

## INDICE

I.	MEJORAMIENTO DE LA RED FLUVIOMÉTRICA NACIONAL .....	A2.7
I.1.	Introducción.....	A2.7
I.2.	Cambio de estaciones con registro analógico a digital (Plan F1) ..	A2.7
I.2.1.	Fundamentación.....	A2.7
I.2.2.	Definición del programa de mejoramiento.....	A2.8
I.2.3.	Determinación de costos del programa.....	A2.10
I.3.	Aumento de densidad de estaciones Fluviométricas (Plan F2).....	A2.14
I.3.1.	Definición del programa.....	A2.14
I.3.2.	Determinación de costos del programa .....	A2.23
I.4.	Cambio de estaciones digitales a satelitales (Plan F3) .....	A2.24
I.4.1.	Fundamentación.....	A2.24
I.4.2.	Aspectos Metodológicos.....	A2.24
I.4.3.	Definición del programa de mejoramiento.....	A2.25
I.4.4.	Determinación de costos del programa .....	A2.31
I.5.	Plan Complementario: Control de las extracciones de Canales (Plan F4).....	A2.33
I.5.1.	Fundamentación.....	A2.33
I.5.2.	Aspectos Metodológicos.....	A2.33
I.5.3.	Definición del programa.....	A2.33
I.5.4.	Análisis y propuesta .....	A2.35
I.5.5.	Determinación de costos del programa .....	A2.36
II.	PROGRAMA DE MEJORAMIENTO DE LA RED HIDROMETEOROLÓGICA .....	A2.38
II.1.	Introducción .....	A2.38
II.2.	Plan M1. Aumento de la Densidad Real de estaciones Pluviométricas .....	A2.39
II.2.1.	Análisis de Estudios Anteriores.....	A2.39
II.2.2.	Experiencia Internacional.....	A2.40

II.2.3. Criterios de la Organización Mundial de Meteorología (OMM) .....	A2.40
II.3. Definición del programa.....	A2.40
II.3.1. Análisis de estudios anteriores .....	A2.40
II.3.2. Experiencia internacional.....	A2.45
II.3.3. Criterios de la Organización Mundial de Meteorología .....	A2.48
II.3.4. Análisis del consultor .....	A2.49
II.4. Determinación de costos .....	A2.50
II.5. Plan M2. Incremento de Número de Estaciones Meteorológicas Satelitales .....	A2.53
II.6. Definición del programa.....	A2.53
II.6.1. Análisis de Experiencia Internacional .....	A2.53
II.6.2. Complementación con la red fluviométrica de medición de parámetros en tiempo real.....	A2.59
II.6.3. Análisis del consultor .....	A2.60
II.7. Determinación de costos .....	A2.60
II.8. Plan M3. Aumento de la Densidad Media de las Estaciones Hidrometeorológicas. Temperatura .....	A2.62
II.8.1. Análisis de Estudios Anteriores. ....	A2.62
II.8.2. Experiencia Internacional. ....	A2.63
II.8.3. Criterios de la Organización Mundial de Meteorología (O.M.M.). ....	A2.63
II.9. Definición del programa.....	A2.63
II.9.1. Análisis de estudios anteriores.....	A2.63
II.9.2. Experiencia internacional.....	A2.66
II.9.3. Criterios de la O.M.M.....	A2.66
II.9.4. Análisis del Consultor .....	A2.67
II.10. Determinación de Costos .....	A2.67
III. PROPUESTA DE RED FUTURA DE CALIDAD DE AGUAS .....	A2.69
III.1. Introducción .....	A2.69
III.2. Programa de Mejoramiento Red de Calidad de Aguas Para Cursos Superficiales de Aguas.....	A2.69

III.2.1. Fundamentación .....	A2.69
III.2.2. Aspectos Metodológicos.....	A2.69
III.2.3. Definición del Programa de Mejoramiento.....	A2.70
III.2.4. Determinación de los costos del Programa .....	A2.85
III.3. Programa de Registro continuo .....	A2.90
III.3.1. Fundamentación.....	A2.90
III.3.2. Aspectos Metodológicos.....	A2.90
III.3.3. Definición del programa.....	A2.91
III.3.4. Determinación de los costos del Programa .....	A2.96
III.4. Programa de Biomonitorio (indicadores biológicos). .....	A2.99
III.4.1. Fundamentación .....	A2.99
III.4.2. Aspecto metodológico .....	A2.99
III.4.3. Definición del programa.....	A2.99
III.4.4. Determinación de los costos del programa.....	A2.109
III.5. Monitoreo de Lagos.....	A2.111
III.5.1. Fundamentación.....	A2.111
III.5.2. Aspectos Metodológicos.....	A2.111
III.5.3. Definición del Programa .....	A2.111
III.5.4. Determinación de los costos del programa.....	A2.120



## **I. MEJORAMIENTO DE LA RED FLUVIOMÉTRICA NACIONAL.**

### **I.1. Introducción.**

Los datos que entrega la red fluviométrica nacional son la base para la planificación y el diseño de obras hidráulicas, fluviales, de control de crecidas, así como un instrumento que permite conocer la disponibilidad para el otorgamiento de derechos de aprovechamiento y su distribución entre los distintos usuarios.

La fuerte presión que existe sobre los recursos hídricos así como la necesidad de contar con obras civiles económicas y seguras impulsa a la red fluviométrica a adecuarse a las actuales exigencias manteniéndose al día con la tecnología disponible, ampliando las posibilidades del uso de la información.

En este capítulo se propondrán mejoramientos en la red en cuanto al cambio tecnológico en ellas y una disponibilidad de información mejorada que permita utilizar la red no solo con fines de planificación y diseño, sino como un instrumento de gestión de recursos hídricos. Los mejoramientos que se propondrán son:

- El cambio de estaciones de registro analógico a digital (F1)
- El aumento de la densidad de la red (F2),
- La instalación de nuevas plataformas satelitales (F3), y
- El control de las extracciones de canales (F4).

### **I.2. Cambio de estaciones con registro analógico a digital (Plan F1).**

El cambio de estaciones analógicas a digitales consiste en el retiro de los limnógrafos que aún quedan en operación y su reemplazo por sensores de presión conectados a data-logger equipados con sensores de presión. Estos equipos convierten una señal mecánica, como es la presión, en una eléctrica, que es registrada y almacenada por el data logger en intervalos de tiempo predeterminados.

#### *I.2.1. Fundamentación.*

El cambio de estaciones analógicas a digitales presenta varias ventajas, tanto operativas como económicas entre las que se pueden mencionar:

- Economía:
  - La estructura de las estaciones no queda condicionada a los mecanismos de flotador y contrapeso de los limnógrafos convencionales, haciendo mucho más económica la instalación y reparación de estas.
  - Disminución de costos de operación debidos al transporte de los rollos de registros gráficos al nivel central y al proceso de digitalización de éstos.
  
- Calidad de los datos:
  - Existe una disminución importante de pérdida de registros por problemas de embanques, situación bastante frecuente en el país.
  - Disminución de los tiempos y errores en el proceso de la información, ya que los datos registrados por el data-logger pueden ser transferidos directamente a los computadores, desde donde después de realizarse los análisis correspondientes pueden ser incorporados definitivamente al Banco Nacional de Aguas (BNA), eliminando el lento proceso de digitalización de los registros gráficos de niveles. Lo anterior permite obtener datos más fidedignos en un menor tiempo.
  
- Operación:
  - Ventajas debidas a la recolección en terreno de los datos por medios digitales y su transporte
  - Ventajas debidas a la operación de una red homogénea, considerando que la DGA ya ha realizado esta transformación en la mayor parte de la red.

### *1.2.2. Definición del programa de mejoramiento.*

#### *1.2.2.1. Estudios existentes.*

La DGA en el año 1995 realizó un estudio para la modernización del Servicio Hidrométrico, en el que se planteó optimizar el sistema de monitoreo y manejo de las estadísticas mediante la incorporación de avances tecnológicos de punta. Dentro de este estudio, se planteó reemplazar paulatinamente todos los limnógrafos en funcionamiento con data-logger equipados con sensores de presión. La situación actual de este plan para estaciones ubicadas exclusivamente en cauces naturales, según estaciones a modernizar y estaciones con data logger

instalado se presenta en el Cuadro N°1. No se considera estaciones en canales ni estaciones de embalses.

**Cuadro N°1. Avance del plan de modernización – Estaciones Analógicas a Digitales.**

Región	Planificado	Efectuado	Porcentaje completado
I	25	6	24%
II	23	7	30%
III	25	13	52%
IV	34	34	100%
V	15	15	100%
VI	12	12	100%
VII	41	41	100%
VIII	37	37	100%
IX	35	35	100%
X	42	42	100%
XI	32	32	100%
XII	31	31	100%
RM	17	17	100%
<b>Total</b>	<b>372</b>	<b>322</b>	<b>87%</b>

Fuente: Implementación estaciones 2006 V11, Dpto. de Hidrología; Reunión de Directores Regionales, 2005

#### I.2.2.2. Experiencia internacional.

Las redes hidrométricas del mundo han ido paulatinamente cambiando sus redes de monitoreo análogas a digitales.

A modo de ejemplo, se puede señalar que dentro de los Estados Unidos, el estado de California mantiene una red fluviométrica que consta prácticamente sólo de estaciones digitales con transmisión por radio o satélite de información, muy similar a lo que se observa en la cuenca de Murray-Darling en Australia.

En España, existen dos redes hidrométricas, la Red Oficial de Estaciones de Aforo (ROEA) y la Red Automática de Información Hidrológica (SAIH), controladas por las Confederaciones Hidrográficas de las cuencas. La primera red combina estaciones analógicas con digitales, mientras la segunda utiliza netamente estaciones digitales con transmisión en tiempo real de los datos.

En Colombia, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) ha planteado el plan de Fortalecimiento de la Red

Hidrológica, Meteorológica y Ambiental e Colombia (FORAC), que actualmente consta de 891 estaciones fluviométricas, en el que se plantea instalar 56 estaciones satelitales (20% de la red) y 254 estaciones con data logger (29% de la red).

De los antecedentes internacionales, se concluye que las redes fluviométricas se van actualizando paulatinamente hacia un estándar de instrumentos digitales, que ya se ha alcanzado en las redes más avanzadas.

#### I.2.2.3. Análisis y proposición.

Se propone continuar con el plan de modernización planteado por la DGA inicialmente, consistente el cambio total de todas las estaciones analógicas por digitales, lo que conllevaría ventajas operacionales, económicas y una mejor calidad de la información generada.

#### *I.2.3. Determinación de costos del programa.*

Para el cálculo de los costos del programa se contemplarán los siguientes supuestos:

- El costo de la transformación es el de instalación de una nueva estación digital.
- El valor residual de los instrumentos a reemplazar en la estación es cero.

Lo anterior se justifica por el hecho de que al realizar la transformación, la instalación antigua deberá seguir funcionando hasta lograr la validación de los datos que se obtengan con las nuevas instalaciones, lo que puede tomar un tiempo prolongado.

#### I.2.3.1. Costos de instalación.

Los costos de la instalación de una estación digital se muestran en el Cuadro N°2. En el Cuadro N°1 se presentaron las estaciones que ya han sido actualizadas según el plan de modernización de la DGA. Algunas de estas estaciones se encuentran en bocatomas o restituciones de usuarios, y por lo tanto, no serán consideradas en esta sección y serán analizadas en el control de extracciones por usuarios. En el Cuadro N°3 presenta el número de estaciones por



región a modernizar y el costo en base al costo de instalación de una estación digital. La nómina de estas estaciones se muestra en el Cuadro N°4.

**Cuadro N°2. Costos instalación estación Data Logger.**

Obras Civiles	Precio (M\$)	Componente Nacional (M\$)	Componente Importada (M\$)	C. Total (M\$)
Caseta y obras Data Logger y sensor de presión	1.190	1.190	0	1.190
Instrumentos				
Data Logger y sensor de presión	2.648	0	2.648	2.648
Panel solar y regulador de voltaje	500	0	500	500
Batería	50	0	50	50
<b>Total</b>		<b>1.190</b>	<b>3.198</b>	<b>4.388</b>

Fuente: Comunicación personal Departamento de Hidrología e Hidrometeorología, 2006

**Cuadro N°3. Costos del plan de mejoramiento F1.**

Región	Estaciones a modernizar	Costo Comp. Nac. (M\$)	Costo Comp. Imp. (M\$)	Costo Total de Instalación (M\$)
I	19	22.610	60.762	83.372
II	17	20.230	54.366	74.596
III	11	13.090	35.178	48.268
<b>Total</b>	<b>47</b>	<b>55.930</b>	<b>150.306</b>	<b>206.236</b>

#### I.2.3.2. Costo de operación y mantenimiento.

Se estima que los costos de operación de una estación digital deberían ser similares o menores a los de una estación analógica.

En los costos por viáticos y recolección de datos no existen diferencias, ya que la frecuencia de esta actividad no debería variar.

En cuanto a reparaciones, los costos serán menores, ya que se elimina la necesidad de tener la estructura de pozo necesaria para los limnógrafos,

reemplazándose por una instalación mucho más sencilla de mantener y reparar que conecta el sensor de presión mediante una tubería con el cauce del río.

La disminución de los costos de operación asociados al envío, proceso y digitalización de los datos, que emplean el personal que analiza prepara y digitaliza los gráficos (2 personas para preparación y 2 para digitalización) se ven compensados por la necesidad de realizar visitas por personal especializado para mantener el equipo electrónico en correcto funcionamiento. Estas visitas se deben realizar 2 días por estación al año y requieren un profesional especializado, un técnico y un auxiliar para el transporte.

Las razones anteriores llevan a la conclusión de que los costos operacionales incrementales son casi nulos. Lo anterior se ha comprobado en la práctica por el departamento de hidrología, ya que ha disminuido el personal y los tiempos de proceso, pero los costos de operación son similares.

**Cuadro N°4. Estaciones a modernizar, sistema análogo a digital.**

<b>PRIMERA REGIÓN DE TARAPACÁ</b>			
<b>Código BNA</b>	<b>Nombre Estación</b>	<b>Código BNA</b>	<b>Nombre Estación</b>
01001002-0	RIO CAQUENA EN VERTEDERO	01050004-4	RIO COLLACAGUA EN PEÑABLANCA
01001003-9	RIO COLPACAGUA EN DESEMBOCADURA	01201001-K	RIO COLPITAS EN ALCERRECA
01020002-4	RIO DESAGUADERO COTACOTANI	01201005-2	RIO CARACARANI EN HUMAPALCA
01020003-2	RIO LAUCA EN ESTANCIA EL LAGO	01211001-4	RIO LLUTA EN PANAMERICANA
01021001-1	RIO LAUCA EN JAPU (O EN EL LIMITE)	01300001-8	RIO TICNAMAR EN TICNAMAR
01021002-K	RIO GUALLATIRE EN GUALLATIRE	01300002-6	RIO LACO EN COSAPILLA
01041002-9	RIO ISLUGA EN BOCATOMA	01410004-0	RIO CODPA EN CALA-CALA
01044001-7	RIO CANCOSA EN EL TAMBO	01730003-2	RIO COSCAYA EN SAITOCO
01050002-8	RIO PIGA EN COLLACAGUA	02113001-K	RIO HUATACONDO EN COPAQUIRE
01050003-6	RIO BATEA EN CONFLUENCIA		
<b>SEGUNDA REGIÓN DE ANTOFAGASTA</b>			
<b>Código BNA</b>	<b>Nombre Estación</b>	<b>Código BNA</b>	<b>Nombre Estación</b>
02103001-5	RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N°1	02110004-8	RIO LOA EN FINCA
02103002-3	RIO SAN PEDRO EN PARSHALL N°2 (BT.	02110007-2	RIO LOA ANTES JUNTA SAN SALVADOR
02103013-9	RIO SILALA ANTES REPRESA INACALIRI	02111001-9	VERTIENTE OJOS DE OPACHE
02104003-7	RIO LOA EN ALCANTARILLA CONCHI N°2	02111002-7	RIO SAN SALVADOR ANTES JUNTA RIO LOA
02105001-6	RIO SALADO ANTES JUNTA RIO CURTI	02112003-0	RIO LOA EN PANAMERICANA
02105005-9	RIO SALADO ANTES JUNTA RIO LOA	02112007-3	RIO LOA DESPUES JUNTA SAN SALVADOR-ME
02105007-5	RIO TOCONCE ANTES REPRESA SENDOS	02120001-8	RIO LOA EN DESEMBOCADURA
02110001-3	RIO LOA EN ESCORIAL	02510001-8	RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHE
02110002-1	RIO LOA EN YALQUINCHA		
<b>TERCERA REGIÓN DE ATACAMA</b>			
<b>Código BNA</b>	<b>Nombre Estación</b>	<b>Código BNA</b>	<b>Nombre Estación</b>
03022001-3	RIO LA OLA EN VERTEDERO	03050001-6	RIO ASTABURUAGA EN CONO
03041001-7	RIO BARROS NEGROS ANTES JUNTA VALLE	03421001-2	RIO MANFLAS EN VERTEDERO
03041002-5	RIO VILLALOBOS EN VERTEDERO	03430001-1	RIO COPIAPO EN LAUTARO
03041003-3	RIO VALLE ANCHO ANTES JUNTA BARROS	03434003-K	RIO COPIAPO EN MAL PASO AGUAS ABAJO BT
03041004-1	RIO VALLE ANCHO EN LA BARRERA	03450001-0	RIO COPIAPO EN CIUDAD DE COPIAPO
03041005-K	RIO LAMAS EN EL SALTO		

Fuente: Catastro de Estaciones; Departamento de Hidrología, DGA; 2005.

### **I.3. Aumento de densidad de estaciones Fluviométricas (Plan F2).**

#### *I.3.1. Definición del programa.*

##### I.3.1.1. Estudios existentes.

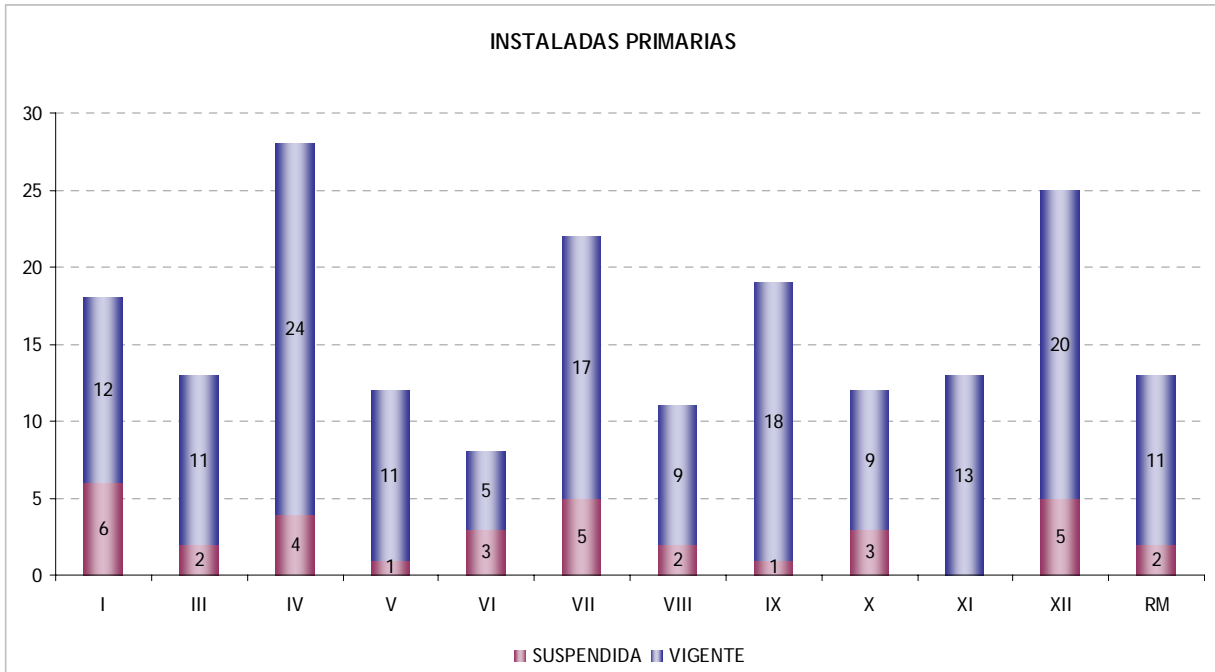
###### a. Análisis Crítico de la Red Fluviometría Nacional.

Durante los años 1980 – 1983 se efectuó en Análisis Crítico de la red Fluviométrica Nacional, estudio en el que se recomendó una red mínima de estaciones en base a criterios de la OMM y las características específicas de cada cuenca. En este estudio se clasificaron las estaciones de la red mínima en primarias, secundarias y especiales. Las definiciones de estas estaciones son las siguientes:

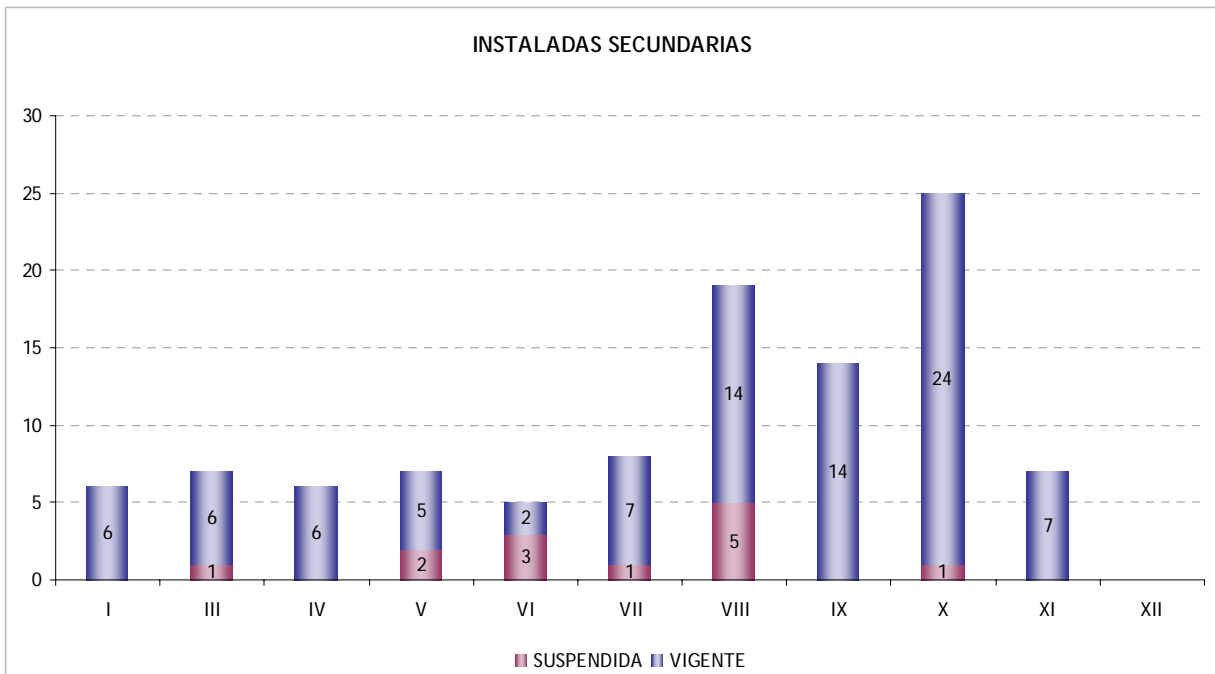
- Estaciones primarias: Constituyen estaciones bases o permanentes que deben ser observadas continua e indefinidamente para proporcionar la base fundamental de cualquier estudio de recursos de agua y poder caracterizar así el régimen de escorrentía de la cuenca.
- Estaciones secundarias: Son aquellas que se mantienen en su ubicación un número limitado de años, sólo hasta que se establezca una buena correlación entre la información registrada en ellas y las estaciones primarias. En consecuencia, después de un periodo suficientemente largo de mediciones, su control podría suspenderse.
- Estaciones especiales: Son aquellas que se establecen para objetivos particulares, como por ejemplo la operación de obras hidráulicas, estudios de pérdidas y recuperaciones, apoyar mediciones de arrastre de sedimentos y calidad del agua.

