectos en la calidad del agua de cada uno de los factores incidentes en las cuencas, indicando los parámetros de calidad afectados y los mecanismos por los cuales estos provocan los cambios en el agua.

**Tabla A4.2.1: Factores que Afectan la Calidad del Agua**

ORIGEN	FACTOR	PARÁMETROS AFECTADOS	MECANISMOS DE MODIFICACIÓN DE LA CALIDAD
Natural	Geomorfología	Inorgánicos, Oxígeno disuelto y materia orgánica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Orografía, pendiente y el relieve. La orografía determina la cantidad de nieve que es capaz de almacenar la cuenca. La pendiente define la cantidad de energía a disipar y el relieve la morfología fluvial del cauce por el cual debe circular o la formación de masas de agua.</li> </ul>
	Climatología	Todos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ciclo hidrológico da cuenta del ingreso del agua al sistema hídrico de la cuenca. Los agentes más importantes son, las precipitaciones – nivales y pluviales- y la temperatura que da cuenta de la capacidad de evaporación de la cuenca.</li> </ul>
	Geología	Inorgánicos y metales	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La lixiviación y meteorización de cuerpos mineralizados. Su efecto se ve acrecentado por fenómenos de solifluxiones.</li> </ul>
	Cobertura vegetal	Orgánicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Las áreas donde existen cubiertas vegetales bien establecidas se aumenta la infiltración, disminuye la escorrentía y por tanto las cargas de lavado y existe una mayor evapotranspiración.</li> </ul>

**Tabla A4.2.1 (Continuación): Factores que Afectan la Calidad del Agua**

ORIGEN	FACTOR	PARÁMETROS AFECTADOS	MECANISMOS DE MODIFICACIÓN DE LA CALIDAD
Natural	Edafología	Inorgánicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>La textura del suelo da cuenta de la infiltración del agua dentro del ciclo hidrológico. Así mismo la composición del suelo indica la propensión a la ocurrencia de escorrentías o cargas de lavado.</li> </ul>
	Hidrogeología	Inorgánicos y metales	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recarga del cuerpo superficial por napas. Aumenta la concentración de metales e inorgánicos. Normalmente es el portador de todos los fertilizantes nitrogenados, nitritos y pesticidas utilizados en la agricultura y silvicultura. Los lugares de surgencia de los acuíferos con el río serán puntos de cambios en la calidad del agua superficial.</li> </ul>
	Hidrotermalismo	Inorgánicos y metales	<ul style="list-style-type: none"> <li>Surgencia de aguas de origen hidrotermales, de procedencia hidrotermales son ricas en inorgánicos y metales disueltos.</li> </ul>
	Volcanismo	Inorgánicos y metales	<ul style="list-style-type: none"> <li>Añaden compuestos químicos desde el magma a través de lavas andesíticas y basálticas. En aquellos lugares donde existan abundancia de volcanes se puede afirmar que habrá presencia de sulfatos y compuestos sulfurados que son productores potenciales de aguas ácidas.</li> </ul>
Antropogénicos	Industrias	Metales, DBO <sub>5</sub> , inorgánicos, fisicoquímicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Descarga de efluentes líquidos ricos en compuestos orgánicos, metales disueltos y sólidos suspendidos en los cursos de agua. Se presentan como fuentes puntuales en forma de riles.</li> </ul>
	Agricultura	Plaguicidas y nutrientes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Añadición de plaguicidas y fertilizantes a los cultivos que posteriormente drenan a los cuerpos de agua superficiales y subterráneos. Se presenta como fuentes difusas.</li> </ul>
	Ganadería	Microbiológicas, DBO <sub>5</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aporte por fecas y purines. La presencia de ganado incrementa la cantidad de materia orgánica, coliformes y nutrientes.</li> </ul>
	Silvicultura	Plaguicidas, Fisicoquímicos y orgánicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Idem a la agricultura, pero en menor magnitud. La presencia de plantaciones de árboles disminuye la escorrentía.</li> </ul>
	Urbanístico	Microbiológica, Fisicoquímicos, metales	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aporte de aguas servidas, las cuales aportan principalmente: coliformes, DBO<sub>5</sub>, aceites y grasas, sólidos suspendidos y nutrientes, disminuyen el OD.</li> </ul>

**Tabla A4.2.1 (Continuación): Factores que Afectan la Calidad del Agua**

ORIGEN	FACTOR	PARÁMETROS AFECTADOS	MECANISMOS DE MODIFICACIÓN DE LA CALIDAD
Antropogénicos	Extracciones	Todos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Dilución: Alteran la calidad al dejar un caudal pasante menor y por tanto con menor capacidad de dilución de contaminantes que se agregan en un segmento inferior.</li> </ul>
	Embalses	Todos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Concentran contaminantes como nutrientes y sólidos suspendidos y sedimentables. Disminuye la cantidad de oxígeno aguas bajo del embalse.</li> </ul>
	Minería	Metales, pH, inorgánicos, fisicoquímicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El movimiento de menas mineralizadas o las operaciones unitarias son grandes generadoras de Riles con altas concentraciones de metales y inorgánicos.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia.

## 2.2 Contaminación Natural

Los contaminantes naturales más comúnmente presentes en las cuencas chilenas son los inorgánicos y los metales que se encuentran presentes en las formaciones rocosas y cuerpos mineralizados que se encuentran contenidos en la cuenca.

La tabla siguiente da cuenta de los compuestos contaminantes más abundantes en las cuencas de para cada una de las regiones:

**Tabla A4.2.2: Compuestos Contaminantes Metálicos más Comunes**

REGION	CONTAMINANTE NATURAL TIPICO
I	Al, B, Li, Mo, Ag, Ba, Asbesto, Sb, Na, U
II	Al, B, Li, Mo, Ag, Be, Ba, Sb, Na, U
III	Al, B, Li, Mo, Va, Ag, Ba, Sb, Na, U
IV	Mo, Va, Ag, Ba, Asbesto, Sb, U
V	Al, Mo, Ba
RM	Al, Mo, Ba
VI	Al, Mo, Sb, U
VII	Al, Li, Va, Asbesto
VIII	Al, Ni, Asbesto
IX	Al, Mo, Ni, Asbesto
X	Al, Ni, Asbesto, Sb
XI	Mo, Ag, U
XII	Sb

Fuente : SISS – U. de Chile – Análisis de presencia de contaminantes no controlados en agua potable -2001

La tabla anterior podría llevar a pensar que la geología es un factor incidente muy importante en las cuencas nacionales, sin embargo, de los antecedentes geológicos e hidrogeológicos disponibles indican que los flujos de agua superficiales y subterráneas cortan unidades geológicas similares en todo el país en corto tiempo y con gradientes topográficos relativamente altos, por lo cual no se le debe asignar un valor de importancia a la litología como elemento contaminante, exceptuándose de esta condición el río Loa en la región de Antofagasta y la Región de Magallanes donde existen sistemas de drenaje sobre grandes cuencas sedimentarias.

Los elementos contaminantes de la tabla anterior, deberían estar relacionados a concentraciones anómalas de elementos que corresponden a yacimientos, ya sea metálicos o no metálicos, exceptuando de esta condición el Aluminio, que se encuentra disponible en todos los lugares en forma de arcilla (silicatos de aluminio).

El grado de contaminación dependerá también de la cantidad de agua que esté disponible por el compuesto contaminante. De acuerdo a esto el mayor riesgo de contaminación ocurriría en las regiones I a la IV debido a las bajas tasas de precipitación.

### 2.3 Contaminación de Origen Antropogénico

Los factores que deterioran la calidad del agua son las descargas de aguas servidas, los residuos industriales y los plaguicidas. Los cuales ocurren ya sea por fuentes puntuales – aguas servidas y Riles – y difusas como los pesticidas y aguas servidas. Los parámetros contaminantes más relevantes para las aguas servidas son: DBO<sub>5</sub>, Coliformes fecales y totales, Aceites y grasas, Sólidos suspendidos, Nitritos y pH.

#### 2.3.1 Contaminación puntual

A partir de la dictación del DS 90/2000 del MinSeGPres, se regularizó las descargas de aguas servidas y Riles a los cursos y cuerpos de agua a través del cumplimiento en un plazo perentorio de dichas descargas por las empresas sanitarias y las industrias. Antecedentes generales indican que en el país el año 2001, el 39,4% de las aguas servidas fueron sometidas a tratamiento y por otra parte el 65% de las aguas de origen industrial fue vertida a alcantarillado y el 35 % restante fue vertido directamente a aguas superficiales y al litoral.

La tabla A4.2.3 da cuenta de las coberturas de tratamiento de aguas servidas por las principales empresas sanitarias del país:

**Tabla A4.2.3: Cobertura de Tratamiento de Aguas Servidas**

REGION	EMPRESA	POBLACION	% DE COBERTURA REFERIDAS A POBLACIÓN			
			Dic. 2001	Proyecciones a Diciembre		
				2002	2005	2010
I	ESSAT	402.366	96,3	88,3	93,4	99,4
II	ESSAN	446.716	61,1	100,0	100,0	100,0
III	EMSSAT	236.962	72,0	75,5	83,1	94,4
IV	ESSCO	510.890	93,5	95,6	97,4	98,0
V	ESVAL	1.402.117	61,9	83,4	93,2	97,7
	COOPAGUA	3.294	20,7	25,0	35,0	98,0
VI	ESSEL	522.022	78,6	84,4	92,1	97,4
VII	ESSAM	603.945	23,8	23,8	99,9	100,0
VIII	ESSBIO	1.564.726	32,5	35,9	95,3	100,0
IX	ESSAR	568.263	9,0	13,0	81,4	91,3
X	ESSAL	520.531	7,4	14,9	94,8	98,0
	AGUAS DECIMA	125.562	90,8	91,3	93,9	98,5
XI	EMSSA	67.926	70,3	70,9	72,6	73,5
XII	ESMAG	145.742	10,6	10,6	100,0	100,0
RM	AGUAS ANDINA	5.387.565	22,4	23,2	73,0	99,5
	AGUAS CORDILLERA	398.883	0,0	0,0	0,0	0,0
	AGUA LOS DOMINICOS	13.400	0,0	0,0	34,0	100,0
	AGUAS MANQUEHUE	16.452	39,8	42,9	43,4	100,0
	SERVICOMUNAL	68.044	85,2	85,2	88,3	95,7
	SMAPA MAIPU	570.964	99,9	100,0	100,0	100,0

Fuente: SISS – Informe Anual de Coberturas de Servicios Sanitarios – Mayo 2002

De la proyección mostrada en la tabla se puede inferir que a partir del año 2005, la gran mayoría de las Empresas Sanitarias tendrían saneada las aguas servidas en un 82,3 %, por lo cual su importancia como factor incidente en la calidad de las aguas se reducirá considerablemente a partir de esta fecha.

No obstante lo anterior, queda el problema de contaminación difusa de aguas servidas en el sector rural y urbano, la cual se manifiesta a través de algunos retretes ubicados sobre canales de regadío que drenan posteriormente hacia los cursos de agua, los drenajes subterráneos de pozos negros cercanos a acuíferos o cursos superficiales y finalmente los lixiviados procedentes desde vertederos municipales de escombros y basura doméstica.

Respecto a los residuos líquidos industriales, un análisis realizado en 1999 por la Superintendencia de Servicios Sanitarias (SISS) registró que apenas el 6,7 % de los efluentes era descargada directamente a algún río y un 2,9 % a algún canal de regadío. El resto es descargado a alcantarillado (65,7%), infiltrado (14,4%) y mar (6,8%).

La tabla A4.2.4 muestra las actividades económicas que emiten mayor cantidad de carga total en sus Riles. La Tabla está ordenada de acuerdo a la jerarquía contaminante, la Clasificación CIU y la carga total en kg/mes.

**Tabla A4.2.4: Actividades Económicas que Emiten mayor carga de Riles**

JERARQUIA	CIU	ACTIVIDAD	Nº INDUSTRIAS	CARGA TOTAL (kg/mes)
1	31154	Producción de harina de pescado	8	10.976.844
2	31181	Fabricación y refinación de azúcar	3	3.560.210
3	34111	Fabricación de Celulosa y Papel	3	3.264.151
4	13001	Pesca litoral y en estuarios	4	2.698.386
5	31134	Fabricación de conservas, caldos concentrados y otros alimentos deshidratados	1	1.769.202
6	37201	Fabricación de productos primarios de metales no ferrosos	2	1.505.773

Fuente: SISS – U. de Chile – Análisis de presencia de contaminantes no controlados en agua potable –2001

El Catastro de Residuos Industriales Líquidos de la SISS, permite identificar a nivel de regiones, los códigos CIU de las industrias más relevantes en cada una de las regiones. La tabla V.2.5 presenta una jerarquía e importancia de los códigos CIU en cada una de las regiones:

**Tabla A4.2.5: Jerarquía e Importancia por Regiones de Actividades Industriales**

REGION	CODIGO CIU		
	1er Lugar	2do Lugar	3er Lugar
I	384	-	-
II	313	-	-
III	-	-	-
IV	313	311	-
V	311	352	111
VI	313	311	111
VII	313	311	341
VIII	311	341	361
IX	311	341	323
X	311	381	341
XI	311	-	-
XII	311	351	-
RM	311	381	313

Fuente : SISS, 2001

Nota: La tabla no considera los efluentes mineros

**Tabla A4.2.6: Actividades Industriales según Clasificación CIU**

CODIGO CIU	ACTIVIDAD INDUSTRIAL
111	Crianza de ganado
311	Industria de alimentos
313	Industria de bebidas
323	Industria del cuero
341	Industria de madera y papel
351 y 352	Industria química
361	Industria de cerámicos
381	Fabricación de productos metálicos
384	Construcción y reparación de maquinaria

Las regiones con mayor actividad industrial en el país la constituyen las regiones Metropolitana, VIII y V respectivamente en orden de importancia, de lo cual se puede esperar que como factores incidentes más relevantes que descarguen a cuerpos de agua superficiales sean:

- Efluentes de Industrias de alimentos (311);
- Efluentes de industrias de fabricación de productos metálicos (381);

- Efluentes de industrias de madera y papel (341); y
- Efluentes de industrias químicas (351 y 352)

Los parámetros contaminantes más usuales por actividades industriales lo constituyen los indicados en la tabla siguiente:

**Tabla A4.2.7: Parámetros Contaminantes según Actividad Económica**

CIU	DBO <sub>5</sub>	pH	T	SS	SD	A y G	HC	N	P	Fenol	Colif.	PE	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	Cd	Cr	Fe
111	♦	♦		♦		♦		♦	♦		♦					
311	♦	♦	♦	♦	♦	♦		♦	♦		♦	♦				
313	♦	♦	♦													
323	♦	♦	♦	♦	♦	♦		♦				♦	♦		♦	
341	♦	♦	♦	♦	♦	♦	♦	♦	♦	♦			♦	♦	♦	
351 y 352	♦	♦	♦	♦	♦		♦	♦	♦	♦		♦	♦	♦	♦	♦
361				♦	♦											
381		♦	♦	♦	♦	♦				♦			♦	♦	♦	♦
384	♦	♦	♦	♦		♦	♦	♦	♦	♦		♦	♦	♦	♦	♦

Fuente: DS 609/1998 MOP

### 2.3.2 Contaminación difusa

La agricultura y la silvicultura son actividades económicas productivas que constituyen factores antropogénicos que inciden en la calidad de los cursos y cuerpos de aguas superficiales a través del uso de fertilizantes y pesticidas. La ganadería, por otro lado, también adiciona compuestos fecales y nitrogenados a las aguas. A diferencia de la contaminación puntual, estos contaminantes llegan a los cursos y masas de agua por un mecanismo diferente dado por escorrentías e infiltraciones no localizadas en el río.

En la agricultura y la silvicultura, para aumentar la eficiencia de los cultivos, es una práctica habitual adicionar fertilizantes a los suelos. En Chile aproximadamente al 90% de los campos agrícolas se le adicionan principalmente fertilizantes de origen nitrogenados y fosfatados los que se aplican al inicio de la época de los cultivos – otoño y más fuertemente al inicio de la primavera -. Los fertilizantes nitrogenados son altamente solubles con agua, no así los fosfatados que quedan adsorbidos en las partículas superficiales de suelos. En cada informe de cuenca, se ha incluido el Anexo 3.2 (Contaminación Difusa), en el cual se describen las prácticas agrícolas, los productos utilizados, la época y las dosis.

Por otra parte, es importante destacar que estas actividades productivas no ocurren naturalmente sino que son cultivos artificiales susceptibles de ser atacados por plagas locales. Esta particularidad, obliga al agricultor o silvicultor a introducir plaguicidas para mantener el vigor y la salud de las plantaciones ante agentes de daño como insectos, nemátodos y hongos que sin este control acabarían los cultivos, o no estarían en condiciones de calidad que el mercado requiere. Los plaguicidas, por lo general, son fabricados para cada tipo de cultivo específico para el control de sus enfermedades intrínsecas. Para determinar el grado de solubilidad de los plaguicidas en el agua se utiliza un parámetro conocido como coeficiente de adsorción denominado  $K_{oc}$ . Los plaguicidas con bajos valores de  $K_{oc}$ , habitualmente son los más solubles y por tanto los que tienen mayor probabilidad de infiltrar los suelos, y por tanto, de contaminar el acuífero.

Según antecedentes del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG, 1998) señalan que los plaguicidas más vendidos en el país son los siguientes:

**Tabla A4.2.8: Plaguicidas más Vendidos en Chile**

PLAGUICIDA	PORCENTAJE DEL TOTAL (%)
Azufre	18,7
Aceite mineral	17,3
Acido giberélico	7,3
Glifosato	5,5
Clorpirifos	5,3
Cyprodinil	3,9
Azufre/captán	3,2
Otros	38,8

Fuente: SAG, 1998

De los compuestos más vendidos aproximadamente el 38,8 % esta considerado en el proyecto de norma DN 87/01. De este porcentaje los más utilizados en las actividades silvoagropecuarias son:

- Atrazina
- Captán
- Carbofurano
- Clorotalonil
- Cyanazina
- Demetón
- Diclofopmetil

- Dimetoato
- Pentaclorofenol
- Simazina
- Trifluralina

En el país el mayor uso del agua es para labores de riego. Se irrigan aproximadamente 2.000.000 ha de superficie cultivable, que se desglosa en 1.300.000 ha con riego asegurado para el 80% y las 700.000 ha restantes para riego eventual. De los datos anteriormente señalados se puede inferir que aproximadamente un 65 % del agua de estos predios – que son regados por canales – escurrirán y difundirán hacia el subsuelo con cierta periodicidad, en tanto el 35% restante - que es de riego eventual -, escurrirá y difundirá sólo si existe un grado tal de precipitaciones que logren llevar los contaminantes por escorrentía o infiltrarse al subsuelo.

La persistencia de plaguicidas en suelos y aguas superficiales se relaciona con características del plaguicida como: estructura/ propiedades intrínsecas, reactividad química, presión de vapor, estabilidad fotolítica, capacidad de adsorción y degradación biológica inherente. La tabla A4.2.9 muestra antecedentes sobre mecanismos de degradación de pesticidas.

**Tabla A4.2.9: Persistencia y Mecanismos de degradación predominante en pesticidas incluidos en la DN 87/01**

PLAGUICIDA	t ½ (días)	MECANISMOS DE DEGRADACION			
		Hidrólisis química	Biodegradación	Degradación fisicoquímica	Volatilización
Atrazina	30 a pH 5 60 a pH 7	X	X		
Captan		X			
Carbofurano	30-60	X	X	X	
Clorotalonil			X		
Cyanazina	20	X	X		
Demeton	63				
Diclofop metil		X	X		
Dimetoato	7		X		
Pentaclorofenol			X		
Simazina	60 a pH 5 70 a pH 7		X		
Trifluralina	21		X	X	X

Algunas propiedades del suelo como contenido orgánico, contenido y disponibilidad de humedad, textura del suelo, pH, comunidad microbiana, potencial redox y flujo de aguas también son factores que inciden en el destino de los plaguicidas aplicados. Los factores climáticos como temperatura, luz solar lluvia y tasa de evaporación también son importantes en el tiempo de degradación de los pesticidas.

Los mecanismos de transporte de los plaguicidas y fertilizantes hacia los cursos de agua superficiales se deben a escorrentías principalmente y a infiltraciones. Para el caso de las escorrentía es muy importante el relieve o geomorfología en donde se encuentren los cultivos, porque indicará el grado de escurrimiento hacia los cursos de agua. Para el caso del mecanismo de infiltración es importante tener presente que este dependerá en gran medida de la vulnerabilidad del suelo y de la tecnología de aplicación del plaguicida y del la técnica de laboreo.

La tecnología puede en algunos casos magnificar el efecto de la infiltración y en otros atenuarlo. En cambio, la vulnerabilidad es la característica que tienen los suelos de contaminarse más intensamente o en mayor magnitud.

Los factores tecnológicos predisponentes son:

- Aplicación directa de los productos al suelo
- Uso de productos hidrolubles
- Uso de productos con bajo  $K_{oc}$
- Uso de productos persistentes
- Uso de productos aplicados masivamente
- Aplicación del producto vinculado al riego
- Productos son aplicados al inicio de las lluvias
- Productos son aplicados durante varios años

La contaminación difusa se incrementa si ocurre alguno de los siguientes factores:

- El laboreo de los suelos es con rotura de superficie y/o exposición de superficie desnuda a lluvia;
- Se convierten cada día más bosques en praderas o cultivos; y
- Se usa riego superficial (surco, tendido, aspersión)
- Usos homogéneos de suelos (tipos forestal, frutal, agrícola, praderas y cereales).

- Aplicación de fertilizantes nitrogenados y fosfatados (identidad, dosis, época de aplicación).
- Aplicación de plaguicidas (identidad, dosis, épocas de aplicación, prioridad, persistencia, con bajo  $K_{oc}$  e hidrosolubles).
- Aplicación en cantidades importantes y por períodos importantes.
- Existencia de ganadería doméstica bovina (pastoreo directo, confinamiento y gestión de residuos)
- Existencia de ganadería porcina (confinamiento y gestión de residuos)

Los factores que más inciden en la vulnerabilidad son:

- Facilidad de acceso de aguas percoladas desde la superficie de la tierra;
- Facilidad de acceso de aguas que fluyen en suelos cultivados;
- Régimen pluviométrico de la zona
- Presencia / ausencia de estratos impermeables
- Profundidad de la napa (oscilación anual)
- Tiempo de residencia de aguas en las napas
- Relieve
- Capacidad de infiltración

La contaminación difusa está íntimamente relacionada con la escorrentía que se genera en las laderas de los cauces. Según se pudo constatar evaluando la bibliografía existente sobre predios forestales y agrícolas, cuyo detalle se encuentra en el capítulo 4 “Cuantificación de Pérdida de Suelo en Faenas Forestales”, la conclusión principal es que el mecanismo de transporte por escorrentía es mucho mayor en suelos agrícolas que en los forestales, debido a que la erosión es mayor (aproximadamente ocho veces). Esto implica que la contaminación difusa debido a actividades agrícolas es muy superior a la proveniente de actividades silvícolas. Desde el punto de vista práctico, para efectos de este estudio, la contaminación silvícola no será considerada cuantitativamente.

En relación con la posible contaminación con plaguicidas a nivel nacional se tienen antecedentes de potenciales contaminaciones en las regiones comprendidas entre la V y la VIII Regiones. La DGA ha realizado mediciones de pesticidas de Santiago al Norte y no ha detectado presencia de ellos, en tanto el INIA ha medido sólo trazas de organoclorados en el 61,9 % de muestras obtenidas en la VI Región y en el 33,3% de las regiones VII y VIII.

Sin embargo, podrían existir ciertos segmentos de ríos pertenecientes a las cuencas de estas regiones, en que por motivos de fuertes extracciones de agua presenten valores detectables de plaguicidas, especialmente durante los meses de mayor aplicación, esto es, durante las estaciones de otoño y primavera. En el capítulo 5 se presenta una metodología de estimación de la contaminación difusa en un cauce seleccionado. Esta se aplicará en aquellos casos en que se carezca totalmente de mediciones.

3. METODOLOGIA PARA IDENTIFICAR LOS FACTORES INCIDENTES EN LA CUENCA

El análisis de los factores incidentes que afectan la calidad del agua se realiza mediante una tabla de doble entrada en la cual se identifica en la primera columna el segmento en estudio, mediante la estación de calidad asociada a éste. La segunda identifica los factores tanto naturales como antropogénicos que explican los valores de los parámetros contaminantes. La tercera identifica aquellos parámetros seleccionados que sobrepasan la clase de excepción del Instructivo asociados al segmento correspondiente y de los cuales se dispone de información ya sea proveniente de la red de monitoreo de la DGA y/o de muestreos puntuales realizados por otra entidad. La última columna fundamenta y particulariza los factores incidentes.

La tabla siguiente es un ejemplo que explica los factores incidentes en la cuenca del río Maipo.

