

**GOBIERNO DE CHILE**  
**MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS**

**DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS**

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

**CUENCA DEL RIO ELQUI**

<b>D</b>	<b>17/12/2003</b>	<b>Aprobación</b>	<b>MTB/AR</b>	<b>MTB</b>	<b>RCC</b>
<b>A</b>	<b>16/09/2003</b>	<b>Comentarios</b>	<b>MTB/AR</b>	<b>MTB</b>	<b>RCC</b>
<i>Versión</i>	<i>Fecha</i>	<i>Emitido para</i>	<i>Preparó</i>	<i>Revisó</i>	<i>Cade-Idepe</i>
<b>P-1940</b>			<b>1940-ELQ-09</b>		
<small>Nº DEL PROYECTO</small>			<small>Nº DEL DOCUMENTO</small>		

T:\Proyecto\1940\docs\INFORME\ETAPAIII\1940-ELQ-09\ELQ-09B.doc

**INDICE**

<b><u>ITEM</u></b>	<b><u>DESCRIPCION</u></b>	<b><u>PAGINA</u></b>
1.	DESCRIPCION DE LA CUENCA Y DEFINICION DE CAUCES.....	1
2.	RECOPIACION DE INFORMACION Y CARACTERIZACION DE LA CUENCA.....	2
2.1	Cartografía y Segmentación Preliminar .....	2
2.2	Sistema Físico - Natural .....	4
2.2.1	Clima .....	4
2.2.2	Geología y volcanismo .....	6
2.2.3	Hidrogeología .....	8
2.2.4	Geomorfología .....	9
2.2.5	Suelos .....	11
2.3	Flora y Fauna de la Cuenca del río Elqui.....	11
2.3.1	Flora terrestre y acuática.....	11
2.3.2	Fauna acuática .....	13
2.4	Sistemas Humanos.....	14
2.4.1	Asentamientos humanos .....	14
2.4.2	Actividades económicas .....	15
2.5	Usos del Suelo .....	15
2.5.1	Uso agrícola .....	16
2.5.2	Uso forestal.....	17
2.5.3	Uso urbano .....	17
2.5.4	Áreas bajo Protección Oficial y Conservación de la Biodiversidad .....	18
3.	ESTABLECIMIENTO DE LA BASE DE DATOS.....	19
3.1	Información Fluviométrica .....	19
3.2	Usos del Agua.....	20
3.2.1	Usos in – situ .....	21
3.2.2	Usos extractivos .....	21
3.2.3	Biodiversidad .....	24
3.2.4	Usos ancestrales .....	24
3.2.5	Conclusiones .....	25
3.3	Descargas a Cursos de Agua .....	27
3.3.1	Descargas de tipo domiciliario .....	27
3.3.2	Residuos industriales líquidos .....	29
3.3.3	Contaminación difusa.....	31

**INDICE**

<b><u>ITEM</u></b>	<b><u>DESCRIPCION</u></b>	<b><u>PAGINA</u></b>
3.4	Datos de Calidad de Aguas .....	31
3.4.1	Fuentes de Información.....	31
3.4.2	Aceptabilidad de los programas de monitoreo.....	36
4.	ANALISIS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACDN .....	37
4.1	Análisis de Información Fluviométrica.....	37
4.1.1	Análisis por estación.....	37
4.1.2	Conclusiones .....	48
4.2	Análisis Espacio-Temporal en Cauce Principal .....	49
4.2.1	Selección de parámetros .....	49
4.2.2	Análisis de tendencia central.....	52
4.2.3	Programa de muestreo.....	57
4.2.4	Base de Datos Integrada (BDI) .....	57
4.2.5	Procesamiento de datos por período estacional .....	59
4.3	Factores Incidentes en la Calidad del Agua .....	76
5.	CALIDAD ACTUAL Y NATURAL DE LOS CURSOS SUPERFICIALES .....	84
5.1	Análisis Espacio-Temporal en Cauce Principal .....	84
5.2	Caracterización de la Calidad de Agua a Nivel de la Cuenca .....	94
5.3	Asignación de Clases de Calidad Actual a Nivel de la Cuenca .....	98
5.4	Calidad Natural .....	105
5.4.1	Conductividad eléctrica.....	107
5.4.2	pH.....	107
5.4.3	Cloruro .....	108
5.4.4	Sulfatos .....	108
5.4.5	Boro.....	108
5.4.6	Cobre .....	109
5.4.7	Hierro .....	109
5.4.8	Manganeso .....	110
5.4.9	Molibdeno .....	110
5.4.10	Niquel.....	110
5.4.11	Zinc .....	111
5.4.12	Aluminio .....	111
5.4.13	Arsénico.....	111
5.4.14	Plomo.....	112