Las estaciones que se plantean en estos estudios pueden estar instaladas, suspendidas o bien que nunca fueron instaladas. En el caso de una estación primaria, por su definición ésta debe estar instalada y activa, mientras que una secundaria debe haber sido instalada, aunque no necesariamente debe seguir activa. El Gráfico N°1 muestra las estaciones primarias de la red y su estado; el Gráfico N°2 hace otro tanto con las secundarias y el Gráfico N°3 presenta las estaciones que no fueron instaladas, primarias y secundarias. En el Cuadro N°5 muestra el resumen a nivel nacional de las estaciones desglosadas en activas, suspendidas y no instaladas.

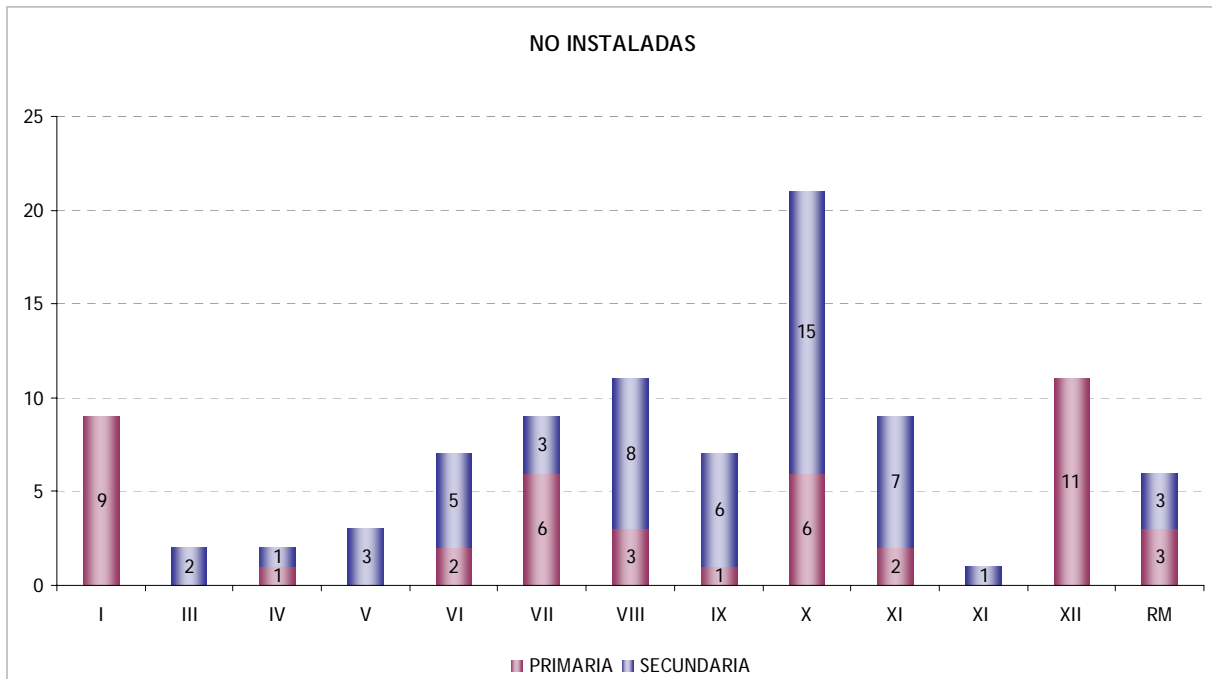
**Gráfico N°1. Estaciones Primarias de la red crítica, suspendidas y vigentes**



**Gráfico N°2. Estaciones Secundarias de la red crítica, suspendidas y vigentes**



**Gráfico N°3. Estaciones de la red crítica que no han sido instaladas**



**Cuadro N°5. Resumen nacional de estaciones contenidas en el Análisis Crítico de la Red Fluviométrica Nacional.**

Estaciones	Primarias	Secundarias
Activas	160	95
Suspendidas	34	14
No instaladas	44	54

El análisis de los estudios de la red crítica muestra que existen 98 estaciones primarias y secundarias que no han sido instaladas, y 34 estaciones primarias que han sido suspendidas. Las estaciones primarias según su definición deberían ser instaladas y funcionar indefinidamente, mientras las secundarias, deben construirse y funcionar durante un periodo suficiente para que los caudales que se midan en ellas puedan ser reproducidos satisfactoriamente por relaciones basadas en estaciones primarias. Dado que pueden existir casos de estaciones primarias que hayan sido suspendidas por buenas correlaciones con otras

estaciones, se puede plantear que según el análisis crítico hay entre 98 y 132 estaciones que se deben agregar a la red.

b. Sistema Nacional de Alerta de Crecidas

Otro estudio en el que se propone la instalación de nuevas estaciones es el Sistema Nacional de Alerta de Crecidas, que consiste en una red de medición y transmisión de datos hidrológicos en tiempo casi real y en Centros de Pronóstico. Este estudio cubre las cuencas de los ríos Aconcagua, Maipo, Rapel, Mataquito, Maule, Itata, Bío-Bío e Imperial. En el Cuadro N°6 muestra las implementaciones complementarias requeridas por este estudio para el desarrollo de futuros sistemas de previsión. En el Cuadro N°7 presentan las estaciones bases que actualmente se encuentran suspendidas y que deberán ser instaladas para el funcionamiento del sistema.

**Cuadro N°6. Implementaciones requeridas para el desarrollo futuro de sistemas de alerta de crecidas.**

Región	Estación	Total Región
V	Marga Marga en El Salto	1
VI	Codegua en La Leonera	2
VI	Claro en Tunca	
VII	Lontué en Lontué	1
IX	Traiguén en Traiguén	2
IX	Donguil en Laureles	
X	Calle-Calle en Valdivia	6
X	San Pedro en Los Lagos	
X	Callileufu en Los Lagos	
X	Cruces en Leufucade	
X	Damas en Tacamo	
X	Llollehue en La Unión	
<b>Total</b>		<b>12</b>

Fuente: "Sistema Nacional de Alerta de Crecidas", H. Peña, F. Vidal, 1988.

**Cuadro N°7. Estaciones base del SNAC que han sido suspendidas.**

Región	Nombre Estación
VI	Rapel en Rapel
VII	Achibueno en los Peñascos
VII	Claro en Talca
VIII	Ñuble en Longitudinal
RM	Río Maipo en Rosario

I.3.1.2. Experiencia Internacional.

La Organización Meteorológica Mundial, en su publicación “Guía de Prácticas Hidrológicas” de 1994 propone en base a antecedentes recolectados internacionalmente coberturas mínimas para las redes fluviométricas según la geografía de la región (Cuadro N°8).

**Cuadro N°8. Densidades mínimas recomendadas para estaciones fluviométricas.**

Unidad Fisiográfica	Densidad Mínima (Km <sup>2</sup> /Estación)
Zonas Costeras	2.750
Zonas Montañosas	1.000
Llanuras Interiores	1.875
Zonas Escarpadas/Ondulantes	1.875
Pequeñas Islas	300
Zonas Polares y Áridas	20.000

Fuente: “Guía de Prácticas Hidrológicas”, OMM, 1994

La densidad de estaciones de otros países es una buena referencia para realizar comparaciones de redes fluviométricas. El Cuadro N°9 muestra el número de estaciones y densidad de ellas en países o cuencas cuyas características tengan alguna similitud con Chile.



**Cuadro N°9. Densidades de estaciones en distintos países.**

País o Cuenca	Área (Km <sup>2</sup> )	Estaciones Activas	Densidad (Km <sup>2</sup> /Estación)
Nueva Zelandia <sup>2</sup>	268.675	591	455
Murray Darling <sup>5</sup> (Australia)	1.061.469	1.867	569
California <sup>3</sup>	410.000	583	703
España <sup>4</sup>	536.470	732	733
Australia <sup>5</sup>	7.682.300	6.470	1.187
USA <sup>2</sup>	9.355.615	7.515	1.245
<b>Chile III a X Región</b>	<b>330.424</b>	<b>298</b>	<b>1.109</b>
<b>Chile I, II, XI y XII</b>	<b>426.200</b>	<b>105</b>	<b>4.059</b>
Mexico <sup>2</sup>	1.972.547	469	4.206

Fuentes: (1) Water Resources Station Catalogue, Bureau of Meteorology, 2006  
 (2) INFOHYDRO Manual, WMO, 1998  
 (3) USGS <http://waterdata.usgs.gov/ca/nwis/nwis>, 2006  
 (4) Libro Blanco del Agua en España, 1998  
 (5) Bureau of Meteorology, Australia

Por otro lado, el Cuadro N°10 muestra según las cuencas la clasificación de las cuencas de Chile según su fisiografía (Llano, montañoso o polar) y clima (árido, templado) junto con las áreas de cada una de estas, para obtener un valor mínimo de estaciones fluviométricas.

**Cuadro N°10. Clasificación según fisiografía y clima para densidad mínima de estaciones.**

<b>Cuencas</b>	<b>Clasificación informe BNAP</b>	<b>Superficie (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Densidad mínima (Km<sup>2</sup>/Est.)</b>	<b>Nº Mínimo Estaciones</b>
Lluta al Loa	Polar Árido	152.391	20.000	8
Lluta al Loa	Montañoso temperado	29.027	1.000	29
Copiapó y Huasco	Polar Árido	41.813	20.000	2
Copiapó y Huasco	Montañoso temperado	35.618	1.000	36
Elqui y Limarí	Montañoso temperado	21.180	1.000	21
Elqui y Limarí	Polar Árido	18.043	20.000	1
Petorca a Maipo	Montañoso temperado	18.771	1.000	19
Petorca a Maipo	Montañoso temperado	13.045	1.000	13
Rapel al Maule	Llano Temperado	28.962	1.875	15
Rapel al Maule	Montañoso temperado	9.654	1.000	10
Rapel al Maule	Montañoso temperado	7.355	1.000	7
Itata a Maullín	Montañoso temperado	10.857	1.000	11
Itata a Maullín	Montañoso temperado	25.590	1.000	26
Itata a Maullín	Llano Temperado	41.101	1.875	22
Petrohué a Baker	Montañoso Árido	46.943	1.000	47
Petrohué a Baker	Montañoso temperado	57.374	1.000	57
Pascua - Serrano	Montañoso temperado	25.596	1.000	26
Pascua - Serrano	Polar Árido	27.730	20.000	1
Serrano a Tierra del Fuego	Montañoso Árido	17.440	1.000	17
Serrano a la Tierra del Fuego	Llano Árido	127.845	20.000	6
<b>Total</b>		<b>756.335</b>		<b>374</b>

Fuente: Proyecto evaluación de redes hidrológicas básicas (BNAP): informe de América del Sur, Peña, Humberto, 1993.

### I.3.1.3. Análisis y propuesta.

El catastro de estaciones muestra que para la macrozona comprendida entre las regiones III y X existen 298 estaciones, con una densidad de 1.109 Km<sup>2</sup>/estación, mientras que para la macrozona que engloba las regiones I, II, XI y XII, existen 105 estaciones con una densidad de 4.059 Km<sup>2</sup>/estación.

El análisis crítico de la red fluviométrica comparado con la red existente actualmente, indica que deben agregarse entre 98 y 132 estaciones que actualmente no existen o han sido suspendidas.

Por otro lado, las densidades existentes en países como España, Nueva Zelandia y el estado de California, notables ejemplos de gestión de recursos hídricos, sugieren que una densidad de 750 Km<sup>2</sup>/estación sería adecuada como meta para Chile en el mediano plazo, debido a la presión que sufren actualmente estos recursos en el país y la necesidad de contar con una red mejorada para el desafío que implica el aumento de ésta.

Las regiones I, II, XI y XII, tienen extensas áreas desérticas, áridas o polares que requieren una densidad de estaciones mucho menor a la necesaria en la macrozona comprendida entre las regiones III y X. Esto sumado a las modernizaciones de la red en la XII región, que responden a un análisis crítico de la década de los noventa, permiten argumentar que la red presente en las regiones extremas es adecuada a la situación de Chile en el mediano plazo.

El aumento de densidad de la red se debe realizar entonces entre las regiones III y X, con el objetivo planteado de 750 Km<sup>2</sup>/estación, lo que implica la instalación de 143 estaciones.

Se plantea en este plan de modernización alcanzar las 550 estaciones instaladas en la red fluviométrica nacional, con lo cual se cubren las necesidades planteadas por la red crítica, el SNAC y se logra una cobertura similar a la de países desarrollados con un excelente desempeño en el campo de los recursos hídricos. Este desarrollo implica la instalación de 147 nuevas estaciones. El número de estaciones propuestas por región se presenta en el Cuadro N°11.

**Cuadro N°11. Estaciones existentes y propuestas por región.**

<b>Región</b>	<b>Estaciones Actuales</b>	<b>Estaciones Propuestas</b>	<b>Objetivo</b>
I	19	1	20
II	21	1	22
III	26	12	38
IV	39	19	58
V	19	9	28
VI	15	7	22
VII	56	27	83
VIII	46	22	68
IX	35	17	52
X	43	21	64
XI	32	1	33
XII	33	1	34
RM	19	9	28
<b>Total</b>	<b>403</b>	<b>147</b>	<b>550</b>

### 1.3.2. Determinación de costos del programa

Para calcular los costos del programa, se asume que todas las estaciones a instalar están equipadas con limnógrafo electrónico. El costo de estas instalaciones se presenta en el Cuadro N°12.

**Cuadro N°12. Costos instalación estación Fluviométrica Digital.**

Obras Civiles	Precio (M\$)	Componente Nacional (M\$)	Componente Importada (M\$)	C. Total (M\$)
Caseta y obras Data Logger y sensor de presión	1.190	1.190	0	1.190
Estructura de aforo	15.000	15.000	0	15.000
Instrumentos				
Data Logger y sensor de presión	2.648	0	2.648	2.648
Panel solar y regulador de voltaje	500	0	500	500
Batería	50	0	50	50
<b>Total</b>		<b>16.190</b>	<b>3.198</b>	<b>19.388</b>

Los costos de implementación del plan se presentan en el Cuadro N°13. Es necesario destacar que los costos operacionales de los demás planes de modernización de la red fluviométrica se encuentran incluidos en este cuadro, ya que el número de estaciones que plantea el plan en cuestión es mucho mayor que los de las demás propuestas. Los costos de operación mostrados corresponden a la diferencia con respecto a la situación actual (M\$2.934 por estación).

**Cuadro N°13. Costos del plan de mejoramiento F2.**

Ítem	Unidad	Valor
Nº Estaciones	Nº	147
Costos Instalación	M\$	2.850.036
Componente Nacional	M\$	2.379.930
Componente Importado	M\$	470.106
Costos de Operación	M\$	431.298

## **I.4. Cambio de estaciones digitales a satelitales (Plan F3).**

### *I.4.1. Fundamentación.*

La posibilidad de contar con información en tiempo real ha significado una revolución en el manejo de los recursos hídricos, ya que la información fluviométrica pasa de ser una herramienta para diseño y planificación a ser información operacional y una efectiva herramienta de gestión.

Una red con obtención de datos en tiempo real permite conocer permanente y oportunamente los caudales pasantes, punto de especial relevancia para la distribución de las aguas entre los usuarios y operar la infraestructura hidráulica en la aplicación de modelos de pronóstico de crecidas, y también en la situación opuesta como son las sequías, en que es necesario conocer la disponibilidad de recursos hídricos diariamente, especialmente en situaciones de intervención de los cauces.

Por otro lado, una red en tiempo real produce beneficios dentro de la gestión de la misma red, porque permite enfocar mejor los esfuerzos, como por ejemplo en el caso de las mantenciones o reparaciones, ya que los desperfectos pueden ser detectados y corregidos en la medida de la necesidad de hacerlo. Además, una red de este tipo presenta grandes ventajas para la obtención de datos en lugares de difícil acceso.

### *I.4.2. Aspectos Metodológicos.*

El programa de mejoramiento de estaciones equipadas con data logger a estaciones con plataforma satelital se efectuará revisando los estudios existentes en la DGA en que se plantea el uso de tecnología en tiempo real y aplicando comparaciones con redes existentes de otros países, en cuanto al porcentaje de estaciones fluviométricas que cuentan con esta capacidad.

Además se considerará el análisis del consultor en base a su experiencia y la información o los requerimientos presentados por los usuarios. En particular, se considerarán criterios que se deducen de las visitas realizadas a las cuencas representativas seleccionadas (Limarí y Maule).

Luego se calcularán los costos de la implementación de este plan y finalmente se propondrán los plazos para la implementación de este.

### *I.4.3. Definición del programa de mejoramiento.*

#### I.4.3.1. Estudios existentes.

##### a. Plan de Modernización DGA.

La Dirección General de Aguas, en su plan de modernización de 1995 planteó la necesidad de instalar plataformas satelitales, considerándose la meta de 50 estaciones de este tipo para el año 2000. Al año 2005, se han superado por mucho este objetivo inicial, alcanzándose las 102 estaciones de este tipo. La instalación de estas estaciones se basó en dos criterios prioritarios; las estaciones de control nival en la alta cordillera, especialmente en sitios de difícil acceso y las estaciones fluviométricas principales del país cuya información es constantemente requerida para evaluar las condiciones hidrológicas que se presentan, que permitan agilizar las decisiones en eventos de sequía y contar con los datos necesarios para un sistema de alerta de crecidas.

El Cuadro N°14 muestra las estaciones con plataforma satelital instaladas a comienzos del año 2006, detallando la cantidad instalada por regiones. Entre paréntesis se presentan las instaladas en canales.

**Cuadro N°14. Estaciones con plataforma satelital.**

<b>Región</b>	<b>Estaciones con Plataforma Satelital</b>
I	4
II	3
III	3
IV	4
V	7
VI	9 (1)
VII	31 (11)
VIII	18 (9)
IX	4
X	5
XI	9
XII	5 (1)
RM	4
<b>Total</b>	<b>106 (22)</b>

Fuente: Catastro de Estaciones; Departamento de Hidrología, DGA; 2005

Las estaciones instaladas dentro del contexto de la modernización de la red fluviométrica nacional cumplieron con creces con los objetivos que esta se había planteado.

b. Sistema Nacional de Alerta de Crecidas

En el estudio “Sistema Nacional de Alerta de Crecidas” (H. Peña, F. Vidal; 1988) entrega un listado con las estaciones que son utilizadas como bases para los análisis hidrológicos. Estas estaciones deben disponer de información en tiempo real y poder entregar información oportuna a la ONEMI. El Cuadro N°15 muestra el número de estaciones por región necesarias para el funcionamiento del Sistema Nacional de Alerta de Crecidas (SNAC), determinadas en el estudio del año 1988. Las estaciones que no están instaladas o que no cuentan con el equipo necesario serán agregadas al programa de mejoramiento de la red. El Cuadro N°16 presenta un detalle de las estaciones del sistema que requieren una plataforma satelital. El Cuadro N°8, presentada en un capítulo anterior, agrega 5 estaciones suspendidas más que requieren una plataforma satelital según las necesidades del sistema. Lo anterior se resume en 16 estaciones con limnógrafo digital, que requieren de plataforma satelital, y 5 que estaciones satelitales completas.

**Cuadro N°15. Estaciones base del Sistema Nacional de Alerta de Crecidas.**

Región	Est. Base sistema	Est. Plataforma Satelital	Est. Data Logger	Est. no existentes
V	2	2	0	0
VI	3	2	0	1
VII	13	7	4	2
VIII	13	4	7	1
IX	6	2	3	0
RM	6	4	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>43</b>	<b>21</b>	<b>15</b>	<b>5</b>

Fuente: Catastro de Estaciones; Dpto. de Hidrología, DGA 2005; Sistema Nacional de Alerta e Crecidas, 1998



**Cuadro N°16. Estaciones actualmente con data logger y que se agrega plataforma satelital para el SNAC.**

Región	Código BNA	Nombre Estación
VII	07116001-7	Estero Upero en Upeo
VII	07357002-6	Río Loncomilla en Bodega
VII	07372001-K	Río Claro en Camarico
VII	07374001-0	Río Lircay en Puente Las Rastras
VIII	08123001-3	Río Itata en Cholguán
VII	08124001-9	Río Itata en General Cruz
VIII	08135002-7	Río Itata en Balsa Nueva Aldea
VIII	08323001-0	Río Duqueco en Cerrillos
VIII	08323002-9	Río Duqueco en Villucura
VIII	08330001-9	Río Mulchén en Mulchén
VIII	08332001-K	Río Bureo en Mulchén
VIII	08383001-8	Río Laja en Puente Perales
IX	08351001-3	Río Malleco en Collipulli
IX	08358001-1	Río Vergara en Tijeral
IX	09123001-1	Río Cautín en Rariruca
IX	09135001-7	Río Quepe en Quepe
RM	05716001-2	Río Angostura en Valdivia de Paine

#### I.4.3.2. Otros antecedentes.

Desde la perspectiva de los usuarios, y de acuerdo al programa de entrevistas desarrollado en el estudio, se aprecia claramente la ventaja de disponer de información en tiempo real en los siguientes casos:

- La operación de obras hidroeléctricas, considerando los beneficios que presenta la generación.
- Las operaciones de obras complejas de infraestructura, como embalses, que alteran el régimen natural y que requieren una absoluta transparencia para disminuir el nivel de conflictos entre diversos actores.

- La operación de los sistemas de canales con el propósito de que las organizaciones de usuarios distribuyan las aguas según los derechos que puedan manejar sus infraestructuras sin poner en riesgo obras civiles o generar daños en periodos de crecidas, de manera transparente, con la consecuente disminución de los gastos de fiscalización.

El análisis de los antecedentes disponibles acerca de la distribución del agua entre los regantes (por ejemplo: Diagnóstico de la Situación Actual de las Organizaciones de Usuarios de Aguas a Nivel Nacional. DGA SIT N°55, o el Catastro de Organizaciones de la Confederación de Canalistas de Chile) y el número de grandes obras hidráulicas existentes en el país, permiten identificar no menos de 150 puntos que resultan de interés desde la perspectiva de la administración de las aguas entre III Región y la IX Región.

Un análisis efectuado en las principales cuencas permite determinar una primera aproximación de las estaciones necesarias para cubrir los principales puntos de distribución de aguas del país que actualmente no tienen control satelital, así como las obras hidráulicas que requieren de esta información para una correcta gestión. De esta manera, en puntos de distribución que actualmente no tienen estaciones fluviométricas, se agrega una estación con plataforma satelital, y en los que cuentan con estación, se toman las mejoras necesarias para la conversión a este tipo de instalación.

El Cuadro N°17 muestra un resumen del tipo de transformaciones que se deben realizar en las estaciones, consolidando los datos por región.