**Tabla A4.3.1: Factores Incidentes en la Calidad del Agua en la Cuenca del Río Maipo**

ESTACION DE CALIDAD / SEGMENTO	FACTORES INCIDENTES		PARÁMETROS QUE PUEDEN VERSE AFECTADOS	CARACTERIZACIÓN DEL FACTOR
	NATURALES	ANTROPOGENICOS		
Río Maipo en las Melosas 0570-MA-20	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La disponibilidad de sulfuros - debido al volcanismo y actividades mineras - más agua, es el origen de aguas de drenajes de minas de pH ácidos (<math>\approx</math> pH 2).</li> <li>• La litología del área indica la existencia de rocas que favorecen el drenaje ácido.</li> <li>• Existe un gran área que queda bajo la isoterma cero, lo que favorece la meteorización de las rocas</li> <li>• La cobertura vegetal es escasa, por lo cual da paso a frecuentes escorrentías.</li> <li>• Lixiviación superficial y subterránea de filones de mineralizados de la franja metalogénica.</li> <li>• La precipitación nival, la meteorización y lixiviación dan origen a la disolución de Cu y Fe</li> <li>• Existencia de yeso y su explotación da origen a sulfatos</li> <li>• Escorrentías de arcillas (aluminio silicatos) con pH básico generan complejos de aluminio en solución.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Veranadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CE, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, Fe, Cu, Al, RAS, Mn, Cr, Pb, Mo, SST</li> <li>• Posiblemente: SD</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geología: Formaciones geológicas de origen sedimento volcánicos del período cretácico y jurásico, consistente en coladas, brechas, tobas e ignimbritas con intercalaciones de lutitas, calizas, areniscas y conglomerados. En la parte más alta se encuentran rocas volcánicas puras del período cuaternario.</li> <li>• Volcanismo: Volcán Maipo</li> <li>• Hidrogeología: Existen afloramientos hidrotermales contiguos al río Maipo llamados “Pozones Puento de Tierra”</li> <li>• Industria: Aguas abajo de Las Melosas se encuentra la central hidroeléctrica “Los Queltehues” que es de generación de pasada.</li> <li>• Hidrología: Canalización del río antes de entrada a Central Los Queltehues. Presencia de glaciales que en el verano generan agua con gran cantidad de sólidos suspendidos.</li> <li>• Litología: El área que comprende al segmento es atravesado por la franja metalogénica F11 que corre de norte a Sur desde la minera Los Pelambres (IV región) hasta el Teniente (VI Región)<sup>1</sup></li> <li>• Gran extensión del segmento es perteneciente al fundo “Cruz de Piedra”</li> </ul>

#### 4. METODOLOGÍA DE ESTIMACION PRELIMINAR PARA DBO<sub>5</sub>, COLIFORMES FECALES Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS

##### 4.1 Introducción

La metodología que a continuación se presenta tiene como objetivo completar información de calidad para los parámetros: DBO<sub>5</sub>, SS y Coliformes fecales en aquellos segmentos o tramos de los cursos de agua superficiales donde no se cuenta con información. La estimación de los parámetros realizada de acuerdo a este procedimiento corresponde a Información de Nivel 5.

Esta base de datos se elaboró a partir de balances de materiales de mezcla instantánea, manejo estadístico de datos existentes y, finalmente, de homologación de datos de cuencas vecinas, con registros de medición.

El alcance de esta metodología no está pensada en utilizar modelos rigurosos (QUAL2, MIKE 11, etc), sino que tan sólo entregar valores aproximados de lo que serían las concentraciones de los parámetros antes descritos.

Los balances de material utilizados para la DBO<sub>5</sub> y los CF se realizaron en Planillas Electrónicas (MS Excel), con el fin de automatizar el proceso de estimaciones, las cuales sólo se usaron en aquellos tramos del río en la cual existían factores antrópicos.

A continuación, para cada uno de los parámetros, se describe el método de estimación con un ejemplo.

##### 4.2 Metodología de estimación para la DBO<sub>5</sub>:

La base de datos del monitoreo de la DGA para la gran mayoría de los cursos de agua cuenta con registros de Demanda Química de Oxígeno (DQO), parámetro que no se encuentra en el Instructivo Presidencial, pero que sin embargo es una información que puede ser usada para estimar con cierta certeza la cantidad de DBO<sub>5</sub>, existente en el segmento en estudio.

Para estimar la proporción de  $DBO_5$  existente a partir de la DQO, se realizó un estudio de dos ríos que contaban simultáneamente con estos datos (ríos Maipo y Bío Bío) y se obtuvieron valores en las vecindades de 0,2. Por lo tanto se asumió como criterio de diseño para los restantes ríos la siguiente proporción:

$$\frac{DBO_5}{DQO} = 0,2$$

A la base de datos DQO, se le estiman los valores para dos percentiles 66% (condición anual) y 95% (condición de sequía). A estos valores se multiplican por 0,2 y se obtiene la  $DBO_5$ . La hoja electrónica adjunta representa la situación descrita:

## CALCULO DE DBO5 PARA LA HOYA HIDROGRAFICA RIO BIO BIO

Hecho Por: Alex Rey  
Fecha: 14-05-2003

### Objetivo:

La siguiente rutina de cálculo permite obtener la concentración de la DQO y DBO5 estimada en un segmento de la cuenca. Para ello se estimará en base a datos de la DGA, la cual se le calculará el percentil del 66% (régimen anual) y 95% (régimen de sequía)

### 1.- SEGMENTO RIO LAJA - CENTRAL ANTUCO:

Parámetro: DQO

DATOS

22.0
23.0
15.0
33.0
18.0
13.0
22.0
7.0
6.0
11.0
13.0
5.0

DQO( 66%) = 19.0 mg/l (Anual)  
DQO( 95%) = 27.5 mg/l (Estiaje)

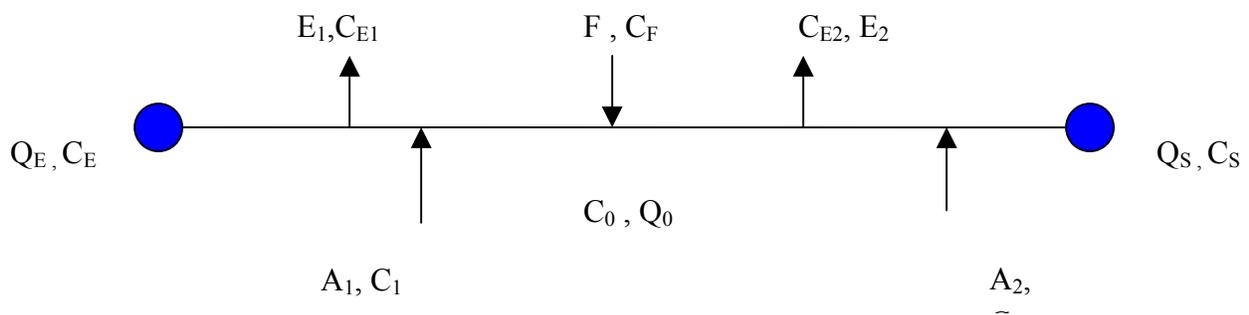
DBO5 (66%)= 3.8 mg/l (Anual)  
DBO5 (95%)= 5.5 mg/l (Estiaje)

Hoja: 1 de 7

Para el caso de aquellos tramos en la cual no existían datos de DQO disponibles y fuesen tramos de cabecera, se adoptó como valor de  $DBO_5 < 5 \text{ mg/L}$ , porque en ríos de cabecera los valores disponibles jamás han superado ese valor, ya sea por contaminación de ganado de veranadas o por aporte alóctono de la vegetación circundante.

Para el caso de aquellos tramos donde no existían datos de DQO y fueran tramos en que la intervención antropogénica fuese acentuada, se realizó un balance de material de mezcla instantánea.

El balance de materiales se realizará siguiendo el siguiente modelo:



En el Punto 0:

$$Q_0^+ = Q_0^- + F$$

$$Q_0^- = Q_E - E_1 + A_1$$

$$C_0^- = (Q_E C_E - E_1 C_{E1} + A_1 C_1) / Q_0^-$$

$$C_0^+ = (Q_0^- C_0^- + F C_F) / Q_0^+$$

$$C_S = (Q_0^+ C_0^+ + A_2 C_2 - E_2 C_{E2}) / Q_S$$

En que:

- $Q_0^-$  : Caudal del segmento de río en el punto antes de la descarga del efluente
- $C_0^-$  : Concentración del río en el parámetro intensivo j antes de la descarga del efluente
- $A_1, A_2$  : Aportes de tributarios intermedios
- $E_1, E_2$  : Extracciones en el segmento
- $F$  : Caudal del efluente
- $Q_S$  : Caudal de salida del segmento
- $C_S$  : Concentración de salida del segmento

Esta rutina de cálculo permite determinar la concentración instantánea de los parámetros de calidad que sean intensivos y no dependan de fenómenos de degradación o reaeración.

La hoja de cálculo electrónica adjunta, titulada “Balance de Material Estacionario en Segmentos de la cuenca Bío Bío” representa un balance de la siguiente situación:

**BALANCE DE MATERIAL ESTACIONARIO EN SEGMENTOS DE CUENCA BIO BIO**

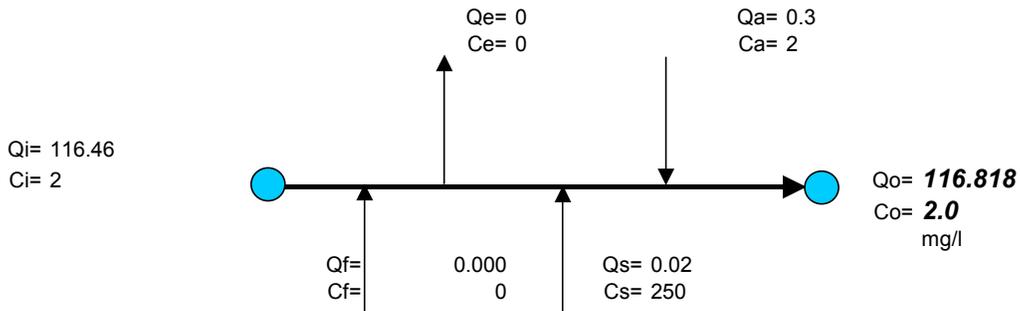
Hecho Por: Alex Rey  
 Fecha: 27-05-2003

**Objetivo:**

La siguiente rutina de cálculo permite obtener la concentración de mezcla instantánea en un segmento del río. Para ello considera el ingreso de un efluente, la extracción de un canal, para dar la concentración teórica al final del segmento del parámetro fisicoquímico j  
 [Q]: m<sup>3</sup>/s  
 [C]: mg/l

**1.- SEGMENTO RIO BIO BIO ENTRE RIO LIRQUEN Y RIO DUQUECO**

Segmento: 0831 BI 40  
 Parámetro: **DBO5**  
 Industrias (f): NO EXISTEN  
 Aguas servidas (s): Ciudad de Sta. Barbara  
 Canales (e): NO EXISTEN  
 Esteros/rios(a): NO EXISTEN



DATOS	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Conc. (mg/l)
Bio Bio en Rucalhue	116.46	2 (Clase 0)
Lirquen en Co El Padre	0.34	2
Efluente Sta. Barbara	0.02	250
	0.000	

**Calculo de la DBO5 Ciudad de Sta Barbara**

Nº Habtes: 6486  
 PTAS: No  
 Conc. DBO5: 250 (típica DS 609/98 MOP)  
 Caudal Efluente: 0.02 m<sup>3</sup>/s

**Calculo de la DBO5 Industrias**

Conc. (mg/l) 0

#### 4.3 Metodología de estimación para la Coliformes fecales

En los tramos de cabecera sin intervención antropogénica significativa de los cursos de agua, se adoptó como concentración de coliformes un valor  $<10$  NMP/100 ml. La justificación es que al observar valores de mediciones de CF en estudios de impacto ambiental, jamás se superaba este valor.

La estimación de coliformes fecales se realizó mediante manejo estadístico y balances de material con mezcla instantánea.

Cuando existía intervención antrópica significativa, o los cursos de ríos de caudal muy pequeño con intervención antrópica se utilizó balances de masa con los siguientes supuestos:

- Si la ciudad que descarga al curso de agua cuenta con Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS), se supuso que la descarga al río es de 1.000 NMP/100 ml (D.S. 90/2000 MinSeGPres) y con este valor se asume en el balance de material.
- Si la ciudad no cuenta con PTAS, se supuso una concentración de  $10^7$  NMP/100 ml.

Para realizar los balances de material se realizó un procedimiento automático, tal como se describe en la hoja de cálculo adjunta, titulada “Cálculo de CF para la Hoya Hidrográfica del Aconcagua”.

**CALCULO DE CF PARA LA HOYA HIDROGRAFICA DEL RIO ACONCAGUA**

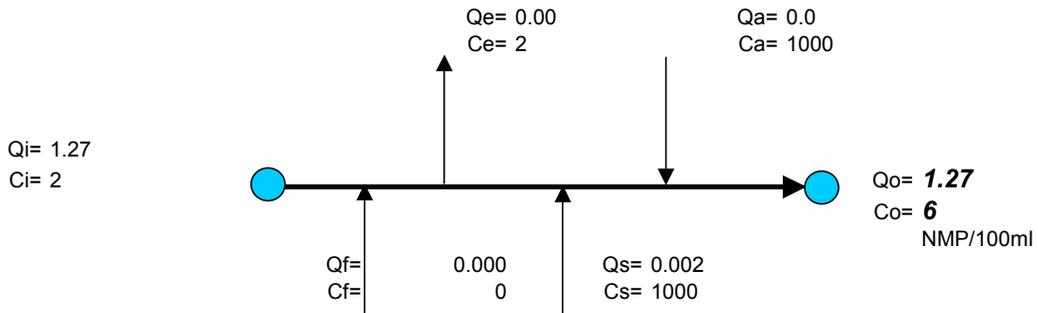
Hecho Por: Alex Rey  
 Fecha: 29-07-2003

**Objetivo:**

La siguiente rutina de cálculo permite obtener la concentración de mezcla instantánea en un segmento del río. Para ello considera el ingreso de un efluente, la extracción de un canal, para dar la concentración teórica al final del segmento del parámetro fisicoquímico j  
 [Q]: m<sup>3</sup>/s  
 [C]: mg/l

**SEGMENTO RIO BLANCO ENTRE C. HIDROELECTRICA Y DESEMBOCADURA AL RIO ACONCAGUA**

Segmento: 0540BL30  
 Parámetro: **Coliformes fecales**  
 Industrias (f):↑ CODELCO DIV. ANDINA  
 Aguas servidas (s):CAMPAMENTO DE SALADILLO  
 Canales (e):  
 Esteros/rios(a):SIN INFORMACION



DATOS	Caudal (m3/s)	Conc. (mg/l)
Río Blanco	1.27	2
Canales de Regadío	0.00	
Emisario ESVAL	0.002	1000
	0.000	

(Est. DGA Blanco en río Blanco)

**Calculo de CF Campamento de Saladillo**

Nº Habtes: 1268  
 PTAS Si  
 Conc. CF. 1000  
 Caudal Efluente: 0.002 m<sup>3</sup>/s

#### 4.4 Metodología de estimación para Sólidos Suspendidos (SS)

La estimación de los SS para los cursos de agua sin información se realizó correlacionando datos de sólidos suspendidos de registros de cursos de agua próximos al curso de agua en estudio, a partir de datos existentes en la Tabla N° 9 del estudio “Análisis del efecto del material particulado en aguas de riego I-IX Región. Antecedentes preliminares” de la Universidad de Chile – DGA.

El siguiente ejemplo ilustra la estimación:

Para estimar los SS en el Estero Upeo en Upeo: Se mira en el Plano el curso de agua con información más cercana – esto es Río Lontué - , y se extrae el promedio de la información existente para este río de la Tabla N° 9 del estudio antes mencionado, esto es:  $(6,37+25,6)/2$  mg/L obteniéndose aproximadamente 16 mg/L, luego se asume como valor de SS de nivel 5 este valor como parámetro estimado para el Estero Upeo en Upeo.

Para el caso de los cursos de agua que no pueden ser relacionados con cursos de agua cercanos, se asume el siguiente criterio:

Estaciones de calidad de cursos ubicados en la parte alta de la cuenca tendrán valores que van entre 10 (si no existen glaciales importantes) a 20 mg/L (con glaciales). Estaciones de calidad de cursos ubicados en la parte media y baja de la cuenca tendrá el valor máximo permitido por el DS 90/2000 MinSeGPres, esto es 80 mg/L

## 5. ESTIMACION DE LA CONTAMINACION DIFUSA POR PLAGUICIDAS

### 5.1 Objetivos

El objetivo de este capítulo es entregar una metodología de estimación de un orden de magnitud de la contaminación difusa en el curso de agua seleccionado; a fin de poder determinar si esta actividad es de importancia en la determinación de Calidad del Aguas.

Para ello no debe olvidarse que es sólo la *Estimación* de un *Orden de Magnitud*; y no de un valor para el cauce seleccionado.

Esta Metodología se aplicó a las 33 cuencas prioritarias, de forma tal que el Anexo 3.2 de cada informe de cuenca contiene el detalle del cálculo.

### 5.2 Metodología

Para estimar el orden de magnitud de la Contaminación se utilizarán las siguientes hipótesis:

- Subdividir la hoya hidrográfica en subcuencas, siguiendo la división propuesta por la DGA.
- Se averigua la localización de las áreas agrícolas utilizando el SIG del Catastro del Bosque Nativo de CONAF.
- Se estiman las áreas para cada tipo de cultivo utilizando como criterio que el terreno agrícola se divide en proporción los porcentajes de las comunas presentes en la subcuenca, para obtener esta información se utiliza el Censo Agrícola de 1997.
- Se determina la carga teórica total (CTT) para cada una de las subcuencas. La CTT se estima por la siguiente expresión:

$$CTT_i = B_m A_m \text{ (kg/mes)}$$

En que:

m: tipo de cultivo

i: a..n subcuencas

B: tasa de aplicación del pesticida (kg/ha/mes)

A: Area del cultivo m (ha)

Para la estimación de B se utiliza el calendario de aplicación para cada cuenca en cuestión.

- Se estima la concentración del teórica del plaguicida en la subcuena j de acuerdo a la siguiente expresión:

$$CDT_i = CTT_i \cdot \frac{1}{Q_i} \quad (\text{mg/L})$$

En que:

$CDT_i$ : Concentración de pesticida en la subcuena i

$Q_i$  : Caudal 85% en mes máximo de sequía ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

- Si esta carga da como resultado una concentración total teórica (CTT) menor a la establecida para el compuesto en el DN87/01, se infiere que la Contaminación Difusa para ese compuesto no es significativa en el segmento del río en que se realiza la estimación.
- Si la carga da como resultado una concentración total teórica (CTT) mayor a la establecida en el DN87/01, se debe proceder a estimar el orden de magnitud de su incidencia en la calidad del agua, por la expresión siguiente:

$$(CDTE)_i = \sum_{i=1}^n (B \cdot A - CE - CA - CB) \cdot k + (CDTE)_{i-1} \quad (\text{kg/mes})$$

En que:

CE: Carga evaporada ( aprox. 5%)

CA: Carga absorbida por cultivo (aprox. 20 %)

CB: Carga infiltrada ( aprox. 8 –12 %, algoritmo de Foster, 1987)

k: factor de pendiente (aprox. 5 %)

n: N° de subcuencas

- Se estima la carga total por escorrentía e infiltración en subcuenca i por la expresión:

$$(CD)_i = ((CDTE)_i + (CB)_i) \cdot 3,858 \cdot 10^{-4} \quad (\text{mg/L})$$

que se agrega al nodo que finaliza la subcuenca

### 5.3 Resultados

La metodología expuesta en el punto anterior se sometió a validación con mediciones de Aldicarb y Simazina en el estero Zamorano en la cuenca del río Cachapoal<sup>1</sup>. Los resultados obtenidos por el modelo arrojaron valores de aproximadamente a un 20 a 30% mayores que las mediciones.

---

<sup>1</sup> Arcadis Geotécnica:

**ANEXO A5**  
**ESTABLECIMIENTO DEL INDICE DE CALIDAD DE**  
**LAS AGUAS**

## **A5. ESTABLECIMIENTO DEL INDICE DE CALIDAD DE LAS AGUAS**

### **1. CRITERIOS Y CARACTERISTICAS DEL INDICE DE CALIDAD DE AGUAS (ICA)**

Una manera de interpretar información de calidad de aguas en forma agregada, tanto temporal como espacialmente, es por medio de un índice de Calidad de Aguas (ICA), el cual debe ser definido acorde a los parámetros o compuestos que puedan ser afectados por las actividades que se desarrollan en distintos tramos de una cuenca.

Dado lo anterior, una herramienta importante para la gestión de la calidad de los recursos hídricos son los índices de calidad del agua (ICA). Estos índices deben ser capaces de entregar información integrada sobre la calidad del agua (si es buena, regular o mala) a cualquier tipo de usuario que requiera de este tipo de información.

Una primera aproximación a la aplicación y uso de un ICA indica que generalmente se determina a partir de valores cuantitativos de parámetros de calidad de agua y es utilizado por planificadores y gestores del recurso hídrico. Un Índice puede ser definido como una “medida” que agrega indicadores e incluye ponderadores. Por su parte, un indicador (o subíndice) es el desarrollo de una medida que agrega información en forma útil.

Una de las principales dificultades en el establecimiento de un índice de calidad del agua es el hecho que se deben considerar simultáneamente lo relativo a características físicas, químicas y biológicas, pudiendo cada una de estas características ser analizada a través de diversos parámetros. Además, la sustentabilidad del recursos hídrico depende directamente de la calidad de los mismos y, por lo tanto, están relacionadas a las magnitudes de dichos parámetros.

Con respecto a los rangos de un ICA, se ha aceptado ampliamente que un valor de ICA igual a 0 representa un agua de muy mala calidad, mientras que un valor cercano a 100 describa una de muy buena calidad.

Algunas alternativas para definir un ICA se apoyan en la definición de subíndices, los cuales también pueden variar entre 0 y 100, y los que pueden estar relacionados a ciertos estándares de calidad o pueden ser subíndices absolutos, es decir, que no se relacionan a un estándar de calidad.

Una alternativa para definir el ICA es considerar una integración de parámetros y pesos de éstos, considerando una simple media aritmética de los pesos, tal como se muestra en la ecuación siguiente:

$$ICA = \sum_{i=1}^n w_i S_i \quad (A5.1-1)$$

donde :

n : número de subíndices (y/o parámetros)

w<sub>i</sub> : peso de cada subíndice S<sub>i</sub>

Los subíndices dependen del tipo de variables de calidad usadas y de la forma en que se relacionan con la calidad de las aguas del cauce. Los pesos deben cumplir con la siguiente restricción :

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (A5.1-2)$$

El problema que tiene esta forma de definir un ICA es que los pesos indican importancia relativa, por lo que pueden anular la importancia o el impacto entre ellos, lo que no permite una clasificación de la calidad del agua de un cauce en forma directa y requiere de un análisis más elaborado. Podría darse el caso que un subíndice determina una mala calidad del agua, pero el índice agregado no lo refleja. (Pesce y Wundelin, 2000).

Otra opción de integrar información en un ICA es considerar una media geometría de los pesos, luego el ICA se define como:

$$I = \prod_{i=1}^n S_i^{w_i} \quad (A5.1-3)$$

Sin embargo, esta opción presenta problemas de la información que entrega el ICA, ya que para subíndices cercanos a cero, se pierde información de los restantes subíndices.

Un ICA puede agregar los subíndices considerando una media armónica de sus pesos. Luego se tienen que:

$$ICA = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i^{-2} \right)^{-0.5} \quad (A5.1-4)$$

Este índice posee un problema de ambigüedad, dado que puede ser que el agua sea de una calidad aceptable o buena y el índice global (ICA) no representa esta realidad.

Otra alternativa es considerar como índice global la situación más desfavorable dentro de los subíndices de calidad, de este modo se tiene:

$$ICA = \min (S_1, S_2, S_3, \dots, S_n) \quad (A5.1-5)$$

El problema de este índice es que siempre muestra una situación en extremo negativa de la calidad del agua. No integra información y sus resultados no son aceptables.

En resumen, el criterio que debe cumplir el ICA que se adopte (dependiendo de la forma en que se integre la información), es que no debería presentar problemas de ambigüedad, de eclipse u opacación entre los parámetros que lo componen y/o problemas de sensibilidad a los parámetros de peor calidad.

## 2. PRESENTACION DE CASOS

En el anexo A2 destinado a la revisión de la experiencia internacional, se dieron a conocer algunos ejemplos de la aplicación del ICA en España, Francia, Estados Unidos y Uruguay.

Algunos aspectos destacables son los siguientes:

### a) España

Integra 23 parámetros de calidad de agua, de los cuales 9 se denominan básicos y son necesarios en todos los casos y los otros 14 responden al nombre de complementarios y sólo se usan en forma particular.

Los 9 parámetros básicos son los siguientes:

- Caudal
- Temperatura
- Oxígeno disuelto
- Sólidos suspendidos
- pH
- Conductividad
- DQO
- DBO<sub>5</sub>
- Coliformes totales

### b) Francia

El sistema de evaluación francés (S:E:Q) comprende 15 grupos de alteraciones capaces de perturbar las funciones biológicas del curso de agua, es decir, la aptitud del hábitat para permitir la vida acuática y los usos potenciales del agua. Como se indica en la próxima tabla, los parámetros básicos del Índice Español también están contenidos en el S.E.Q francés.

**Tabla A5.2.1: Grupos de Alteraciones y los Parámetros considerados Obligatorios de medir para la Evaluación según S.E.Q, Francia**

Alteración	Parámetro
Materia orgánica oxidable	OD o DQO o DBO <sub>5</sub> , NKJ o NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Amonio	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Fosfatos	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> o Ptotal
Partículas en suspensión	MES o turbiedad o transparencia
Color	Color
Temperatura	Temperatura
Mineralización	Conductividad
Acidificación	PH
Microorganismos	Coliformes Fecales
Fitoplancton	Clorofila, pigmentos o algas
Microcontaminantes minerales	Hg, Cd
Metales	As, Hg, Cd, Cr, Pb, Zn, Cu, Ni
Pesticidas	Atrazina, Simazina, Lindano, Trifluralina
Microcontaminantes orgánicos	Tetracloroetano, tricloroetileno, tricloroetano

Las alteraciones de calidad son expresadas mediante índices de calidad comprendidos en una escala de 0 a 100, subdividida en 5 clases que, a fin de su representación cartográfica, tienen un color asociado (tabla A5.2.2).