**Cuadro N°17. Necesidades de mejoramientos o nuevas estaciones en puntos de distribución de aguas.**

Región	Data Logger a Plataforma Satelital	Limnógrafo a Plataforma Satelital	Plataforma Satelital completa	Total
I	1	4	2	7
II		1	3	6
III	6	3	10	19
IV	15		15	30
IX	4		2	6
RM	3		10	13
V	3		10	13
VI	1		8	9
VII	2		14	16
VIII	5		10	15
X			7	7
<b>Total</b>	<b>42</b>	<b>8</b>	<b>92</b>	<b>142</b>

#### I.4.3.3. Experiencia internacional.

La oportunidad de convertir una red de mediciones de niveles en una red de apoyo a la gestión operacional del recurso hídrico y las demás ventajas que tienen las estaciones satelitales ha llevado a muchos países a realizar programas para el cambio de parte o de la totalidad de la instrumentación existente. En el siguiente cuadro se presentan las características de las redes fluviométricas de distintos países, incluyendo la cobertura de estaciones con telemetría (ya sea satelital o por otros medios) que poseen. La selección de los países se ha realizado considerando especialmente la similitud que tiene su desarrollo en relación al aprovechamiento de los recursos hídricos

**Cuadro N°18. Porcentaje de redes telemétricas en distintos países.**

País o Cuenca	Área	Estaciones Activas	Estaciones con telemetría	Densidad estaciones Telemetría (Km <sup>2</sup> /est.)	Porcentaje Estaciones Telemetría
Australia <sup>1</sup>	7.682.300	6.470	755	10.175	12%
USA <sup>2</sup>	9.355.615	7.515	2.705	3.458	36%
California <sup>3</sup>	410.000	583	164	2.500	28%
Nueva Zelanda <sup>2</sup>	268.675	591	264	1.018	45%
España <sup>4</sup>	536.470	732	388	1.383	53%

Fuente: (1) Water Resources Station Catalogue, Bureau of Meteorology, 2006  
(2) INFOHYDRO Manual, WMO, 1998  
(3) USGS <http://waterdata.usgs.gov/ca/nwis/nwis>, 2006  
(4) Libro Blanco del Agua en España, 1998

#### I.4.3.4. Análisis y Propuesta.

De los estudios nacionales existentes, se puede observar que la red satelital actual ha cumplido los objetivos planteados en la Modernización de la Red fluviométrica Nacional sin embargo se necesita incrementarla para que cumpla nuevos objetivos desde la perspectiva de la gestión en tiempo real de los recursos hídricos.

El Sistema Nacional de Alerta de Crecidas necesita 20 plataformas satelitales más su funcionamiento según el plan original. Por otro lado, se identificaron 142 puntos de distribución de aguas que no cuentan con plataforma satelital, no obstante algunos cuentan con estación fluviométrica.

Dado el desarrollo actual de la red fluviométrica en Chile, en cuanto a la instalación de plataformas satelitales (20,8% del total de estaciones en ríos), y dadas las características similares tanto en variabilidad climática como en el desarrollo histórico, es posible proponer el objetivo de poseer una cobertura de estaciones telemétricas similar a la que actualmente posee España en un horizonte de 10 años para la zona comprendida entre las regiones tercera y novena, que son las de mayor importancia desde el punto de vista de la distribución de recursos hídricos en tiempo real y un porcentaje menor para las regiones extremas. Se plantea como objetivo que un 45% de la red fluviométrica cuente con plataforma satelital, llegando así a un valor similar al de Nueva Zelanda y algo menor al de España. El aumento de cobertura satelital se concentra en las regiones III a IX (70% del aumento). El Cuadro N°19 presenta un resumen a nivel de región con la propuesta de mejora.

**Cuadro N°19. Aumento de estaciones satelitales propuesto.**

Región	Plataformas Satelitales Actuales	Propuesta Aumento	Objetivo de Plataformas Satelitales	Porcentaje de estaciones satelitales*
I	4	5	9	45%
II	3	6	9	41%
III	3	14	17	45%
IV	4	21	25	43%
V	7	6	13	46%
VI	8	8	16	73%
VII	20	20	40	48%
VIII	9	20	29	43%
IX	4	19	23	44%
X	5	18	23	36%
XI	9	9	18	55%
XII	4	9	13	38%
RM	4	9	13	46%
<b>Total</b>	<b>84</b>	<b>164</b>	<b>248</b>	<b>45%</b>

\*: El porcentaje es con respecto a los valores propuestos de estaciones expuestos en el plan F2

Las mejoras planteadas permitirían cubrir parte sustantiva de las necesidades derivadas de la gestión del agua por los regantes y la operación de las obras hidráulicas mayores asociadas al riego y atender los requerimientos del Sistema Nacional de Alerta de Crecidas (que supone unas 20 estaciones adicionales, algunas de las cuales deberán incluirse dentro de la proposición para la densificación de la red).

#### *1.4.4. Determinación de costos del programa.*

Para el cálculo de los costos de instalación se supondrá que todas las mejoras a la red se efectúan sobre estaciones a las que es necesario agregar solamente la plataforma satelital, ya que el plan F2 ya se ha planteado el aumento de la densidad. El costo de convertir una estación con data logger a plataforma satelital se presenta en el Cuadro N°20.

**Cuadro N°20. Costo de transformación de estación con Data Logger a Plataforma Satelital.**

Obras Civiles	Precio (M\$)	Componente Nacional (M\$)	Componente Importada (M\$)	Costos Total (M\$)
Confección e instalación torre 6m.	2.000	2.000	0	2.000
Instrumentos				
Equipo de transmisión y antena	2.844	0	2.844	2.844
<b>Total</b>		2.000	2.844	4.844

Los costos de operación de este plan son nulos, ya que se ha supuesto que las estaciones a mejorar ya existen, la instalación de la antena no repercute en costos operacionales.

El costo total del plan de mejoramiento se muestra en el cuadro que sigue.

**Cuadro N°21. Costos del plan de mejoramiento F3.**

Ítem	Unidad	Valor
Nº Estaciones	Nº	164
Costos Instalación	M\$	794.416
Componente Nacional	M\$	328.000
Componente Importado	M\$	466.416
Costos de Operación	M\$	0

## **I.5. Plan Complementario: Control de las extracciones de Canales (Plan F4).**

### *I.5.1. Fundamentación.*

La posibilidad de contar con información en tiempo real ha significado una revolución en el manejo de los recursos hídricos, ya que la información fluviométrica pasa de ser una herramienta para diseño y planificación a ser información operacional y una efectiva herramienta de gestión.

Para los usuarios de canales contar con datos en tiempo real permite conocer permanente y oportunamente los caudales captados, punto de especial relevancia para la distribución de las aguas entre los usuarios y la operación de infraestructura hidráulica. La aplicación se hace más directa en tiempos de sequía, en que es necesario conocer la disponibilidad del recurso en tiempo real, para una efectiva repartición de las acciones o los periodos de riego.

### *I.5.2. Aspectos Metodológicos.*

El programa de implementación de estaciones equipadas con plataforma satelital se efectuará revisando los catastros de canales existentes en la DGA y demás información de gabinete que pueda ser obtenida, esto para identificar los principales canales existentes en las regiones.

Luego se calcularán los costos de la implementación de este plan, los cuales deberán ser asumidos por los usuarios de los canales, y finalmente se propondrán los plazos para la implementación de este.

### *I.5.3. Definición del programa.*

Según los antecedentes recopilados en el estudio de síntesis de catastros de usuarios de agua e infraestructuras de aprovechamiento de 1991, existen entre la primera y octava región 12.150 canales de regadío. El número de canales y su superficie regada se presentan en la tabla 23.

Se efectuó una revisión de los canales más importantes existentes en el país a partir de los siguientes estudios:

- Estudio de Síntesis de Catastros de Usuarios de Aguas e Infraestructura de Aprovechamiento

- Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales de las cuencas de los ríos Loa, Ligua y Petorca, Aconcagua, Maipo y Bio Bio (SDT N° 192, 226, 145, 165 y 183 respectivamente)
- Diagnóstico situación actual de las organizaciones de usuarios de aguas a nivel nacional (SIT N° 55)
- Catastro de infraestructura básica de canales de la Dirección de Obras Hidráulicas

Según estos antecedentes, se identificaron aproximadamente 100 canales importantes desde el punto de vista de los sectores que permiten regar, en los cuales se propone la instalación de plataformas satelitales.



**Cuadro N°22. Canales de regadío por cuenca entre la primera y octava región.**

Cuenca	Región	Canales	Sup. Regada (Ha)
Río Lluta	I	47	1.667,15
Río San José	I	8	874,93
Quebrada Vitor o Codpa	I	79	11,63
Quebrada Camarones	I	63	552,03
Quebrada Camiña	I	129	1.648,38
Pampa del Tamarugal	I	164	391,47
Río Loa	II	27	1.951,26
Río Huasco	IV	333	8.911,30
Río Elqui	IV	152	17.906,30
Río Limarí	IV	466	23.749,60
Río Choapa	IV	294	17.731,96
Estero Conchalí y Río Quilimarí	IV	75	1.504,85
Río Petorca	V	107	5.207,02
Río Ligua	V	190	7.441,51
Río Aconcagua	V	1.230	22.703,41
Río Maipo	RM	634	99.739,61
Estero Lampa	RM	385	13.707,49
Río Rapel	VI	1.270	215.348,45
Río Mataquito	VII	523	104.222,92
Río Maule	VII	1.594	237.188,76
Río Itata	VIII	2.168	77.628,52
Río Biobío	VIII	2.212	106.197,12
TOTAL		12.150	966.285,67

#### *1.5.4. Análisis y propuesta.*

Se considera adecuada la implementación de estaciones en los 100 canales de mayor importancia.

Se plantea además, la conveniencia de cubrir los costos de implementación de dicho plan parte de los usuarios de los canales, no obstante la operación sea realizada por la DGA. Ello permitiría cubrir las necesidades de los canalistas derivadas de la gestión y operación de las obras de riego.

### 1.5.5. Determinación de costos del programa.

El costo de la instalación de una estación en un canal no contempla las obras de la estructura de aforo, ya que el mismo canal cumple esta función, siendo los costos de esta alternativa notoriamente menores que los de una estación nueva. Estos costos se muestran a continuación.

**Cuadro N°23. Costo de estaciones con plataforma satelital en canales.**

Obras Civiles	Precio (M\$)	Componente Nacional (M\$)	Componente Importada (M\$)	Costos Total (M\$)
Confección e instalación torre 6m.	2.000	2.000	0	2.000
Caseta y obras Data Logger y sensor de presión	1.190	1.190	0	1.190
Instrumentos				
Data Logger y sensor de presión	2.648	0	2.648	2.648
Equipo de transmisión y antena	2.844	0	2.844	2.844
Panel solar y regulador de voltaje	500	0	500	500
Batería	50	0	50	50
Total		3.190	6.042	9.232

La operación de estas estaciones considerará el caso más desfavorable, que consiste en costos equivalentes a los de una estación nueva. Se estima que los costos de este tipo de estaciones sean menores por menor necesidad de reparaciones y mejores accesos.

De esta manera, los costos de implementación y operación del programa son los que se presentan en el siguiente cuadro.

**Cuadro N°24. Costos del plan de mejoramiento F4.**

Ítem	Unidad	Valor
Nº Estaciones	Nº	100
Costos Instalación	M\$	923.200
Componente Nacional	M\$	319.000
Componente Importado	M\$	604.200
Costos de Operación	M\$	293.400

## **II. PROGRAMA DE MEJORAMIENTO DE LA RED HIDROMETEOROLÓGICA.**

### **II.1. Introducción.**

Los fenómenos hidrometeorológicos se estudian mediante los análisis de series de datos obtenidos en sitios o estaciones de medición distribuidos sobre el área de la región en estudio. Este grupo de puntos de medición en conjunto con el instrumental, los protocolos, estándares de medición y el equipo técnico administrativo de operación conforman lo que se denomina una “red hidrometeorológica”.

La variabilidad de las condiciones meteorológicas en todas las escalas temporales (secular, interanual, intraestacional e interdiaria) produce impactos significativos en diversas actividades productivas y de servicios.

La creciente disponibilidad de información meteorológica, tanto en medios de comunicación, Internet y servicios gubernamentales, facilita el seguimiento de la evolución de las condiciones climatológicas adversas. Las que son de gran importancia los distintos sectores del país (sector agrícola, sector energético, sector sanitario, etc.) para la toma de políticas de acción públicas y privadas, principalmente por la relación íntima que presentan la hidrología y la meteorología.

En Chile el tema de la red hidrometeorológica es manejado por dos entidades.

La información es importante para fines de:

- Planificación y diseños.
- Gestión en tiempo real.

En relación a lo primero se plantean dos programas de mejoramiento, y al segundo tema un único programa de mejoramiento, a saber.

- Aumento de densidad real de pluviómetros.
- Aumento de densidad real de estaciones hidrometeorológicas.
- Aumento de redes en tiempo real.

Al respecto se considera que los nuevos requerimientos son asumidos por la propuesta.

Los registros estadísticos pluviométricos tienen variados beneficios, entre los cuales se puede destacar la determinación de la disponibilidad del recurso hídrico, cuando no hay mediciones directas, evaluación de demandas, determinación de caudales de diseño para obras de drenaje, etc.

Tratándose de una variable distribuida espacialmente, la precisión de su estimación en una cierta superficie, depende directamente de los puntos de medición. Por ello se evaluará la necesidad de aumentar los puntos de medición de modo de obtener una mejor precisión para la estimación de los parámetros relevantes.

La lógica nos permite pensar que una mayor precisión en la información estará asociada a una mayor densidad de estaciones, las que representen en forma más fidedigna los procesos físicos.

Con este propósito este programa se oriente a revisar la necesidad de incrementar en número de puntos de medición.

## **II.2. Plan M1. Aumento de la Densidad Real de estaciones Pluviométricas.**

El objetivo de este punto es el realizar un análisis de la red existente, y proponer mejoramientos que se estimen necesarios para definir una red que sea capaz de proveer la información suficiente, para el análisis del desarrollo y planificación del aprovechamiento de los recursos hídricos en las distintas zonas del país. Para esto se plantea el análisis de los siguientes puntos.

- Análisis de estudios anteriores.
- Análisis de experiencia internacional
- Criterios de la OMM

### *II.2.1. Análisis de Estudios Anteriores.*

En 1985 la DGA planteó el problema de la implementación de una red hidrometeorológica crítica, bajo este concepto se generó el estudio “Análisis de la Red Hidrometeorológica Nacional”. En este estudio se realizó una evaluación detallada de los requerimientos de información para cada parámetro de la red hidrometeorológica.

En base a este estudio se analizará que estaciones han sido implementadas y cuantas faltaría por implementar.

Para realizar este análisis se procederá a la recopilación de la información de la red propuesta por ese estudio, para luego ser comparará con la red que actualmente maneja la DGA. Además, se chequeará la existencia de estaciones propuestas para la red crítica que hayan sido implementadas y luego suprimidas.

En base a lo anterior se propondrá el aumento de la densidad, en base a las estaciones faltantes.

#### *II.2.2. Experiencia Internacional.*

Se realizó una revisión bibliográfica de redes hidrometeorológicas de varios países, los que serán escogidos en base a criterios como la similitud que puedan presentar a los distintos climas que se dan en Chile, similitudes geográficas, similitudes geomorfológicos, etc. Se comparó la densidad de estaciones que presentan con la densidad que hay en Chile. En particular se realizará una comparación más detallada con España y México.

#### *II.2.3. Criterios de la Organización Mundial de Meteorología (OMM).*

Finalmente es necesario comparar la red chilena en base a los criterios del organismo que presenta las directrices que se deberían tomar.

En base a la apreciación del consultor en relación con los requerimientos para fines agro-climáticos, no resulta adecuado asumirlos en la propuesta de la DGA, como parte del programa nacional, ya que dicho programa se orienta hacia aspectos de estudio de microclimas, los cuales se deben evaluar en estrecha relación con el medio local, cuestión completamente alejada al objetivo del estudio.

### **II.3. Definición del programa.**

#### *II.3.1. Análisis de estudios anteriores.*

En el Cuadro N°25 se presenta la situación actual de la red pluviométrica que maneja actualmente la DGA, esta abarca desde las estaciones más simples (pluviómetro) hasta las más complejas (plataformas satelitales).

**Cuadro N°25. Red Pluviométrica Actual de la DGA por Región.**

REGIÓN	N° ESTACIONES	AREA [Km <sup>2</sup> ]	COBERTURA [Km <sup>2</sup> /EST]
I	35	58.698	1.677
II	29	126.444	4.360
III	20	75.573	3.779
IV	46	40.656	884
V	41	16.396	400
VI	18	16.341	908
VII	38	30.325	798
VIII	43	36.929	859
IX	45	31.842	708
X	36	68.013	1.889
XI	22	67.013	3.046
XII	30	132.034	4.401
RM	29	15.349	529
TOTAL	432	715.614	1.657

Fuente: "Catastro de Estaciones Meteorológicas". Dirección General de Aguas. 2006

De la tabla anterior se ve que en promedio, en el territorio nacional, la cobertura de estaciones pluviométricas de la DGA. llega a 1.657 Km<sup>2</sup>/Est.

La zona que presenta una mayor cobertura es la quinta región, con una estación por 400 Km<sup>2</sup>, mientras que la zona que presenta la cobertura mas pobre es la segunda región, con una estación por cada 4.360 Km<sup>2</sup>.

A continuación, en Cuadro N°26 se presenta un resumen de la red pluviométrica propuesta en el estudio "Análisis de la Red Hidrometeorológica Nacional" publicado en 1985.

**Cuadro N°26. Red Pluviométrica crítica propuesta en estudio “Análisis de la Red Hidrometeorológica Nacional”.**

REGIÓN	N° ESTACIONES DGA	N° ESTACIONES DMC	N° ESTACIONES OTROS	N° ESTACIONES NUEVAS	N° ESTACIONES TOTAL	AREA [Km <sup>2</sup> ]	DENSIDAD [Km <sup>2</sup> /EST]
I	32	3	1	17	53	58.698	1.108
II	26	1	0	10	37	126.444	3.417
III	17	7	0	12	36	75.573	2.099
IV	38	11	1	12	62	40.656	656
V	31	16	0	12	59	16.396	278
VI	15	12	5	5	37	16.341	442
VII	22	11	6	21	60	30.325	505
VIII	20	7	3	21	51	36.929	724
IX	19	6	1	12	38	31.842	838
X	5	19	19	25	68	68.013	1.000
XI	9	8	14	14	45	67.013	1.489
XII	10	12	0	14	36	132.034	3.668
RM	16	15	0	9	40	15.349	384
<b>TOTAL</b>	<b>260</b>	<b>128</b>	<b>50</b>	<b>184</b>	<b>622</b>	<b>715.614</b>	<b>1.151</b>

Fuente: “Análisis de la Red Hidrometeorológica Nacional”. Tomos I, II y III. 1985.



Al comparar la cobertura entre la red actual de la DGA y la red propuesta para la DGA (asumiendo que todas las estaciones nuevas propuestas pasaran a ser parte de la DGA) son similares siendo apenas superior la densidad de la red propuesta, a saber 432 estaciones en la red actual versus 444 estaciones en la red propuesta.

A continuación se realizó el ejercicio de implementar de las estaciones “nuevas” de la red propuesta en la red actual, para esto es necesario catastrar ambas redes y ver cuantas estaciones “nuevas” han sido implementadas, diferenciando si aun están activas o fueron suprimidas.

En el Cuadro N°27 se presenta la comparación entre la red actual de la DGA y las estaciones “nuevas” de la red propuesta, y tener una estimación de la cobertura de la nueva red hidrometeorológica, la que incluye las estaciones de la DMC, y de otras instituciones que manejan estaciones (dicha estimación tendrá como hipótesis que las estaciones de la DMC y de otras instituciones son las catastradas en el estudio “Análisis de la Red Hidrometeorológica Nacional”).

Las estaciones nuevas se pueden agrupan como:

1. Implementadas actualmente.
2. Implementadas y luego suprimidas.
3. No implementadas

Se puede obtener un cuarto grupo, que se forma por el grupo 2 y 3.

4. Por Implementar, las que incluyen las que fueron implementadas y luego suprimidas.

**Cuadro N°27. Red Pluviométrica propuesta.**

REGIÓN	N° ESTACIONES DGA ACTUAL	N° ESTACIONES NUEVAS (*)	N° ESTACIONES NUEVAS (**)	N° ESTACIONES NUEVAS (***)	N° ESTACIONES DGA PROPUESTA	N° ESTACIONES DMC	N° ESTACIONES OTROS	N° ESTACIONES TOTAL	AREA [Km <sup>2</sup> ]	DENSIDAD [Km <sup>2</sup> /EST]
I	35	0	1	17	52	3	1	56	58.698	1.048
II	29	4	2	6	35	1	0	36	126.444	3.512
III	20	1	0	11	31	7	0	38	75.573	1.989
IV	46	3	0	9	55	11	1	67	40.656	607
V	41	6	0	6	47	16	0	63	16.396	260
VI	18	0	0	5	23	12	5	40	16.341	409
VII	38	6	0	15	53	11	6	70	30.325	433
VIII	43	9	0	12	55	7	3	65	36.929	568
IX	45	10	0	2	47	6	1	54	31.842	590
X	36	8	0	17	53	19	19	91	68.013	747
XI	22	1	0	13	35	8	14	57	67.013	1.176
XII	30	4	2	10	40	12	0	52	132.034	2.539
RM	29	5	0	4	33	15	0	48	15.349	320
<b>TOTAL</b>	<b>432</b>	<b>57</b>	<b>5</b>	<b>127</b>	<b>559</b>	<b>128</b>	<b>50</b>	<b>737</b>	<b>715.614</b>	<b>971</b>
Notas (*) ESTACIONES NUEVAS RED CRÍTICA IMPLEMENTADAS EN RED ACTUAL (**) ESTACIONES NUEVAS RED CRITICA IMPLEMENTADAS EN RED, PERO SUPRIMIDAS (***) ESTACIONES NUEVAS RED CRITICA POR IMPLEMENTAR, INCLUYENDO LAS QUE FUERON SUPRIMIDAS										

Fuente: "Análisis de la Red Hidrometeorológica Nacional". Tomos I, II y III. 1985. "Catastro de Estaciones Meteorológicas". Dirección General de Aguas. 2006.

De la tabla anterior se infiere que la implementación de las 127 estaciones faltantes significará un incremento cercano al 30% en la red pluviométrica de la DGA.

La cobertura propuesta en el estudio “Análisis de la Red Hidrometeorológica Nacional” es de una estación por cada 1.151 Km<sup>2</sup>. Por otra parte la densidad actual es de 1.173 Est/Km<sup>2</sup>. Si se implementan las estaciones “nuevas” faltantes en la red de la DGA., se llegará a cobertura de 971 Est/Km<sup>2</sup>.

### *II.3.2. Experiencia internacional.*

En el Cuadro N°28 se presenta la situación de distintos países, con respecto a la cobertura de estaciones pluviométricas, en el que se observa un promedio de una estación por cada 832 Km<sup>2</sup>.

En el Cuadro N°29 se presentan en forma jerarquizada la información de Cuadro N°28, en el que además se ha incluido la red pluviométrica general actual o objeto de ver la situación del escenario actual en el contexto internacional.

En base a la información del Cuadro N°29, considerando aquellos países similares al nuestro en cuanto a características climáticas y geomorfológicas, se podría llegar a obtener una cobertura similar a la que presenta México o Australia.