**Tabla A5.2.2: Clases de calidad según el valor del S.E.Q. del agua, Francia**

Índice	Clase		Color
80-100	1 <sup>a</sup>	Muy buena	Azul
60-80	1B	Buena	Verde
40-60	2	Aceptable	Amarillo
20-40	3	Mala	Naranja
0-20	4	Muy mala	Rojo

c) Estados Unidos

Dentro de Estados Unidos, cada estado tiene su propia normativa para el tema de calidad de agua. Dentro de este conjunto de índices de calidad, destaca el Water Quality Index (WQI), desarrollado por la National Sanitation Foundation (NSF).

El índice incluye 9 parámetros de calidad de agua, los que se presentan en la tabla A5.2.3, junto a su respectivo factor de ponderación:

**Tabla A5.2.3: Parámetros y Factores de Ponderación para el Cálculo del NSF WQI, U.S.A.**

Parámetro	Unidades	Factor de ponderación
Oxígeno disuelto	% saturación	0.17
Coliformes fecales	col/100ml	0.16
PH	-	0.11
DBO <sub>5</sub>	mg/l	0.11
Cambios de Temperatura	° C	0.10
Fosfato total	mg/l	0.10
Nitrato	mg/l	0.10
Turbidez	NTU o ft.	0.08
Sólidos totales	Mg/l	0.07

Después de que los parámetros son medidos y registrados, se procede a estimar el valor Q para cada parámetro, mediante gráficas establecidas. Cada valor Q es multiplicado por el factor de ponderación respectivo, que da una idea de la incidencia de ese parámetro en la calidad del agua. Los nueve resultados son sumados, obteniéndose así el Índice de Calidad de Agua (WQI).

Los rangos de WQI han sido definidos según se indica en la tabla A5.2.4:

**Tabla A5.2.4: Calidad asignada según el valor del WQI, U.S.A.**

Rango	Calidad
90-100	Excelente
70-90	Buena
50-70	Regular
25-50	Mala
0-25	Muy mala

d) Índice de Calidad Chileno

Tomando en consideración el reducido número de parámetros de los cuales se cuenta con mediciones sistemáticas, se estima que el método del WQI es el que mejor se adapta a las condiciones locales.

Dentro del WQI figuran 3 parámetros (fosfato total, nitrato y turbidez) que no están incluidos en el listado del Instructivo y que, en su conjunto, tienen una ponderación del 28%. Los otros parámetros, con una ponderación del 72%, son las variables básicas que figuran en todos los índices internacionales.

En el siguiente acápite, se detalla la proposición del Índice de Calidad de Aguas Superficiales (ICAS).

### 3. ESTABLECIMIENTO DE UN INDICE DE CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES (ICAS)

#### 3.1 Aspectos Generales

Esta sección incluye la metodología propuesta para el establecimiento de un índice de calidad de agua para los cuerpos superficiales en Chile. Los antecedentes bibliográficos están incluidos en la revisión de la experiencia internacional. A partir de esta información y de las particulares condiciones que presentan las cuencas chilenas se ha procedido a desarrollar un índice de calidad de agua, basado en las siguientes ideas centrales:

- La necesidad que el índice se relacione lo más cercanamente posible con la realidad concreta de la contaminación del recurso agua en las cuencas chilenas.
- Reconocer que las características físicas, químicas y biológicas están bien representadas en la norma del Instructivo.
- La condición de que el índice guarde relación directa con los usos más importantes del agua superficial, que en términos cuantitativos identifica al riego como el mayor demandante del recurso a nivel nacional, con la especial consideración que existen otros usos igualmente valiosos que deben ser resguardados.

Respecto del último punto cabe señalar que la revisión internacional muestra que los índices existentes en diversos países relacionan varios parámetros de calidad para dar un solo número que es indicativo de la calidad de una fuente de agua para un uso específico.

Los índices de calidad de agua pueden estar estructurados para cumplir con diversos objetivos o aplicaciones del recurso, tales como:

- Análisis de tendencias: Se pueden aplicar a datos ambientales en diversos puntos en el tiempo para determinar cambios en la calidad del agua.
- Investigación científica: Como medio para reducir un gran número de información de datos ambientales a una forma que muestren una fácil comprensión del fenómeno evaluado.

- Cumplimiento de estándares: Pueden ser aplicados en la comparación de condiciones ambientales en diferentes lugares o áreas geográficas.
- Clasificación de sitios: Pueden ser aplicados en la comparación de las condiciones particulares del comportamiento en áreas específicas.
- Asignación de recursos: Aplicados cuando se van a tomar decisiones por parte de los organismos gubernamentales en la asignación y determinación de prioridades.
- Información pública: Pueden ser usados para informar al público acerca de las condiciones de calidad de un agua.

### 3.2 Selección de Parámetros para un Índice de Calidad de Aguas Superficial (ICAS)

En primer lugar, el índice propuesto incluye los parámetros definidos en la Metodología como obligatorios, es decir, el oxígeno disuelto (OD), pH, conductividad eléctrica, coliformes fecales (CF), demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y sólidos suspendidos (SS).

Adicionalmente se seleccionan los parámetros que presentan excedencia de la clase de excepción en todas las estaciones de muestreo de la cuenca. Estos deben ser distintos de los obligatorios y su número es variable para cada cuenca, lo que se ha denominado como Parámetros Relevantes.

Por lo tanto, los parámetros que incluye el Índice de Calidad de Agua Superficial Chileno (ICAS) son los siguientes:

<b>Parámetros ICAS = Parámetros Obligatorios + Parámetros Relevantes</b>
--

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

### 3.3 Definición de un Índice de Calidad de Agua Superficial Chileno

#### 3.3.1 Criterios de diseño del ICAS

El índice de calidad de agua superficial chileno se plantea a partir de las siguientes consideraciones:

- Reconoce que los valores límites definidos para cada parámetro en las clases de calidad de agua (0, 1, 2, 3, 4) son indicadores del grado de afectación de las aguas respecto de los usos definidos en la norma del IP.
- Considera que los valores cuantitativos, deben variar en una escala porcentual, derivada del concepto de Calidad implícito en la Normativa Chilena, a fin de facilitar el uso del índice.

Consecuentemente, el ICAS chileno variará entre cero y cien, siendo cero un agua de muy mala calidad, mientras que un valor cercano a cien representa un agua de muy buena calidad.

Los rangos de ICAS pueden ser asimilados a una escala nominal cualitativa que refleja globalmente la calidad del agua según la siguiente tabla:

**Tabla A5.3.1: Rangos de Calidad**

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

#### 3.3.2 Normalización de escalas de medición

Para disponer de escalas porcentuales normalizadas, se ha considerado como referencia el sistema elaborado por la National Sanitation Foundation (NSF) en la construcción de un índice de calidad de agua, que se basa en curvas que relacionan los valores físicos de los parámetros con una escala porcentual.

Para llevar a cabo este propósito se requiere disponer de Curvas de Estandarización<sup>1</sup>, las cuales han sido establecidas a partir de la Normativa Chilena, según el siguiente procedimiento de cálculo.

Las Curvas de Estandarización son obtenidas a partir de la Tabla N°2 del Instructivo (ver Anexo A1) en el que se establecen los máximos y mínimos permitidos para cada parámetro en la clase correspondiente. Para poder realizar una lectura directa del valor de la calidad del parámetro, se realiza previamente la siguiente estandarización de las clases:

**Tabla A5.3.2: Estandarización de Clases**

CLASE	Qi
Clase 0	100
Clase 1	90
Clase 2	70
Clase 3	50
Clase 4	25

donde Qi representa el valor del parámetro, expresado en forma porcentual.

En el capítulo 4 se presentan las curvas de estandarización de todos los parámetros incluidos en el ICAS. Cada curva tiene, en la abcisa, el valor del parámetro para las clases 0 a 4 y, en la ordenada, el puntaje de 0 a 100.

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

- Los seis parámetros obligatorios pesan cada uno  $w_i = 11,67\%$  con  $i=1...6$  lo que les da una ponderación total de 70%.
- Los parámetros relevantes pesan en total 30%, que se reparte en ponderaciones iguales para cada uno de ellos, es decir si son 10 parámetros se tendrán pesos individuales de  $w_i = 3\%$  para  $i = 7...16$ .

De este modo, el ICAS Chileno queda definido como:

---

<sup>1</sup> Se denomina Curvas de Estandarización las que representan la relación entre el valor medido de un parámetro de calidad de agua y su correspondiente asignación de clase, es decir dicha calidad satisface la condición de la clase seleccionada.

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

En donde n corresponde al número de parámetros que formarán el ICAS Chileno para la cuenca, siendo los 6 primeros los obligatorios.

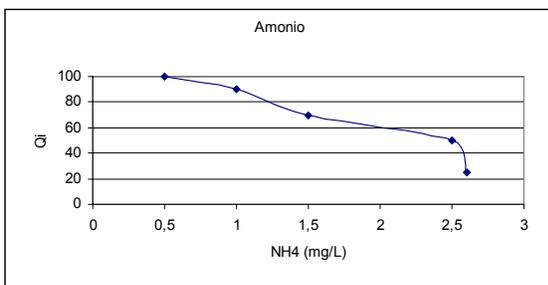
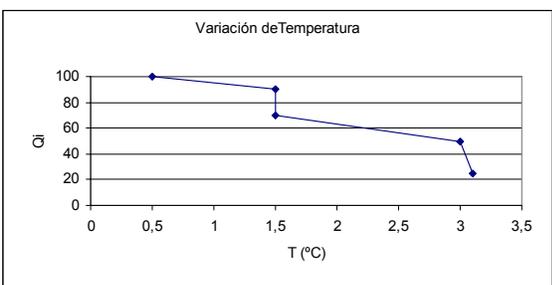
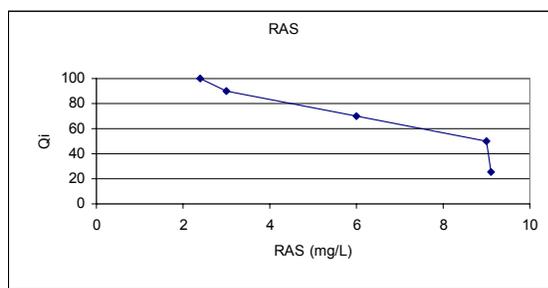
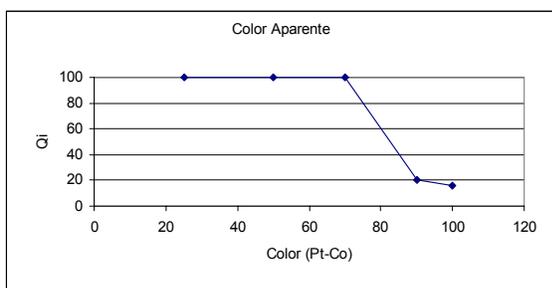
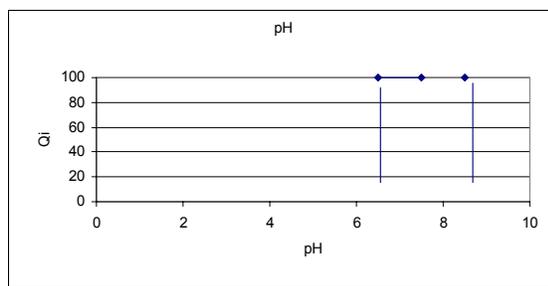
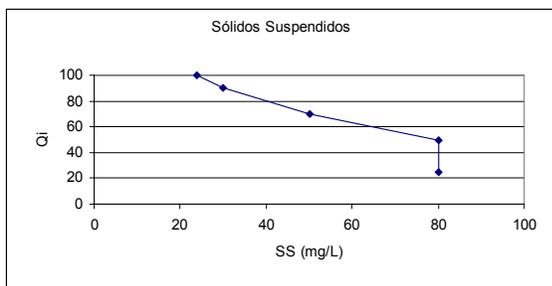
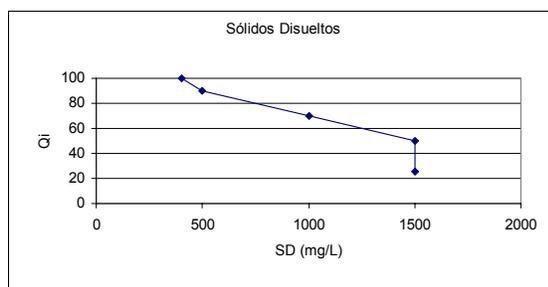
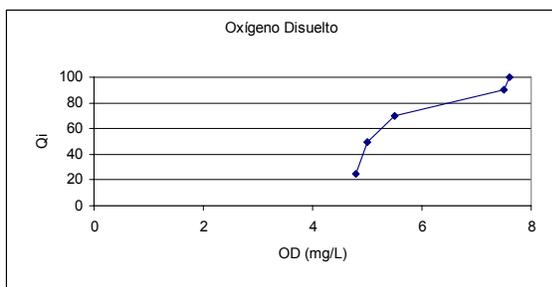
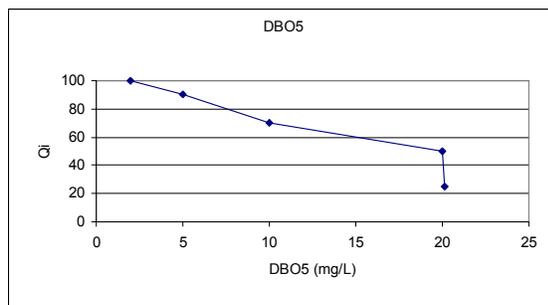
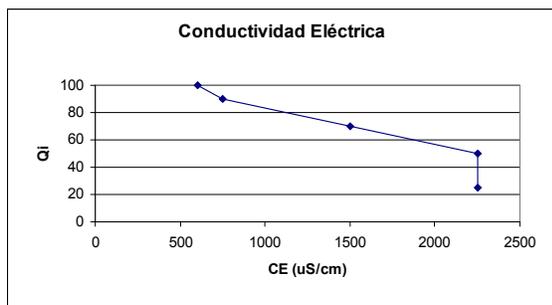
#### 3.4 Definición de un Índice de Cumplimiento

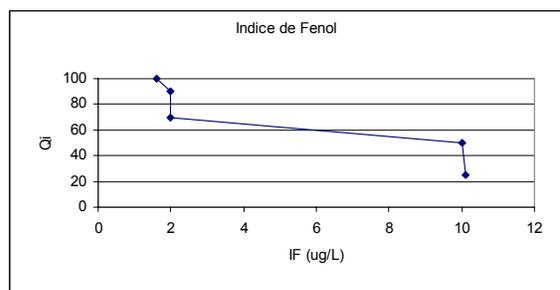
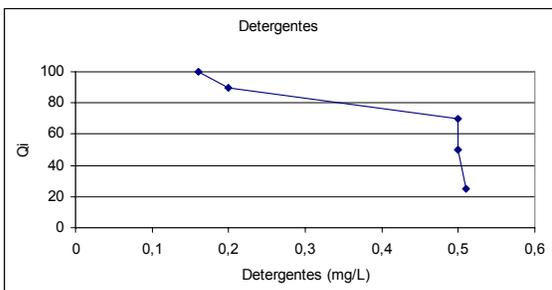
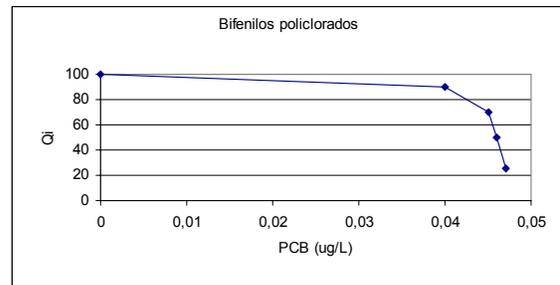
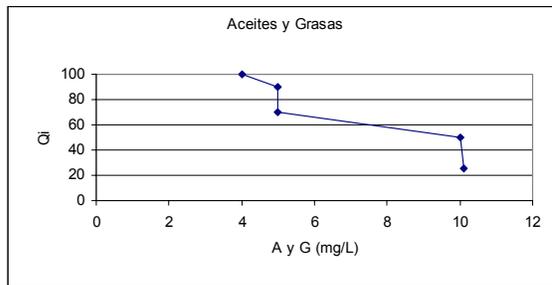
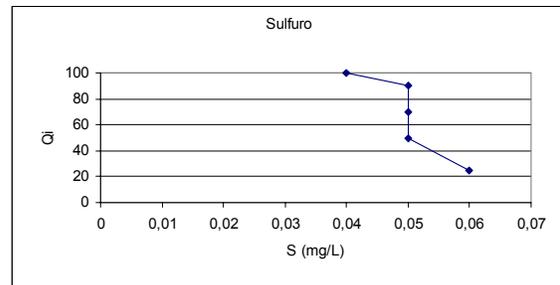
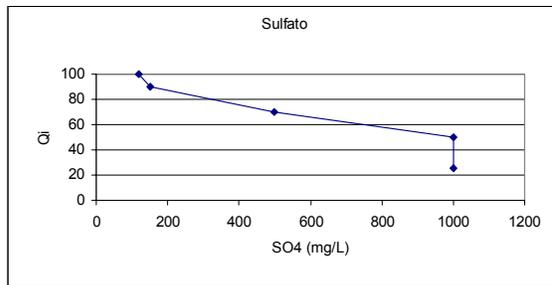
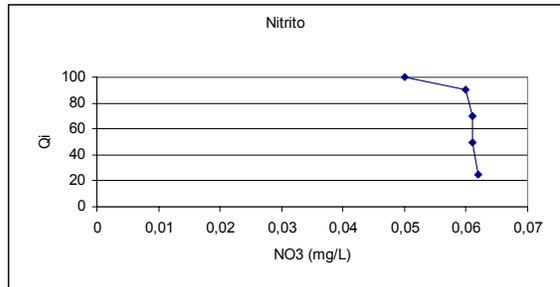
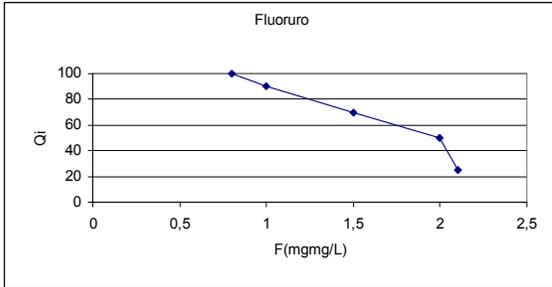
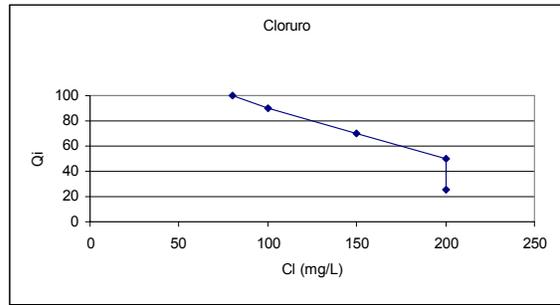
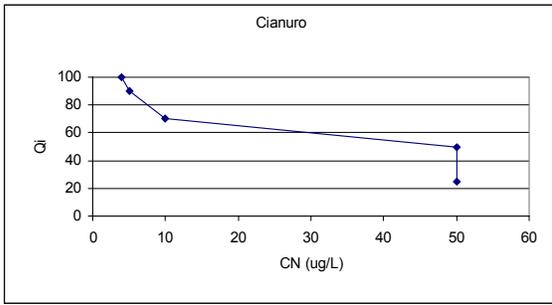
El índice de cumplimiento está dado por el índice de la calidad de aguas superficiales (ICAS) para la clase objetivo, manteniendo las excepciones de aquellos parámetros que exceden esta clase de manera natural, por lo que sólo varían aquellos parámetros de origen antrópico.

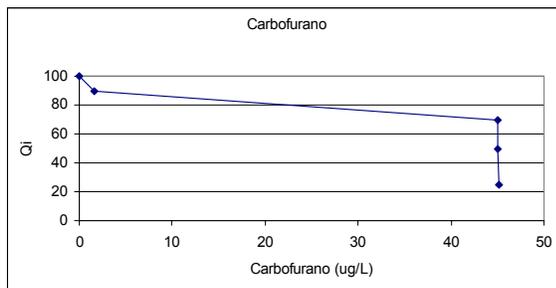
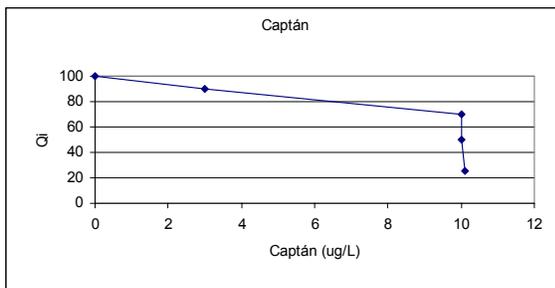
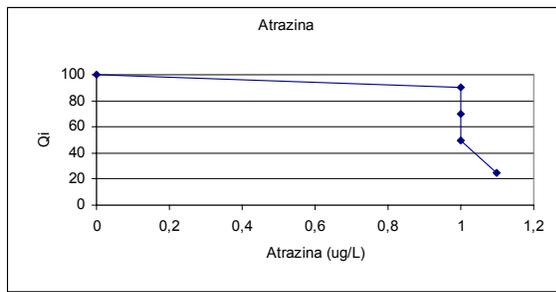
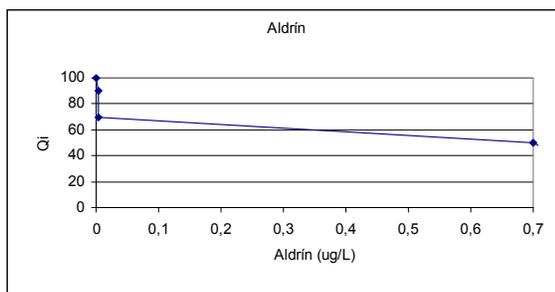
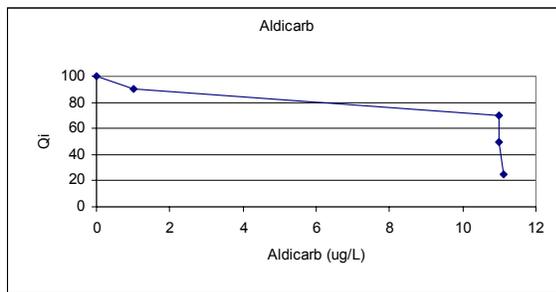
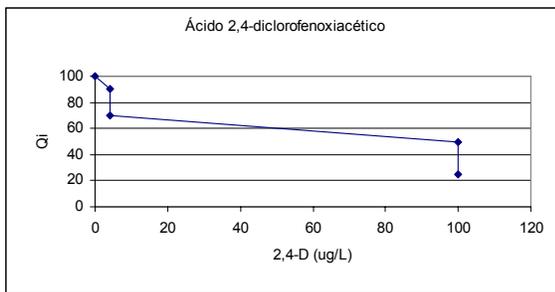
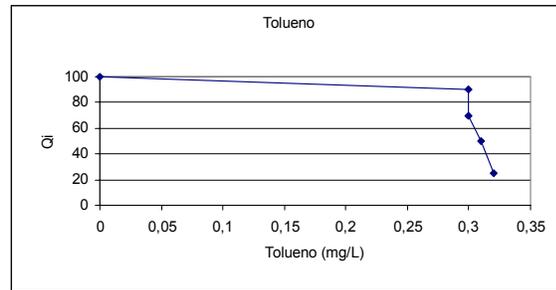
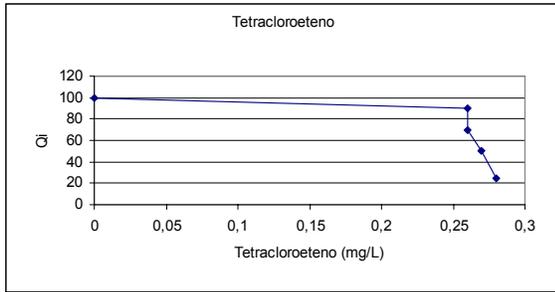
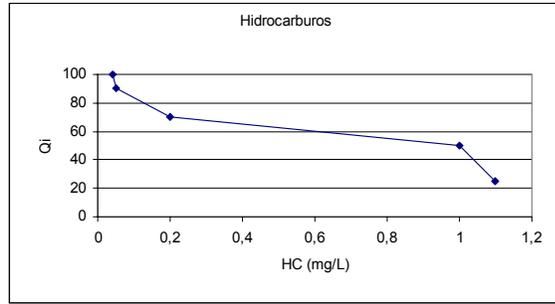
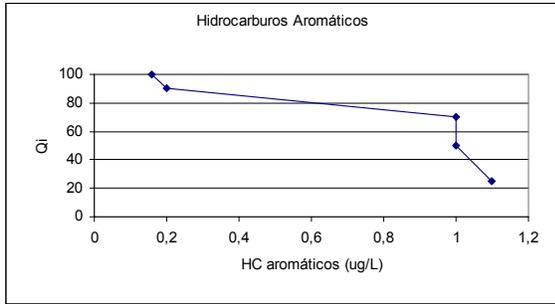
#### 4. CURVAS DE ESTANDARIZACION

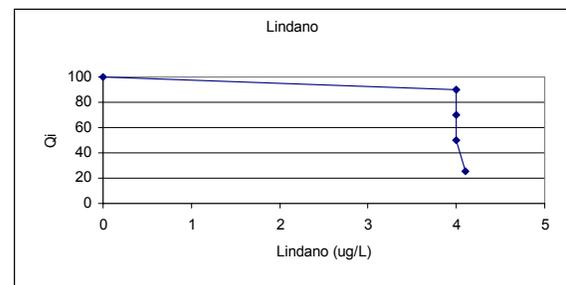
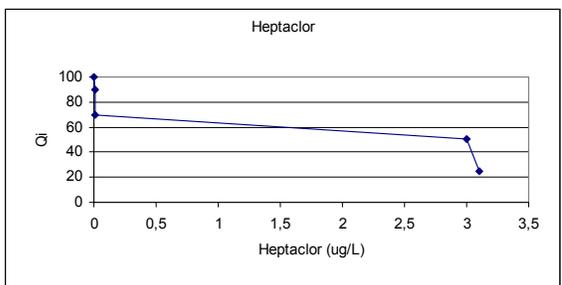
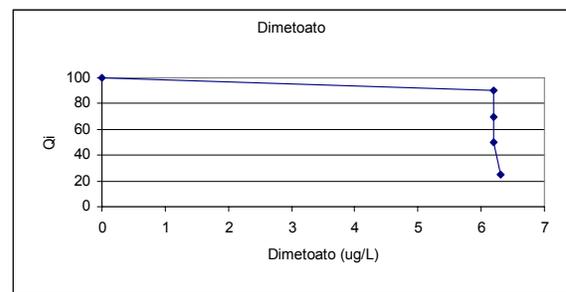
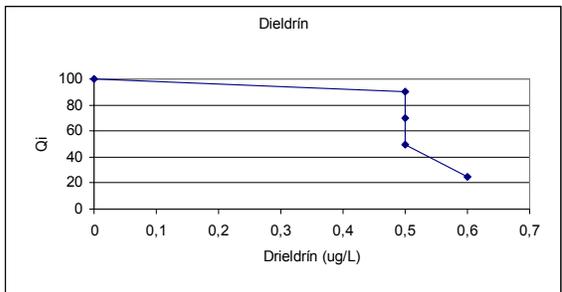
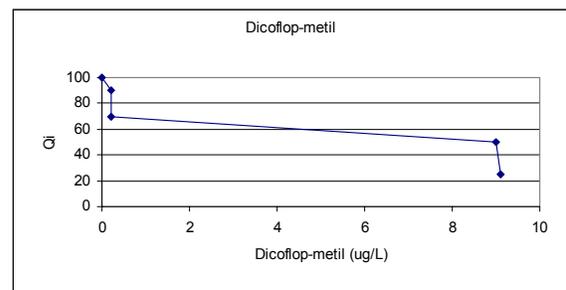
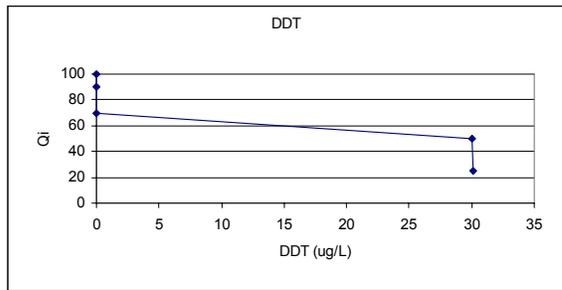
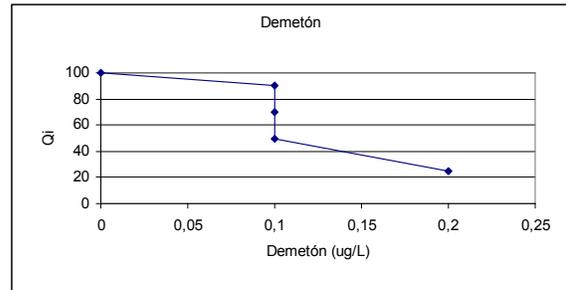
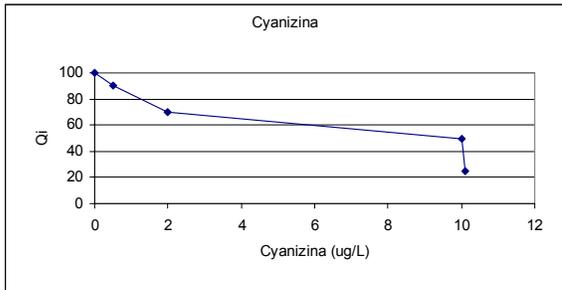
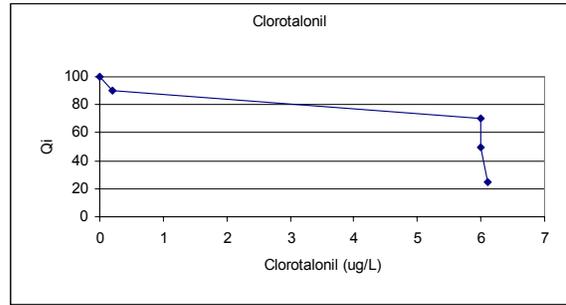
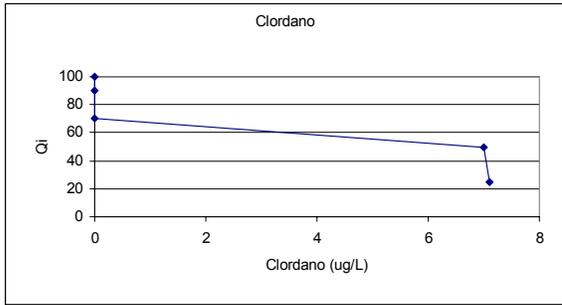
Las curvas que se presentan a continuación, representan la estandarización de los 61 parámetros que componen la tabla N° 2 del Instructivo.

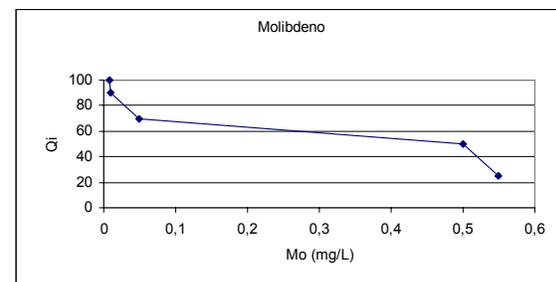
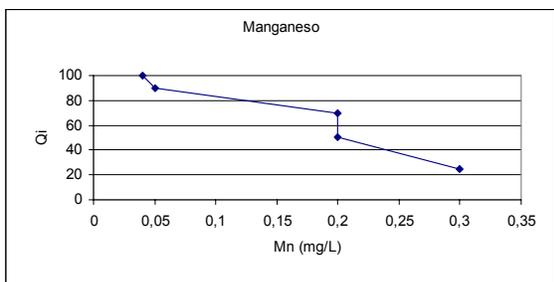
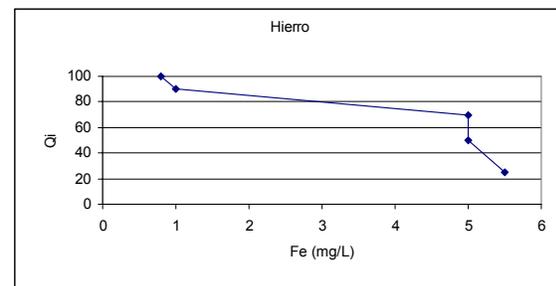
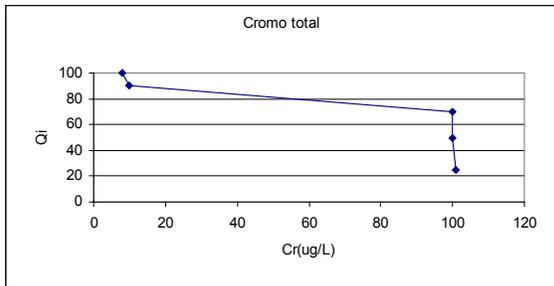
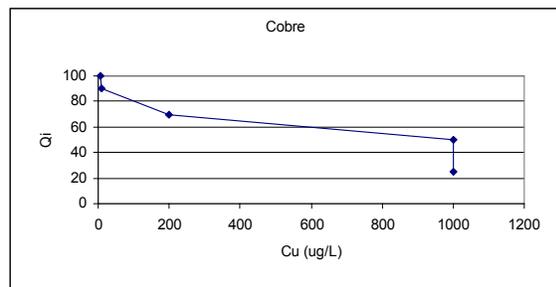
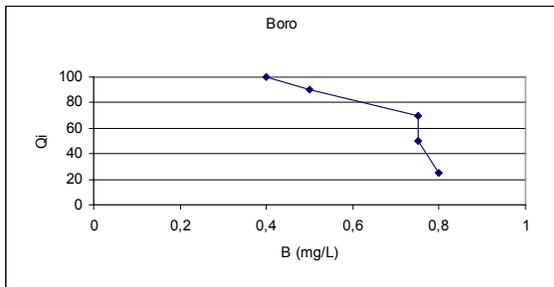
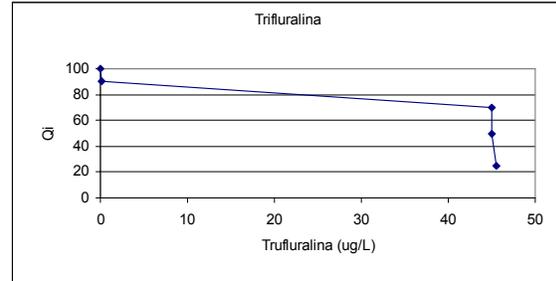
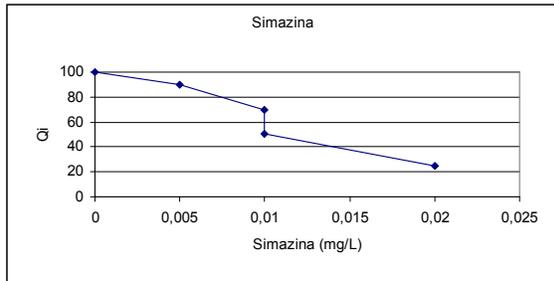
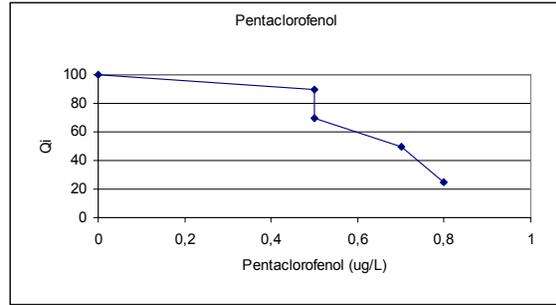
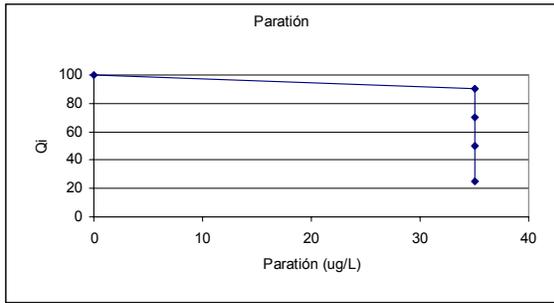
El objeto de hacer esta estandarización es poder realizar comparaciones entre los distintos parámetros que componen el Instructivo y su incidencia en la calidad de agua.

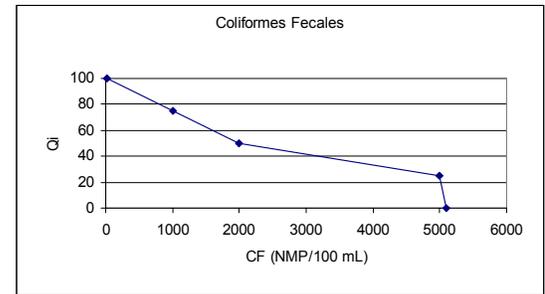
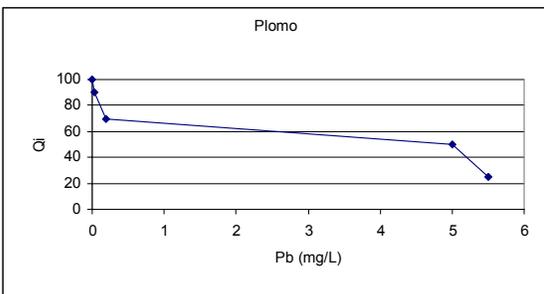
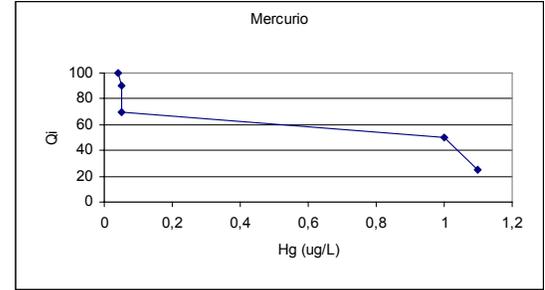
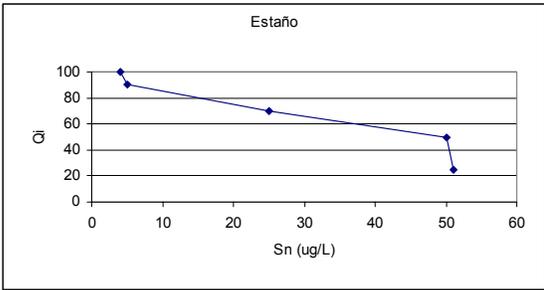
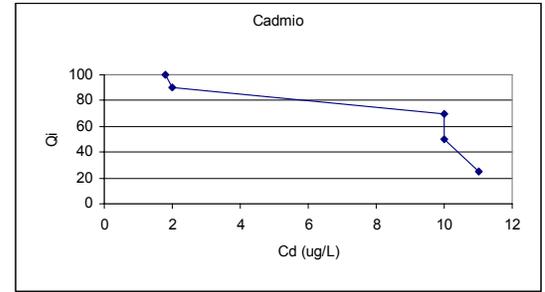
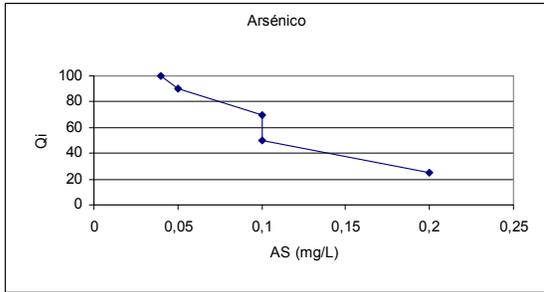
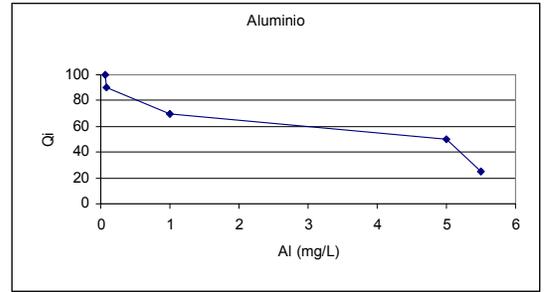
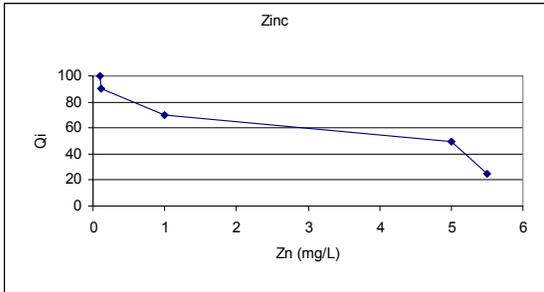
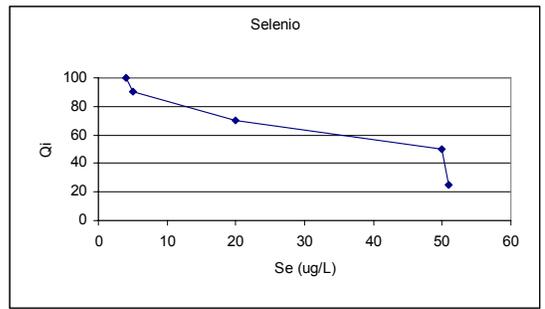
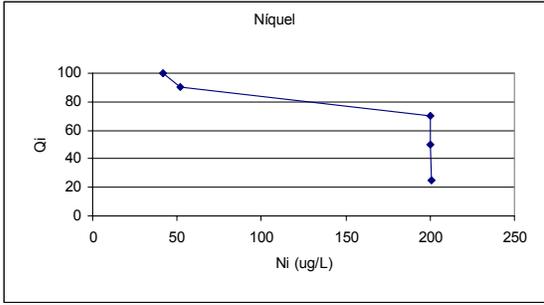


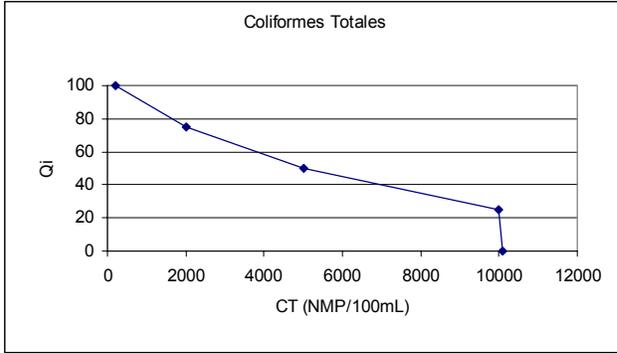












**ANEXO A6**  
**ZONAS DE DILUCION**

## **A6. ZONAS DE DILUCION**

### **1. CRITERIOS GENERALES PARA SU DEFINICIÓN**

#### **1.1 Conceptos Generales**

El Instructivo de Calidad de Agua para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales establece las normas primarias y secundarias de calidad ambiental de las aguas continentales superficiales en el territorio de la República. Estas normas se especifican en términos de valores máximos o mínimos de concentraciones o unidades totales de compuestos o elementos presentes en los cursos de agua y de valores máximos o mínimos de unidades de medición de propiedades físico-químicas y microbiológicas del agua.

El Instructivo establece, en el acápite II.3, que “el cumplimiento de las normas de calidad secundarias no deberá verificarse dentro de la zona de dilución de los residuos líquidos”.

Por otro lado, en el acápite I.25, el Instructivo define la Zona de Dilución de residuos líquidos como “el volumen, área o zona donde se produce la dilución de uno o más compuestos o elementos en el cuerpo receptor provenientes de las descargas de residuos líquidos de establecimientos emisores”. Se especifica, además, que la zona será determinada caso a caso por la Dirección General del Territorio Marítimo Mercante o por la Dirección General de Aguas según corresponda.

Para la definición de zonas de dilución, es necesario aclarar algunos conceptos técnicos fundamentales:

- i) La dilución o mezcla de residuos líquidos en cursos y cuerpos de agua es un proceso continuo y, por lo tanto, alcanza distintos grados a distintas distancias de la zona de descarga. Es posible definir, en general, dos o tres zonas de mezcla; una zona interior o cercana a la descarga, una zona exterior o lejana a la descarga y eventualmente una zona intermedia entre las anteriores.

La dilución total o máxima, entendida como la mezcla completa del caudal descargado en el caudal total del cuerpo receptor, ocurre solo al término de la zona exterior. Ello puede requerir extensiones tremendamente grandes del cuerpo receptor, y, probablemente, en muchos casos mayores a lo que el Instructivo parece implicar al definir zona de dilución. Dado que el Instructivo

se refiere en forma precisa respecto del grado de dilución que define la zona de dilución, ni tampoco a qué zona de mezcla (interior o exterior) corresponde la zona de dilución, es tarea del presente capítulo definir estos conceptos. La definición de la zona de dilución caso a caso parece ser el mejor camino.

- ii) Como se ha señalado, es posible distinguir al menos dos zonas para los procesos de dilución o mezcla de residuos líquidos descargados a un cuerpo receptor : la zona interior o cercana a la descarga y la zona exterior o lejana a la misma. Es claro que la extensión y definición de zona de dilución queda determinada de manera importante por los procesos de mezcla que ocurren en la zona interior los que dependen de manera significativa de las características específicas de la descarga. Así, no es posible definir zona de dilución en un curso de agua, en abstracto independientemente de la descarga. Asimismo, no es posible definir en abstracto zonas de dilución en las cuencas piloto, independiente de las descargas que en ellas ocurran.

De las experiencias internacionales (ver el acápite 1.2) existe consenso acerca de los criterios generales que debe cumplir un zona de dilución, independiente de cualquier consideración del tipo geométrico de ésta. De esta forma, una Zona de Mezcla no debe provocar:

- toxicidad aguda para la vida acuática, dificultad para el paso de los organismos acuáticos alrededor de ella o bioacumulación de agentes tóxicos aún cuando éstos no formen parte de la norma de emisión respectiva.
- vida acuática indeseable o el dominio de especies molestas fuera de la zona de mezcla
- riesgo para la salud y el bienestar público
- condición de toxicidad crónica fuera de la zona de mezcla
- problemas en áreas de desove y vivero
- riesgos sobre una toma de agua potable o zona bajo protección oficial aguas abajo de la descarga (es decir, debe establecerse una distancia mínima)
- condiciones ofensivas: material flotante en la superficie del cuerpo de agua, concentraciones objetables de turbiedad, color y olor, formación de espuma, etc.
- concentración de materiales que puedan depositarse y generen una acumulación de sedimentos objetable

## 1.2 Revisión de Experiencia Internacional

### a) Experiencia en Estados Unidos

Sin lugar a dudas, Estados Unidos es uno de los países de donde es posible recabar una mayor cantidad de información respecto a experiencias relacionadas a las Zonas de Dilución. Los primeros conceptos ambientales que posteriormente llevarían a la definición de Zona de Dilución, fueron adoptados poco tiempo después que el río Cuyahoga en Ohio literalmente se incendiara debido a la descarga de material inflamable proveniente de fábricas de pintura y plantas químicas, a fines de los años 60 (ver Figura A6.1.1). El fuego se desencadenó cuando metal derretido cayó de un tren que cruzaba el río, interactuando con el alto nivel de contaminación de las aguas, produciéndose el incendio en junio de 1969.



**Figura A6.1.1: Incendio en el río Cuyahoga, Ohio, USA, 1969. Evento que provocó la pronta emisión del Federal Water Pollution Control Act (1972)**

Tres años después de dicho incendio, en 1972, se emitió la FWPCA (Federal Water Pollution Control Act), el cual tenía inicialmente por objetivo que para 1983 todas las aguas del país fueran aptas para el baño y la pesca, y que para 1985 no existiera ninguna descarga de contaminantes, lo cual obviamente se volvió impracticable. En 1977 se emitió el Clean Water Act, que clasificó a los contaminantes como convencionales (DBO, pH, Coliformes Fecales, etc.), tóxicos (plomo, níquel, cloroformo, etc), no convencionales (aluminio, sulfuros, etc.) y térmicos. De esta forma, surgieron los estándares para los distintos contaminantes dependiendo de su clasificación.

La Zona de Mezcla o de Dilución se definió en 1984, como una “zona de impacto limitada” en donde estándares numéricos de calidad pueden ser excedidos siempre y cuando no se produzcan concentraciones contaminantes agudamente tóxicas.

Las Zonas de Dilución pueden ser definidas como longitudes, áreas o volúmenes. En el caso de Estados Unidos, la EPA reconoce la autoridad de los distintos Estados para adoptar o no zonas de dilución y para especificar sus dimensiones. Para el caso de los ríos, la forma más usual de definir las dimensiones de la Zona de Dilución es en función del ancho o de la sección transversal del río. En caso de ríos poco profundos, en donde la mezcla vertical se alcanza en forma bastante rápida, el hablar de porcentajes de sección transversal o porcentajes de ancho es equivalente. En el caso de lagos, estuarios o mar, algunos Estados especifican áreas superficiales que pueden ser afectadas por la descarga. En la siguiente tabla se presenta un resumen por Estado Norteamericano respecto a las dimensiones adoptadas para las Zonas de Dilución, siendo ST la sección transversal de escurrimiento y AS el área superficial.