**Cuadro N°28. Comparación de cobertura de estaciones pluviométricas por países**

PAÍS	AREA [Km <sup>2</sup> ]	PLUVIOMETRÍA	TELEMETRÍA	OTROS	TOTAL	DENSIDAD [Km <sup>2</sup> /EST]
SUD AFRICA	1.221.037	1.096	0	0	1.096	1.114
JAPON	377.682	3.799	1.455	33	5.287	71
RUSIA (PARTE ASIATICA)	17.881.000	6.063	0	0	6.063	2.949
RUSIA (PARTE EUROPA)	5.571.000	1.943	0	0	1.943	2.867
ARGENTINA	2.776.889	4.696	90	2	4.788	580
COLOMBIA	1.141.748	2.367	0	0	2.367	482
PERU	1.285.216	478	0	0	478	2.689
URUGUAY	176.215	549	0	0	549	321
CANADA	9.976.185	3.085	288	17	3.390	2.943
MEXICO	1.972.547	2.453	0	0	2.453	804
EEUU	9.355.615	12.209	682	56	12.947	723
AUSTRALIA	7.682.300	9.285	177	0	9.462	812
NUEVA ZELANDIA	268.675	2.921	165	0	3.086	87
FILIPINAS	300.000	523	113	2	638	470
AUSTRIA	83.849	1.063	0	0	1.063	79
FRACIA	551.695	5.320	0	0	5.320	104
ISRAEL	27.000	638	0	0	638	42
ITALIA	301.225	3.600	0	0	3.600	84
PORTUGAL	92.082	892	0	0	892	103
ESPAÑA	504.782	4.820	259	--	5.079	99
GRAN BRETAÑA	244.046	4.930	311	12	5.253	46
<b>PROMEDIO</b>					3.638	832
<b>MAX</b>					12.947	2.949
<b>MIN</b>					478	42
<b>DESV.EST.</b>					3.181	1.056

Fuente: WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, OPERATIONAL HYDROLOGY REPORT N° 28, 1995.

**Cuadro N°29. Comparación de cobertura de estaciones pluviométricas por países.**

PAÍS	DENSIDAD [Km <sup>2</sup> /EST]
ISRAEL	42
GRAN BRETAÑA	46
JAPON	71
AUSTRIA	79
ITALIA	84
NUEVA ZELANDA	87
ESPAÑA	99
PORTUGAL	103
FRANCIA	104
URUGUAY	321
FILIPINAS	470
COLOMBIA	482
ARGENTINA	580
EEUU	723
INDIA	742
MEXICO	804
AUSTRALIA	812
SUD AFRICA	1.114
CHILE (*)	1.173
PERU	2.689
RUSIA (PARTE EUROPA)	2.867
CANADA	2.943
RUSIA (PARTE ASIATICA)	2.949

Fuente: WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION,  
 OPERATIONAL HYDROLOGY REPORT N° 28, 1995.  
 INM. Instituto Nacional de Meteorología. España.  
 (\*) Red Pluviométrica Actual.

### *II.3.3. Criterios de la Organización Mundial de Meteorología.*

La OMM presenta una serie de consideraciones generales para la determinación de densidades de redes mínimas. Para esto además han definido seis tipos de regiones fisiográficas:

- i. Zona Costera.
- ii. Zona Montañosa.
- iii. Llanuras interiores.
- iv. Zonas escarpadas / ondulantes.
- v. Islas pequeñas
- vi. Zonas polares y áridas.

La densidad mínima de estaciones pluviométricas se presenta en el Cuadro N°30. Estos valores no se aplican ni a grandes desiertos, ni a grandes extensiones de hielo

**Cuadro N°30. Densidad mínima recomendada por la OMM para estaciones pluviométricas (Km<sup>2</sup>/Estación).**

UNIDAD FISIAGRÁFICA	ESTACION SIN REGISTRO	ESTACION CON REGISTRO
Zona Costera	900	9.000
Zona Montañosa	250	2.500
Llanuras interiores	575	5.750
Zonas escarpadas / Ondulantes	575	5.750
Pequeñas islas	25	250
Zonas urbanas	--	10 a 20
Zonas Polares y Áridas	10.000	100.000

Fuente: Guía de Prácticas Hidrológicas. 1994

#### *II.3.4. Análisis del consultor.*

Analizando los antecedentes recopilados de estudios anteriores, experiencia internacional y criterios de la OMM, se ha llegado a la conclusión de que la red propuesta de estaciones pluviométricas deberá considerar la implementación de las 127 estaciones faltantes de la propuesta del estudio “Análisis de la Red Hidrometeorológica Nacional” de 1985, lo que significa un incremento del 29% en la red de la DGA. y un 20% en la red Hidrometeorológica. Esto debido a que el estudio antes mencionado es un estudio acabado de la situación de la época, el cual consideró tanto, aspectos técnicos, criterios internacionales y situación internacional. Por lo que parece lógico, la implementación de las estaciones faltantes.

Dicha propuesta se presenta a continuación, de forma tal que las estaciones han sido agrupadas según la siguiente caracterización.

- Árida (A): Primera, segunda, tercera y cuarta región.
- Mediterránea (B): Quinta, sexta, séptima, octava y región metropolitana.
- Frío (C): Novena, décima, undécima y duodécima región.

**Cuadro N°31. Red propuesta por región.**

ZONA	RED PROPUESTA PLUVIOMETRICA	ÁREA [Km <sup>2</sup> ]	DENSIDAD [Km <sup>2</sup> /EST]	INCREMENTO
A	197	301.372	1.530	27,92%
B	286	115.341	403	17,21%
C	254	298.902	1.177	19,81%

Bajo esta agrupación podemos comparar cada zona con países que presenten condiciones similares, y poder comparar la situación de la red propuesta.

De la comparación propuesta se puede decir:

La red es comparable a los criterios establecidos por la OMM, pero menores a países con los que pueden realizarse comparaciones climáticas y topográficas.

Se considera que la cifra propuesta es aceptable y se ajusta al escenario que es posible implementar.

La zona B presenta valores aceptables presentados en el Cuadro N°32.

Es sabido que las posibilidades reales de implementar en las zonas A y C densidades similares a las presentadas por países de similar clima son muy restringidas.

#### **II.4. Determinación de costos.**

En base a los puntos anteriormente mencionados, la preparación de la propuesta para la ampliación de la densidad de las estaciones pluviográficas, parece lógico pensar que el aumento de puntos de medición debe comenzar por implementación de las estaciones que faltan por ser implementadas de la propuesta de 1985. En base a lo señalado anteriormente los costos asociados son los que se detallan a continuación.

Asumiendo la construcción del tipo de estaciones pluviométricas. La implementación de la red faltante ascenderá a M\$254.000. En el Cuadro N°32 se presenta el costo por región.



**Cuadro N°32. Costo de Infraestructura y Equipamiento por Actualización  
(M\$ 2006).**

REGIÓN	N° ESTACIONES POR IMPLEMENTAR	INFRAESTRUCTURA (Costo Nacional)	EQUIPOS (Costo Importado)	COSTO TOTAL (*)
I	17	20.400	13.600	34.000
II	6	7.200	4.800	12.000
III	11	13.200	8.800	22.000
IV	9	10.800	7.200	18.000
V	6	7.200	4.800	12.000
VI	5	6.000	4.000	10.000
VII	15	18.000	12.000	30.000
VIII	12	14.400	9.600	24.000
IX	2	2.400	1.600	4.000
X	17	20.400	13.600	34.000
XI	13	15.600	10.400	26.000
XII	10	12.000	8.000	20.000
RM	4	4.800	3.200	8.000
TOTAL	127	152.400	101.600	254.000
Nota: (*) COSTO UNITARIO DE ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA CON DATA LOGGER: (M\$) 2.000				

En el Anexo N°1, donde se presenta un análisis de la red hidrometeorológica actual de la DGA, se puede deducir un valor promedio de operación, manejo y conservación de una estación hidrometeorológica, el cual asciende a aproximadamente \$ 700.000 anuales. Asumiendo ese valor como válido para una estación pluviométrica, el costo anual de operación y mantenimiento llega a los \$ 88.900.000 anuales, los que se presentan en forma desglosada por región en el Cuadro N°33.

**Cuadro N°33. Costo de Operación y Mantenimiento Anual.**

<b>REGIÓN</b>	<b>N° ESTACIONES POR IMPLEMENTAR</b>	<b>COSTO TOTAL (M\$ 2006)</b>
I	17	11.900
II	6	4.200
III	11	7.700
IV	9	6.300
V	6	4.200
VI	5	3.500
VII	15	10.500
VIII	12	8.400
IX	2	1.400
X	17	11.900
XI	13	9.100
XII	10	7.000
RM	4	2.800
<b>TOTAL</b>	<b>127</b>	<b>88.900</b>

## **II.5. Plan M2. Incremento de Número de Estaciones Meteorológicas Satelitales.**

El objetivo de este punto analizar la red de medición de variables hidrometeorológicas en tiempo real, y realizar una propuesta de ampliación de ésta.

En la actualidad, contar con información en tiempo real es de suma importancia, tanto para organismos de administración, seguridad, protección civil, como para distintos sectores productivos, debido a que este tipo de información puede ser crítica para el desarrollo de sus operaciones.

Para lograr el objetivo se plantea realizar:

1. Análisis de experiencia internacional.
2. Análisis y complementación con la red de medición satelital de variables meteorológicas con la correspondiente a la medición de caudales.

El análisis de experiencia internacional consiste en una comparación entre distintos países, en la cual se tomarán en cuenta:

- Porcentaje de estaciones telemétricas (con respecto al total de estaciones del país de interés).
- Densidad de estaciones telemétricas en el país de interés.

Los indicadores anteriores son medidos para la red hidrometeorológica actual de la DGA y como ésta se encuentra en el contexto internacional. Se considerará llegar al nivel del país que se encuentra en el nivel inmediatamente superior, tanto en porcentaje, como en cobertura.

Adicionalmente, el análisis consideró la posibilidad de complementar las red en tiempo real de variables meteorológicas y fluviométricas, considerando que la implementación de los equipos tendrá costos que se pueden considerar marginales.

## **II.6. Definición del programa.**

### *II.6.1. Análisis de Experiencia Internacional.*

La situación actual de la red hidrometeorológica telemétrica es de 78 estaciones de plataforma satelital, desde la más simple, que mide precipitación, hasta las más completas que miden precipitación, temperatura, humedad relativa,

entre otros parámetros. Se incluye en esta lista las estaciones de ruta de nieve con plataforma satelital.

Las 78 estaciones telemétricas (69 tipo 1 y 9 tipo 2) se distribuyen a lo largo de las regiones del país tal como se desglosa en el Cuadro N°34.

**Cuadro N°34. Configuración por región de la red hidrometeorológica actual.**

Región	Estaciones Convencionales (DGA + Otros)	Estaciones Telemétricas (Tipo 1)	Estaciones Telemétricas (Tipo 2)	Total Estaciones
I	42	6	0	48
II	34	7	0	41
III	31	1	1	33
IV	65	1	3	69
V	61	6	1	68
VI	32	7	1	40
VII	55	10	1	66
VIII	54	5	1	60
IX	53	4	0	57
X	59	2	0	61
XI	34	8	0	42
XII	45	8	0	53
R.M	54	4	1	59
TOTALES	619	69	9	697

Notas:  
 Tipo 1. Incluye las estaciones con plataforma satelital, excluyendo las rutas de nieve  
 Tipo 2. Incluye las estaciones con plataforma satelital de rutas de nieve

Fuente: "Análisis de la Red Hidrometeorológica Nacional". Tomos I, II y III. 1985. "Catastro de Estaciones Meteorológicas". Dirección General de Aguas. 2006.

A continuación el análisis que se hará será a las estaciones tipo 1.

Las estaciones telemétricas corresponden al 11,15 % del total de las estaciones de la red hidrometeorológica, y representa una densidad absoluta de 10.371 Km<sup>2</sup>/Estación.

A continuación en el Cuadro N°35, se presenta las estaciones telemétricas tipo 1 y su densidad según la siguiente clasificación:

- Árida (A): Primera, segunda, tercera y cuarta región.
- Mediterránea (B): Quinta, sexta, séptima, octava y región metropolitana.
- Frío (C): Novena, décima, undécima y duodécima región.

**Cuadro N°35. Comparación de Escenarios por Zona de Red Actual.**

Zona	Estaciones Convencionales (DGA + Otros)	Red Telemétricas	Área [Km <sup>2</sup> ]	Densidad [Km <sup>2</sup> /Est]	Porcentaje del Total
A	172	15	301.372	20.091	8,72%
B	256	32	115.341	3.604	12,50%
C	191	22	298.902	13.586	11,52%

Presentada la situación de la red actual, el paso siguiente es presentar los resultados de los distintos países seleccionados para la comparación. Esta información se presenta en forma resumida en el Cuadro N°36.

**Cuadro N°36. Situación Internacional.**

País	Area [Km <sup>2</sup> ]	Estaciones Convencionales	Telemetría	Total	Densidad Telemetría [Km <sup>2</sup> /Est]	% Telemetría
JAPON	377.682	3.799	1.455	5.254	260	27,69%
ARGENTINA	2.776.889	4.696	90	4.786	30.854	1,88%
CANADA	9.976.185	3.085	288	3.373	34.640	8,54%
MEXICO	1.972.547	2.940	94	3.034	20.985	3,10%
EEUU	9.355.615	12.209	682	12.891	13.718	5,29%
AUSTRALIA	7.682.300	9.285	177	9.462	43.403	1,87%
NUEVA ZELANDA	268.675	2.921	165	3.086	1.628	5,35%
FILIPINAS	300.000	523	113	636	2.655	17,77%
GRAN BRETAÑA	244.046	4.930	311	5.241	785	5,93%
ESPAÑA	504.782	4.820	259	5.079	1.949	5,10%

Fuente: WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, OPERATIONAL HYDROLOGY REPORT N° 28, 1995.

INM. Instituto Nacional de Meteorología. España.

Libro Blanco del Agua en España. 1998.

En base a los datos presentados en el Cuadro N°35 y Cuadro N°36, los escenarios que se proponen son:

- La Zona A es asimilable a países como México o Australia, con densidades superiores a los 20.000 Km<sup>2</sup>/Est; valor que corresponde a la actual densidad de la red. De este modo no se presentan exigencias de incremento del número de estaciones satelitales en la zona.
- La Zona B es asimilable a países como Nueva Zelanda o España, por lo que parece razonable alcanzar densidades similares en telemetría,

siguiendo este criterio se estima razonable llegar a una densidad de 1800 Km<sup>2</sup>/Est, que corresponde a un promedio entre las densidades Nueva Zelanda y España, lo que significa un aumento de 32 estaciones nuevas.

- La zona C es asimilable a países como Canadá, que presenta una densidad muy baja, inferior a la existente. Por esta razón no existirían requerimientos para mejorar la densidad de la red en esta zona.

En el Cuadro 37 se presenta el incremento de estaciones en cada zona propuesta, de acuerdo a este enfoque.

**Cuadro N°37. Incremento de Estaciones Telemétricas.**

Zona	Nº Estaciones Telemétricas Total Final	Incremento Estaciones Telemétricas
A	15	0
B	64	32
C	22	0

Debe quedar claro que el incremento de estaciones no se refiere a la creación de nuevas estaciones, sino a la modernización de estaciones más antiguas, que no cuentan con el sistema de plataforma satelital.

Completado el análisis de las estaciones tipo 1, a continuación viene el análisis de las estaciones tipo 2.

Para el análisis de las estaciones satelitales con ruta de nieve, el escenario identificado como adecuado se extiende entre las regiones IV y VIII. Para esto se identificaron las principales cuencas en estas regiones. A continuación se presenta un listado con estas cuencas.

**Cuadro N°38. Principales Cuencas Nivales. Propuesta de Red Mínima.**

<b>N°</b>	<b>CUENCA</b>	<b>REGION</b>
1	RIO TURBIO	IV
2	RIO GRANDE	IV
3	RIO ILLAPEL	IV
4	RIO CHOAPA	IV
5	RIO PUTAENDO	V
6	RIO COLORADO	V
7	RIO COYA	VI
8	RIO PANGAL	VI
9	RIO CACHAPOAL	VI
10	RIO TINGUIRIRICA	VI
11	RIO TENO	VII
12	RIO COLORADO	VII
13	RIO CIPRESES	VII
14	RIO MAULE	VII
15	RIO MELADO	VII
16	RIO ÑUBLE	VIII
17	RIO DIGUILLIN	VIII
18	RIO LAJA	VIII
19	RIO BIOBIO	VIII
20	RIO MAIPO	RM

Se considera que con una ruta de nieve con plataforma satelital en cada una de estas cuencas se abarca el escenario antes descrito.

La red actual de rutas de nieve con plataforma satelital incluye 9 estaciones entre la III y la VIII región, en la tabla siguiente se presenta un resumen de estas estaciones.

**Cuadro N°39. Rutas de Nieve con Plataforma Satelital.**

ESTACIÓN	REGION	ESTE	NORTE
PORTEZUELO EL GAUCHO - DCP	3	401.359	6.834.945
CERRO VEGA NEGRA - DCP	4	355.069	6.578.597
QUE. LARGA COTA 3500 - DCP	4	369.133	6.600.950
EL SOLDADO - DCP	4	374.049	6.458.734
PORTILLO - DCP	5	395.482	6.366.581
TERMAS DEL FLACO - DCP	6	379.648	6.140.891
LO AGUIRRE - DCP	7	358.788	6.014.852
ALTO MALLINES - DCP	8	300.827	5.889.766
LAGUNA NEGRA - DCP	R.M	394.924	6.274.168

En la tabla siguiente se muestra el listado de las rutas de nieve convencional.

**Cuadro N°40. Rutas de Nieve Convencionales entre la IV y VIII región.**

ESTACIÓN	REGION	ESTE	NORTE
LAS ARENAS	R.M	404.344	6.259.481
LAGUNA NEGRA	R.M	394.924	6.274.168
BARROS NEGROS	R.M	382.133	6.309.137
ESTERO PLOMO	R.M	375.552	6.338.628
CERRO LA GLORIA	8	288.298	5.946.825
ALTO VOLCAN	8	284.478	5.920.824
VOLCAN CHILLAN	8	284.525	5.918.974
LA DORMIDA	7	340.488	6.114.404
CHAPA VERDE	6	369.239	6.231.336
NACIMIENTO DEL SOBRANTE	5	361.729	6.438.246
PORTILLO	5	395.482	6.366.581
CERRO OLIVARES	4	408.599	6.653.081
CERRO VEGA NEGRA	4	355.069	6.578.597
QUEBRADA LARGA COTA 3500	4	369.133	6.600.950
EL SOLDADO	4	374.049	6.458.734

Al convertir todas las rutas de nieve convencional a ruta de nieve con plataforma satelital teniendo en cuenta que muchas de las estaciones del Cuadro N°40 se repiten del Cuadro N°39, la red mínima será satisfecha excepto en las regiones VI y VII. Finalmente se llegaría a un total de 24 rutas de nieve con plataforma satelital. En la tabla siguiente se presenta un resumen por región.



**Cuadro N°41. Resumen Rutas de Nieve.**

REGION	RED MÍNIMA	RED ACTUAL	RED TODAS CONVERTIDAS	FALTANTES RED MÍNIMA	RED FINAL PROPUESTA
3	0	1	1	0	1
4	4	3	4	0	4
5	2	1	2	0	2
6	4	1	2	2	4
7	5	1	2	3	5
8	4	1	4	0	4
R.M	1	1	4	0	4
TOTAL					24

El análisis anterior entrega un número final de 32 estaciones tipo 1 y 10 estaciones tipo 2 modernizadas y 5 estaciones tipo 2 nuevas, lo que daría un número total de 47 estaciones satelitales nuevas.

*II.6.2. Complementación con la red fluviométrica de medición de parámetros en tiempo real.*

Los beneficios asociados a la implementación de una red de medición de parámetros en tiempo real de variables fluviométricas se han vistos con algún detalle en el capítulo anterior. Estos se verían aumentados con la complementación de parámetros hidrometeorológicos. Por otro lado, desde un punto de vista de costos la inclusión de estas variables en dicha red es marginal, debido a que sólo se trata de la incorporación de ciertos equipos (sensores) cuyo costo es comparativamente mucho menor a la estación en sí.

La red fluviométrica de medición de parámetros en tiempo real propuesta contempla 150 estaciones para que sean implementadas por la DGA<sup>1</sup>. Se recomienda por tanto la complementación entre ambas redes de medición de parámetros en tiempo real, lo que implica la implementación de 150 estaciones con parámetros hidrometeorológicos en tiempo real.

<sup>1</sup> También se considera un programa complementario de 100 estaciones que corresponden a unidades ubicadas en canales particulares, cuya implementación les correspondería a estos usuarios.

### II.6.3. Análisis del consultor.

Dado que la implementación las 150 estaciones de medición de variables en tiempo real propuestas como una integración con la red fluviométrica medición de parámetros en tiempo real supera a la propuesta del incremento en 32 estaciones obtenida de la comparación con otros países; se ha escogido la propuesta de las 150 estaciones nuevas.

Con respecto a las rutas de nieve con plataforma satelital se ha decidido llegar a un número de 28 estaciones entre las regiones IV y VIII.

### II.7. Determinación de costos.

En base a lo mencionado anteriormente, los costos de implementación serán en base a la compra de equipos, gracias a que se utilizará la infraestructura y data loggers de la red fluviométrica en tiempo real.

En el Cuadro N°42 se presentan los resultados de los costos de implementación.

**Cuadro N°42. Costo de Implementación.**

ITEM	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	PRECIO TOTAL
SENSOR DE PRECIPITACIÓN	\$ 390.000	150	\$ 58.500.000
SENSOR DE HUMEDAD Y TEMPERATURA	\$ 780.000	150	\$ 117.000.000
TOTAL			\$ 175.500.000

Fuente: Presupuesto equipos estación hidrometeorológica. Marca Stevens. Presupuesto realizado 04-01-2007

La implementación de las rutas de nieve con plataforma satelital significará la actualización de 15 rutas de nieve normales a rutas de nieve con plataforma satelital, esto significará un costo de \$7.000.000 por cada una de las estaciones. Junto con la actualización se deberán crear 5 rutas de nieve con plataforma satelital nuevas cada una con un costo de \$10.000.000. A continuación se presenta una tabla resumen con los costos de implementación de las rutas de nieve con plataforma satelital.

**Cuadro N°43. Costo de Implementación Rutas de Nieve con Plataforma Satelital.**

<b>TIPO DE MEJORA</b>	<b>N°</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
ACTUALIZACIÓN	15	\$ 7.000.000	\$ 105.000.000
NUEVA	5	\$ 10.000.000	\$ 50.000.000
		TOTAL	\$ 155.000.000

## **II.8. Plan M3. Aumento de la Densidad Media de las Estaciones Hidrometeorológicas. Temperatura.**

La importancia de la información de temperatura radica en los usos que se le puede dar, por ejemplo, es primordial para poder tener una estimación más correcta de líneas de nieve. Así como también es de gran importancia para el cálculo de distintos tipos de balances de energía, por ejemplo para el cálculo de balances hídricos en cuencas cerradas en el norte, con la temperatura se puede obtener en forma indirecta estimaciones de la evapotranspiración o evaporación. También es de gran importancia en el cálculo de los deshielos de glaciares, entre otros usos que se le da a este tipo de información.

El objetivo de este punto es el realizar un análisis de la red existente, y proponer mejoramientos que se estimen necesarios para definir una red que sea capaz de proveer la información suficiente, para el análisis del desarrollo y planificación del aprovechamiento de los recursos hídricos en las distintas zonas del país. Para esto se plantea el análisis de los siguientes puntos.

1. Análisis de estudios anteriores.
2. Análisis de experiencia internacional (México)
3. Criterios de la O.M.M.

### *II.8.1. Análisis de Estudios Anteriores.*

En 1985 la DGA planteó el problema de la implementación de una red hidrometeorológica crítica, bajo este concepto se generó el estudio “Análisis de la Red Hidrometeorológica Nacional”.

En base a este estudio se analizará que estaciones han sido implementadas y cuantas faltaría por implementar. Para esto el análisis consistirá en la recopilación de la red propuesta por ese estudio y se comparará con la red que actualmente maneja la DGA. Además, se verá si existen estaciones propuestas para la red crítica que hayan sido implementadas y luego suprimidas.