**Tabla A6.1.1: Características Geométricas de las Zonas de Dilución en EE.UU.**

ESTADO	CUERPO DE AGUA	DIMENSIONES
Alaska	Ríos	$\leq \frac{1}{3}$ ST
	Lagos	$\leq 10\%$ AS
Arkansas	Grandes ríos	$\leq \frac{1}{4}$ ST
Connecticut	Ríos	$\leq \frac{1}{4}$ ST
Delaware	Ríos	$\leq \frac{1}{3}$ ST
	Lagos	$\leq 10\%$ AS
Washington DC	Estuarios	$\leq 10\%$ AS
Florida	Ríos	$L < 800$ m
	Estuarios	$\leq 10\%$ AS
Illinois	Ríos	$\leq \frac{1}{4}$ ST
Indiana	Ríos	$\leq \frac{1}{4}$ ST
Iowa	Ríos	$\leq \frac{1}{4}$ ST
Kansas	Ríos	$\leq \frac{1}{4}$ ST
Kentucky	Ríos	$\leq \frac{1}{3}$ ST
Lousiana	Ríos	$\leq \frac{1}{4}$ ST
Maine	Ríos	$\leq \frac{1}{4}$ ST
Michigan	Ríos	$\leq \frac{1}{4}$ ST
Minessota	Ríos	$\leq \frac{1}{4}$ ST
Missouri	Ríos	$\leq \frac{1}{4}$ ST
Montana	Ríos	$L < 10$ veces ancho escurrimiento
New Jersey	Ríos	$\leq \frac{1}{4}$ ST
New Hampshire	Ríos	$\leq \frac{1}{4}$ ST
New México	Ríos	$\leq \frac{1}{4}$ ST

**Tabla A6.1.1 (Continuación): Características Geométricas de las Zonas de Dilución en EE.UU.**

ESTADO	CUERPO DE AGUA	DIMENSIONES
New Cork	Ríos	$\leq \frac{1}{2}$ ST
Nevada	Ríos	$\leq \frac{1}{3}$ ST
North Dakota	Ríos	$\leq \frac{1}{4}$ ST
Ohio	Ríos	$\leq \frac{1}{3}$ ST
Oklahoma	Ríos	$\leq \frac{1}{4}$ ST
Rhode Island	Ríos	$\leq \frac{1}{4}$ ST
South Dakota	Ríos	$\leq \frac{3}{4}$ ST
Texas	Ríos	$\leq \frac{1}{4}$ ST
Vermont	Ríos	$\leq \frac{1}{4}$ ST
W. Virginia	Ríos de aguas cálidas	$\leq \frac{1}{3}$ ST
	Ríos de aguas frías	$\leq \frac{1}{3}$ ST
	Ríos	$L < 5$ veces anchos escurrimiento
Wisconsin	Ríos	$\leq \frac{1}{4}$ ST

ST: sección transversal AS: área superficial L: longitud zona de mezcla

Fuente: OGI School of Science and Engineering at OHSU, Oregon (2002)

De la tabla anterior, se aprecia que para el caso de los ríos, el criterio más típico es el de considerar Zonas de Dilución que abarquen un área inferior al 25% del área transversal de escurrimiento. Para el caso de lagos y estuarios, el criterio predominante es el de un límite máximo del 10% del área superficial del cuerpo de agua.

b) Experiencia en Canadá

Respecto del caso canadiense, los criterios son similares, en el sentido que se sugieren dimensiones máximas para las Zonas de Mezcla, pero se insiste que debe efectuarse un análisis caso a caso. Tomando por ejemplo el caso de la Provincia de Manitoba, las leyes ambientales se basan bastante en los criterios de la US EPA. En el documento “Manitoba Water Quality Standards, Objectives and Guidelines” (noviembre 2002) se dice explícitamente que las zonas de mezcla serán determinadas “caso a caso” dependiendo de las condiciones locales. Se agrega además que “normalmente, restricciones geométricas a las plumas contaminantes no serán asignadas debido a la complejidad de los procesos de mezcla”, sin embargo se añade que “la zona de mezcla deberá permitir un adecuado paso de las especies acuáticas” y sugiere cumplir al menos con criterios establecidos por la US EPA, en cuanto a que la zona de mezcla en ríos no debe superar el 25% del área transversal de flujo. Este criterio del 25% de la sección transversal es adoptado por gran parte de los estados norteamericanos como ya se señaló.

Respecto a la Provincia canadiense de Alberta, en el documento “Water Quality Based Effluent Limits Procedures Manual” emitido por la Alberta Environmental Protection Agency (diciembre 1995), se establece que las directrices relativas a plumas efluentes están principalmente basadas en los criterios de la US EPA. En la siguiente tabla, se establecen las limitaciones a las zonas de mezcla que rigen para dicha provincia.

**Tabla A6.4.2: Directrices para zonas de dilución, Provincia de Alberta, Canadá**

CASO	LIMITACIONES A LA ZONA DE DILUCIÓN
Descarga en concentraciones tóxicas	En caso que justificadamente no se pueda alcanzar el límite de concentración tóxica antes de la descarga (“end-of-pipe”), ésta deberá alcanzarse antes de 30 m en cualquier dirección, para escurrimiento en condición de estiaje.
Descarga en concentraciones con efecto crónico	Debe alcanzarse el límite de concentración crónica antes de una distancia equivalente a 10 veces el ancho de escurrimiento y antes de abarcar el 50% del ancho en forma lateral.
Descarga en condiciones de mezcla “cuasi-instantánea”	En el caso que se produzca una mezcla cuasi-instantánea debido a la disposición de un difusor multi-boquillas, no es necesario considerar restricciones para la zona de mezcla. La mezcla cuasi-instantánea se acepta si no hay diferencia de concentración mayor a un 10% de un contaminante en todo un corte transversal ubicado a una distancia equivalente a 2 anchos de escurrimiento aguas abajo de la descarga, para la condición de estiaje.

c) Experiencia en Nueva Zelanda

Un enfoque alternativo a la definición explícita de dimensiones máximas de una Zona de Dilución, es el dado por el Ministerio del Medioambiente de Nueva Zelanda con sede en Wellington. En este enfoque, el concepto de dimensión para una zona de mezcla se reemplaza por el concepto de “mezcla razonable”, que conlleva que la Zona de Dilución debe ser “lo más pequeña posible”. De esta manera, la definición de mezcla razonable no puede ser genérica y dependerá de cada caso en particular. Así, el Ministerio del Medioambiente Neocelandés aconseja no utilizar dimensiones típicas en función de ciertos parámetros geométricos o hidráulicos de un río, ya que, si bien es un criterio que aporta mucha simplicidad, se corre el riesgo que sea utilizado en forma indiscriminada.

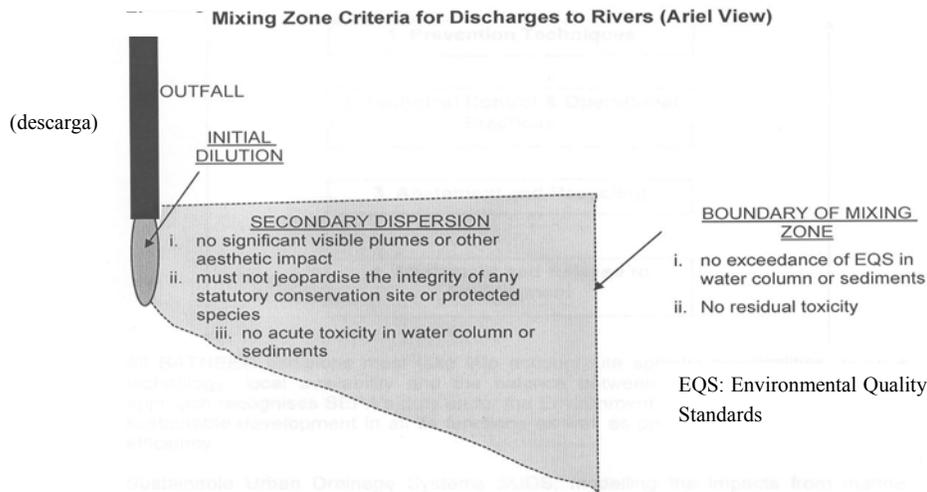
d) Experiencia en Latinoamérica

A nivel latinoamericano, no existe una experiencia en el tema que permita recabar mucha información. Lo más relevante a juicio del Consultor es que los permisos de descargas son preferentemente potestad de los gobiernos regionales (Argentina, Colombia, Brasil), lo que ratifica que la tendencia general para el vertido de efluentes es la del análisis de cada caso en particular. La excepción a esta tendencia regional corresponde a Perú, en que la autoridad recae sobre la Dirección General del Medioambiente con potestad a nivel nacional. El caso más avanzado es obviamente el de Puerto Rico, en el cual existen dimensiones para las zonas de mezclas en descargas marítimas. Sin embargo, para el caso de ríos, no existen dimensiones máximas establecidas y en general se exige que el propio efluente cumpla con las normas de concentraciones máximas. (Fuente: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS).

e) Experiencia en Europa

En relación al caso europeo, no se han encontrado directrices explícitas acerca de las zonas de mezcla salvo para el Reino Unido. El organismo que regula el manejo de las aguas superficiales es la SEPA (Scottish Environment Protection Agency), la cual en el documento “Technical Guidance Manual for Licensing Discharges to Water”) entrega algunos conceptos interesantes. En primer lugar, la SEPA hace mención especial al fenómeno de dilución inicial, que es el proceso en el cual es deseable concentrar el análisis. La dilución inicial es alcanzada casi inmediatamente a la salida de la descarga, especialmente debido a la diferencia de densidad entre el efluente y el agua que, en la mayoría de los casos, hace que el efluente se dirija rápidamente a la superficie alcanzándose una mezcla casi completa en la vertical. De esta forma, la SEPA fija una dilución inicial mínima de manera de evitar efectos adversos desde el punto de vista estético y de emanación de olores. Obviamente este criterio depende del tipo de contaminante.

Otro criterio interesante establecido por la SEPA acerca de las limitantes geométricas de las zonas de dilución, es que un valor de referencia para la longitud permitida va de los 20 a los 100 anchos de escurrimiento, sin embargo no recomienda valores específicos. Para ríos poco profundos pero anchos, la mezcla completa puede alcanzarse kilómetros aguas abajo de la descarga, por lo que adecuada protección debe proveerse. Si mayor precisión se requiere en el análisis de la mezcla, la SEPA recomienda el uso del modelo CORMIX (elaborado en conjunto por la US EPA y la Universidad de Cornell). La SEPA insiste que es importante una buena ubicación de la descarga para maximizar el proceso de mezcla. En la Figura A6.1.2 se presenta un esquema en planta de la descarga en ríos presentado por la SEPA ilustrando los conceptos anteriores.



**Figura A6.1.2. Vista en Planta Ilustrando el Concepto de Dilución Inicial en la Descarga a un Río. Scottish Protection Agency (SEPA)**

### 1.3 Conclusiones de la Experiencia Internacional y su Aplicabilidad al Caso Chileno

Al analizar y comparar las distintas experiencias en el extranjero, es necesario mencionar que hay dos conceptos bastante aceptados internacionalmente, sobre los cuales no se han encontrado opiniones ni enfoques distintos. El primero es que la zona de mezcla no reemplaza el tratamiento de los efluentes, por lo tanto, no pueden ser definidas o aceptadas como una alternativa a un proceso de tratamiento razonable. El segundo concepto aceptado, es que el análisis de la zona de mezcla debe hacerse en condiciones desfavorables, es decir, en condiciones de estiaje. El valor de caudal más aceptado en este sentido, que es utilizado por la mayoría de los estados norteamericanos y provincias canadienses, corresponde a  $7Q^{10}$ , definido como el caudal medio mínimo en un período de 7 días consecutivos, para 10 años de periodo de retorno. Este caudal es posible obtenerlo a través de una inspección visual de los caudales medios diarios mínimos registrados para cada año hidrológico, determinando el caudal medio para un periodo de 7 días consecutivos que fuera mínimo para cada año hidrológico del registro (valor conocido como  $7Q$ ). Determinado así un valor  $7Q$  para cada año, se efectúa un análisis de frecuencia para determinar el valor asociado al periodo de retorno deseado, que en la mayoría de los casos se adopta de 10 años.

Es necesario destacar que en las descargas en que se analice el efecto del aumento de la temperatura en el cuerpo de agua, puede ser que la condición más desfavorable no sea la de estiaje. Lo anterior se debe a que en la época invernal, si bien es probable que escurra un caudal mayor por los cauces, existirá al mismo tiempo una mayor diferencia de temperatura entre el agua natural y el efluente. Por esto, deberá efectuarse un análisis en cuanto a determinar el periodo más desfavorable respecto a la temperatura.

De la experiencia internacional recabada, es claro que la tendencia general es la de analizar cada caso en particular, aún cuando pueden establecerse dimensiones máximas de referencia para las Zonas de Mezcla. En este sentido, el criterio geométrico más aceptado para el caso de los ríos es el de limitar la sección transversal de la zona de mezcla de manera que no supere el 25% de la sección transversal de escurrimiento. Debido a que en la mayoría de los casos la temperatura del efluente es mayor que la temperatura natural del agua, las descargas de efluentes tenderán a ser positivamente boyantes (es decir, tienden a salir a la superficie), por lo que si la descarga se realiza desde el fondo, la mezcla completa en la vertical se alcanzará en forma relativamente rápida. De esta forma, el criterio de un máximo de 25% de la sección transversal de escurrimiento puede asimilarse a establecer que el ancho de la Zona de Mezcla no puede superar el 25% del ancho medio de escurrimiento en el río.

Llama la atención que no existen criterios más explícitos a la longitud de las zonas de dilución. Las dimensiones recomendadas para las zonas son evidentemente de áreas o anchos, pero no de longitudes. El gobierno Neozelandés adopta un criterio conservador en que a una distancia de aproximadamente 100 anchos de escurrimiento hacia aguas abajo de la descarga puede considerarse una situación de mezcla completa, en la cual el concepto de zona de dilución ya no tiene sentido debido a que existirá la misma concentración en cada punto de la sección transversal. De esta forma, en el caso de adoptarse un criterio de longitud máxima, ésta debe ser evidentemente menor a 100 anchos medios de escurrimiento. La Provincia de Alberta en Canadá, adopta un valor de referencia de 20 a 100 anchos de escurrimiento para la longitud máxima de la zona de dilución, sin embargo no existe un criterio muy definido al respecto.

Respecto del establecimiento de una distancia mínima de la descarga hacia una toma de agua potable o zona protegida oficialmente, dependerá de cada caso en particular, ya que la mezcla es fuertemente dependiente de las características de la descarga y del río y el establecer un valor fijo puede ser una restricción muy exagerada para numerosas situaciones. Un resumen comparativo de la experiencia internacional recabada se presenta en la siguiente tabla.

País o Continente	Análisis caso a caso	Dimensiones máximas zona dilución	Observación
U.S.A	Si	- 25% - 33% sección transversal escurrimiento - longitud inferior a 5 veces el ancho de escurrimiento (Estado de Virginia) - la sub-zona en que se alcancen valores de toxicidad aguda justo a la salida de las boquillas debe ser menor al mínimo de los siguientes valores: 50 veces el diámetro de descarga o boquillas, 5 veces la altura de escurrimiento de estiaje, 10% de la longitud de la zona de mezcla aceptada	Es el país que define en forma más explícita las dimensiones máximas de la zona de mezcla, dependiendo del Estado
Canadá	Si	- 25% sección transversal escurrimiento (Manitoba) - 50% sección transversal escurrimiento (Alberta) - Longitud inferior a 10 anchos de escurrimiento (Alberta)	Fundamentalmente basado en la US EPA, sin embargo especifica que las dimensiones máximas son solo referenciales
Europa (Reino Unido)	Si	- Longitud inferior a 20-100 anchos de escurrimiento dependiendo del caso - Concentraciones exigidas para la dilución inicial	Otorga énfasis en la dilución inicial como principal mecanismo de mezcla y fija, dependiendo del caso, concentraciones máximas para dicho proceso
Latinoamérica	s / i	Solo Puerto Rico establece para descargas oceánicas	No se han encontrado experiencias o regulaciones relevantes
Nueva Zelanda	Si	No recomienda	Explícitamente indica la inconveniencia de dimensiones máximas, ya que se corre el riesgo de que éstas sean utilizadas indiscriminadamente.

En resumen, un análisis caso a caso parece inevitable ya que no existen 2 situaciones de descarga de efluente idénticas. Sin embargo, el adoptar para el caso chileno un criterio respecto a limitar el ancho de la zona de mezcla al menos a un 25% - 33% del ancho medio de escurrimiento parece enmarcarse dentro de la actual tendencia internacional respecto de las directrices relativas a las zonas de dilución, criterio incluso mencionado por las Provincias canadienses las cuales sugieren evitar criterios demasiado generalizados. Sin embargo, dicho valor es referencial y, dependiendo del caso, puede ser más limitado. Respecto de otros factores, como las longitudes de la zona de mezcla, distancias hacia zonas protegidas, caudales máximos de descarga, etc., no existe un consenso generalizado y deberán analizarse caso a caso.

## 2. PROCEDIMIENTOS Y METODOLOGÍAS PARA ESTABLECER ZONAS DE DILUCIÓN

### 2.1 Criterios Generales

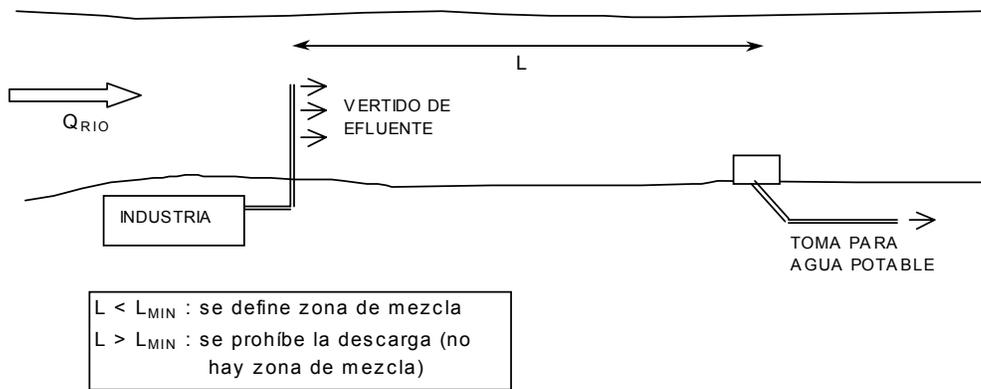
La zona de dilución (o mezcla) se define como un volumen, área o zona específico(a) de un cuerpo de agua en el(la) cual se produce la dilución de uno o más compuestos provenientes de descargas de residuos líquidos, donde pueden excederse los estándares de calidad de agua, siempre y cuando no se alcance un grado de contaminación tóxico o letal, este último denominado concentración máxima o CCM. En este sentido, cobra importancia la declaración de la USEPA al respecto, la cual cita que la zona de mezcla “debe limitarse a una área o volumen tan pequeño como sea practicable que no interfiera con los usos designados o con la comunidad o vida acuática para las cuales sus usos están designados”.

A modo de agrupar los criterios generalmente aceptados, se pueden mencionar los siguientes:

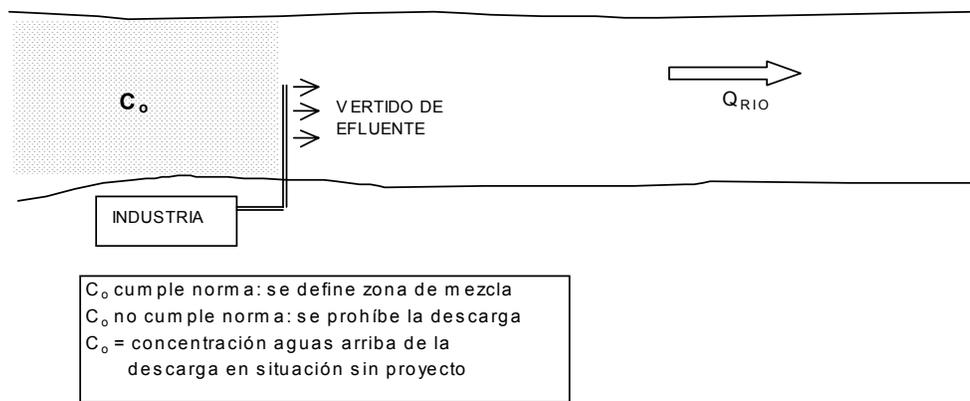
#### a) Autoridad para la definición de zonas de mezcla

Entre los criterios globalmente aceptados está la potestad de la autoridad para la aceptación o rechazo de zonas de mezcla.

Debido a que cada caso es diferente, dependiendo de la ubicación de la descarga y del uso del cuerpo receptor, la autoridad podrá definir una zona de mezcla, o bien rechazar todo tipo de zona de mezcla si así lo estima necesario. Este último caso es bastante típico en dos situaciones: la primera es en aquellos proyectos de descarga de efluente que quedan ubicados inmediatamente aguas arriba de tomas de agua para consumo humano o zonas protegidas oficialmente (es decir, existe una distancia mínima  $L_{MIN}$  que debe respetarse). La otra situación corresponde a los casos en que los criterios de calidad no son cumplidos inmediatamente aguas arriba de la descarga en la situación sin proyecto. Estos criterios se explican en la Figura A6.2.1.



**CRITERIO DE DISTANCIA MINIMA A TOMA PARA CONSUMO HUMANO**



**CRITERIO DE CONCENTRACIÓN AGUAS ARRIBA DE LA DESCARGA**

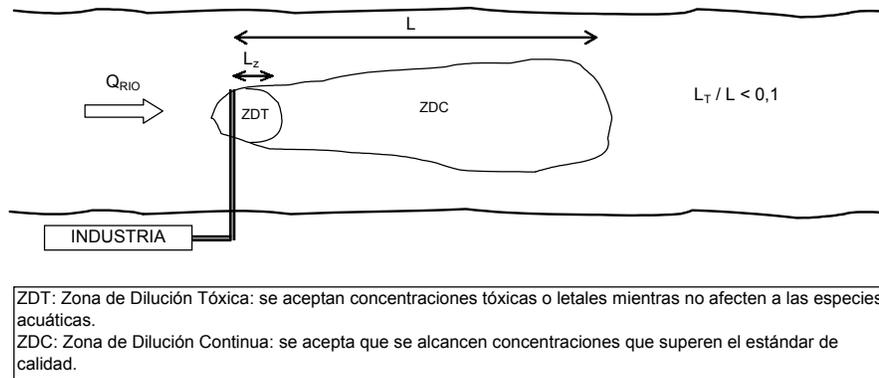
**Figura A6.2.1: Criterios para el Rechazo Inmediato de Zona de Mezcla**

El primer criterio, de distancia mínima aguas arriba de una descarga, dependerá de las características del río, aunque en muchos lugares se ha establecido una distancia mínima que jamás puede violarse. Por ejemplo, en el estado de Virginia, Estados Unidos, esta distancia ( $L_{MIN}$ ) es de 800 metros. Sin embargo, el establecer una distancia fija para todas las descargas puede ser un criterio un tanto exagerado para muchas situaciones, por lo que deberá analizarse caso a caso. Por ejemplo, para casos de descargas en cauces no muy anchos y mediante difusores transversales, la mezcla completa puede alcanzarse rápidamente, por lo que un criterio como el del Estado de Virginia podría ser muy conservador. De esta manera, para definir el rechazo o aprobación de una zona de dilución debido a la existencia de una zona protegida aguas debajo de la descarga, es útil tener en cuenta que la mezcla completa se alcanza del orden de 100 veces el ancho de escurrimiento, valor que podría tomarse como referencia, aún cuando en Chile debido al régimen torrencioso de la mayoría de los ríos, este valor está altamente sobredimensionado.

El segundo criterio se basa en la filosofía que si algún estándar de calidad de un contaminante específico aguas arriba de un proyecto de descarga es sobrepasado, se prohíbe la descarga de dicho contaminante. En este sentido hay que distinguir 2 casos: el primero es aquel en que el agua naturalmente tenga una concentración del contaminante similar o superior a la calidad objetivo, por lo que en dicha situación la zona de mezcla puede rechazarse. El segundo caso es que la concentración aguas arriba de la descarga sea causada por el mal manejo de un tercero, por lo que en dicha situación será este último quien deberá tomar las acciones necesarias para revertir la situación. Sin embargo, es necesario señalar que para cualquiera de los dos casos anteriores, la decisión acerca del rechazo de la zona de mezcla queda abierta a la posibilidad de que se implemente algún mecanismo de compensación en el caso que se supere la calidad objetivo del contaminante específico.

Otro criterio de rechazo para el establecimiento de una zona de dilución corresponderá al caso que una descarga se encuentre en las proximidades de la intersección de dos o más cauces, por lo que cualquier zona de dilución no debe afectar dicha área. Será potestad de la autoridad el definir caso a caso cuál es el área de intersección.

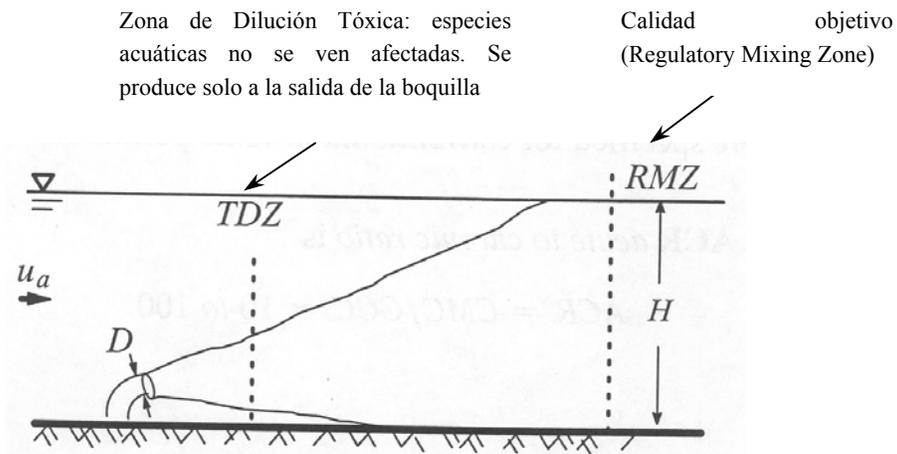
En el caso que la descarga contenga agentes tóxicos, la autoridad deberá evaluar cuidadosamente si define o no una zona de mezcla, ya que la dilución en un cuerpo de agua no reemplaza el tratamiento del efluente antes de que éste sea vertido. Dentro de este concepto, la mayoría de los casos se produce una “Zona de Dilución Tóxica”, en la cual el efluente descarga concentraciones tóxicas o letales por una distancia muy corta, muchas veces solo del orden de 1 par de metros, debido a que la dilución no ocurre en forma instantánea. Un criterio establecido por la US EPA es que esta concentración tóxica no puede exceder en ningún caso el 10% de la longitud de la zona de mezcla aguas debajo de la descarga ( $L_Z$ ). Esto siempre y cuando no se ponga en riesgo a ninguna especie acuática. Lo anterior se visualiza en la Figura A6.2.2.



**Figura A6.2.2: Conceptos de Dilución Tóxica y Dilución Continua**

Otros criterios establecidos por la US EPA son que, por un lado, la zona de dilución tóxica no se puede extender más allá de 5 veces la altura de escurrimiento en condición de estiaje en cualquier dirección horizontal y, por otro, que esta zona no puede llegar más allá que la distancia equivalente a 50 veces el diámetro de la(s) boquilla(s).

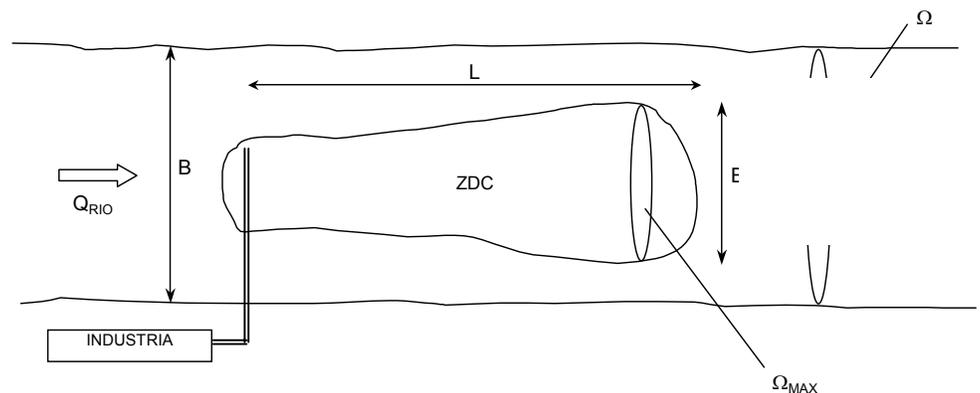
La presencia de concentraciones tóxicas es muchas veces inevitable a la salida de las boquillas del difusor o de la tubería de descarga. Lo anterior se debe a que el flujo “entra” en el cuerpo de agua con un momentum mayor y mantiene durante una distancia pequeña su concentración sin producirse la dilución. Posteriormente, el chorro pierde su momentum y se inicia el proceso de mezcla, descendiendo la concentración en forma muy rápida, especialmente cuando la densidad del efluente es menor a la del agua natural. Este concepto se ilustra en la Figura A6.2.3.



**Figura A6.2.3: Concepto de Zona de Dilución Tóxica**

b) Criterios geométricos para zona de mezcla

Existen criterios que dependen de las características de la “caja” o sección del río. Un criterio que se repite en varias reglamentaciones (ver acápite 1.2) de vertido de efluentes es que la zona de mezcla no debe exceder 1/4 del ancho medio de escurrimiento o el 25% del área transversal de escurrimiento. Otro criterio es el de la longitud de la zona de mezcla. Si bien es un criterio bastante variable y en muchos lugares no se hace mención, un valor recomendado por el estado de Virginia es que la longitud de la zona de mezcla hacia aguas abajo de la descarga sea del orden de 5 veces el ancho de escurrimiento. Este último criterio es discutible, ya que en ríos angostos esta restricción es muy limitante.



$$B_{MAX} < B_{MAX} / \Omega_{MAX}: \text{ ancho/sección de la zona de mezcla al momento de}$$
$$\Omega_{MAX} < \text{cumplirse la calidad objetivo}$$

B: ancho medio de escurrimiento

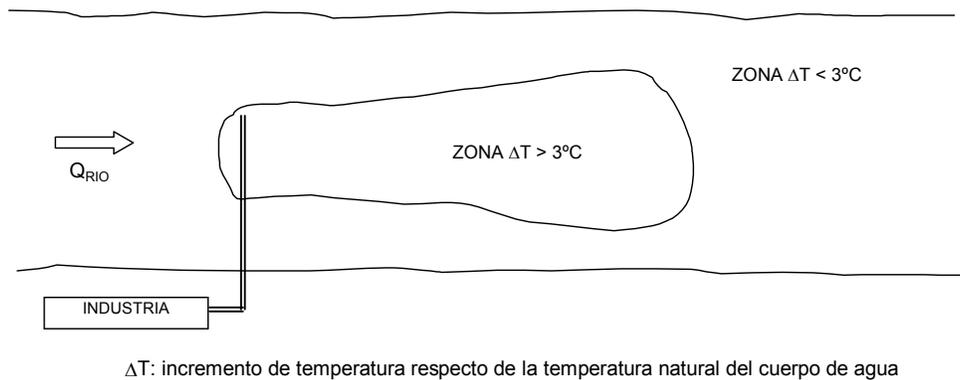
**Figura A6.2.4: Relaciones Geométricas Típicas para Zona de Mezcla**

c) Criterios complementarios

Se mencionan algunos criterios complementarios:

- Superposición de Zonas de Mezcla: Bajo ninguna circunstancia deberá definirse una zona de mezcla que se superponga sobre otra previamente definida, para un mismo contaminante.
- Efectos de la Temperatura: la temperatura de la descarga es uno de los problemas más comunes que enfrentan las industrias o instalaciones que pretenden verter su efluente a un cuerpo receptor. Las especies acuáticas son muy sensibles a este parámetro, por lo cual su análisis debe efectuarse

con suma precaución. Si bien el efecto de la temperatura depende de cada especie acuática, un valor típico que debe cumplirse fuera de la zona de mezcla es que el aumento de temperatura no sobrepase los 3°C. Este criterio se aprecia en la Figura A6.2.5.



**Figura A6.2.5: Criterio de aumento de Temperatura en el agua luego de la descarga**

Cabe destacar que la condición más desfavorable respecto a la dilución y temperatura muchas veces no ocurre en la condición de estiaje, sino al comienzo de invierno, en donde la diferencia de temperatura entre el efluente y el agua se incrementa.

Otro aspecto que debe analizarse es el de una posible intrusión de una cuña de agua caliente hacia aguas arriba de la descarga. Especialmente en régimen de río, con escurrimiento de baja velocidad, es posible que se propague una cuña térmica hacia aguas arriba de la descarga, pudiendo tener un efecto adverso sobre el ambiente aguas arriba.

- Paso de especies acuáticas: este es un aspecto de gran relevancia, ya que en la mayoría de los casos de ríos de baja profundidad, suelen establecerse “ventanas” libres de contaminación, es decir, franjas de escurrimiento que en promedio suelen ser del orden de  $2/3 - 3/4$  del ancho medio de escurrimiento del río. Sin embargo, no es deseable generalizar ya que el valor óptimo de dichas ventanas depende de las características de cada especie.

## 2.2 Normativa Chilena Vigente

La definición de zona de dilución de residuos líquidos según el Instructivo para la dictación de normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y aguas marinas, es la siguiente: “Volumen, área o zona donde se produce la dilución de uno o más compuestos o elementos en el cuerpo receptor provenientes de las descargas de residuos líquidos de establecimientos emisores”.

Para el caso de las aguas continentales superficiales, dicha zona será determinada por la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante o por la Dirección General de Aguas según corresponda. En el caso de las aguas marinas, dicha zona será determinada por la Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante a partir de los antecedentes presentados por el usuario, el que podrá usar como referencia la “Guía Metodológica sobre procedimientos y consideraciones ambientales básicas para la descarga de aguas residuales mediante emisarios submarinos”, elaborada por la Autoridad Marítima Superior.

El Decreto Supremo D.S. N°90 establece la norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. Según dicho decreto, los valores de las concentraciones máximas permitidas a ser descargadas dependen de la calidad de captación, calidad natural, cuerpo de agua receptor de la descarga y capacidad de dilución del cuerpo receptor. La Dirección General de Aguas, como organismo competente sobre los recursos hídricos continentales, es la responsable, en el caso que la descarga se realice a cuerpos de aguas Superficiales Continentales, de la determinación de la calidad de captación, la calidad natural y la capacidad de dilución del cuerpo receptor. En este sentido, la calidad natural del cuerpo de agua se define como la concentración de un contaminante en el cuerpo receptor, que corresponde a la situación original sin intervención antrópica del cuerpo de agua, más las situaciones permanentes, irreversibles o inmodificables de origen antrópico. La calidad de captación, por su parte, se define como la concentración media de contaminante presente en la captación de agua de la fuente emisora, siempre y cuando dicha captación se realice en el mismo cuerpo de agua donde se produzca la descarga.

Para la determinación de la calidad natural y calidad de captación, la autoridad encargada debería considerar la siguiente información:

- Información del monitoreo de calidad de aguas superficiales, de la actual red existente, empleando estaciones bases e impacto.

- Información extraída de estudios afines en las cuencas o zonas respectivas, por ejemplo Estudios de Impacto Ambiental.
- Información generada en muestreos específicos

Adicionalmente, considerará los siguientes factores:

- Calidad actual del cauce y/o lago.
- Impactos de actividades antrópicas sobre la cuenca.
- Variabilidad del ciclo hidrológico (incorporando aguas superficiales y subterráneas).
- Procesos geológicos.

El interesado en realizar la descarga debe solicitar el caudal de dilución, indicando el punto de la descarga (coordenadas UTM). La autoridad emitirá mediante una resolución el valor del caudal de dilución para el caso particular del punto de descarga solicitado. Para el caso de cuerpos receptores superficiales se tomará en consideración el análisis de la disponibilidad del recurso hídrico, una evaluación de la hidrología del cauce y los derechos comprometidos en el cauce. En la actualidad, la DGA ha establecido que el caudal de dilución debe corresponder al caudal ecológico, por ser este el mínimo disponible después de entregados todos los derechos, y por lo que corresponde al escenario más desfavorable.

Una vez determinado el caudal de dilución, es posible determinar la tasa de dilución, según se detalla en el siguiente acápite.

### 2.3 Procedimiento Propuesto

Por zona de dilución (también denominada “mixing zone” o zona de mezcla), se entiende el volumen, área o zona donde se produce la dilución de uno o más compuestos o elementos en el cuerpo receptor provenientes de las descargas de residuos líquidos de establecimientos emisores. Para el caso de los cauces superficiales, dicha zona será determinada por la Dirección General de Aguas.

Como resultado del acucioso examen de la literatura técnica y experiencia internacional, se propone a la DGA los criterios para la determinación de zonas de dilución, los cuales deben ser aplicados caso a caso. En primer término, se describen las condiciones generales que debe cumplir una zona de mezcla y, a continuación, se establecen algunos criterios específicos para su determinación. Dado que el establecimiento de zonas de dilución

debe ser estudiado para cada caso particular, los criterios generales que aquí se describen tienen el carácter de una guía metodológica.

### 2.3.1 Criterios generales para la definición de una zona de dilución

Con el objeto que los usos del agua en la cuenca no se vean deteriorados, se deben aplicar los siguientes criterios generales en relación a las zonas de dilución:

- a) La zona de mezcla debe ser tan pequeña como sea posible de modo que su tamaño o forma no cause o contribuya al deterioro de los usos del agua fuera de ella.
- b) La zona de mezcla debe ser diseñada de modo que permita una zona de paso para el movimiento o rumbo de todas las etapas de la vida acuática.
  - i) para aquellos elementos que tienden a la anulación de la vida acuática, la zona de mezcla no debe ocupar más de una parte de la sección de escurrimiento del río (criterios geométricos), de modo que la zona de mezcla no actúe como una barrera física que impida el paso de la vida acuática.
  - ii) La zona de mezcla no debe ser agudamente letal a la vida acuática que pasa por la zona de mezcla (criterios ecotóxicos).
  - iii) Las zonas de mezcla no deben interferir con las rutas migratorias que son esenciales a la reproducción, crecimiento o sobrevivencia de especies acuáticas
  - iv) Las zonas de mezcla no deben causar consecuencias irreversibles a organismos vegetales y animales o incrementar la vulnerabilidad a la depredación.
  - v) Donde existen dos o más zonas de mezclas muy próximas, ellas deben ser definidas de modo que exista una ventana de paso a la vida acuática.
  - vi) Las zonas de mezcla no deben interceptar las desembocaduras de ríos o la intersección de cauces.
- c) Las zonas de mezcla no deben interferir con tomas para agua potable o áreas de recreación que permitan la natación.

- d) Se debe rechazar una zona de mezcla en el caso que la calidad objetivo ya se encuentre naturalmente sobrepasada en la situación sin proyecto, y no se vislumbren mecanismos de compensación.

### 2.3.2 Normativa chilena vigente

El Decreto N° 90 del 30 de mayo de 2000 establece las Normas de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos de Aguas Continentales Superficiales.

Previo a la definición de una zona de dilución, debe verificarse que, en el extremo de la cañería de descarga (“end of pipe”), se cumplan los límites máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos según se establece en la Tabla N° 1 de la citada Norma.

Las fuentes emisoras podrán aprovechar la capacidad de dilución del cuerpo receptor, incrementando las concentraciones límites establecidas en la tabla N°1, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$C_i = T_{li} \times (1 + d)$$

en que:

$C_i$  : límite máximo permitido para el contaminante  $i$

$T_{li}$  : límite máximo permitido establecido en la Tabla N° 1 para el contaminante  $i$

$d$  : tasa de dilución del efluente vertido, igual a la razón entre el caudal disponible en el cuerpo receptor y el caudal medio mensual del efluente vertido

Si  $C_i$  es superior a lo establecido en la Tabla N° 2, entonces el límite máximo permitido para el contaminante  $i$  será indicado en dicha Tabla.

### 2.3.3 Condiciones hidráulicas del cuerpo receptor

Dentro de las variables que permiten predecir el proceso de mezcla de un efluente están las condiciones hidráulicas del río, caracterizadas por el caudal, altura, velocidad y tipo de régimen de escurrimiento. Todas ellas están interrelacionadas entre sí, siendo el caudal la variable fundamental que condiciona el resto.

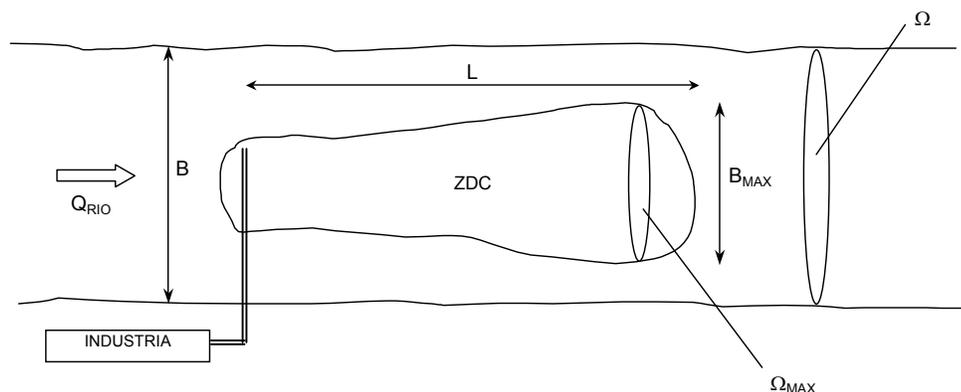
Siendo el caudal una variable aleatoria con fuertes variaciones durante el año y entre diferentes años hidrológicos, el cálculo hidrodinámico del proceso de mezcla requiere la consideración de diferentes escenarios según varía el caudal del río.

Las instalaciones para el tratamiento de efluentes son típicamente diseñadas para cumplir los objetivos de calidad de agua para caudales tan bajos como el correspondiente al caudal medio mínimo en un período de 7 días consecutivos que ocurre una vez en 2 años ó en 10 años ( $7Q_{10}$ ) y para caudales tan altos como el caudal medio diario de una crecida con período de retorno de 10 años. El tiempo entre ocasiones en que los objetivos de calidad de agua son excedidos será mayor que 2 ó 10 años porque la probabilidad conjunta de máxima descarga y mínimo caudal es menor.

Corresponde a la DGA definir el valor del caudal de dilución para el caso particular de la descarga analizada. El criterio establecido por la DGA es que el caudal de dilución debe corresponder al caudal ecológico, por ser éste el mínimo disponible después de ser extraídos todos los derechos, lo que corresponde al escenario más desfavorable. En los cauces sin caudal ecológico establecido, se deberá realizar un análisis hidrológico que permita la definición del caudal de dilución.

#### 2.3.4 Criterios geométricos para definir la zona de dilución

Dentro de los criterios generales (ver 7.2.1 b) i) se establece que la zona de mezcla no debe ocupar más que una parte de la sección de escurrimiento del río para permitir el tránsito de las especies acuáticas.



$$B_{MAX} < B/4$$

$$\Omega_{MAX} < \Omega/4$$

$B_{MAX} / \Omega_{MAX}$ : ancho/sección de la zona de mezcla al momento de cumplirse la calidad objetivo

B: ancho medio de escurrimiento

De la experiencia internacional recabada, es claro que la tendencia general es la de analizar cada caso en particular, aún cuando pueden establecerse dimensiones máximas de referencia para las zonas de mezcla. En este sentido, el criterio geométrico más aceptado para el caso de los ríos es limitar la sección transversal de la zona de mezcla de manera que no supere el 25% de la sección transversal de escurrimiento. En el caso que la temperatura del efluente es mayor que la temperatura natural del agua, las descargas de efluentes tenderán a ser positivamente boyantes (es decir, tienden a salir a la superficie), de modo que si la descarga se realiza desde el fondo, la mezcla completa en la vertical se alcanzará en forma relativamente rápida. De esta forma, el criterio de un máximo de 25% de la sección transversal de escurrimiento puede asimilarse a establecer que el ancho de la zona de mezcla no supere el 25% del ancho medio de escurrimiento en el río.

Respecto a la definición de la longitud  $L$  de la zona de mezcla, no existen criterios explícitos a nivel internacional e incluso, en algunos países, no se la menciona. Como valor de referencia, se propone considerar que la longitud máxima  $L$  varíe entre 20 y 100 anchos de escurrimiento ( $B$ ).

#### 2.3.5 Criterios matemáticos (Modelación de la pluma efluente)

El comportamiento de la descarga de efluentes en un cauce superficial está gobernado por la interacción entre el cuerpo de agua receptor y las características de la descarga, lo que puede conceptualizarse como un proceso de mezcla continuo que ocurre en dos zonas separadas: la zona interior o cercana a la descarga y la zona exterior o lejana a la misma.

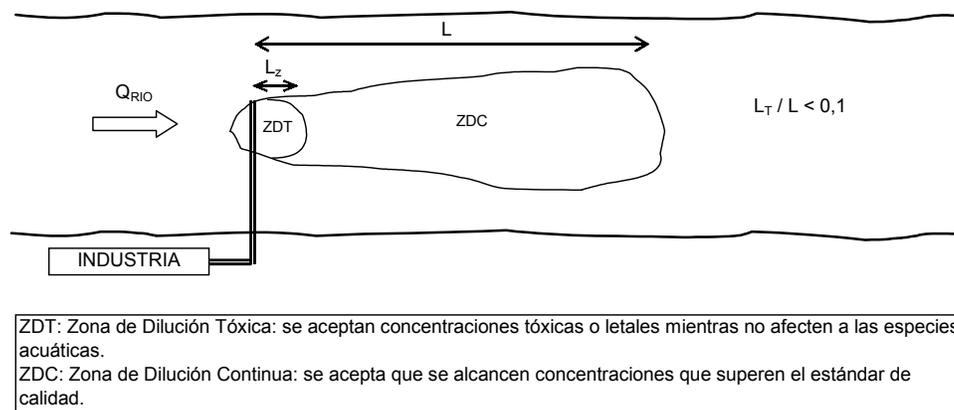
Los criterios geométricos de definición de una zona de dilución constituyen una referencia de carácter general, lo que no reemplaza el cálculo hidrodinámico del proceso de mezcla. Con el objeto de conocer la dilución que se genera en la zona cercana y en la zona lejana, se debe llevar a cabo un análisis matemático complejo que requiere el empleo de un modelo de computación.

Se recomienda el modelo CORMIX el cual fue elaborado en conjunto por la EPA y la Universidad de Cornell. Es un programa específicamente diseñado para el análisis de difusores de boquillas múltiples.

### 2.3.6 Criterios ecotóxicos

En el caso que la descarga contenga agentes tóxicos, la autoridad deberá evaluar cuidadosamente si define o no una zona de mezcla, ya que la dilución en un cuerpo de agua no reemplaza el tratamiento del efluente antes de que éste sea vertido. Para un parámetro o conjunto de ellos, es preciso distinguir entre toxicidad aguda (de corto plazo) y toxicidad crónica (de largo plazo). El estándar agudo corresponde a un valor que no será excedido por la concentración en una muestra única, o en el promedio de las muestras recolectadas en un día. En tablas de estándares internacionales, el estándar agudo se expresa usualmente como la concentración de un parámetro que es letal al 50 % de cierto organismo (LC-50) durante un período de tiempo definido (96 horas). Por su parte el estándar crónico es el valor que no será excedido por la concentración de una muestra única o del promedio calculado en un período de 30 días.

En caso que justificadamente no se pueda alcanzar el límite de concentración tóxica aguda antes de la descarga, ésta deberá alcanzarse dentro de los límites de la zona de dilución tóxica (ZDT).



Si la zona de dilución tóxica no pueda ser confinada a las inmediaciones de las boquillas de descarga, la ZDT no debe extenderse más allá que el valor mínimo entre los 3 valores siguientes definidos por la US EPA: 50 veces el diámetro de la(s) boquilla(s) de descarga, 5 veces la altura de escurrimiento en estiaje, y el 10% de la longitud aceptada para la zona de mezcla. En relación a concentraciones con efecto crónico; se recomienda alcanzar el límite de concentración crónica dentro de los límites de la zona de dilución continua (ZDC).

Los criterios anteriores son referenciales, y dependerá de la autoridad definir el nivel de confinamiento de dicha zona tóxica en función del contaminante.

#### 2.4 Programa de Monitoreo Futuro

La base del programa de monitoreo futuro (estándar) considera que su objetivo es la verificación de la norma secundaria y que las mediciones se efectuarán como complemento de la actual red de monitoreo de la DGA, situación que se materializa en definir los parámetros adicionales en cada estación existente y en agregar otras estaciones, si es estrictamente necesario, cuya localización se describe a continuación. La metodología se encuentra descrita en la sección correspondiente y abarca desde la toma de muestras hasta el tratamiento de la información.

En conformidad a lo dispuesto en el Instructivo la frecuencia mínima de muestreo corresponderá a los cuatro periodos estacionales: Verano, Otoño, Invierno y Primavera.

**ANEXO A7**  
**CARACTERIZACION DE LA CUENCA**

Este anexo describe toda la información que es necesario recopilar para una apropiada caracterización de la cuenca.

## 1. CARTOGRAFÍA Y SEGMENTACIÓN

### a) Cartografía

La información cartográfica georeferenciada reunida de la DGA y de otros organismos públicos (ver Anexo I.1) debe ser analizada, validada y procesada, dado que las fuentes de información son diversas y que se ha definido como parámetro de referencia el sistema desarrollado por la DGA,

El procesamiento de la información se desarrolla siguiendo los pasos indicados a continuación:

- FASE I
  - Definición de factores y variables
  - Recolección de datos
  - Validación de datos
  
- FASE II
  - Ingreso de información espacial
  - Alimentación de bases de datos
  - Estandarización de información
  
- FASE III
  - Estructuración de bases de datos
  - Manipulación y uso del sistema
  - Diseño de presentación gráfica

La información vectorial procede de las siguientes fuentes:

- Bases cartográficas del SIGIRH, del MOP-DGA.
- Bases del Sistema de Información Ambiental Regional (SIAR) de CONAMA.
- Bases del Catastro de Bosque Nativo de la CONAF, reclasificado por CONAMA.

- Sistema de información integrado de riego (SIIR), de la Comisión Nacional de Riego (CNR.)

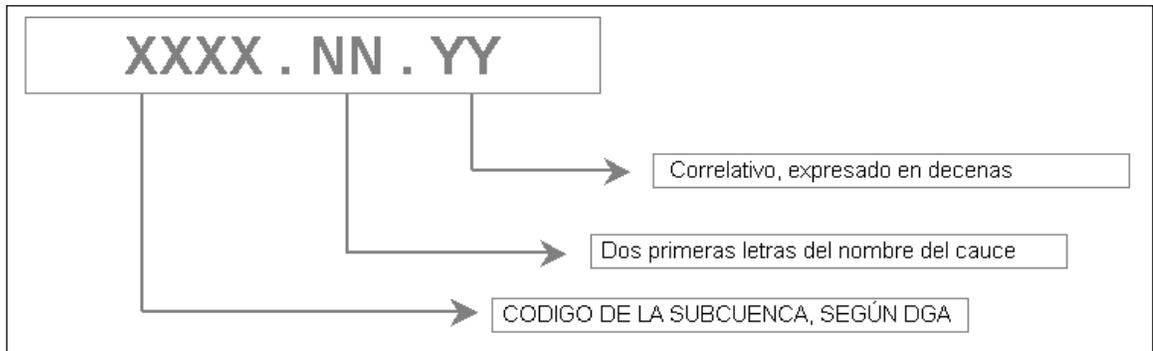
b) Segmentación

Para permitir el análisis de usos y calidad del agua en divisiones menores a algunos cursos extensos, se crea el concepto de segmentación de cauces.