En base a lo anterior se propondrá el aumento de la densidad, en base a las estaciones faltantes.

### *II.8.2. Experiencia Internacional.*

Se realizó una comparación detallada con la información de distintos países, siendo México el único país que presenta la información requerida para realizar el análisis.

### *II.8.3. Criterios de la Organización Mundial de Meteorología (O.M.M.).*

Finalmente es necesario comparar la red chilena en base a los criterios del organismo que presenta las directrices que se deberían tomar. La OMM tiene especial cuidado recalcar en la temperatura debe estar asociada a mediciones de evaporación y nieve.

## **II.9. Definición del programa.**

### *II.9.1. Análisis de estudios anteriores.*

La situación actual de la red hidrometeorológica es de 157 estaciones que miden múltiples variables, desde la más simple que mide precipitación, con temperatura hasta las más complejas (plataformas satelitales).

Estas 157 estaciones se distribuyen a lo largo de las regiones del país tal como se presenta en el Cuadro N°44.

**Cuadro N°44. Red Estaciones de Medición de Temperatura DGA Actual.**

REGIÓN	N° ESTACIONES	AREA [Km <sup>2</sup> ]	COBERTURA [Km <sup>2</sup> /EST]
I	13	58.698	4.515
II	18	126.444	7.025
III	11	75.573	6.870
IV	15	40.656	2.710
V	7	16.396	2.342
VI	2	16.341	8.171
VII	10	30.325	3.033
VIII	6	36.929	6.155
IX	13	31.842	2.449
X	7	68.013	9.716
XI	24	67.013	2.792
XII	20	132.034	6.602
R.M	11	15.349	1.395
TOTAL	157	715.614	4.558

Fuente: "Catastro de Estaciones Meteorológicas". Dirección General de Aguas. 2006

A continuación en el Cuadro N°45 se presenta la red de temperatura propuesta en el estudio "Análisis de la Red Hidrometeorológica Nacional" de 1985. La división se ha hecho por zona: Norte: I a IV región, Centro: V a VII región, incluida región metropolitana y Sur: VIII a XII región.

En el Cuadro N°46 se muestra la propuesta para la nueva red de temperaturas, la que conlleva un aumento de 56 estaciones a lo largo del país.

**Cuadro N°45. Red de Temperatura Procuapuesta por Zona**

Región	N° Estaciones DGA	N° Estaciones DMC	N° Estaciones Otros	N° Estaciones Nuevas	N° Estaciones Total	Area [Km <sup>2</sup> ]	Densidad [Km <sup>2</sup> /Est]
I, II, III y IV	69	18	6	36	129	301.372	2.336
V, VI, VII y R.M	35	17	4	8	64	78.412	1.225
VIII, IX, X, XI y XII	24	33	18	23	98	335.831	3.427
<b>TOTALES</b>	<b>128</b>	<b>68</b>	<b>28</b>	<b>67</b>	<b>291</b>	<b>715.615</b>	<b>2.459</b>

Fuente: "Análisis de la Red Hidrometeorológica Nacional". Tomos I, II y III. 1985. "Catastro de Estaciones Meteorológicas". Dirección General de Aguas. 2006.

**Cuadro N°46. Red de Temperatura Propuesta Actual.**

Región	N° Estaciones DGA Actual	N° Estaciones Nuevas (*)	N° Estaciones Nuevas (**)	N° Estaciones Nuevas (***)	N° Estaciones DGA Propuesta	N° Estaciones DMC	N° Estaciones Otros	N° Estaciones Total	Area [Km <sup>2</sup> ]	Densidad [Km <sup>2</sup> /Est]
I, II, III y IV	57	5	3	31	88	18	6	112	301.372	2.691
V, VI, VII y R.M	30	0	0	8	38	17	4	59	78.412	1.329
VIII, IX, X, XI y XII	70	6	0	17	87	33	18	138	335.831	2.434
<b>TOTALES</b>	<b>157</b>	<b>11</b>	<b>3</b>	<b>56</b>	<b>213</b>	<b>68</b>	<b>28</b>	<b>309</b>	<b>715.615</b>	<b>2.316</b>

Notas:

(\*) ESTACIONES NUEVAS RED CRÍTICA IMPLEMENTADAS EN RED ACTUAL

(\*\*) ESTACIONES NUEVAS RED CRITICA IMPLEMENTADAS EN RED, PERO SUPRIMIDAS

(\*\*\*) ESTACIONES NUEVAS RED CRITICA POR IMPLEMENTAR, INCLUYENDO LAS QUE FUERON SUPRIMIDAS

Fuente: "Análisis de la Red Hidrometeorológica Nacional". Tomos I, II y III. 1985. "Catastro de Estaciones Meteorológicas". Dirección General de Aguas. 2006.

### II.9.2. Experiencia internacional.

A continuación en el Cuadro N°47 se presenta una comparación de las estaciones de temperatura de México y España, países que se consideran representativos, tanto en clima como en condiciones topográficas, a lo que es Chile.

**Cuadro N°47. Comparación con México y España.**

PAÍS	N° ESTACIONES TOTAL	AREA [Km <sup>2</sup> ]	COBERTURA [Km <sup>2</sup> /EST]
MEXICO	2.778	1.972.547	710
ESPAÑA	2.323	504.782	217

Fuente: WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, OPERATIONAL HYDROLOGY REPORT N° 28, 1995.  
INM. Instituto Nacional de Meteorología. España.  
Libro Blanco del Agua en España. 1998.  
Comisión Nacional del Agua. Mexico.

Ambos países presentan una cobertura mayor que la presentada por la red actual, pero llegar a los valores presentados por ambos países se aleja totalmente a lo que es aceptable en la situación actual.

### II.9.3. Criterios de la O.M.M.

La OMM aborda el tema de estaciones climatológicas, y en ellas se trata de manera integrada la temperatura, junto con humedad, viento, etc. Estas variables deberán ser medidas en estaciones de sondeo nivométrico y evaporación. Dado que se ha dejado el tema de nieve de lado, los criterios de la OMM que serán considerados para este punto son los criterios para estaciones de evaporación.

Las normas recomendadas para una red mínima de estaciones de evaporación, en zonas de fisiografía uniforme, figuran en el Cuadro N°48.



**Cuadro N°48. Densidad mínima de estaciones de evaporación (O.M.M).**

<b>UNIDAD FISIAGRÁFICA</b>	<b>DENSIDAD MINIMA POR ESTACIÓN [Km<sup>2</sup>/EST]</b>
Zona Costera	50.000
Zona Montañosa	50.000
Llanuras interiores	50.000
Zonas escarpadas / Ondulantes	50.000
Pequeñas islas	50.000
Zonas urbanas	--
Zonas Polares y Áridas	100.000

Fuente: Guía de Prácticas Hidrológicas. 1994.

*II.9.4. Análisis del Consultor.*

Análogamente a lo expresado en el análisis para la red pluviométrica, en base a los antecedentes descritos, tanto de estudios anteriores, como de experiencia internacional, la propuesta de incremento de la red de estaciones hidrometeorológicas (temperaturas) se basa en la implementación de las estaciones faltantes de la propuesta realizada en el estudio “Análisis de la Red Hidrometeorológica Nacional” de 1985, esto lleva a la implementación 56 estaciones nuevas. Este incremento significa un aumento aproximado del 36% en la red de la DGA.

**II.10. Determinación de Costos.**

Para el cálculo de los costos de infraestructura y equipamiento se ha supuesto la implementación de estaciones hidrometeorológicas mas completas, que son las llamadas estaciones climatológicas, cuyo costo unitario de infraestructura es de (M\$) 10.000 y equipamiento es de (M\$) 5.000.

**Cuadro N°49. Costo de Infraestructura y Equipamiento por Actualización.**

<b>REGIÓN</b>	<b>N° ESTACIONES POR IMPLEMENTAR</b>	<b>INFRAESTRUCTURA (Costo Nacionales)</b>	<b>EQUIPOS (Costos Importado)</b>	<b>COSTO TOTAL (M\$)</b>
I, II, III y IV	31	310.000	155.000	465.000
V, VI, VII y R.M	8	80.000	40.000	120.000
VIII, IX, X, XI y XII	17	170.000	85.000	255.000
<b>TOTALES</b>	<b>56</b>	<b>560.000</b>	<b>280.000</b>	<b>840.000</b>

El programa de implementación de las 56 estaciones hidrometeorológicas propuestas tiene un costo de \$840.000.000.

Con la totalidad de las estaciones implementadas será necesario contar un presupuesto extra anual de \$ 39.200.000, el que será destinado al manejo, operación y mantención de las estaciones nuevas implementadas.

### **III. PROPUESTA DE RED FUTURA DE CALIDAD DE AGUAS.**

#### **III.1. Introducción.**

Dentro del presente capítulo se ha realizado un análisis de las componentes involucradas para la propuesta de una red de calidad de las aguas. Primero se ha realizado un análisis de las redes propuestas en el marco de la normativa de calidad secundaria. A continuación se revisan las conveniencias del registro continuo y en que casos se aplicaría. También se mencionan las ventajas de incorporar indicadores bióticos (bioindicadores) dentro de la red de calidad. Por último se hace referencia a la red de calidad que involucraría a los lagos.

#### **III.2. Programa de Mejoramiento Red de Calidad de Aguas Para Cursos Superficiales de Aguas.**

##### *III.2.1. Fundamentación.*

El programa de mejoramiento de la red de calidad para los cursos de aguas superficiales se desarrolla en el presente estudio, orientado fundamentalmente a la redefinición de la red, al aumento de la densidad de la red, a la incorporación de nuevos parámetros y a un aumento de la frecuencia de los muestreos.

##### *III.2.2. Aspectos Metodológicos.*

Para abordar la propuesta de una red de calidad se ha incorporado dentro del presente estudio el análisis de las redes de calidad propuestas dentro del marco de las normas de calidad secundaria. Esto se realiza debido a que esta normativa se pondrá pronto en vigencia y en ella se incorporan nuevas estaciones y parámetros a la red, además de un aumento de la frecuencia de los muestreos. Se hace evidente que no tiene sentido proponer un programa alternativo al cumplimiento del compromiso estratégico que significa la implementación de las normas secundarias y cualquier mejoramiento a la red actual se debe hacer en forma coordinada con dichas normas.

Conforme a lo anterior se desarrollo el presente capítulo basado en el estudio desarrollado para la DGA por DGA/Cade-Idepe: "Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad

### III.2.3. Definición del Programa de Mejoramiento.

Para definir el programa de mejoramiento de la red de calidad de aguas superficiales se revisarán los estudios existentes en Chile sobre este tema, se incorporará referencias internacionales, se incorporará la experiencia del consultor y finalmente se expone la propuesta para la red mejorada.

#### III.2.3.1. Estudios nacionales existentes.

El primer estudio correspondiente a la red de calidad de aguas se refiere a la red básica propuesta a través del Informe “Análisis Crítico de la red Fluviométrica Nacional: Red de Calidad de Aguas”, desarrollado entre los años 1983 y 1984, contempla los parámetros presentados en el Cuadro N°50.

**Cuadro N°50. Parámetros a controlar.**

I y II Región <sup>1</sup>	III, IV y V <sup>2</sup>	RM, IV y VII <sup>3</sup>	VIII, IX y X <sup>4</sup>
pH Conductancia específica Temperatura Sodio Potasio Calcio Magnesio Cobre Fierro Sulfato Cloruro Bicarbonato Carbonato Arsénico Boro	pH Conductancia específica Temperatura Oxígeno Disuelto Sodio Potasio Calcio Magnesio Cobre Fierro Sulfato Cloruro Bicarbonato Carbonato DQO Nitrato Fosfato Arsénico Boro Fenoles Mercurio Cianuro	pH Conductancia específica Temperatura Sodio Potasio Calcio Magnesio Cobre Fierro Sulfato Cloruro Bicarbonato Carbonato Arsénico Boro	pH Conductancia específica Temperatura Oxígeno Disuelto Sodio Potasio Calcio Magnesio Cobre Fierro Sulfato Cloruro Bicarbonato Carbonato DQO Nitrato Fosfato Arsénico Boro Fenoles Mercurio Cianuro
Notas: <sup>1</sup> Frecuencia de muestreo 2 veces al año para todos los parámetros (altos y bajos caudales) <sup>2</sup> Frecuencia de muestreo trimestral, 4 veces al año (estiaje, deshielo, lluvia y riego intenso) <sup>3</sup> Frecuencia de muestreo 2 veces al año, excepto para estaciones en cuenca río Cachapoal con 4 veces al año <sup>4</sup> Frecuencia de muestreo trimestral, 4 veces al año (estiaje, deshielo, lluvia y riego intenso) Fuente: Análisis Crítico de la red Fluviométrica Nacional: Red de Calidad de aguas (1983-1984)			

En resumen las estaciones por región se distribuyen de acuerdo al Cuadro N°51.

**Cuadro N°51. Resumen de estaciones por región “Análisis Crítico”.**

Región	Red Primaria	Secundaria	N° Total de Estaciones
I	13	10	23
II	13	1	14
III	13	2	15
IV	30	2	32
V	21	1	22
VI	8	5	13
VII	14	4	18
VIII	25	8	33
IX	12	6	18
X	21	5	26
XI	0	0	0
XII	0	0	0
RM	14	7	21
<b>Total</b>	<b>184</b>	<b>51</b>	<b>235</b>

Fuente: Análisis Crítico de la red Fluviométrica Nacional: Red de Calidad de aguas (1983-1984)

La red propuesta como red primaria considera solo ríos para el control de la calidad de las aguas. Actualmente se controlan además pozos (aguas subterráneas) y cuerpos lénticos (lagos y embalses). En el Cuadro N°52 se comparan las cantidades de estaciones propuestas en el análisis crítico y las actuales.

**Cuadro N°52. Comparación entre estaciones actuales y propuesta del análisis crítico.**

Región	N° Total de Estaciones Análisis Crítico	N° Total de Estaciones Actuales (2003)	Diferencia de Estaciones
I	23	25	2
II	14	20	6
III	15	17	2
IV	32	42	10
V	22	25	3
VI	13	20	7
VII	18	26	8
VIII	33	30	-3
IX	18	21	3
X	26	36	10
XI	0	19	19
XII	0	37	37
RM	21	25	4
Total	235	343	108

Fuente: Elaboración propia basado en Análisis Crítico de la red Fluviométrica Nacional: Red de Calidad de aguas (1983-1984) y Catastro red actual actualizado (2003)

De acuerdo a la información del Cuadro N°52, se puede ver que el número de estaciones actuales supera a las propuestas en el análisis crítico, incluso considerando en conjunto la red primaria y secundaria del análisis crítico. La mayor diferencia la marcan las regiones XI y XII (56 estaciones), debido a que esas regiones no se consideraron dentro del análisis crítico.

La frecuencia actual de las mediciones (3 a 6 veces al año) en general es más alta a la propuesta (2 a 4 veces al año). También hay un incremento en los parámetros que se muestrean. El análisis crítico de la red sugiere muestrear en general 23 parámetros. Actualmente se muestrean 31 parámetros.

Un estudio relevante para lo que significa el mejoramiento de las redes es el estudio realizado el año 1999 como parte del "Programa de Manejo de Recursos Hídricos" (PMRH, MOP). De acuerdo a este estudio en lo que se refiere al muestreo de aguas superficiales se esperaba aumentar la cobertura con 40 nuevas estaciones de monitoreo, aumentar los parámetros a medir (físicos y químicos) y monitoreo de afluentes y efluentes de lagos que forman parte de la Red Mínima de Control de Lagos. Para ello se proponía la mejora y ampliación del laboratorio de calidad de aguas. La inversión estimada por el PMRH se resume en el Cuadro N°53.

**Cuadro N°53. Inversión requerida para la modernización de los Laboratorios Ambientales según PMRH.**

Tipo de Actividad	Inversión posterior al 2003	Inversión posterior al 2003
Equipo de Plasma Acoplado Inductivamente (ICP)	100	
Modificación Cromatógrafo Iónico	44	
Certificación de Laboratorio Central	23	91
Laboratorios Móviles Instrumental	113	226
Creación de Centros limnológicos regionales	15	45
Insumos y mantención General	28	56
<b>Total</b>	<b>323</b>	<b>418</b>

Fuente: PMRH, Abril 2002

Otro estudio relativo a la calidad de aguas y el fundamental en cuanto al mejoramiento de la red de calidad de aguas superficiales es el estudio realizado por DGA/Cade-Idepe (2003): Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad. En dicho estudio se establece una metodología para la clasificación de los cursos de aguas superficiales, basándose principalmente en las instrucciones contenidas en el Instructivo presidencial para la dictación de Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales.

A pesar de que en Chile aún no existen normas de secundarias de calidad para aguas superficiales vigentes, el plan que contempla su dictación comenzó el año 2003 con el octavo programa priorizado de normas. En este programa se incluyeron las normas secundarias de calidad de aguas para las cuencas de los ríos Loa, Elqui, Aconcagua, Cachapoal, Bío-Bío y Maipo. En programas posteriores se han incluido las normas secundarias para las cuencas de los ríos Serrano, Aysen y las Cruces (2004); San José, Huasco, Choapa, Mataquito, Tolten, valdivia y Baker (2005); Salar de Atacama, Limarí, Ligua, Tinguiririca, Maule e Itata (2006). Actualmente los proyectos de las cuencas de los ríos Loa, Elqui, Aconcagua, Cachapoal, Bío-Bío, Maipo y Aysen han terminado la etapa de

consulta pública y se encuentran en la etapa de elaboración del proyecto definitivo.

En el estudio DGA/Cade-idepe además del desarrollo de una metodología, se aplica la metodología a 33 cuencas del país determinadas como prioritarias. Este estudio incluye también revisión de la experiencia internacional y talleres de difusión en regiones, por lo cual se considera el estudio más completo en este tema. Además es un estudio bastante reciente (2003), por lo cual refleja las condiciones actuales de las distintas cuencas en estudio.

Comparando el número de estaciones de la red actual y la red propuesta por DGA/Cade-Idepe para las cuencas estudiadas por el estudio DGA/Cade-Idepe (Cuadro N°54) se puede decir que habría que agregar 60 nuevos puntos de muestreo.

En el 0 se muestran las estaciones actuales, diferenciando aquellas incluidas en el estudio DGA/Cade-Idepe de las que no fueron incluidas. En el Cuadro N°56 se señala el número de parámetros que se muestrean actualmente, en comparación con el promedio regional del número de parámetros a muestrear de acuerdo a lo propuesto por el estudio DGA/Cade-Idepe.



**Cuadro N°54. Estaciones en red de calidad existente (solo cuencas del estudio DGA/Cade-Idepe) con respecto a la red calidad propuesta por DGA/Cade-Idepe.**

Región	Red Actual (33 cuencas estudio Cade-Idepe)			Red Propuesta DGA/Cade-Idepe			Déficit Cuencas DGA/Cade- Idepe
	Cuencas	Estaciones	Total	Cuencas	Estaciones	Total	
I	Lauca	4	14	Lauca	3	14	-2
	Lluta	5		Lluta	5		
	Isluga	2		Isluga	4		
	Tarapacá	3		Tarapacá	2		
II	Loa	11	13	Loa	8	14	-4
	Salar Atacama	2		Salar Atacama	6		
III	Copiapó	8	14	Copiapó	5	9	0
	Huasco	6		Huasco	4		
IV	Elqui	16	40	Elqui	12	37	-2
	Limarí	13		Limarí	12		
	Choapa	10		Choapa	11		
	Pupío	1		Pupío	2		
V	Petroca	4	25	Petroca	4	25	0
	La Ligua	4		La Ligua	4		
	Aconcagua	17		Aconcagua	17		
VI	Rapel	17	17	Rapel	22	22	-5
VII	Mataquito	8	26	Mataquito	10	30	-4
	Maule	18		Maule	20		
VIII	Itata	11	26	Itata	14	45	-19
	Andalien	1		Andalien	1		
	Biobio	13		Biobio	20		
	Paicavi	1		Paicavi	10		
IX	Biobio	3	21	Biobio	7	37	-16
	Imperial	12		Imperial	20		
	Toltén	6		Toltén	10		
X	Valdivia	10	26	Valdivia	13	30	-4
	Bueno	14		Bueno	14		
	Mauullín	2		Mauullín	3		
XI	Cisnes	2	13	Cisnes	4	17	-4
	Aysen	11		Aysen	13		
XII	Serrano	9	12	Serrano	8	10	0
	Las Minas	2		Las Minas	1		
	Side	1		Side	1		
RM	Maipo	24	24	Maipo	22	22	0
Total			271			312	-60

Fuente: Estudio DGA/Cade-Idepe, Catastro DGA 2003

**Cuadro N°55. Estaciones Red Actual.**

Región	Estaciones Red Actual (DGA)		
	Consideradas por DGA/Cade-Idepe	No consideradas	Total
I	14	11	25
II	13	7	20
III	14	3	17
IV	40	2	42
V	25	0	25
VI	17	3	20
VII	26	0	26
VIII	26	4	30
IX	21	0	21
X	26	10	36
XI	13	6	19
XII	12	25	37
RM	24	1	25
<b>Total</b>	<b>271</b>	<b>72</b>	<b>343</b>

Fuente: Catastro DGA, 2003

**Cuadro N°56. Número de Parámetros a muestrear en Red Actual y en la propuesta DGA/Cade-Idepe.**

Región	Red Actual	Red Propuesta DGA/Cade-Idepe*
I	31	23
II	31	28
III	31	23
IV	31	19
V	31	17
VI	31	24
VII	31	16
VIII	31	16
IX	31	15
X	31	19
XI	31	12
XII	31	14
RM	31	30
<b>Promedio</b>	<b>31</b>	<b>20</b>

Nota:  
\*Promedio Regional de parámetros al agrupar por cuencas

Fuente: Estudio DGA/Cade-Idepe, Catastro DGA 2003

A pesar de que no se aumentan el número total de parámetros (Cuadro N°56) hay algunos parámetros que se incorporan en el análisis como son: DBO5, color aparente, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, amonio, cianuro, fluoruro, nitrito, sulfuro, detergentes (SAAM), aceites y grasas, hidrocarburos, índice de fenol, PCB's, Pentaclorofenol, Aldrin, DDT, estaño, coliformes fecales y coliformes totales. Además se incorpora en el índice RAS la medición de tres parámetros: sodio, magnesio y calcio (los cuales se muestrean actualmente).

Actualmente la frecuencia de muestreo de la DGA es de 3 veces al año. De acuerdo a la propuesta de DGA/Cade-Idepe, las frecuencias de muestreo deberían aumentar, considerando una frecuencia mínima de 4 veces al año (estacional). Las excepciones estarían dadas por los pesticidas, los cuales se recomienda muestrear en los períodos en que estos son aplicados y que además puedan ser detectados (no en período de altos caudales por la alta dilución). En relación con lo anterior se ha preparado el Cuadro N°57, donde se compara el número de muestras actuales y el propuesto por el estudio DGA/Cade-Idepe.

**Cuadro N°57. Número total de muestras por región considerando Red Actual y Red propuesta por DGA/Cade-Idepe (cuencas analizadas por DGA/Cade-Idepe).**

Región	Estaciones Red Actual	Muestras Red Actual (3 x estación)	Red Propuesta DGA/Cade-Idepe	Déficit*
I	25	42	56	-14
II	20	39	56	-17
III	17	42	36	0
IV /*	42	168	148	0
V	25	75	100	-25
VI	20	51	88	-37
VII	26	78	120	-42
VIII	30	78	180	-102
IX	21	63	148	-85
X	36	78	120	-42
XI	19	39	68	-29
XII	37	36	40	-4
RM	25	72	88	-16
<b>Total</b>	<b>343</b>	<b>861</b>	<b>1.248</b>	<b>-413</b>
Nota: /* 16 estaciones corresponden a la cuenca del Elqui a las cuales se les realiza 6 muestreos al año.				

Fuente: Estudio DGA/Cade-Idepe, Catastro DGA 2003

Con respecto al número total de muestras considerando las cuencas estudiadas por DGA/Cade-Idepe (Cuadro N°57) se tiene que hay que analizar 413 muestras más por año. Esto considerando que las nuevas estaciones se implementan sin la eliminación de estaciones en las cuencas estudiadas que actualmente se muestrean y no están incluidas en el estudio de DGA/Cade-Idepe.

### III.2.3.2. Experiencia Internacional.

Considerando que la preocupación por el medio ambiente tiene una fuerte influencia a nivel mundial, es importante considerar la experiencia que existe en el exterior acerca de redes de monitoreo de la calidad de las aguas.

En el Cuadro N°58 se presentan características de las redes de monitoreo de algunos países europeos.

**Cuadro N°58. Características de las redes de calidad en distintos países Europeos.**

País	Nº Estaciones	Frec. (muestras/año)	Nº parámetros	Km2/estación
Austria	244 48	6 12	59	343,7 1747
Bélgica	957 90	8 5	19 108	31,9 338,9
Alemania	146	26	19	2.445,2
Francia	1082	12	40	502,7
Holanda	26	13-52	120	1.615,0
Noruega	10 20 25	12 12 12-24	14 12 5-22	32.400,0 16.200,0 12.960,0
España	456	9	42	1.109,5
Portugal	109	12	24	831,8
Reino Unido	230	6-52	80	1.043,5

Fuente: Estudio DGA/Cade-Idepe.

De acuerdo a primeras orientaciones de la comunidad europea (Agencia Europea de Medio ambiente, 1995) en cuanto a redes de monitoreo se tiene lo siguiente:

- Red básica: con el objetivo de caracterizar estadísticamente la calidad de las aguas, se recomienda una densidad de al menos 1 estación cada 2.000 km<sup>2</sup>.
- Red de impacto: con el objetivo de evaluar la contaminación de las aguas con carácter general la densidad propuesta es :

- 1 estación cada 10.000 km<sup>2</sup> en zonas con poblaciones < 50 hab/km<sup>2</sup>.
  - 1 estación cada 3.000 km<sup>2</sup> en zonas con poblaciones entre 50 y 100 hab/km<sup>2</sup>.
  - 1 estación cada 1.000 km<sup>2</sup> en zonas con poblaciones > 100 hab/km<sup>2</sup>.
- 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.

### III.2.3.3. Análisis y Propuesta.

El mejoramiento de la red de calidad de las aguas superficiales debe estar directamente relacionada con los usuarios de esta red, de esta forma se hace coherente la vinculación del mejoramiento de la red con la normativa de calidad secundaria. Como esta normativa aún no ha sido implementada es necesario utilizar estudios previos y la experiencia internacional, además de comparar esto con aquellos anteproyectos que ya han comenzado su proceso de tramitación.

Para el análisis de la red se distinguirá entre las cuencas consideradas en el estudio DGA/Cade-Idepe y el resto de las cuencas, posteriormente se analizará el tema de las frecuencias de muestreo.

#### a. Cuencas consideradas en el estudio DGA/Cade –Idepe.

En este caso se sigue el siguiente procedimiento:

- En aquellas cuencas en las cuales el número de estaciones propuesto por DGA/Cade-Idepe es superior a la red actual se tomará dicho número
- Si el número de estaciones propuesto es menor se considera el de la red actual
- Posteriormente se corrige este valor de acuerdo a las modificaciones que han experimentado las propuestas en el proceso de preparación del anteproyecto en los casos que ello ha sucedido

En el Cuadro N°59 se expone las estaciones existentes en la red actual, en la red propuesta por el estudio DGA/Cade-Idepe y en el anteproyecto de norma secundaria, para aquellas cuencas en las cuales el proceso de consulta pública ha

comenzado. En el Cuadro N°60 se expone el número de parámetros muestreados en la red actual, los que se proponen para muestrear en la propuesta DGA/Cade-Idepe y en el anteproyecto de norma secundaria, para aquellas cuencas en las cuales el proceso de consulta pública ha comenzado. De la comparación del estudio con el anteproyecto de norma sometido a consulta pública se puede decir que en general el anteproyecto es bastante similar a la propuesta DGA/Cade-Idepe.

**Cuadro N°59. Número de estaciones propuestas por DGA/Cade-Idepe y Anteproyecto normas Secundarias.**

Región	Red Actual	Red Propuesta DGA/Cade-Idepe	Anteproyecto
Loa	11	8	7
Elqui	16	12	13
Aconcagua	17	17	16
Maipo	24	22	31
Cachapoal	8	12	17
Biobio	16	27	25
Aysen	11	13	14
Total	103	111	123

Fuente: CONAMA (Anteproyecto Normas Secundarias), estudio DGA/Cade-Idepe

**Cuadro N°60. Número de parámetros propuestas por DGA/Cade-Idepe y Anteproyecto normas Secundarias.**

Región	Red Actual	Red Propuesta DGA/Cade-Idepe	Anteproyecto
Loa	31	30	29
Elqui	31	22	17
Aconcagua	31	22	23
Maipo	31	28	29
Cachapoal	31	24	23
Biobio	31	25	28
Aysen	31	16	19
Promedio	31	25	24

Fuente: CONAMA (Anteproyecto Normas Secundarias), estudio DGA/Cade-Idepe

En el Cuadro N°61 se presenta la red propuesta modificada según lo señalado en el procedimiento.

**Cuadro N°61. Propuesta Cuencas estudio DGA/Cade Idepe.**

Región	Red Propuesta DGA/Cade-Idepe 1ª modificación			Red Propuesta DGA/Cade-Idepe modificada por anteproyecto		
	Cuencas	Estaciones	Total	Cuencas	Estaciones	Total
I	Lauca	4	16	Lauca	4	16
	Lluta	5		Lluta	5	
	Isluga	4		Isluga	4	
	Tarapacá	3		Tarapacá	3	
II	Loa	11	17	Loa	11	17
	Salar Atacama	6		Salar Atacama	6	
III	Copiapó	8	14	Copiapó	8	14
	Huasco	6		Huasco	6	
IV	Elqui	16	42	Elqui	16	42
	Limarí	13		Limarí	13	
	Choapa	11		Choapa	11	
	Pupío	2		Pupío	2	
V	Petroca	4	25	Petroca	4	25
	La Ligua	4		La Ligua	4	
	Aconcagua	17		Aconcagua	17	
VI	Rapel	22	22	Rapel*	27	27
VII	Mataquito	10	30	Mataquito	10	30
	Maule	20		Maule	20	
VIII	Itata	14	45	Itata	14	45
	Andalien	1		Andalien	1	
	Biobio	20		Biobio	20	
	Paicavi	10		Paicavi	10	
IX	Biobio	7	37	Biobio	7	37
	Imperial	20		Imperial	20	
	Toltén	10		Toltén	10	
X	Valdivia	13	30	Valdivia	13	30
	Bueno	14		Bueno	14	
	Mauñín	3		Mauñín	3	
XI	Cisnes	4	17	Cisnes	4	18
	Aysen	13		Aysen	14	
XII	Serrano	9	12	Serrano	9	12
	Las Minas	2		Las Minas	2	
	Side	1		Side	1	
RM	Maipo	24	24	Maipo	31	31
<b>Total</b>			<b>331</b>			<b>344</b>

Nota:  
\* A la cuenca del río Rapel incluye la del Cachapoal por lo que se consideran 5 estaciones más de acuerdo al anteproyecto

b. Cuencas no consideradas en el estudio DGA/Cade –Idepe

Comparando el estudio existente sobre las 33 cuencas y la red actual se pueden obtener relaciones para proyectar las mejoras en aquellas cuencas no consideradas en los estudios. Suponiendo una cierta homogeneidad en las cuencas de una misma región, se asignan parámetros de muestreo similares así como el mismo porcentaje de aumento de estaciones a muestrear.

Para aquellas cuencas que no se consideraron en el estudio DGA/Cade-Idepe se realiza un análisis regional. Se considera un número de estaciones igual al existente en la cuenca más un porcentaje correspondiente al aumento de estaciones consideradas en el estudio DGA/Cade-Idepe para las estaciones de la misma región (propuesta 1 Cuadro N°62). En aquellas regiones en que el número de estaciones permanece igual o disminuye se mantiene el número de estaciones existentes.

Para todas las estaciones se considerará además la relación entre el estudio de Cade-Idepe y los anteproyectos de norma secundaria que ya se han incorporado al sistema de consulta pública, para ver en cuanto puede aumentar el número de estaciones (propuesta 2 Cuadro N°62). Este porcentaje se aplica sobre la propuesta 1.

**Cuadro N°62. Estaciones para cuencas no consideradas en estudio DGA/Cade-Idepe.**

Región	% Sobre red actual	Propuesta 1	% Anteproyecto sobre estudio DGA/Cade-Idepe	Propuesta 2
I	0%	11	10%	12
II	8%	8	10%	9
III	-36%	3	10%	3
IV	-8%	2	10%	2
V	0%	0	10%	0
VI	29%	4	10%	4
VII	15%	0	10%	0
VIII	73%	7	10%	8
IX	76%	0	10%	0
X	15%	12	10%	13
XI	31%	8	10%	9
XII	-17%	25	10%	28
RM	-8%	1	10%	1
Total		81		89



c. Frecuencia de muestreo

Considerando la experiencia internacional se considera que los tres muestreos actuales, así como la propuesta de 4 muestreos anuales realizada por el estudio DGA/Cade-Idepe, son insuficientes para llevar un seguimiento de las calidades de las aguas. Así como ya en el río Elqui que se está muestreando 6 veces anuales, pronto se verá la necesidad de hacerlo en otras cuencas, de manera de tener información de la calidad de agua de las cuencas que posea una mayor representatividad. Debido a esto se propone una frecuencia de muestreo de 6 veces al año.

d. Propuesta Final

De acuerdo a los puntos anteriores la red propuesta queda expresada en el Cuadro N°63.

**Cuadro N°63. Propuesta Total.**

Región	Estaciones			Muestras Total	Déficit Total por Muestra	Densidad (Km2/estación)
	Cuencas Prioritarias	Otras Cuencas	Total			
I	16	12	28	168	-93	2.111
II	17	9	26	156	-96	4.848
III	14	3	17	102	-51	4.422
IV	42	2	44	264	-90	922
V	25	0	25	150	-75	656
VI	27	4	31	186	-126	528
VII	30	0	30	180	-102	1.010
VIII	45	8	53	318	-228	699
IX	37	0	37	222	-159	860
X	30	13	43	258	-150	1.558
XI	18	9	27	162	-105	4.018
XII	12	28	40	240	-129	3.308
RM	31	1	32	192	-117	481
Total	344	89	433	2.598	-1.521	

Aplicando el criterio propuesto por la unión europea (experiencia internacional, Cuadro N°58) con la red actual y la propuesta se tiene que en todas las regiones se estaría cumpliendo la recomendación mínima en cuanto a las densidades de estaciones (Cuadro N°64).

**Cuadro N°64. Coberturas regionales recomendadas, actuales y propuestas.**

Región	Densidad Hab/Km2	Recomendación (Km2/Estación)	Red Actual (Km2/Estación)	Red Propuesta (Km2/Estación)
I	7,2	10.000	2364	2.111
II	3,9	10.000	6302	4.848
III	3,38	10.000	4422	4.422
IV	14,86	10.000	966	902
V	93,91	3.000	656	656
VI	47,63	10.000	819	529
VII	29,9	10.000	1165	1.010
VIII	50,2	3.000	1235	699
IX	27,3	10.000	1516	861
X	16,01	10.000	1861	1.558
XI	0,85	10.000	5710	4.018
XII	0,1	10.000	3576	3.482
RM	393,5	1.000	616	481

Fuente: Elaboración propia con información Censo 2002 y estudio DGA/Cade-Idepe

Finalmente comparando las coberturas regionales con las de otros países con características similares a la respectiva región, por ejemplo España (1.109 Km2/estación) o Francia (502 Km2/estación) con la zona central de Chile (IV-VI región) se tiene que las coberturas de las estaciones resultan razonables.

### III.2.4. Determinación de los costos del Programa

Para la determinación de los costos de implementación del programa se consideran los costos de instalación y de operación.

#### III.2.4.1. Costos de Instalación.

En particular para esta red no se consideran costos de instalación ya que el mejoramiento de la red significa aumento de los puntos de muestreo, para lo cual no se necesita que en el punto de muestreo exista infraestructura. Generalmente además los puntos de muestreo coinciden con puntos de aforo, con lo cual ya se tiene la infraestructura (considerada como costo en la red fluviométrica).

Se considerará en el costo total anual del programa un 6% del costo de las instalaciones y equipos existentes, debido a las ampliaciones necesarias en el laboratorio por el aumento de las muestras.

**Cuadro N°65. Costos de Instalación correspondiente a la red de muestreo de aguas superficiales.**

Año	Costos Centrales	Instalación (Miles \$ 2006)	
		Infraestructura	Instrumentos
2006	Equipos multiparámetros región		65.000
	Equipos en Laboratorio Laboratorio	306.700	196.602
		306.700	261.602
Total			568.302
6% Costo Instalación			34.098

Fuente: elaboración propia con datos DGA, PMRH.

#### III.2.4.2.

### Costos de Operación.

Los costos de operación están dados por las campañas de muestreo y por los análisis de las muestras.

Para la estimación de los costos anuales por las campañas de muestreos se tomará el año 2004. Esto considera sólo tres campañas de muestreos anuales por lo cual se considerará el doble más debido a que la propuesta supone 6 campañas de muestreos anuales. La cuenca del río Elqui tiene se mantiene y se suma al total regional (Cuadro N°66).

**Cuadro N°66. Estimación de costos regionales para Campañas de muestreos**

Región	Año 2004 /* (M\$ 2006)	Costo anual de Campañas de muestreo propuesta		
		Movilización (M\$ 2006)	Gastos Generales (M\$ 2006)	Total Muestreos (M\$ 2006)
I	4.152	3.466	5.886	9.352
II	3.322	3.218	5.466	8.684
III	2.823	2.104	3.574	5.678
IV /**	3.986	5.446	9.250	14.696
V	5.979	3.094	5.256	8.350
VI	4.152	3.837	6.517	10.354
VII	3.322	3.713	6.307	10.020
VIII	4.318	6.560	11.142	17.702
IX	4.982	4.580	7.779	12.358
X	3.488	5.322	9.040	14.362
XI	5.979	3.342	5.676	9.018
XII	3.155	4.951	8.409	13.360
RM	6.145	3.961	6.727	10.688
Total	55.803	53.593	91.030	144.623
Notas: /* Considera costos de movilización y gastos generales. Otros costos son parte de costos centrales y de hidrología (red fluviométrica) /** IV región: incluye cuenca río Elqui				

Para el costo del análisis de las muestras se considera la información existente entregada por la DGA y en el estudio DGA/Cade-Idepe. De acuerdo a este estudio un costo estimado para los parámetros propuestos por el Instructivo Presidencial para la dictación de Normas Secundarias de Calidad Ambiental para Aguas Continentales Superficiales (Cuadro N°67).

**Cuadro N°67. Estimación de costo por parámetros**

Tipo de parámetro		Número de Parámetros	Costo por Grupo de Parámetros (\$ 2006)	Costo unitario promedio (\$ 2006)
Indicadores físicos y químicos	I F y Q	9	20.030	2.226
Inorgánicos	Inorg.	7	16.840	2.406
Orgánicos	Org.	8	118.478	14.810
Orgánicos Plaguicidas	Org. Plag.	20	510.264	25.513
Metales Esenciales	Met E.	9	19.133	2.126
Metales no esenciales	Met no E.	6	16.056	2.676
Indicadores microbiológicos	Ind. Microbio.	2	9.483	4.742

Fuente: Estudio DGA/Cade-Idepe

De acuerdo a los costos entregados por la DGA correspondientes al año 2004 para las muestras analizadas por el laboratorio de calidad de aguas se tiene que el costo unitario por muestra para los parámetros analizados es de \$3.390. Esto incluye indicadores físico-químicos, inorgánicos, metales esenciales y metales no esenciales.

Los costos se calcularon con los datos obtenidos de la DGA en las variables que la DGA actualmente analiza y con los datos de DGA/Cade-Idepe en los casos en que los parámetros no son realizados actualmente (orgánicos, orgánicos plaguicidas e indicadores microbiológicos). Ver Cuadro N°68 y Cuadro N°69.

**Cuadro N°68. Promedio de parámetros por categoría por región (estudio DGA/Cade-Idepe y datos DGA).**

Región	I F y Q (\$3.390)	Inorg. (\$3.390)	Org. (\$14.810)	Org. Plag. (\$25.513)	Met E. (\$3.390)	Met no E. (\$3.390)	Ind. Microbi o. (\$4.742)	Costo por Muestra (\$/muestra)	Total Nº Muestras	Total (M\$ 2006)
I	7	4	0	0	6	3	2	77.277	168	12.982
II	8	5	1	0	7	3	2	102.256	156	15.952
III	8	2	0	0	7	2	2	73.887	102	7.536
IV	7	2	0	0	5	3	2	67.108	264	17.716
V	6	3	0	0	4	2	2	60.328	150	9.049
VI	8	5	3	0	6	4	2	131.875	186	24.529
VII	6	6	2	0	5	3	2	106.896	180	19.241
VIII	6	1	1	0	5	2	2	71.748	318	22.816
IX	6	2	1	0	3	2	2	68.359	222	15.176
X	7	0	0	0	4	2	2	53.549	258	13.816
XI	7	1	0	1	5	2	2	85.842	162	13.906
XII	6	0	0	0	4	1	2	46.770	240	11.225
RM	6	0	0	0	4	2	2	50.159	192	9.631

Fuente: elaboración propia con datos DGA y DGA/Cade-Idepe

**Cuadro N°69. Costo total regional.**

Región	Costo anual toma de muestras (M\$ 2006)	Costo anual análisis de muestras (M\$ 2006)	Total Regional (M\$ 2006)	Componente Nacional (M\$ 2006)	Componente Importado (M\$ 2006)
I	9.352	12.982	22.335	10.051	12.284
II	8.684	15.952	24.636	11.086	13.550
III	5.678	7.536	13.215	5.947	7.268
IV	14.696	17.716	32.413	14.586	17.827
V	8.350	9.049	17.399	7.830	9.570
VI	10.354	24.529	34.883	15.697	19.186
VII	10.020	19.241	29.261	13.168	16.094
VIII	17.702	22.816	40.518	18.233	22.285
IX	12.358	15.176	27.534	12.390	15.144
X	14.362	13.816	28.178	12.680	15.498
XI	9.018	13.906	22.924	10.316	12.608
XII	13.360	11.225	24.585	11.063	13.522
RM	10.688	9.631	20.319	9.143	11.175
<b>TOTAL</b>	<b>144.623</b>	<b>193.575</b>	<b>338.199</b>	<b>152.189</b>	<b>186.009</b>

Fuente: Elaboración propia con datos DGA y DGA/Cade-Idepe.

El costo total de toma de muestras y análisis actual estimado es de M\$173.125, por lo que el costo incremental del programa es de M\$165.074.

De esta manera, los costos de implementación y operación del programa son los que se presentan en el siguiente Cuadro N°70.

**Cuadro N°70. Programa de implementación**

Ítem	Unidad	Valor
Nº Estaciones	Nº	430
Costos Instalación	M\$	34.100
Componente Nacional	M\$	18.410
Componente Importado	M\$	15.690
Costos de Operación	M\$	165.074

### **III.3. Programa de Registro continuo.**

#### *III.3.1. Fundamentación.*

De acuerdo al programa de Modernización de la DGA, comenzado el año 1999, se contempla un mejoramiento de diversos aspectos en el monitoreo de la calidad del agua. En lo que corresponde a la modernización de las redes de Calidad se contempla, entre otras cosas, el aumento de las estaciones de monitoreo con registro continuo de parámetros básicos (pH, OD, Conductividad, T° y turbiedad) en 40 estaciones. En este aspecto también el Programa de Manejo de Recursos Hídricos (PMRH) considera una incorporación de 31 estaciones.

El registro continuo de los parámetros se justifica en cuanto al control y alerta en caso de vertidos clandestinos o derramamiento accidental de contaminantes en los cursos de aguas.

#### *III.3.2. Aspectos Metodológicos.*

Ya que esta red se orientará principalmente como de control y alerta, lo que se analizarán estudios nacionales referentes a monitoreo continuo y a estudios que indiquen los usos del agua en las cuencas, lo cual indica zonas de descargas contaminantes y zonas de uso con riesgo para la población, ya sea a través del uso directo del agua, como es el caso del agua potable, o indirecto como es el caso del riego para la agricultura. En el caso de la agricultura también resulta de alto interés el control en forma continua de la calidad de las aguas, ya que ayudaría en la certificación de los productos y evitar los riesgos de acceso a los mercados de exportación.

Se considera experiencia Internacional en cuanto a redes de registro continuo existentes y a criterios de distribución de estas.



### III.3.3. Definición del programa.

#### III.3.3.1. Estudios Existentes.

De acuerdo al estudio desarrollado debido al programa de manejo de recursos hídricos (PMRH, MOP; 1999) se considera la de incorporación de registro continuo de parámetros básicos (pH, OD, conductividad, Temperatura y turbiedad) y la alerta de eventos de contaminación (31 estaciones). De acuerdo a este estudio, una estimación de los costos en instrumental por este concepto serían los representados en el Cuadro N°71.

**Cuadro N°71. Aporte PMRH a la Modernización de la Red de Calidad de Aguas Superficiales**

Tipo de Instrumental	Inversión Proyectada Miles US\$.
31 sondas multiparámetros 21 coincidentes con estaciones fluviométricas	210
10 solo calidad de aguas 10 Datalogger	100
20 muestreadores automáticos	50
Insumos y mantención	100
TOTAL	96
	556

Fuente: PMRH, Abril 2002

En el estudio realizado por DGA/Cade-Idepe: Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad, incorpora un análisis en las cuencas prioritarias de los distintos usos del agua. De acuerdo a ello se tiene que en la zona norte los ríos son afectados principalmente por descargas de las minerías y el principal usuario aguas a bajo son las ciudades (agua potable) y en algunas zonas la agricultura (Cuadro N°72).

**Cuadro N°72. Cuencas prioritarias y usos principales.**

Cuenca	Usos in situ		Extractivos					B	An
	A	PDR	R	AP	H	AI	AM		
Lauca			•		•			•	•
Río Lluta			•					•	•
Isluga			•					•	•
Tarapacá			•						•
Loa			•	•			•	•	•
Atacama			•	•				•	•
Copiapó			•		•	•	•	•	
Huayco			•	•		•	•	•	
Elqui		•	•	•		•	•	•	
Limarí			•	•	•	•	•	•	
Choapa			•	•		•	•	•	
Pupío			•	•				•	
Petorca			•	•			•	•	
Ligua			•				•	•	
Aconcagua			•	•	•	•	•	•	
Maipo		•	•	•	•	•	•	•	
Rapel		*	•	•	•	•	•	•	
Mataquito		•	•	•	•	•		•	
Maule		•	•	•	•	•		•	
Itata		•	•	•		•		•	
Andalien			•	•		•		•	
Biobío		*	•	•	•	•	•	•	•
Paicavi			•					•	
Imperial		*	•			•		•	•
Toltén		•	•	•				•	
Valdivia		**	•	•	•	•	•	•	
Bueno		•		•	•	•		•	•
Mauñín		•				•		•	
Cisnes		•	•	•		•		•	
Aysen	•	•		•	•	•	•	•	
Serrano		•	•	•				•	
Las Minas			•	•		•	•	•	
Side				•				•	

Nota:

\* En embalse Rapel, Laguna Laja y Lago Conguillío respectivamente

\*\* Los lagos Calafquén, Panguipulli, Riñihue, Neltume y desagüe lago Ranco

A: Acuicultura, PDR: Pesca Deportiva y Recreativa, R: Riego, AP: Captación Agua Potable, H: Hidroelectricidad, AI: Actividad Industrial, AM: Actividad minera, B: biodiversidad, An: Ancestrales

En esta columna se incluye sitios SNASPE, sitios priorizados, santuarios, etc.”.