Este consiste en la subdivisión de los cauces en porciones menores denominadas “segmentos”, lo que se hace siguiendo los criterios descritos a continuación:

- i. El área de definición de segmentos estará asociada a cada sub-cuenca de la cuenca en estudio.
- ii. Se procederá a la subdivisión de un cauce, perteneciente a una sub-cuenca, cuando sea considerado extenso para efectos del análisis, en un número de segmentos continuos no superior a tres.
- iii. Los extremos de los segmentos son los nodos y estarán asociados a algunos de los siguientes elementos físicos:
  - Cabecera del curso
  - Confluencia con otro curso seleccionado
  - Desembocadura al mar
  - Punto definido por la intersección del límite inferior de la subcuenca y el curso a subdividir
  - Cola y salida de un curso lenticular (Lagos y embalses)
  - Estación de Calidad de Agua, cuando ésta se encuentre significativamente alejada de una confluencia o de una cabecera
  - Nodo de impacto donde se concentran los efectos de la contaminación puntual.
  - Punto definido por la intersección del límite inferior de la subsubcuenca y el tramo a subdividir.

Se ha adoptado una nomenclatura para codificar los segmentos, tal que su denominación sea única, para lo cual se sigue la fórmula mostrada en la figura siguiente:



## 2. SISTEMA FISICO NATURAL

Se entiende por cuenca hidrográfica el territorio definido por los límites de la zona de escurrimiento de las aguas superficiales, que convergen hacia un mismo cauce. Del mismo modo, una cuenca, sus recursos y sus habitantes, poseen determinadas condiciones físicas, biológicas, económicas, sociales y culturales, que le confieren características comunes. Por tanto la cuenca, ya sea en forma independiente o interconectada con otras, es reconocida como la unidad territorial más adecuada para la gestión integrada de los recursos hídricos.

Para caracterizar el estado actual de los cauces en cuanto a la calidad y disponibilidad de sus aguas para distintos usos, es necesario una descripción global de sus sistemas hidrográficos y de los componentes que podrían influir en dicha calidad. Entre los componentes considerados pertinentes para esta caracterización, se encuentran a nivel general, el sistema físico natural, los sistemas humanos y el uso del suelo.

De acuerdo a la clasificación anterior, dentro del primer grupo, se consideran los factores físicos tales como la geología y volcanismo, la hidrogeología, el clima, los suelos, la geomorfología y las comunidades vegetales. El segundo grupo, contempla una caracterización de los asentamientos humanos y de sus actividades económicas. Por último, dentro de los usos del suelo, se caracterizarán aquellos de tipo agrícola, forestal y urbano.

A continuación se describe el esquema que se ha tenido en cuenta para la descripción de cada uno de estos aspectos, el cual posteriormente se aplica a cada una de las cuencas piloto.

### 2.1 Geología y Volcanismo

La geología puede incidir en la calidad del agua debido a la composición química de la roca y a procesos físico químicos como la lixiviación.

La lixiviación es un fenómeno asociado a la infiltración de agua, que ocurre al interior del cuerpo rocoso. Este proceso, producto de la solubilización de metales por descenso de pH, se denomina Drenaje Ácido de rocas (ARD). Este tipo de drenaje ocurre en forma natural en la roca y puede alterar la calidad del agua si es influido químicamente por la composición de la roca, por la magnitud e intensidad de las precipitaciones, entre otros factores.

El fenómeno anterior, es importante en la calidad de agua desde el punto de vista de los componentes inorgánicos, ya que es un fenómeno natural de desagregación física y química de las rocas de la corteza, que se produce cuando son sometidas a las condiciones superficiales (interacción con el agua, aire, bacterias, etc.).

Las aguas subterráneas adquieren características químicas según el tipo de roca en que se asienten. Así por ejemplo, aguas provenientes de arcillas presentan altos contenidos de fierro y fluoruro y pH bajo; las provenientes de caliza presentan bajo contenido de sílice, alto contenido de calcio y magnesio, y pH sobre 7.0; aguas provenientes de areniscas son blandas debido a su bajo contenido de calcio y magnesio, sin embargo, presentan altas concentraciones de sodio y bicarbonato; aguas provenientes de rocas andesíticas, presentan pH bajo y gran cantidad de sulfuros disueltos provenientes de pirita (compuesto importante en las rocas de este tipo), favoreciendo la disolución de iones provenientes tanto de la misma formación rocosa, como de otras.

Aguas provenientes de rocas ígneas como la dolomita y mármol, poseen una dureza moderada a alta. Aguas de serpentinitas, gabos, anfíbolitos tienen bajo contenido de cuarzo y alto de silicato.

El volcanismo constituye uno de los principales procesos geológicos y abarca el origen, movimiento y solidificación de la roca fundida, la cual en forma subterránea se llama magma. Esta, al enfriarse forma la roca ígnea y puede alcanzar la superficie a través de fisuras o erupciones volcánicas en cuyo caso se llama lava.

La existencia de volcanes y su influencia en la calidad de agua está determinada por la presencia de magma solidificado en la superficie, el que presenta elementos solubles que inciden en el cuerpo de agua. Debido a esto es importante determinar la existencia de lavas en el área de la cuenca y si existe actividad de los mismos.

## 2.2 Hidrogeología

Las características hidrogeológicas permiten determinar la permeabilidad o capacidad de infiltración asociados a la existencia de fenómenos de meteorización al interior de la roca. Además, es importante conocer la existencia de acuíferos subterráneos y sus características (libre o confinado) para determinar si estos alimentan al cuerpo de agua y si es factible que incidan en la calidad del agua del acuífero superficial por las características de la roca en que se asienta.

En las cuencas hidrográficas, se distinguen unidades de relevancia hidrológica, en cuanto a su distribución y capacidad de almacenar y transmitir agua. Entre ellas se encuentran:

- Depósitos No Consolidados

Sedimentos fluviales, aluviales, lacustres, aluvionales, eólicos. Acuíferos de extensión variables, generalmente estratificados. Napas libres o semiconfinadas. Permeabilidad variable; calidad química variable. Son los acuíferos más conocidos y explotados del país. Importancia hidrogeológica relativa alta a media.

- Depósitos Consolidados o Rocas Sedimentarias

Areniscas, lutitas, limonitas y arcillolitas de depositación lacustre o marina. Acuíferos de extensión variable, generalmente subyacente a depósitos cuaternarios. En Pampa del Tamarugal y en el borde Oriental del Salar de Atacama; deficiente calidad química. Pampa Magallánica surgente, buena calidad química. Importancia hidrogeológica relativa baja.

- Rocas Carbonatadas

Calizas areniscas y lutitas calcáreas. Acuíferos semicarstificados sin explotar, calidad química deficiente. Cuenca de Calama. Importancia hidrogeológica relativa media.

- Rocas Volcánicas Fracturadas

Coladas, tobas y brechas andesíticas con intercalaciones de sedimentos clásticos continentales. Ignimbritas riolíticas y dacíticas. Acuíferos poco explorados, de extensión e importancia poco conocidas. Se atribuye características de acuíferos a estas formaciones volcánicas del Altiplano. Calidad química buena. Importancia hidrogeológica relativa alta a media.

- Rocas Volcánicas

Coladas y depósitos piroclásticos riolíticos, dacíticos, andesíticos y basálticos, asociados a volcanes antiguos bien conservados o activos. En general, no presentan características acuíferas. Cordillera de los Andes. Importancia hidrogeológica relativa muy baja.

- Rocas Sedimentarias y Mixtas (Sedimentario-Volcánicas)

Coladas, brechas, tobas e ignimbritas con intercalaciones de lutitas, calizas, arseniscas y conglomerados. En general impermeables. Se consideran basamento de rellenos acuíferos. Importancia hidrogeológica relativa muy baja.

- Rocas Plutónicas e Hipabasales

Intrusivos graníticos. Basamento impermeable. Cordillera de la Costa, Cordillera de los Andes. Importancia hidrogeológica relativa alta a media. Importancia hidrogeológica relativa nula.

- Rocas Metamórficas y Sedimentarias

Metareniscas, pizarras, filitas, esquistos, gneises, anfibolitas, lutitas, cuarcitas. Basamento impermeable. Cordillera de la Costa, Cordillera Andina Patagónica. Importancia hidrogeológica relativa nula.

Otro factor a considerar es la existencia de agua subterránea que interviene de modo dinámico en la calidad del agua por las características que adquiere en su formación, o la contaminación que ingresa a la napa. Es por ello que es necesario distinguir fuentes de contaminación de agua subterránea, su localización, la historia de la fuente y los tipos de contaminantes que emanan desde ellos.

## 2.3 Clima

La relación existente entre las variables climáticas (temperatura, precipitación, presión atmosférica, humedad, entre otras) y la calidad de agua, es directa.

Las precipitaciones, son la principal fuente de inorgánicos que solubiliza gases presentes en la atmósfera (Nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono y dióxido de azufre). El dióxido de carbono es muy importante en la química y calidad del agua ya que forma ácido carbónico, disminuyendo el pH a 5.6 aproximadamente. El dióxido de azufre es importante ya que genera ácido sulfuroso, lo que disminuye el pH a 3.

La precipitación además, influye en la calidad del agua mediante el fenómeno de Drenaje Ácido de Roca (ARD) y de la escorrentía superficial en forma directa. El ARD incide en la infiltración y fenómenos químicos al interior de la roca, mientras que la

escorrentía superficial, incide en la calidad del agua mediante el arrastre y aporte de sedimentos a los cauces.

Desde el punto de vista de disponibilidad de los recursos hídricos, la evaporación, condicionada por las temperaturas, representa las pérdidas que se producen desde superficies de agua libre (lagos, embalses) y desde zonas con un nivel freático próximo a la superficie (salares). Por ende, la evaporación, podría conducir a que las aguas, presenten un alto contenido de sales disueltas (salmueras), como es el caso de la cuenca del Río Lluta.

## 2.4 Geomorfología

La morfología de la cuenca está influenciada en gran medida por los cursos fluviales. Éstos son los que generan procesos tanto de erosión, transporte y depositación. De acuerdo a esto, en las partes altas de las cuencas suelen ocurrir procesos de erosión sobre las paredes rocosas (en quebradas de alta montaña), o erosión de los suelos cuando éste está presente en los lechos de los ríos.

El proceso de transporte se produce a medida que la fuerza del caudal arrastra los sedimentos provenientes de las cabeceras de los cauces. Cuando la corriente disminuye, se producen depositaciones de material grueso que da origen a los bancos fluviales en medio de los lechos.

Existen otras formas asociadas que determinan muchas veces la composición de los suelos, los que posteriormente influyen directa o indirectamente en la calidad de las aguas. Algunas de estas formas son las erupciones volcánicas, las glaciaciones y los conos aluviales.

Cuando el río disecciona estas formas u otras, va dando paso a la morfología de su cauce, llegando a ser rectilíneo cuando escurre por un valle profundo, sobre roca in situ; meandrante al esquivarlas y generar curvatura pronunciada o anastomosado cuando es un cauce ancho con varios brazos que rodean bancos de sedimentos.

De esta manera, los sedimentos pueden representar una sustancia contaminante tanto desde el punto de vista físico como químico. La contaminación física característica de los sedimentos es la turbidez (limitada penetración de la luz solar) y la sedimentación (pérdida de la capacidad de almacenaje de los embalses, destrucción de las barreras de coral, pérdida de las áreas de desove para ciertas especies ictícolas). La contaminación química debida a los

sedimentos incluye la absorción de metales y el fósforo, así como las sustancias químicas orgánicas hidrofóbicas.

## 2.5 Suelos

Dada la característica sistémica de la relación suelo - agua, ambos componentes naturales interactúan de manera común. La influencia que pueda tener el suelo en la calidad de las aguas es de gran importancia, ya que sobre él, se desarrollan las actividades antrópicas.

Los suelos tienen diversas características, tanto químicas como físicas. Una de las más importantes y determinantes es la textura, que está determinada por la distribución de las partículas sólidas que lo componen (composición granulométrica). Esta variable, determina muchas de sus propiedades, tales como capacidad de retención de agua, magnitud del complejo adsorbente, susceptibilidad a la expansión, etc.

Los agregados texturales tienen tres niveles los que se muestran en la siguiente tabla:

TEXTURA		
Primer nivel	Segundo nivel	Tercer nivel
Suelos Arcillosos	Textura fina	1. Muy arcillosa 2. Arcilloso limosa 3. Arcilloso arenosa
Suelos francos o medios	Textura moderadamente fina	4. Franco arcillosa 5. Franco arcilloso limosa 6. Franco arcilloso arenosa
	Textura media	7. Franca 8. Franco limosa 9. Muy limosa
	Textura moderadamente gruesa	10. Franco arenosa
Suelos arenosos	Textura gruesa	11. Arenosa franca 12. Muy arenosa

A partir de la textura, se logra establecer una relación respecto al grado de permeabilidad de los suelos como se señala a continuación:

Escorrentía	Permeabilidad	Textura
Alta	Baja	Suelos arcillosos
Media	Media	Suelos franco o medios
Lenta	Alta	Suelos arenosos

Dependiendo de estas dos características, se establece que la escorrentía del suelo será mayor cuando la permeabilidad sea baja, es decir, en suelos de texturas finas o arcillosas. A su vez, la escorrentía será menor en suelos que permitan el paso del agua o permeables, de textura gruesa. Mientras la erosión se produce con mayor grado en suelos arcillosos puesto que el escurrimiento en ellos es alto debido a su baja capacidad de infiltrar. La erosión depende además del suelo de la pendiente, volumen e intensidad de las precipitaciones y de la cubierta vegetal.

De esta manera, desde el punto de vista natural, el suelo influye en la calidad de las aguas cuando ocurren eventos de crecidas de los ríos y éstos arrastran mayor cantidad de sedimentos. También, puede ocurrir que los suelos por procesos de lixiviación y percolación, almacenen sustancias provenientes de rocas contiguas o de la roca madre, depositando estos componentes en las aguas superficiales que escurren sobre el suelo o están almacenadas en acuíferos.

Altas tasas de extracción de aguas subterráneas, pueden alterar el entorno químico del suelo, conduciendo a un incremento en la movilidad de los metales pesados de origen geológico.

Por lo tanto, la influencia de los suelos en la contaminación de las aguas está dada por su carácter conductor de sustancias, las que finalmente desembocan en los cursos fluviales.

## 2.6 Comunidades Vegetales

Dentro de la descripción de cada cuenca, se reserva un acápite para dar a conocer las comunidades vegetacionales presentes. Esto implica localizar y caracterizar el bosque nativo, matorrales, praderas naturales, etc.

## 2.7 Descripción y Caracterización de la Biota

La preservación de los usos de las aguas como objetivo de programas de conservación de la calidad de aguas incluye como prioritario la mantención de la vida silvestre dependiente de las aguas y en ciertos casos la recuperación de ésta. Como primer eslabón del uso de las aguas como soporte de la vida silvestre está la flora y fauna acuática propiamente tal, la flora y fauna de riberas y de humedales, que es altamente dependiente de los cursos de agua. Existe, además, una variada red de interacciones físicas, químicas y biológicas que pueden conectar la calidad de las aguas de un río con especies de flora y fauna presentes en la porción terrestre de su cuenca, de otras cuencas o en el ambiente marino. Para mantener la simplicidad de este análisis, se describen más adelante las especies de flora y fauna acuáticas que están presentes en las cuencas piloto.

Las aguas continentales superficiales incluyen una rica variedad de ecosistemas, muchos de los cuales están física y biológicamente conectados o articulados por el flujo del agua y el movimiento de las especies. Estas conexiones son fundamentales para el mantenimiento de la biodiversidad y el bienestar de las comunidades humanas, no sólo a niveles local y regional, sino además nacional y global.

Los sistemas acuáticos incluyen lagos, ríos, estanques, corrientes, humedales continentales, aguas subterráneas, manantiales, cavernas sumergidas, planicies de inundación, charcos e incluso el agua acumulada en las cavidades de los árboles. Las diferencias en las características químicas del agua, transparencia, velocidad o turbulencia de la corriente, así como de profundidad y morfometría del cuerpo acuático, contribuyen a la diversidad de los recursos biológicos que se presentan en estas aguas.

La preocupación creciente sobre el mantenimiento de la biodiversidad de las aguas continentales y los esfuerzos por reducir los riesgos que enfrentan muchas especies están basados en evidencias sobre la pérdida de hábitat (degradación, cambios en la calidad y fragmentación) y de especies, así como en la sobreexplotación e introducción de especies exóticas.

Al describir cada cuenca, se listan las especies de flora y fauna a partir de los antecedentes disponibles. Estos antecedentes incluyen estudios científicos, estudios de impacto ambiental, informes de organismos estatales, comunicación directa con especialistas y la experiencia del consultor.

### 3. SISTEMAS HUMANOS

En cada cuenca, a continuación de la descripción del sistema físico natural, se describen los sistemas humanos.

La tendencia general de la población ha sido localizarse en las proximidades de los cursos de agua. Los principales centros poblados se ubican así con el objeto de obtener agua para el consumo y las actividades económicas que se realizan en las ciudades.

Sin embargo, no sólo se extrae agua de los cauces, sino que además, éstos se utilizan para verter diversos desechos (de origen domiciliario, industrial, entre otros).

De acuerdo a lo anterior, mientras mayor sea el número de habitantes de una localidad, mayor será su demanda por el recurso, y a su vez se generarán más actividades económicas que acelerarán el sistema de vida y conllevará a producir mayor cantidad de desperdicios. Las aguas contaminadas de estos cauces, no siempre están asociadas a tratamientos previos.

#### 4. USOS DEL SUELO

Las actividades antrópicas que hacen uso del suelo (agrícola, forestal y urbano), influyen de manera importante en la calidad y disponibilidad de las aguas.

Los usos del suelo, ya sea natural (pradera, bosque, estepa, etc.) o antrópico (urbano, industrial, agrícola, forestal), permiten asociar caudales y calidades de aguas determinadas. Al haber un cambio en el uso del suelo, dichas características varían, produciéndose alteración de los acuíferos, cambios en los niveles de salinidad, incorporación de sustancias exógenas y contaminantes, e incluso recarga de sedimentos en los caudales.

El uso agrícola y forestal manifiestan algunas características similares en la relación con el suelo y el agua. Las actividades agrícolas pueden conducir a un incremento del nitrógeno en las masas de agua como resultado de la aplicación de fertilizante. El estiércol procedente de la producción ganadera y la escorrentía directa pueden provocar la acidificación del suelo debido a la volatilización del amoníaco y por ende incrementar la solubilidad de metales en el suelo.

La cubierta continua del suelo reduce la lixiviación del nitrógeno. Los periodos de barbecho y las perturbaciones en el suelo incrementan la lixiviación. El laboreo puede incrementar las concentraciones de nitratos en las aguas superficiales y subterráneas ya que la oxigenación del suelo produce un proceso de nitrificación. En los campos de arroz, la lixiviación debería ser, en cambio, pequeña debido a la desnitrificación en el suelo y a las pérdidas por volatilidad. Las altas pérdidas de nitrógeno por lixiviados pueden ocurrir cuando se aplica el fertilizante a cultivos estacionales en suelos permeables.

El lixiviado de fosfatos ( $PO_4$ ) en el agua es inhibido por los procesos de absorción de las partículas arcillosas. La producción ganadera, sin embargo, puede ser la fuente principal de fósforo en las aguas. La escorrentía directa de explotaciones ganaderas intensivas puede llevar a una degradación seria de las aguas superficiales y subterráneas.

Las actividades de riego y drenaje podrían conducir a un incremento de la salinidad en las aguas superficiales y subterráneas como consecuencia de la evaporación y del lavado de sales de los suelos. Las aguas de drenaje procedentes de la agricultura bajo riego podría también conducir a un incremento en la concentración de selenio en las aguas subterráneas y superficiales.

La aplicación de plaguicidas supone un peligro para los recursos hídricos superficiales y subterráneos, ya que estas sustancias presentan propiedades tóxicas y en algunos casos persistentes. Los metabolitos de los pesticidas podrían ser tan tóxicos y móviles como el compuesto original. Los compuestos lipofílicos se pueden acumular en el tejido adiposo (bio-concentración) y en la cadena trófica (bio-amplificación), afectando además químicamente la calidad de las aguas.

En las zonas costeras, la extracción de agua para actividades agrícolas podría contribuir indirectamente a la salinización de los recursos hídricos. La extracción de agua subterránea para riego, uso doméstico o industrial puede tener como resultado la intrusión del agua de mar en el acuífero, y consecuentemente una salinización de los recursos hídricos subterráneos. Un descenso en el caudal del río debido a la extracción en la cuenca alta o la construcción de embalses puede favorecer la entrada de agua salina en la zona del estuario.

Un cambio en el uso de la tierra puede alterar el contenido de nutrientes de las aguas superficiales y subterráneas, más concretamente los niveles de nitrógeno (N) y fósforo (P). La deforestación puede conducir a altas concentraciones de nitratos ( $\text{NO}_3$ ) en el agua debido a la descomposición del material vegetal y a una reducida absorción de nutrientes por la vegetación.

Respecto al uso urbano, a medida que una ciudad crece y se expande, no solo acelera la contaminación de las aguas, sino que también va quitando espacio a los cursos fluviales. Esto porque se encauzan en canales artificiales, moderando su flujo. También a medida que avanza la urbanización, disminuye la capacidad del suelo de absorber, generando escurrimiento en superficies impermeables, lo que genera aumento de los caudales provocando una variación en la composición de las aguas.

**ANEXO A8**  
**PROGRAMA DE MUESTREOS**

1. OBJETIVOS Y ALCANCES DEL PROGRAMA

Dentro de los alcances y objetivos del estudio, se estableció que la base de datos para el análisis estadístico de los parámetros de calidad de agua, esté conformada fundamentalmente por toda la información existente y posible de recopilar. Esta base de datos se complementa con mediciones realizadas durante el desarrollo del estudio.

El objetivo del presente anexo es describir el alcance y metodología del Programa de Muestreos Puntuales llevado a cabo por el Consultor.

Una de las restricciones importantes del Programa de Muestreos fue el presupuesto disponible, el cual quedó fijado en las propuestas que presentaron los diversos consultores que participaron en la licitación del estudio.. Esto implicó establecer criterios muy selectivos para las mediciones. En otras palabras, definir qué parámetros medir, en qué cuencas y dónde.

El presente anexo contiene los criterios utilizados para definir el Programa de Muestreos y la forma de llevarlo a cabo.

Los resultados de las mediciones aparecen detallados en cada uno de los informes de cuencas.

## 2. COTIZACIONES

CADE-IDEPE invitó a 12 laboratorios a presentar cotizaciones por toma de muestras y análisis de agua a lo largo del país. Concientes de las grandes distancias que separan la ubicación de algunos laboratorios con las cuencas extremas del país, se dejó la libertad de cotizar la totalidad de las cuencas o una parte de ellas. Se solicitaron valores unitarios para el análisis de los 61 parámetros y , para la toma de muestras, se entregó como referencia un número de 3 a 5 muestras por cuenca.

Recibidas las cotizaciones, se preparó un cuadro comparativo que permitió tener una idea global de las ofertas.

Uno de los aspectos que más destaca del cuadro comparativo es el diferente valor del análisis según grupos de parámetros. En efecto, considerando la misma agrupación de parámetros que contiene el Instructivo, los valores totales por grupo, son:

<u>Parámetros</u>	<u>Suma de valores unitarios</u>
Indicadores físicos y químicos	\$ 20.030
Inorgánicos	\$ 16.840
Orgánicos	\$ 118.478
Orgánicos Plaguicidas	\$ 510.264
Metales Esenciales	\$ 19.133
Metales no esenciales	\$ 16.056
Indicadores microbiológicos	<u>\$ 9.483</u>
<b>Total</b>	<b>\$ 710.283</b>

Del cuadro anterior se pueden desprender varias conclusiones:

- a) El análisis de los 20 parámetros orgánicos plaguicidas representa el 71,8% del valor total mientras que el análisis de los 8 parámetros orgánicos representa el 16,7 % del total. Todos los parámetros restantes representan el 11,5 % del valor total.
- b) El estudio de las cuencas piloto ha demostrado que la toma, en promedio, de 1 a 2 muestras por cuenca (50 muestras para 33 cuencas) es absolutamente insuficiente.

- c) El análisis de los 61 parámetros en 50 muestras tiene un valor de \$35.514.147. Si a esta cifra se agrega un valor aproximado de \$10.000.000 por la toma de muestras, se concluye en un costo que está muy por encima de los recursos disponibles.
  
- d) Todos los antecedentes anteriores muestran la necesidad de optimizar el número de muestras y los parámetros que se miden, de modo que el programa de muestreo sea de real utilidad para el estudio.

### 3. ASPECTOS TÉCNICOS RELEVANTES EN LA ELABORACIÓN DE UN PROGRAMA DE MUESTREOS

#### 3.1 Parámetros Relacionados con Actividades Silvoagropecuarias

La necesidad de hacer un uso técnico eficiente de los recursos económicos disponibles para el programa de muestreos, motivó la necesidad de llevar a cabo un análisis técnico de la utilidad que presenta para el presente estudio el análisis de ciertos parámetros.

Dada la repercusión económica que trae consigo el análisis de los parámetros orgánico plaguicidas (representan el 71,8% del costo total) y su vinculación con las actividades silvoagropecuarias, se encargó al especialista Sr. Sergio González la preparación de un documento en el cual se analice la relevancia de los distintos parámetros de la norma, cuáles son indispensables de medir y en qué puntos debería realizarse la toma de muestras.