### III.3.3.2. Experiencia Internacional.

De acuerdo a la experiencia internacional se tiene el ejemplo de España. En este país se ha implementado un sistema automático de información de la calidad de las aguas (SAICA). Las estaciones automáticas miden en continuo los parámetros de: temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto, turbiedad y amonio, además de medir el nivel de las aguas del cauce. De acuerdo a cada cuenca se tiene:

- La Confederación Hidrográfica del Norte que considera las provincias de Álava, Asturias, Burgos, Cantabria, Guipúzcoa, León, Lugo, Navarra, Orense, Palencia, Pontevedra, Vizcaya y Zamora, (área aprox 38.384 km<sup>2</sup>, 2.900.129 habitantes), en la cual se ha implementado 29 estaciones automáticas de alerta.
- La cuenca del río Júcar que considera las provincias de Albacete, Alicante, Castellón, Cuenca, Valencia y Teruel, además de una pequeña zona en la provincia de Tarragona (área de 42.988,6 km<sup>2</sup>, 4.127.563 habitantes) 13 estaciones automáticas de alerta ubicadas en ríos, canales y salidas de embalses.
- Confederación Hidrográfica del Tajo que considera 5 comunidades autónomas (11 provincias): Extremadura, Madrid, Castilla y León, Aragón y Castilla de la Mancha (área 55.645 km<sup>2</sup>, 6.099.113 habitantes). Considera 31 estaciones automáticas de alerta (no miden amonio)

En Estados Unidos, a través de la agencia USGS y de su programa NAWQA (Nacional Water-Quality Assessment) realiza el monitoreo de las 51 cuencas del país. En Algunas de ellas se tienen las siguientes estaciones de monitoreo automático:

- Cuenca Arizona central: incluye las cuencas de los ríos Gila, SALT, Verde y San Pedro (89872,5836 km<sup>2</sup>, aprox. 3.100.000 de habitantes). Se consideran 9 estaciones de monitoreo automático de conductividad y temperatura
- Cuenca Delaware: incluye parte de Pensilvania, New York, New Jersey y Delaware (32.823 km<sup>2</sup>, aprox. 7,2 millones de habitantes). Es fuente de agua potable para parte de la ciudad de New York y New Jersey (Aprox 7 millones de habitantes). Se consideran 10 estaciones con monitoreo de temperatura en forma automática (datalogger).
- Cuenca Colorado alto: 46.102 km<sup>2</sup>, aprox 234.000 habitantes (1990), 14 estaciones fijas de muestreo mensual (sin referencia a estaciones automáticas)

Monitoreo continuo por TMDLs (Total Maximum Daily Loads) en la cuenca baja del río Kansas (USA). La cuenca del río Kansas comprende un total de 155.399 km<sup>2</sup>, de los cuales aproximadamente un quinto pertenece a la parte baja de la cuenca (aprox. 31.080 km<sup>2</sup>). Con una cantidad aproximada de 700.000 habitantes en la parte baja de la cuenca. Posee 3 estaciones de monitoreo las cuales miden los parámetros de: conductancia específica, pH, temperatura, oxígeno disuelto (OD) y turbiedad.

#### III.3.3.3. Análisis y Proposición.

Se propone una red de monitoreo básico que cubra las cuencas prioritarias analizadas en el Estudio de DGA/Cade-Idepe (2003). En cada una de estas cuencas se incluiría una estación antes del uso de agua potable y una después de áreas industriales o mineras (en los casos que corresponda). En relación con las actividades de riego, dependiendo de la ubicación de las estaciones consideradas por los conceptos anteriores, se ha estimado un número variable de 1 a 4 estaciones, dependiendo si se trata de una agricultura orientada a la exportación y el tamaño y la distribución espacial de las zonas agrícolas (Cuadro N°73).

En la primera región Las actividades agrícolas no se ven afectadas significativamente por la actividad humana, la mala calidad de las fuentes se refiere principalmente a contaminación natural de las aguas.

**Cuadro N°73. Estaciones Automáticas por cuenca.**

Región	Cuenca	AP	R	AM o AI	Total	Existentes	A Implementar
I	Río Lluta		1		3	1	2
	Río San José		1				
	Tarapacá		1				
II	Loa	1	1	2	5	2	3
	Atacama	1	-				
III	Copiapó		1	3	8	1	7
	Huasco	1	1	2			
IV	Elqui	2	2	1	18	1	15
	Limarí	1	3	2			
	Choapa	1	2	2		1	
	Pupío	1	-	1		1	
V	Petorca	1	1	1	12		10
	Ligua		1	2			
	Aconcagua	1	2	3		2	
RM	Maipo	2	2	3	7	2	5
VI	Rapel	1	3	2	6		6
VII*	Mataquito	1	2	2	12	3	2
	Maule	1	4	2		7	
VIII	Itata	1	2	2	13		13
	Andalien	1	-	1			
	Biobío	1	2	3			
IX	Biobío		1	1	9		9
	Imperial		2	2			
	Toltén	2	1				
X	Valdivia	1	-	2	7	3	4
	Bueno	1	-	2			
	Mauñín			1			
XI	Cisnes	1		1	5		4
	Aysen	1		2		1	
XII	Las Minas	1	-	1	3		3
	Side	1					
<b>Total</b>					<b>108</b>	<b>25</b>	<b>83</b>

Nota:

\*En la VII región hay además una estación de monitoreo en el río Cauquenes, cuenca no considerada en el análisis.

Se usarían para las estaciones de monitoreo automáticas, equipos multiparámetros que midan los parámetros de: temperatura, pH, conductividad, turbiedad y oxígeno disuelto. Además se incorpora en cada una de las estaciones un equipo de muestreo automático, el cual podrá tomar muestras cuando alguno de los parámetros sobrepase un cierto límite. De esta forma se pueden hacer un análisis posterior para determinar en forma más precisa las razones del cambio en las condiciones del río. Los muestreadores automáticos se consideran también en el caso de las estaciones automáticas existentes.

#### *III.3.4. Determinación de los costos del Programa.*

Para determinar los costos del programa se consideran los costos de instalación y los costos de operación (incluidos en estos los costos de mantención y reparación)

##### III.3.4.1. Costos de Instalación.

Considerando el número de estaciones del Cuadro N°73, un costo de 5 millones por cada equipo multiparámetro y por cada equipo de muestreo y un costo de instalación de 3 millones por estación de muestreo (1,5 millones si solo se instala muestreador automático), se tienen los costos del Cuadro N°74. Se considera además que los equipos se instalan en conjunto con los equipos de fluviometría por lo cual parte de los gastos de infraestructura están considerados en la red fluviométrica.

**Cuadro N°74. Costos por región.**

Región	Costo Equipamiento (Miles \$)			Costo Total Equipamiento (Miles \$)
	Componente Importado (Equipos)		Componente Nacional	
	Multiparámetros	Muestreador automático	Instalación	
I	10.000	15.000	7.500	32.500
II	15.000	25.000	12.000	52.000
III	35.000	40.000	22.500	97.500
IV	75.000	90.000	49.500	214.500
RM	50.000	60.000	33.000	143.000
V	25.000	35.000	18.000	78.000
VI	30.000	30.000	18.000	78.000
VII	10.000	60.000	21.000	91.000
VIII	65.000	65.000	39.000	169.000
IX	45.000	45.000	27.000	117.000
X	20.000	35.000	16.500	71.500
XI	20.000	25.000	13.500	58.500
XII	15.000	15.000	9.000	39.000
Total	415.000	540.000	286.500	1.241.500

Fuente: Elaboración propia con información DGA (Coservación) y Quimlab Ltda. (muestreadores automáticos)

### III.3.4.2. Costos de operación.

Los costos de operación y mantenimiento serán considerados de acuerdo a información suministrada por los proveedores de los equipos, el cual se distribuye de acuerdo a la cantidad de equipos por región (Cuadro N°75). Se debe tener en cuenta además que parte de la reparación y mantenimiento se hace en forma conjunta con la red de fluviometría (estaciones digitales). No se incluye en el cuadro el costo de operación que actualmente está funcionando.

**Cuadro N°75. Costos de mantención, operación y reparación por región.**

Región	Componente Importado (Miles \$)	Componente Nacional (Miles \$)	Costo Mantención, Operación y Reparación (Miles \$)
I	7.717	375	8.092
II	12.832	600	13.432
III	20.725	1.125	21.850
IV	46.565	2.475	49.040
RM	31.044	1.650	32.694
V	18.036	900	18.936
VI	15.610	900	16.510
VII	30.341	1.050	31.391
VIII	33.821	1.950	35.771
IX	23.414	1.350	24.764
X	17.948	825	18.773
XI	12.920	675	13.595
XII	7.805	450	8.255
Total	278.778	14.325	293.103

De esta manera, los costos de implementación y operación del programa son los que se presentan en el siguiente Cuadro N°76.

**Cuadro N°76. Implementación del programa de Monitoreo Automático.**

Ítem	Unidad	Valor
Muestreadotes	N°	108
Sondas		83
Costos Instalación	M\$	1.241.500
Componente Nacional	M\$	286.500
Componente Importado	M\$	955.000
Costos de Operación	M\$	293.103



### **III.4. Programa de Biomonitorio (indicadores biológicos).**

#### *III.4.1. Fundamentación.*

Así como en el caso de la red de calidad de aguas superficiales se intenta seguir una coherencia con otras iniciativas realizadas en cuanto al mejoramiento de la red, cabe entonces en este estudio el análisis del monitoreo a través de parámetros biológicos. Esta alternativa está propuesta los anteproyectos como “una herramienta complementaria para evaluar el impacto sobre las comunidades acuáticas y calidad del agua”. Además de estar sugerida la evaluación mas acabada de la utilización de bioindicadores en las conclusiones y recomendaciones del estudio DGA/Cade-Idepe. A esto se suma la preocupación manifestada por la DGA en este tipo de monitoreo a través del informe PMRH donde se entrega presupuesto para la realizar estudios que ayuden en la implementación de una red con indicadores biológicos.

#### *III.4.2. Aspecto metodológico.*

Para abordar el desarrollo de la red de monitoreo biológico se han revisado los estudios desarrollados en el tema a nivel nacional, generalmente estudios aislados en algunas cuencas; la experiencia internacional y los antecedentes aportados por la experiencia del consultor. Finalmente se entrega una propuesta de red de monitoreo con indicadores biológicos.

#### *III.4.3. Definición del programa.*

En este punto se propone una red de monitoreo de calidad de aguas a través de indicadores biológicos de acuerdo a la información entregada a continuación.

##### **III.4.3.1. Estudios nacionales existentes.**

Los estudios encontrados a nivel nacional que se relacionan con monitoreo de parámetros biológicos son los siguientes:

- Diagnóstico de la Calidad de las Aguas en Sistemas Lóticos Utilizando Diatomeas y Macroinvertebrados Bentónicos como Bioindicadores Río Maipo, Araya E., M. Contreras, J. Kurosawa, J.P. Schuster, J. Toro

(2003), Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica, XVI Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica

- Índice de Comparación Secuencial (ICS) Para evaluar la Calidad del Agua en Sistemas Lóticos Mediante Macroinvertebrados Bentónicos, Tapia, C (2005), Memoria de Título para alcanzar el grado de Ingeniero Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile
- Desarrollo de una metodología para la evaluación y mitigación de la contaminación de aguas y suelos: Aplicación a la Cuenca del río Chillán, Universidad de Concepción, centro EULA-Chile y SAG (2002)
- Desarrollo de un Modelo para el Uso de Bioindicadores y Bioensayos como Medida de la Condición Biológica de un Cuerpo de Aguas. Río Cachapoal y Río Elqui, CENMA y SAG. (2006)
- Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de Calidad de las Aguas: Cuenca Río Damas (X Región), R. Figueroa, E. Araya, O. Parra, C. Valdovinos Centro de Ciencias Ambientales, EULA-Chile, Universidad de Concepción, Chile

En ellos se sugiere la ventaja de usar métodos o índices con indicadores biológicos frente a sólo usar parámetros físicos para interpretar o evaluar la situación real o el grado de alteración de los sistemas acuáticos. Ya que al usar las condiciones químicas de las aguas lo que se obtiene es una precisión en las condiciones instantáneas de las aguas, pero no la evolución de la carga contaminante o la capacidad de recuperación o amortiguadora del ecosistema.

En estos estudios se sugiere principalmente el estudio de macroinvertebrados como indicadores de la calidad de las aguas.

En el estudio "Índice de comparación secuencial" se sugieren criterios para la ubicación de estaciones dentro de una cuenca (ecosistemas similares, aguas arriba y aguas debajo de descargas de aguas, etc) además de presentar un caso práctico en la cuenca del Maipo. En este estudio se presentan además distintos tipos de índices para evaluar la estructura de los macroinvertebrados bentónicos. Algunos de ellos se presentan en el Cuadro N°77.

**Cuadro N°77. Ejemplo de Índices para evaluación de estructura en comunidades de macroinvertebrados bentónicos.**

Tipo de índice	Nombre	Expresión		
Diversidad	Shannon-Weaver	$H = -\sum (p_i \log_2 p_i)$	H y H': Índice de diversidad n: número total de organismos n <sub>i</sub> : número de individuos de la especie i s: número total de especies p <sub>i</sub> : probabilidad de seleccionar un elemento de la especie i	
	Forma Aproximada del índice de Shannon	$H' = -\sum_i^s \left(\frac{n_i}{n}\right) \log_2 \left(\frac{n_i}{n}\right)$		
	Simpson	$\bar{d} = \frac{\sum_i^s n_i * (n_i - 1)}{n * (n - 1)}$		
	Índice de Comparación Secuencial (ICS)	$ICS = \frac{N^{\circ} runs}{n} * N^{\circ} Taxas$	run: secuencia de taxas iguales Taxa: grupo de organismos con características comunes (especie) n: número de organismos de la muestra	
Comparación Cualitativa	Jaccard (Discriminación entre muestras similares)	$S = \frac{a}{a + b + c}$	2 muestras A y B a: especies presentes en ambas muestras b: especies presentes en B pero no en A c: especies presentes en A pero no en B d: especies ausentes en ambas muestras	
	Ochiai (considera cualidades comunes)	$S = \frac{a}{[(a + b) * (a + c)]^{1/2}}$		
Comparación Cuantitativa	Bray-Curtis	Similitud	$S_{ab} = \frac{2 * \sum \min(X_{ia}, X_{ib})}{\sum (X_{ia} + X_{ib})}$	X <sub>ia</sub> , X <sub>ib</sub> : Número de individuos de la especie i en la estación A o B P <sub>ia</sub> , P <sub>ib</sub> : abundancia relativa de la especie i en la estación A o B
		Disimilitud	$D_{ab} = \frac{\sum (X_{ia} + X_{ib})}{\sum (X_{ia} + X_{ib})}$	
		% de similitud de la comunidad	$S_{ab} = 1 - 0,5 * \sum  X_{ia} - X_{ib} $ $S_{ab} = \sum \min(P_{ia}, P_{ib})$	
Bióticos	Índice biótico de Beck	$I = 2 * (n \text{ clase I}) + (n \text{ clase II})$	N: número de especies de la muestra Clase I : organismos poco tolerantes a contaminación orgánica Clase II: organismos tolerantes a contaminación orgánica moderada	
	Índice Biótico de Familias	$IBF = \sum \frac{n_i * a}{n}$	n <sub>i</sub> : individuos de la familia i a <sub>i</sub> : tolerancia asignada a la familia i n: total de individuos de la muestra	

Fuente: Tapia C. 2005

No hay sugerencia específica en los estudios de puntos de muestreo para todas las cuencas del país.

Dentro del estudio desarrollado para el programa de manejo de recursos hídricos (PMRH, MOP) se considera la incorporación de nuevos parámetros, frente a las limitaciones de evaluar el agua exclusivamente en su forma físico-química. Para ello se contempla el establecimiento de otros componentes del ecosistema, que reflejen en forma más prolongada la calidad de agua y que reflejen las distintas combinaciones de factores ambientales. Así se incorporan dentro del PMRH los planes desglosados en el Cuadro N°78.

**Cuadro N°78. Aporte del PMRH a la Incorporación de Componentes al Monitoreo de la Calidad de Agua.**

<b>Tipo de Actividad</b>	<b>Inversión Proyectada Miles US\$</b>
Monitoreo Piloto de la Calidad de Agua Mediante Bioensayos	189
Monitoreo Piloto de la Calidad de Agua Mediante Bioindicadores	189
Caracterización Físico Química del Sedimento	142
<b>TOTAL</b>	<b>520</b>

Fuente: PMRH, Abril 2002

#### III.4.3.2. Experiencia internacional.

En el trabajo “Matching Water Quality Programs to Management Needs in Developing Countries: The Challenge of Program Modernization”<sup>2</sup> se sugiere que el acercamiento al desarrollo de redes de monitoreo de calidad a través de la evaluación de listas de parámetros ha resultado ser ineficiente y de alto costo de implementación en países desarrollados y que se presentan rígidos e ineficientes en los países en desarrollo. Además da cuenta de cómo actualmente los países desarrollados presentan un enfoque más flexible, incluyendo como parte de este enfoque la evaluación del impacto en el río a través de bioindicadores.

<sup>2</sup> Ongley, E.D., (1997). Matching Water Quality Programs to Management Needs in Developing Countries: The Challenge of Program Modernization. European Water Pollution Control, Vol. 7, No. 4, 43-48.

De acuerdo a la literatura se deduce que dentro de los organismos acuáticos más recomendados en la evaluación de calidad de aguas son: peces, macroinvertebrados y microalgas (Barbour et al, 1999<sup>3</sup>; UNEP et al, 2004<sup>4</sup>).

---

<sup>3</sup> Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder, and J.B. Stribling. 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C

<sup>4</sup> UNEP; UNESCO; IHP, Integrated Watershed Management. Ecology And Phytotechnology-Manual

**Cuadro N°79. Países con redes de monitoreo que incluyen indicadores biológicos.**

País	Nombre del método	Frecuencia en el monitoreo de grupos bióticos (Nº/año)							Obs.
		PP	PB	MP	ZP	M	F	B	
Austria	Análisis Biocoenótico (índice saprobiótico)	1	1 a 2	1	1	1 a 2			
Bulgaria	Índice saprobiótico (en desarrollo)					x			
Croacia	Índice saprobiótico (P&B Sládecek)	2	2						
República Checa	Análisis Biocoenótico (índice saprobiótico)	*1/3	*1/3	*1/3		*1/3	*1/3		Río Elbe
		12**				*1/5			otros ríos
Alemania	Índice saprobiótico	x			x	x	x		la frecuencia va de semanal (fitoplancton) a anual (macrobentos)
Hungría	Índice saprobiótico	12	12		4		*2/3		
Latvia	Índice saprobiótico		4						
Holanda		*1/4	*1/4	*1/4	*1/4	*1/4	1	1	diferentes sistemas, ríos pequeños
Noruega		0 a 2		0 a 1					
Poland		x							Índice saprobiótico en otros ríos (no internacionales)
Rumania	Índice saprobiótico (P&B Sládecek)	4			4	4	1	*1/2	
República de Eslovaquia	Índice saprobiótico del bioeston (P&B Sládecek)	12 a 24	4**		12 a 24	4 a 6			
Ucrania	Índice saprobiótico	3 a 4	3 a 4			3 a 4			
Reino Unido	RIVPACS			1		3			

Notas:  
P&B: Pantle & Buck; x: actual frecuencia no especificada, \*1/4: una vez cada 4 años, \*\*: bioeston (fitoplancton, zooplancton, mycoplancton, bacterioplancton, microphytobento, macrozoobento); grupos bióticos: PP= fitoplancton, PB = fitobento/periphyton, MP = macrofitos, ZP = zooplancton, M = macroinvertebrados (o macrozoobento), F = peces, B = aves.

Fuente: Biological Assessment methods for Water courses, UN/ECE Task Force on Monitoring & Assessment (1995)

En varios países han desarrollado además índices bióticos propios considerando los organismos anteriormente señalados (fitoplancton, fitobentos, macrófitos, zooplancton, macroinvertebrados, peces y aves). Algunos de estos índices se señalan en el Cuadro N°80.

**Cuadro N°80. Ejemplo de métodos para la evaluación por bioindicadores.**

Método de Evaluación	Descripción del método, enfoque y criterios	¿Que evalúa?
RIVPACS (River Invertebrate Prediction System, UK)	Se basa en el uso de información sobre macroinvertebrados para la evaluación de la condición ecológica de un punto del río Usa la comparación entre la fauna observada y esperada Para la evaluación de la calidad biológica del punto en el río.	Evaluación de la condición
AUSRIVAS (Australian River Assessment System)	Se basa en el uso de información sobre macroinvertebrados para la evaluación de la condición ecológica de un punto del río. Se recolectan macroinvertebrados de sitios de referencia que representan condiciones menos deterioradas	Evaluación de la condición
IBI (Index of Biotic Integrity, EU)	Índice de evaluación multi-características basado en un conjunto de invertebrados o peces Emplea 12 características basadas en estructura y función de un conjunto de peces o invertebrados, que den una señal confiable de la condición del río para calcular el puntaje del índice de un punto del río, el cual es luego comparado con el puntaje de un sitio inalterado comparable Usa el enfoque de "condición de referencia" que incluye la evaluación de un ecosistema expuesto a un estrés potencial en comparación a un sitio no expuesto a este estrés.	Evaluación de la condición
HABSCORE (USEPA Rapid Bio-assessment Protocols-RPB)	Protocolo de bio-evaluación rápida (RBP) que usa peces, macroinvertebrados o periphyton para evaluar la condición del río Este índice multimétrico representa la condición biológica de un sitio En cada sitio también se miden parámetros físicos y químicos, los cuales se usan para la calibración e interpretación del índice, además de definir la condición de referencia	Evaluación de la condición
MuLFA (Multi-Level Fish based, river type specific Assessment of ecological integrity, Austria)	Un concepto de multi-nivel para evaluaciones de la integridad de cursos de agua basadas en peces, diseñado para monitoreos de gran escala (por ejemplo: Directiva Europea del Agua) El principio está basado en evaluar la desviación de condiciones de referencia inalteradas MulFA es sensitivo a una baja y alta dosis de alteración humana, debido a su carácter general , puede ser adaptado a todo tipo de ríos	Evaluación de la condición y del valor ecológico
SERCON (System for evaluating Rivers for Conservation, UK)	Diseñado para evaluar el valor de conservación de los ríos de acuerdo a los criterios de diversidad física, naturalidad, representatividad, rareza, riqueza de especies y características especiales Se deducen puntajes para cada variable, estos puntajes posteriormente se combinan para producir un índice para cada criterio de conservación Los datos en terreno siguen el Protocolo RHS	Evaluación de valor ecológico
PBH (Pressure-Habitat-Biota, Wales)	A sido desarrollado para el uso en curso de aguas de tamaño pequeño y mediano Las variables medidas representan las presiones sobre los ríos (reestructuración física, contaminación de aguas, especies introducidas), el hábitat de los ríos (área de hábitat, diversidad del hábitat, estabilidad del hábitat) y la biota en los ríos (diatomeas, vegetación ribereña, macrófitas, macroinvertebrados y peces)	Evaluación de la condición y del valor ecológico

Fuente: UNEP; UNESCO; IHP, Integrated Watershed Management. Ecology And Phytotechnology- Manual

### III.4.3.3.



### Otros antecedentes.

Como parte del criterio del consultor se considera adecuado que exista al menos una red básica de monitoreo con indicadores biológicos que considere las cuencas definidas como prioritarias en el estudio DGA/Cade-Idepe. Se sugiere hacer coincidir los puntos de muestreo con puntos de muestreo de calidad físico-química del agua ya que usualmente los indicadores biológicos se asocian a una cierta calidad físico química conocida, lo que es útil para comparar en casos en que se tiene uno solo de los dos análisis. Se sugiere incluir además en la red de monitoreo con bioindicadores las zonas ecológicas protegidas como son los parques nacionales.