En el capítulo 6 de este Anexo se incluye el informe completo del Sr. González. Sus principales conclusiones son las siguientes:

- La época de muestreo no es proclive a la detección de residuos de plaguicidas en aguas,
- No vale la pena distraer recursos en analizar, para efectos de los residuos, aguas de las regiones I, II, III, X sur., XI y XII, debido a la inexistencia de cultivos; a esta exclusión, podrían agregarse las regiones IX y X norte, si fuera necesario.
- No debiera detectarse residuos de organoclorados en las aguas, aún en áreas de agricultura intensiva, debido a que están prohibidos desde 1985, ser hidrófobos y presentar alta afinidad con la materia orgánica.
- La diversidad biológica en las zonas de agricultura intensiva obliga a incluir los restantes parámetros en las muestras generadas.
- De lo anterior, se excluye el pentaclorofenol, que es preservante de maderas y por ello, debiera ser buscado sólo a partir del río Maule hacia el sur.
- En las regiones IX y X, la probabilidad de ocurrencia de residuos sólo rige para aquellos principios activos de productos aplicados a cereales, praderas y zoonosis,
- A medida que los caudales aumentan, se hace necesario coleccionar muestras en cauces de subcuencas o cuencas menores, a objeto de maximizar la probabilidad de detección de residuos.

### 3.2 Conclusiones que se derivan del Análisis de las Cuencas Piloto

El estudio de las cuencas piloto (Lluta, Maipo, Bío Bío y Aysén) permitió sacar conclusiones respecto al volumen de información disponible y el aporte que puede significar para el estudio el programa de muestreos.

La primera conclusión es que no existen, salvo contadas excepciones, programas de monitoreo que tengan la continuidad y frecuencia del programa de la DGA. Por otro lado, el programa de la DGA cubre un número limitado de parámetros que, en general, no supera los 20. Por este motivo, la metodología que aplica este Consultor para la clasificación de la calidad de agua según clase, implica la adopción de 6 parámetros básicos que son obligatorios para cualquier análisis. Estos 6 parámetros obligatorios son complementados por un cierto número de parámetros relevantes, que es variable según la cuenca en estudio. Dadas las características de las cuencas chilenas, en la mayoría de los casos los parámetros relevantes son los inorgánicos, metales e indicadores microbiológicos.

Una segunda conclusión es que el programa de monitoreo de la DGA no cubre todos los cauces primarios de la cuenca. Es así como en la cuenca del Bío Bío, el número de cauces que carece de toda medición es 7. Mirado desde otra óptica, el número de estaciones es 5, debiendo ser no menos de 13 si se considera que la superficie de la cuenca es 25.000 km<sup>2</sup>.

La tercera conclusión, que agrupa a las anteriores, es que el programa de muestreos que se materialice debe tender a ser selectivo en los parámetros que se miden para así poder incrementar el número de muestras que se tomen por cuenca.

#### 4. PROPOSICIÓN DE UN PROGRAMA DE MUESTREOS

Tomando en consideración todos los aspectos indicados en los capítulos anteriores, la proposición de CADE-IDEPE consideró los siguientes elementos:

- a) Ser particularmente selectivos en los parámetros orgánico plaguicidas que se miden y los lugares donde se tomen las muestras. La proposición del Consultor consistió en muestrear 10 lugares, considerando en ellos el análisis de 14 de los 20 parámetros de la norma (se eliminan los insecticidas). Los lugares están relacionados con la actividad silvoagropecuaria y son los siguientes:
- Cuenca río Elqui : a la altura de la ciudad de La Serena
  - Cuenca río Limarí : en río Guatulamé, antes de su descarga en embalse la Paloma
  - Cuenca río Aconcagua : aguas abajo de San Felipe y aguas abajo de San Pedro
  - Cuenca río Maipo : en puente Manuel Rodríguez sobre río Mapocho ; en Lumbreras de Puangue sobre estero Puangue y en Cabimbao sobre río Maipo
  - Cuenca río Cachapoal : en río Cachapoal, antes del ingreso al embalse Rapel (puente Arqueado), en estero Las Cadena y en Navidad

Se recomendó realizar los muestreos en octubre, ya que la época de invierno no es favorable para la detección de los herbicidas y fungicidas.

- b) Medir en todas las cuencas los 6 parámetros básicos y ser selectivos en los parámetros complementarios a aquellos. El objetivo es incrementar lo más posible el número de muestras. Respecto a los lugares de muestreo, éstos serían variables por cuenca, pero en promedio, no deben ser inferior a 4 ó 5 lugares de muestreo en cada cuenca.
- c) Es el siguiente capítulo se presenta el detalle de los lugares y parámetros muestreados.

## 5. ESTACIONES DE MUESTREO Y PARAMETROS A MUESTREAR

En las próximas páginas se incluyen hojas con el detalle de los lugares de muestreo y de los parámetros analizados.

En primer término se presenta el Protocolo de Toma de Muestras y luego, las planillas con el detalle de muestras por Cuenca.

### **PROTOCOLO TOMA DE MUESTRAS**

La toma de muestras es un proceso de la mayor importancia en la confiabilidad de las mediciones de calidad de agua. Esta calidad queda garantizada por el uso de envases adecuados, el tipo de parámetros a analizar, el procedimiento mismo de toma de muestras, la preservación de las muestras y el tiempo desde que la muestra fue tomada hasta su análisis en laboratorio.

El siguiente procedimiento establece las condiciones que deberá cumplir el SUBCONTRATISTA para asegurar que los objetivos planteados en el párrafo anterior se cumplan.

- El subcontratista deberá verificar que los envases entregados por el Laboratorio encargado del análisis sean los adecuados para los parámetros de calidad que se deben medir, así como el sistema aislante térmico.
- Deberá verificar que el Laboratorio entregue los reactivos necesarios para aquellos parámetros que lo requieran.
- Elaborará un documento de control, que permita establecer el día y hora de entrega de los envases por parte del laboratorio y el día y hora de entrega de las muestras al laboratorio, los cuales serán remitidos a CADE-IDEPE para su control.
- El subcontratista deberá portar los siguientes equipos: GPS, reloj, cámara fotográfica, preservante de frío, etiquetas autoadhesivas y lápices de grafito para marcar las muestras en terreno.
- Las etiquetas deberán contener los siguientes datos: Lugar o punto de la toma de muestra, día y hora, las que deberán ser escritas inmediatamente después de la muestra. Los mismos datos deben ser registrados en hoja aparte de registro.
- El lugar de muestreo se deberá georeferenciar y fotografiar. Los cuales posteriormente se le harán llegar a CADE-IDEPE.

- El tiempo que deberá existir entre la toma de muestras y la entrega al laboratorio no deberá ser mayor de 24 horas.

Los puntos a muestrear serán los indicados por CADE-IDEPE a medida que estos vayan siendo emitidos.





























## 6. MUESTREO DE PARAMETROS RELACIONADOS CON ACTIVIDADES SILVOGROPECUARIAS

### 6.1 Generalidades

Dentro de este trabajo de consultoría, se contempla un programa de muestreo y análisis de aguas superficiales, a objeto de contar con información objetiva, aunque preliminar, sobre la clasificación de las aguas en referencia a la normas secundarias de calidad establecidas en el Instructivo Presidencial.

Ello podría significar la necesidad de determinar 61 parámetros analíticos en cada una de las muestras, lo que se traduce en un elevado costo del programa de muestreo. Además, y este punto es el más importante, conllevará una alta ineficiencia si se tiene que proceder a la determinación de todos los parámetros en cada muestra, dado que no todos están justificados en todas las muestras. Por ejemplo, los indicadores de contaminación industrial o agrícola no deberían aplicarse a las muestras tomadas en las nacientes de los ríos.

El presente capítulo aborda el muestreo y análisis de parámetros relacionados con las actividades silvoagropecuarias.

### 6.2 Parámetros Relacionados con las Actividades Silvoagropecuarias

Puede establecerse que, de los 61 parámetros que consigna el Instructivo, los que presentan una vinculación directa con las actividades silvoagropecuarias, esto es, que pudieran ser identificados como potenciales contaminantes difusos de las aguas, son los siguientes:

- Indicadores físicos y químicos:
  - conductividad eléctrica,
  - DBO<sub>5</sub>,
  - oxígeno disuelto,
  - pH,
  - RAS,
  - sólidos disueltos,
  - sólidos suspendidos,

- Inorgánicos:
  - sulfato,
  
- Orgánicos:
  - aceites y grasas,
  - detergentes (SAAM),
  
- Orgánicos plaguicidas:
  - 2,4-D (herbicida y regulador de crecimiento), usado de preferencia en cereales y parronales
  - aldicarb (insecticida, nematicida), usado de preferencia en remolacha azucarera,
  - aldrín (insecticida), de uso prohibido desde 1985,
  - atrazina y metabolitos (herbicida), usado en maíz, praderas y plantaciones forestales,
  - captan (fungicida), usado de preferencia en parronales y huertos frutales,
  - carbofurano (insecticida, nematicida), usado en praderas artificiales, parronales y arrozales,
  - clordano (insecticida), de uso prohibido desde 1985,
  - clorotalonil (fungicida), usado en tomates, otras especies hortícolas y maíz,
  - cyanazina (herbicida), usado básicamente en maíz,
  - demetón (insecticida, nematicida), de uso amplio,
  - DDT (insecticida), prohibido desde 1985,
  - diclofop-metil (herbicida), usado en cereales y praderas,
  - dieldrín (insecticida), de uso prohibido desde 1985,
  - dimetoato (insecticida), usado en praderas y hortalizas,
  - heptacloro (insecticida), de uso prohibido desde 1985,
  - lindano (insecticida), de uso prohibido desde 1985 pero aún usado para control de ectoparásitos en ganado doméstico,
  - paratión (insecticida), de uso en parronales, remolacha y otros varios,
  - pentacloro fenol (preservante de maderas),
  - simazina (herbicida), de uso en frutales y parronales,
  - trfluralina (herbicida), de uso en praderas, tomates,
  
- Metales no esenciales:
  - cadmio (aportado por fertilizantes fosforados),

- Indicadores microbiológicos:
  - coliformes fecales,
  - coliformes totales.

De este subconjunto de parámetros influenciados por las actividades silvoagropecuarias, sólo los residuos de plaguicidas son parámetros que presentan una vinculación exclusiva con estas actividades y su posible presencia en las aguas sería responsabilidad exclusiva de ellas. En consecuencia, son los únicos parámetros que pueden indicar, por si solos, la existencia de procesos de contaminación difusa.

Los demás parámetros, si bien pueden estar influenciados por la agricultura, no tienen una relación exclusiva ya que también, pueden provenir de otros procesos de descargas, en este caso puntuales o fijas. La utilidad de estos parámetros, como indicadores de contaminación difusa, es menor y está supeditada a análisis más profundos y la integración de otros estudios evaluativos. Es el caso de las formas minerales de nitrógeno, cuya presencia puede indicar contaminación por uso de fertilizantes nitrogenados pero, también, por procesos contaminantes de tipo orgánicos (léase, aguas servidas, planteles ganaderos, agroindustrias, industrias químicas). Es, también, el caso de los coliformes fecales, ya que las materias fecales pueden provenir de aguas servidas, planteles ganaderos y mataderos, entre otros.

Por su parte, los indicadores físicos y químicos y los inorgánicos son usados para alcanzar una caracterización global de las aguas y definir aptitudes de uso, ya que son parámetros integradores y, por tanto, tienen relación con todos los procesos contaminantes. Es el caso del pH y la conductividad eléctrica, cuyo valor refleja valores alcanzados por el equilibrio entre diferentes componentes disueltos o la suma de electrolitos solubles. Más que indicadores de contaminación, son indicadores de uso de las aguas.

### 6.3 Residuos de Plaguicidas por Determinar

La aplicación de esta segunda opción exige un mayor conocimiento de la agricultura de la zona de influencia de los sitios muestrales, es decir, saber que productos son aplicados tradicionalmente (al menos, por los últimos cinco años), ya que la detección sólo será posible si el producto que contiene el correspondiente principio activo cumple con los siguientes requisitos:

- producto aplicado masivamente y por largo tiempo,
- producto con, al menos, una afinidad moderada por la fase acuosa,
- producto con, al menos, persistencia ambiental media, y

- producto aplicado directamente al suelo.

Los productos con mayor probabilidad de difundir con las aguas son los herbicidas, ya que cumplen prácticamente con todos los requisitos planteados; por ello, debería darse prioridad a su determinación. Los aplicados al follaje, como insecticidas y fungicidas) solo podrían aparecer en las aguas si se cumplen adicionalmente algunos condicionantes especiales, como:

- aplicación en sitios cercanos a cuerpos o cursos de aguas, o
- lavado por lluvias, ocurridas inmediatamente después de una aplicación.

Los herbicidas no son los únicos plaguicidas aplicados a los suelos; también, hay fungicidas e insecticidas. Generalmente, los plaguicidas tienen una baja afinidad por la fase acuosa y una alta afinidad por las fases sólidas, como minerales de los suelos y la materia orgánica, lo que significa una probabilidad mínima de ocurrencia de cursos de aguas, sobre todo en los nacionales que son de tránsito rápido y que no generan las condiciones mínimas para una acumulación progresiva.

Los insecticidas del tipo organoclorado (aldrín, DDT y metabolitos, dieldrín, endrín, heptacloro y su epóxido, lindano, clordano) son los que están más lejos de satisfacer los requisitos planteados, ya que:

- no son usados en agricultura desde 1985, aunque fueron usados masivamente con anterioridad. y
- son extremadamente hidrófobos, por lo que tienden a ser mantenidos en los suelos, sin difundir a las aguas.

Por ello, su determinación podría circunscribirse a una primera serie exploratoria de muestras, pudiendo dejarse fuera de consideración posteriormente, habida cuenta de su no detección positiva en la primera serie. Otro compuesto con el cual aplicar el mismo criterio es el pentaclorofenol, impregnante de maderas; en este caso, su determinación podría dejarse amarrada a muestras tomadas en ríos de cuencas con actividades de aserrío y acopio de maderas (léase, VII a X Región) y siempre que el sitio esté bajo influencia de ellas.

Los demás compuestos (resto de la lista) son de uso actual y relativamente común en la agricultura, lo que hace poco aconsejable -para este programa de monitoreo- dejar fuera alguno de ellos. Por tanto, se postula la inclusión de todos ellos con la aplicación de criterios de mayor eficiencia en cuanto a la localización y número de sitios muestrales. Además, la estructura productiva de la agricultura se caracteriza por la presencia de

prácticamente todos los cultivos posibles dentro de una cuenca, especialmente en la zona central de Chile, lo que hace riesgoso dejar fuera algún principio activo.

#### 6.4 Criterios para la Localización de Sitios Muestreales

Es posible pensar en dos criterios básicos, cada una con sus ventajas y desventajas, para determinar el mejor emplazamiento de los sitios para colecta de muestras. Los criterios son:

- localización de sitios en las zonas bajas de los ríos, cercanas a las desembocaduras, y/o
- localización de sitios en zonas interiores de los ríos, en sitios alejados a las desembocaduras y pertenecientes a alguna cuenca inferior o subcuenca.

En cuanto a la primera opción, las principales características son:

- los sitios quedarán emplazados en puntos de los cauces que conducen las aguas, luego de haber recorrido, prácticamente, toda la cuenca, y
- los sitios quedarán emplazados en puntos de los cauces que poseen los mayores caudales, ya que concentran toda el agua que circula gravitacionalmente por la cuenca.

En consecuencia, se trata de aguas que podrían contener la más amplia gama de residuos de plaguicidas, puesto que en ellas debería producirse una sumatoria de todos los residuos de plaguicidas usados en la agricultura de la cuenca y que tengan una alta afinidad por el agua pero, debido a la mayor capacidad de dilución (máxima para cada cuenca), la concentración de estos residuos debiera ser mínima, teniéndose el riesgo de que muchos de ellos caigan bajo los límites de detección de las técnicas analíticas.

En cuanto a la segunda opción, sus características tienden a ser las reversas de las explicitadas para la primera opción, esto es, sitios por donde fluyen las aguas de un sector de la cuenca (llámese, cuenca secundaria o subcuenca), lo que se traduce en caudales menores que en las cercanías de las desembocaduras pero acarreado, si se dan las condiciones favorables, sólo con residuos de productos aplicados en dicho sector y que pudieran no ser aplicados en el resto de la cuenca. Por tanto, se trata de muestras donde podrían encontrarse las mayores concentraciones de residuos de plaguicidas pero con el riesgo de no tener detección positiva de muchos productos.

## 6.5 Sugerencias de Localización de Sitios

Cabe señalar que la información sobre residuos de plaguicidas, en aguas ambientales de Chile, es escasa y se reduce a un par de proyectos llevados a cabo por INIA, en la década de los 80, otros desarrollados por EULA, de la Universidad de Concepción, y una consultoría para el río Huasco, en 1992. Los estudios de INIA, efectuados entre los ríos Elqui y Simpson, en tiempos cercanos a la prohibición al uso de organoclorados, que la presencia de sus residuos en aguas de ríos era esporádica y mínima. La consultoría en el Huasco no detectó la presencia de residuos de plaguicidas en las aguas de los ríos.

Tomando en cuenta las características ambientales (relieve, precipitación anual, temperaturas) y de la agricultura, puede plantearse desde ya la inconveniencia (por ser ineficiente) de coleccionar muestras desde los ríos de las regiones I, II, III, XI y XII. Las principales razones son las siguientes:

- Para la zona norte:
  - ríos de caudales mínimos y no siempre permanentes, de flujos tranquilos,
  - terrazas aluviales de uso agrícola, a cotas muy por encima del eje del río, y
  - agricultura de mínima representación espacial,
  
- Para la zona austral:
  - agricultura restringida a una producción ganadera extensiva, con utilización de praderas naturales, sin uso de plaguicidas.

Incluso, la probabilidad de detección de residuos es mínima en las regiones IX y X, debido a la menor diversidad de cultivos (básicamente, cereales) y a la gran capacidad de dilución de los ríos, por lo que –de ser necesario- podrían dejarse fuera del monitoreo de residuos de plaguicidas.

Dejando lo planteado en el último párrafo, como una opción última, el tramo sugerido para detección de residuos de plaguicidas en aguas se podría extender desde la IV Región de Coquimbo a la X Región de Los Lagos, con el siguiente plan:

- Río Elqui, en la IV Región: se sugiere que el o los sitios muestrales sean emplazados a las alturas de la ciudad de La Serena, debido al hecho de tratarse de una cuenca cuya área agrícola está representada, básicamente, por el valle del Elqui, que se extiende desde la ciudad de Vicuña al oeste;

esta localización obedecería al primer criterio de localización, con colecta de aguas que ya han recorrido todo la cuenca y habría una sumatoria de todos los posibles residuos transportados por las aguas,

- Río Limarí, en la IV Región: a diferencia del anterior, se postula emplazar sitio(s) muestrales en el río Guatulamé, inmediatamente antes de su descarga en el Embalse La Paloma, ya que podría reflejar los residuos de plaguicidas usados en los viñedos establecidos en los valles interiores (serie de ríos de conforman el Guatulamé); tanto el río Hurtado como el Limarí no presentan condiciones para contener plaguicidas, uno por su orografía y escasa actividad agrícola en su cuenca, y el otro por la distancia de nivel entre las terrazas y el río y el efecto tampón de los embalses,
- Río Aconcagua, en la V Región: la agricultura del valle Aconcagua presenta dos áreas especializadas, a saber:
  - el tramo entre Los Andes y San Felipe, dedicado mayoritariamente a la producción de frutas para la exportación, lo que significa una aplicación más o menos cuidadosa de plaguicidas, y
  - el tramo entre La Calera y San Pedro, dedicado mayoritariamente a la producción de frutas subtropicales y hortalizas, incluyendo de invernadero, lo que significa una aplicación más masiva de plaguicidas.

Por lo que se sugiere el emplazamiento de sitios muestrales a la salida de ambos sectores productivos, léase aguas abajo de San Felipe y San Pedro, los que generaría aguas con la sumatoria de los plaguicidas usados en cada uno de ellos; debido a las características del río Aconcagua, no es previsible que las aguas en San Pedro acumulen los plaguicidas empleados en la zona frutícola, conteniendo sólo los específicos de la zona hortofrutícola,

- Río Maipo, en la Región Metropolitana: el sector cordillerano del río no presenta características que hagan suponer la existencia de residuos de plaguicidas, por lo que los sitios muestrales debieran emplazarse dentro del valle aluvial; dentro de la cuenca del río Maipo, se sugiere el emplazamiento de sitios muestrales en los siguientes puntos:
  - Puente Manuel Rodríguez, sobre río Mapocho,
  - Lumberas de Puangue, sobre estero Puangue, y
  - Río Maipo en Cabimbao,

- Río Cachapoal, en la VI Región: el valle agrícola presenta una característica similar a la del río Aconcagua, con una especialización en fruticultura de exportación y horticultura, aunque no existe la separación geográfica de la V Región; es la cuenca con mayor uso de plaguicidas en el país; debido a ello, se sugiere el emplazamiento de sitios muestrales en los siguientes sitios:
  - río Cachapoal, inmediatamente antes de ingreso al lago Rapel,
  - estero Las Cadenas, inmediatamente antes de su descarga en el río Cachapoal, y
  - estero Zamorano, inmediatamente antes de su descarga en el río Cachapoal,
  
- Río Tinguiririca, en la VI Región: la agricultura es más extensiva, con menor presencia de frutales, los que corresponden, predominantemente, a Prunus (manzanas, peras); los sitios muestrales sugeridos son:
  - estero Chimbarongo, a su descarga en el río Tinguiririca, y
  - río Tinguiririca, antes de su ingreso en el lago Rapel,
  
- Río Mataquito, en la VII Región: agrícolamente, es una zona donde la remolacha azucarera es un cultivo muy importante; de acuerdo al riesgo de contaminación con residuos de plaguicidas, esta cuenca puede considerarse como la última de la zona en que puede aplicarse el criterio de usar sitios de toma de muestras que integren información sobre el total de la cuenca, con la sugerencia de los siguientes sitios muestrales:
  - río Teno, antes del nacimiento del río Mataquito, y
  - río Lontué, antes del nacimiento del río Mataquito,
  
- Río Maule, en la VII Región: dadas la gran superficie de la cuenca, la alta diversidad de su red hidrológica y la alta capacidad de dilución del río, es posible estimar una probabilidad baja a nula de detección de residuos de plaguicidas en muestras tomadas en los tramos inferiores del río; por ello, aplicando el segundo criterio, se sugiere tomar muestras dentro de una subcuenca, la que podrían ser las ser río Achibueno, que incluye al río Ancoa, y la del río Putagán, con sitios muestrales a sus descargas,

- Río Itata, en la VIII Región: región con la mayor proporción de plantaciones forestales del país, aunque mayoritariamente están en la cuenca del río Bío-Bío; dado que los ríos presentan altas capacidades de dilución, se sugiere emplazar sitios muestrales en algunas subcuencas, como las de los ríos Diguillín y Chillán, en sitios cercanos a sus descargas en los ríos Itata y Ñuble, respectivamente,
- Río Bío Bío, en la VIII Región: zona con dominancia de plantaciones forestales, aunque presenta sectores agrícolas, básicamente de carácter hortícola y de cultivos tradicionales; al igual que para los ríos Maule e Itata, se sugiere establecer muestreos en ríos pertenecientes a subcuencas, como ,
- Río Imperial, en la IX Región: se trata de una cuenca con bajo uso de plaguicidas, comparada con las cuencas de la zona central, lo que permite prever la no detección de residuos en sus aguas, toda vez que los caudales son de gran magnitud y permitirían diluir eficientemente las posibles concentraciones de residuos; la única posibilidad de detección de residuos estaría en el muestreo de alguna subcuenca interior, por lo cual se sugiere utilizar la subcuenca del río Muco,
- Río Bueno, en la X Región: se trata de una cuenca con actividad ganadera bovina dominante; la alta capacidad de dilución de los ríos obliga a subir en la cuenca, para tomar muestras en alguna subcuenca, como las de los ríos Pilmaiquén y Damas, especialmente este último que cruza un sector tradicionalmente ganadero.

De esta cuenca al sur, no parece justificarse la colecta de muestras de aguas para detección de residuos de plaguicidas, más aún si el muestreo procederá en la temporada invernal cuando no hay aplicaciones de plaguicidas, lo que podría justificar la no toma de muestras desde la IX Región hacia el Sur.

## 6.6 Conclusiones

1. La época de Primavera, durante la cual se realizó el muestreo no es proclive a la detección de residuos de plaguicidas en aguas.
2. No vale la pena distraer recursos en analizar, para efectos de los residuos, aguas de las regiones I, II, III, X sur, XI y XII, debido a la inexistencia de cultivos; a este capítulo, podrían agregarse las regiones IX y X norte, si fuera el caso.
3. No debiera detectarse residuos de organoclorados en las aguas, aún en áreas de agricultura intensiva, debido a estar prohibidos desde 1985, ser hidrófobos y presentar alta afinidad con la materia orgánica.
4. La diversidad biológica en las zonas de agricultura intensiva obliga a incluir los restantes parámetros en las muestras generadas.
5. De lo anterior, se excluye el pentaclorofenol, que es preservante de maderas y por ello, debiera ser buscado solo a partir del río Maule hacia el sur.
6. En las regiones IX y X, la probabilidad de ocurrencia de residuos solo rige para aquellos principios activos de productos aplicados a cereales, praderas y zoonosis.
7. A medida que los caudales aumentan, se hace necesario coleccionar muestras en cauces de subcuencas o cuencas menores, a objeto de maximizar la probabilidad de detección de residuos.