De acuerdo con las características del análisis de esta red de monitoreo se sugiere el establecimiento de un acuerdo entre la DGA y las universidades regionales para la toma de muestras y análisis de las mismas. Debido a la necesidad de expertos especializados que requiere la evaluación de las muestras, además ayudaría a fomentar el desarrollo de estudios específicos que aumenten el conocimiento sobre los parámetros más indicados a estudiar en cada región.

#### III.4.3.4. Análisis y proposición.

De acuerdo a los estudios realizados a nivel nacional, a la sugerencia en estudios internacionales encontrados se considera que implementar un método de evaluación rápida sería lo más adecuado para una red mínima, ya que el requerimiento de recursos y de tiempo es menor en este tipo de evaluaciones. Esto sin perjuicio de desarrollar estudios más detallados a posteriori. Se recomienda que los organismos indicadores sean los macroinvertebrados, por su facilidad en análisis y muestreo, lo que se demuestra al ser incluidos en todos los estudios de biomonitoreo biológico que hasta el momento han sido realizados en Chile.

Considerando al menos tres zonas de muestreo por cuenca prioritaria se tiene la propuesta señalada en el Cuadro N°81.

### **Cuadro N°81. Estaciones de muestreo por región.**

Región	Estaciones			Total	
	Cuenca	Región	Parques Nacionales		
I	Lluta	3	6	2	8
	Tarapacá	3			
II	Loa	3	6	2	8
	Salar Atacama	3			
III	Copiapó	3	6	2	8
	Huasco	3			
IV	Elqui	3	9	1	10
	Limarí	3			
	Choapa	3			
V	Petroca	3	9	3	12
	La Ligua	3			
	Aconcagua	3			
VI	Rapel	3	3	1	4
VII	Mataquito	3	6		6
	Maule	3			
VIII	Itata	3	6	1	7
	Biobio	3			
IX	Imperial	3	6	5	11
	Toltén	3			
X	Valdivia	3	9	6	15
	Bueno	3			
	Mauñín	3			
XI	Baker	3	6	5	11
	Aysen	3			
XII	Serrano	3	9	4	13
	Las Minas	3			
	Side	3			
RM	Maipú	3	3		3
Total			84	32	116

#### *III.4.4. Determinación de los costos del programa.*

En este caso se considera solo los costos de operación del programa ya que no se necesita una infraestructura en las estaciones de muestreo, pues las muestras se toman a través de campañas de muestreo en las cuales el material necesario para la toma de muestras se lleva desde el laboratorio. Los puntos de muestreo coincidirán además con estaciones fluviométricas y de calidad preestablecidas de modo que no sea necesario establecer una infraestructura extra para demarcar el punto de muestreo.

##### III.4.4.1. Costos de Operación.

De acuerdo a lo sugerido con respecto a delegar el muestreo y análisis de muestras en las universidades, se ha cotizado el costo a las mismas de este tipo de análisis.

De acuerdo a lo consultado con la especialista Irma Vila de la facultad de Ciencias de la Universidad de Chile, se recomienda tomar un mínimo de 2 réplicas por punto de muestreo (6 es lo óptimo). Los costos por análisis de una muestra para macroinvertebrados bentónicos es de aproximadamente 1 UF por muestra (réplica). El costo del muestreo mismo fluctúa entre 0,6 y 1 UF, se supondrá 0,8 UF por muestra. Además se debe considerar viáticos y costos de traslados para la campaña de muestreo. Se considerará una frecuencia estacional de los muestreos, es decir 4 campañas al año.

**Cuadro N°82. Costos Biomonitorio.**

<b>Región</b>	<b>Total Estaciones</b>	<b>Total Muestras</b>	<b>Costo anual Muestras Miles \$</b>	<b>Costo anual Campañas Miles \$</b>	<b>Costo total anual Miles \$</b>
I	8	64	2.118	3.713	5.831
II	8	64	2.118	3.713	5.831
III	8	64	2.118	3.713	5.831
IV	10	80	2.647	4.041	6.688
V	12	96	3.177	4.369	7.546
VI	4	32	1.059	3.056	4.115
VII	6	48	1.588	3.385	4.973
VIII	7	56	1.853	3.549	5.402
IX	11	88	2.912	4.205	7.117
X	15	120	3.971	4.862	8.832
XI	11	88	2.912	4.205	7.117
XII	13	104	3.441	4.533	7.975
RM	3	24	794	2.892	3.686
<b>Total</b>	<b>116</b>	<b>928</b>	<b>30.707</b>	<b>50.237</b>	<b>80.944</b>

Fuente: Consulta expertos, Costos Campañas de muestreo DGA, UF: \$18.383 (23.Sep.06).

### **III.5. Monitoreo de Lagos.**

#### *III.5.1. Fundamentación.*

A partir de 1983 se inician estudios destinados a establecer una red de calidad de aguas y embalses. De esta forma se crea la Red mínima de control de lagos y embalses, que actualmente cuenta con aproximadamente 60 estaciones distribuidas en 15 cuerpos lénticos distribuidos en las regiones IV, VI, VIII, IX, X y Metropolitana. El objetivo de esta red es conocer el estado trófico de los principales lagos y embalses del país.

#### *III.5.2. Aspectos Metodológicos.*

Para el análisis del mejoramiento de la red de monitoreo de lagos se considerarán los estudios existentes en Chile, como el estudio de la red crítica de Lagos (1983); recomendaciones de estudios y experiencias internacionales y otros antecedentes (nuevos embalses, desarrollo de actividad turística, etc).

De acuerdo a los antecedentes recogidos se propondrá una red mejorada para el monitoreo de lagos. Se evaluarán además los costos asociados a esta red.

#### *III.5.3. Definición del Programa.*

##### **III.5.3.1. Estudios existentes.**

Dentro de los estudios existentes en Chile en cuanto a la red de calidad de Lagos, se puede comenzar por el estudio “Diseño de la Red Mínima de Control de Lagos y Embalses” (1983). En este estudio se recomienda como criterio general el control de lagos y embalses de acuerdo a los usos de las aguas y al valor comunitario de los mismos. A mayor uso mayor incertidumbre con relación a los cambios y efectos que se producirán en Lagos y embalses. El valor comunitario está relacionado con la dependencia de la población con respecto al lago o embalse, el cual se ve reforzado en los casos en que no existe un recurso alterativo.

Como criterio más específico el estudio propone muestrear aquellos cuerpos lénticos que alguna vez hayan sido estudiados para reconocer sus características o detectar algún problema. Exceptuando aquellos lagos de

evidente interés turístico que presenten algún problema aparente o se prevea su aparición en el futuro. También se consideró un criterio específico el excluir aquellos lagos sin actividad humana en sus riveras y no se visualice actividad en el futuro. Se excluyeron también los embalses de regulación anual ya que sus tiempos de renovación son pequeños.

De acuerdo a estos criterios se propone controlar los siguientes cuerpos lénticos:

- Laguna Chungará (21,5 km<sup>2</sup>, 426 Mm<sup>3</sup>, actividad minera, agrícola, hidroelectricidad, parque nacional)
- Laguna Cotacotani ( 6 km<sup>2</sup>, 30-40 Mm<sup>3</sup>, agrícola, hidroelectricidad, parque nacional)
- Embalse Conchi (22 Mm<sup>3</sup>, agrícola)
- Embalse La Paloma (30 km<sup>2</sup>, 780 Mm<sup>3</sup>, agrícola, recreacionales)
- Lago Peñuelas (95 Mm<sup>3</sup>, agua potable, recreacionales, reserva nacional)
- Embalse el Yeso (256Mm<sup>3</sup>, agua potable, agrícola, recreacionales)
- Laguna de Aculeo (12,5 km<sup>2</sup>, 41 Mm<sup>3</sup>, recreacionales)
- Embalse Rapel (80 km<sup>2</sup>, 695Mm<sup>3</sup>, hidroeléctrico, recreacionales, minera)
- Laguna Grande de San Pedro (1,43 km<sup>2</sup>, recreacionales)
- Lago Lanalhue (38 km<sup>2</sup>, recreacionales)
- Lago Villarrica (recreacionales, centros poblados)
- Lago Riñihue (recreacionales, centros poblados)
- Lago Ranco (447 km<sup>2</sup>, recreacionales, centros poblados)
- Lago Llanquihue (877 km<sup>2</sup>, recreacionales, centros poblados)
- Lago Parrillar (9,7km<sup>2</sup>, agua potable, reserva nacional)

Comparando los lagos incluidos en la red mínima y aquellos que se controlan actualmente (Cuadro N°83) se tiene una primera aproximación de aquellos lagos que se podrían incluir dentro de la red de monitoreo.

**Cuadro N°83. Red mínima y red actual.**

Región	Red actual	Red mínima
I	-	Lago Chungará Lago Cotacotani
II	-	Embalse Conchi
III	-	-
IV	Embalse La Paloma	Embalse La Paloma
V	-	Lago Peñuelas
VI	Embalse Rapel	Embalse Rapel
VII	-	-
VIII	Lago Lanalhue Laguna Grande San Pedro Laguna de la Laja	Lago Lanalhue Laguna Grande de San Pedro
IX	Lago Villarrica Lago Caburgua2	Lago Villarrica
X	Lago Calafquen Lago Panguipulli Lago Riñihue Lago Ranco Lago Llanquihue Lago Todos los Santos Lago Chapo	Lago Riñihue Lago Ranco Lago Llanquihue
XI	-	-
XII	-	Lago Parrillar
RM	Laguna de Aculeo	Embalse El Yeso Laguna de Aculeo

Dentro del estudio realizado como parte del programa de manejo de recursos hídricos (PMRH, MOP) que comienza el año 1999, se contemplan mejoras para la red de control de Lagos y embalses. De acuerdo a este estudio no se considera aumento en el número de cuerpos lénticos analizados, debido a la capacidad del laboratorio. Se contempla la descentralización creando centros limnológicos regionales y de esta forma incorporar nuevos parámetros (DBO, Coliformes, etc), además de continuar con los convenios con Universidades regionales. Se contemplan la ampliación y sistematización de los muestreos verticales, un aumento de los parámetros a medir in-situ, monitoreo de la calidad de los afluentes y efluentes a los lagos de la Red y el registro continuo de parámetros básicos. El instrumental requerido para las mejoras detalladas y que se contemplan como parte PMRH se detallan en el Cuadro N°84.

**Cuadro N°84. Aporte del PMRH a la Modernización de la Red Mínima de Control de Lagos y Embalses.**

Inversión Proyectada Miles US\$	Tipo de Actividad	Detalles de gastos estimados anualmente Miles de US\$
150	5 Sondas multiparámetros para 15 lagos de la red actual de monitoreo	50
	Instrumentos de análisis in situ:	
	2 espectofotómetros	10
	2 ecosondas	10
	2 kit DBO5	17
	Muestreadores, botellas Vandorf (3)	3
	Insumos y Mantenición	60

Fuente: PMRH, Abril 2002

### III.5.3.2. Experiencia Internacional.

De acuerdo al informe de la UN/ECE Working Group on Monitoring and Assessment sobre Monitoreo en Lagos Internacionales (Helsinki, 2002), se recopila alguna información acerca de las propiedades generales en el monitoreo actual de los lagos (Cuadro N°85).



**Cuadro N°85. Ejemplo de Lagos Europeos Internacionales con planes de monitoreo.**

Países	Nombre	Área (Km2)	Volumen (Mm3)	Población cuena (Habitantes)	Actividad	Parámetros	Frecuencia
España-Portugal	Embalse Alto Lindoso	10,72	390	~145.000	Agrícola (10%cuena), reserva natural, turístico, Prod. Electrica	Clorofila a, P total, DBO, OD, Col. Fec., NO <sub>3</sub> -N	mensual
Austria-Alemania-Suiza	Lago Constanza (Bodense e)	572	48.522	~1.402.000	Industrial, Agrícola, forestal, turística y centros poblados, AP	Temperatura, OD, P total, PO <sub>4</sub> -P, partición P, NO <sub>3</sub> -N, NO <sub>2</sub> -N, NH <sub>4</sub> -N, partición N, N-Kjeldahl, SiO <sub>2</sub> , C inorganico, Fe, Mn, Na, K, Ca, Mg, Cl, SO <sub>4</sub> , pH, Alcalinidad, onductividad, clorofila a, clorofila a+b, Biomasa de fitoplancton y de zooplancton, bacterioplancton	Al menos mensual
						Análisis radiológico	anual
Polonia-Lituania	Lago Galadus	7,4	92,5	~1.800	Agrícola (60%), turismo	Temperatura, pH, conductividad, transparencia (Secchi), color, alcalinidad, OD, P total, P-PO <sub>4</sub> , N total, NO <sub>3</sub> -N, NH <sub>4</sub> -N, COD, DBO <sub>5</sub> , Ca, Mg, Na, K, Cl, SO <sub>4</sub> , Pb, Cd, Cu, Cr, Ni, Zn, Al, Fe, Mn, clorofila a, macrozoobentos y fitoplancton, Coliformes, Análisis de radioactividad (R)	Estudio
Finlandia - Rusia	Lago Inari	1.043	15.920	~7.100	Reserva natural, agrícola (<0,01%), centros poblados, turismo, pesca	Temperatura, transparencia (Secchi), OD, turbiedad, conductividad, alcalinidad, pH, color, COD, Mn, P total, PO <sub>4</sub> -P, N total, NO <sub>23</sub> -N, NH <sub>4</sub> -N, Cl, SO <sub>4</sub> , Fe, Mn, Na, K, Ca, Mg, Al, Se y Clorofila a en verano. Análisis microbiológicos en zonas de descarga	Al menos 3 * año
						Muestras de fito- y zooplancton	5 *verano
						Muestras de fauna del fondo	Anual(Oct.)
Rumania-Yugoslavia	Lago Iron Gates I	260	2.400	~50.000	Agrícola, Industrial, transporte, Prod. Electrica	Temperatura, pH, conductividad, OD, DBO <sub>5</sub> , COD-Mn, COD-Cr, Cl, SO <sub>4</sub> , Ca, Ma, NO <sub>3</sub> -N, NO <sub>2</sub> -N, NH <sub>4</sub> -N, N total, Fe total, PO <sub>4</sub> -P, P total, Mn, material suspendido, Turbiedad, CO <sub>3</sub> . Fitoplancton y zooplancton	4*año

**Cuadro N°85. Ejemplo de Lagos Europeos Internacionales con planes de monitoreo.**  
(continuación)

Países	Nombre	Área (Km2)	Volumen (Mm3)	Población cuenca (Habitantes)	Actividad	Parámetros	Frecuencia
Rumania-Yugoslavia	Lago Iron Gates I	78	800	~145.700	Agrícola, Industrial, transporte, Prod. Eléctrica	Temperatura, pH, conductividad, OD, DBO <sub>5</sub> , COD-Mn, COD-Cr, Cl, SO <sub>4</sub> , Ca, Ma, NO <sub>3</sub> -N, NO <sub>2</sub> -N, NH <sub>4</sub> -N, N total, Fe total, PO <sub>4</sub> -P, P total, Mn, material suspendido, Turbiedad, CO <sub>3</sub> . Fitoplancton y zooplancton	4* año
Georgia-Azerbaiján	Lago Jandari	12,5	23-52	~21.500	Agrícola, pesca	Sólidos Suspendidos, OD, COD, DBO, Fenoles, Hidrocarburos, Detergentes, NO <sub>3</sub> -N, NO <sub>2</sub> -N, NH <sub>4</sub> -N, fosfatos, DDT, Hexaclorociclohexano.	12* año
Espania-Portugal	Embalse Miranda	1,22	28,1	~1.080.000	Agrícola (80%), industrial, AP, turismo, Prod. Eléctrica	P total, clorofila a, DBO, OD, Coliformes Fecales, Nitratos	mensual
Austria-Hungría	Neusiedler See/Fertótó	315	2,500	~123.200	Agrícola (75%), pesca, turismo, cosecha de juncos	Color, Turbiedad, temperatura, pH, Conductividad, OD, DBO, DQO, COT, sales minerales, nutrientes y microcontaminantes orgánicos. clorofila a, fitoplancton, zooplnton y peces. coliformes, bacterias totales y salmonella	Mensual (bilateral)
Finlandia-Rusia	Lago Nuijamaan järvi	7,65	28	~2.700	Agrícola (28,2%), Industrial, transporte y turismo	Temperatura, transparencia, OD, pH, conductividad, turbiedad, sólidos suspendidos, color, COD-Mn, DBO <sub>7</sub> , P-tot, N-tot, Fe, Mn, Na, Zn, Ni, Pb, Cu, Cr, Cd, As, Hg, fenoles, aceites minerales, clorofila a.	Mensual (bilateral)
Albania - Macedonia	Lago Ohrid	358,18	586.400	~98.500	Agrícola (5%), industrial, pesca, turismo, Prod. Eléctrica, reserva natural	Temperatura, conductividad, transparencia (Secchi), P-total, PP, Psol., composición del fitoplancton, clorofila (a, b y c), feofitina, producción primaria (C-14), zooplancton. Escherichia Coli (en áreas de contaminación)	Mensual o bimensual
						Metales pesados en macrófitas y metales pesados y pesticidas en peces	Cada 5 años
						Lista y distribución de vegetación, inventario de comunidades bentónicas	Cada 10 años
						Cambios en los huevos de peces (en el litoral)	1* año

En general en los cuerpos lénticos monitoreados en este inventario se controlan parámetros que dan cuenta de la eutroficación del lago o embalse. La contaminación que promueve la eutroficación proviene principalmente de centros urbanos y de la agricultura que se desarrolla en la cuenca de los lagos.

En los planes de monitoreo de España se está implementando el monitoreo de la calidad de lagos y embalses, dando prioridad a los siguientes parámetros:

- Columna de agua: temperatura, conductividad, oxígeno disuelto (OD), pH, transparencia, turbiedad, NH<sub>4</sub>, SH<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NKT, PO<sub>4</sub>, Ptotal, Fe Total, Mn total, clorofila a, fitoplancton, zooplancton
- Sedimento: Granulometría, naturaleza consistencia, textura, presencia de gas, olor, color, materia orgánica total (MOT), materia orgánica oxidable, N total, Ptotal, zoobetos.

En el monitoreo español se contempla una frecuencia de muestro de 4 veces al año en general, pero para algunos embalses se considera 6 veces al año.

### III.5.3.3.

Otros Antecedentes.

De acuerdo al criterio de los usos, ya sea turístico o de alguna actividad que tenga un impacto significativo en la calidad del Lago (acuicultura, población ribereña) se tiene el Cuadro N°86

**Cuadro N°86. Usos de Lagos.**

Región	Acuicultura	Turismo	Agricultura	Agua Potable	Población
I		Lago Chungará	Lago Chungará		
II			Embalse Conchi		
III					
IV		Embalse Puclaro	Embalse Puclaro Embalse Paloma		
V				Peñuelas	
VI		Embalse Rapel			
VII		Lago Vichuquén			
VIII		Laguna San Pedro Lago Lanalhue Lago Lleulleu			Lago Lanalhue
IX	Lago Villarrica	Lago Villarrica Lago Caburgua2 Lago Budi			Lago Villarrica
X		Lago Puyehue Lago Rupanco Lago Calafquen Lago Panguipulli Lago Riñihue Lago Ranco Lago Llanquihue Lago Todos los Santos Lago Chapo			Lago Panguipulli Lago Ranco Lago Llanquihue Lago Riñihue
XI	Lago General Carrera, Lago Los Palos, Lago Riesco	Lago General Carrera, Lago Elizalde		Lago General Carrera	Lago General Carrera
XII		Torres del paine (lago del Toro, Grey, Sarmiento, Pehoé y Nordenskjold)		Lago Parrillar	
RM		Laguna Aculeo	El Yeso	El Yeso	

Fuente: Sernatur, Turistel, consulta DGA regional

#### III.5.3.4. Análisis y proposición.

Se propone incorporar a la red de monitoreo de lagos los siguientes cuerpos lénticos:

- Lago Chungará: Importantes cambios manifestados en estudios del lago, importancia de los usos y escasez del recurso en la región.
- Embalse Conchi: importancia de los usos y escasez del recurso en la región
- Embalse Puclaro: Actividad agrícola importante, uso turístico actual y potencial.
- Lago Vichuquén: Uso turístico actual y potencial.
- Lago Budi: Uso en desarrollo regional, Uso turístico.
- Embalse el Yeso: Uso estratégico (Agua potable capital), uso agrícola y turístico.
- Lago Puyehue: Uso turístico actual y potencial.
- Lago General Carrera: Uso turísticos actual y potencial, población ribereña, desarrollo de acuicultura
- Lago Riesco: Uso en Acuicultura.
- Lago los Palos: Uso en Acuicultura
- Lago Elizalde: Uso Turístico.
- Circuito Torres del Paine: lago del Toro, Gray, Sarmiento, Pehoé y Nordenskjold. Uso turístico actual y potencial.

Se propone mantener los parámetros que actualmente se muestrean ( $T^{\circ}$ , pH, conductividad, OD, turbiedad,  $N_{total}$ , N-NO<sub>3</sub>, N-NO<sub>2</sub>, N-NH<sub>3</sub>, P<sub>total</sub>, P-PO<sub>4</sub>, DQO, SiO<sub>2</sub> y clorofila a), así como la frecuencia (estacional).

#### *III.5.4. Determinación de los costos del programa.*

En este caso se considera solo los costos de Operación del programa ya que no se necesita una infraestructura en las estaciones de muestreo.

##### III.5.4.1. Costos de Operación.

Dentro de los costos de operación se consideran los costos de cada campaña de muestreo (traslados, bencina, viáticos, etc) y el costo de los análisis por muestra. Actualmente por los 16 lagos de la red mínima y las 4 campañas anuales se tiene un costo de \$12.000.000 anuales, con un costo de \$3 millones por campaña. Si se consideran 16 lagos más sería duplicar el presupuesto para las campañas de lagos.

Para los costos de muestreos se considerará 3 estaciones por lago (16 lagos) con 14 parámetros por cada muestra (T°, pH, conductividad, OD, turbiedad, N total, N-NO<sub>3</sub>, N-NO<sub>2</sub>, N-NH<sub>3</sub>, P total, P-PO<sub>4</sub>, DQO, SiO<sub>2</sub> y clorofila a) y 4 campañas anuales. Estas cifras arrojan un total de 2.688 análisis. A un costo unitario promedio de \$3.390 por análisis, el costo anual por el análisis de laboratorio es de M\$9.112.

Por lo tanto el costo de introducir los cuerpos lénticos propuestos al monitoreo mínimo de lagos y embalses es de M\$21.112.