## **INDICE**

<b><u>ITEM</u></b>	<b><u>DESCRIPCION</u></b>	<b><u>PAGINA</u></b>
5.4.15	Falencias de información.....	112
5.4.16	Conclusiones .....	112
6.	PROPOSICION DE CLASES OBJETIVOS .....	114
6.1	Establecimiento de Tramos.....	114
6.2	Requerimientos de Calidad según Usos del Agua.....	116
6.3	Grado de Cumplimiento de la Calidad Objetivo.....	122
7.	OTROS ASPECTOS RELEVANTES .....	123
7.1	Indice de Calidad de Agua Superficial .....	123
7.1.1	Antecedentes .....	123
7.1.2	Estimación del ICAS .....	123
7.1.3	Estimación del ICAS objetivo .....	124
7.2	Zonas de Dilución .....	125
7.2.1	Criterios generales para la definición de una zona de dilución .....	125
7.2.2	Normativa chilena vigente .....	126
7.2.3	Condiciones hidráulicas del cuerpo receptor.....	127
7.2.4	Criterios geométricos para definir la zona de dilución .....	127
7.2.5	Criterios matemáticos (Modelación de la pluma efluente).....	128
7.2.6	Criterios ecotóxicos .....	129
7.3	Programa de Monitoreo Futuro .....	130
7.4	Sistema de Información Geográfico.....	132
7.5	Referencias.....	132

## **ANEXOS**

Anexo 3.1 :	Estadísticas de Caudales Medios Mensuales
Anexo 3.2 :	Contaminación Difusa
Anexo 3.3 :	Base de Datos Depurada (Archivo Magnético)
Anexo 4.1 :	Tendencia Central
Anexo 4.2 :	Base de Datos Integrada (Archivo Magnético)
Anexo 4.3 :	Mapa Potencial de Generación Ácida
Anexo 6.1 :	Asignación de Clase Actual y Objetivo Cuenca del Río Elqui
Anexo 7.1 :	Índice de Calidad Actual Cuenca del Río Elqui

## 1. DESCRIPCION DE LA CUENCA Y DEFINICION DE CAUCES

La cuenca hidrográfica del río Elqui se ubica aproximadamente entre los paralelos 29°35' y 30°20' de latitud sur, con una extensión de 9.826 km<sup>2</sup>.

El río Elqui se genera a 815 m s.n.m, 2 km aguas arriba de Rivadavia, de la unión de los ríos Turbio que viene del oriente y Claro o Derecho que provienen del sur. Desde Rivadavia, a 75 km de La Serena, el río principal se desarrolla casi en dirección E-W y prácticamente no recibe afluentes, salvo varias quebradas de considerable desarrollo, pero normalmente secas y que sólo le aportan agua en caso de lluvia directa en los años muy húmedos. Normalmente, un área cercana a 3.900 km<sup>2</sup>, no participa del comportamiento hidrológico del Elqui. Por la ribera norte las quebradas más importantes son Marquesa y Santa Gracia, que confluyen en su curso medio e inferior, respectivamente. Por el sur, recibe las quebradas San Carlos, Arrayán y Talca, aparte de otras menores.

Si bien dichas quebradas no aportan escurrimientos superficiales, entre Algarrobal y La Serena numerosas vertientes descargan sobre la planicie aluvial del río con caudales que van de unos pocos litros por segundo hasta 250 l/s.[Ref. 1.1]

El río Turbio se forma 43 km aguas arriba de Rivadavia y a 1.370 m s.n.m., de la unión de los ríos Toro y La Laguna, drenando un área de 4.196 km<sup>2</sup>. A partir de la confluencia de sus tributarios, toma rumbo al NW y a la altura del pueblo de Guanta, describe un gran arco para definir un rumbo final N-S, que es la prolongación del rumbo que trae la quebrada tributaria del Calvario. El río Claro o Derecho nace también en la alta cordillera y su único afluente es el río Cochiguaz. El área drenada es de 1.512 km<sup>2</sup>, y toma rumbo N-S con una longitud de 65 km.

Los cauces superficiales incluidos en el estudio son los siguientes:

- río Elqui
- río Claro o Derecho
- río Cochiguaz
- río Turbio
- río Incaguaz
- río de la Laguna
- río del Toro
- río Vacas Heladas
- río Malo

## 2. RECOPIACION DE INFORMACION Y CARACTERIZACION DE LA CUENCA

### 2.1 Cartografía y Segmentación Preliminar

#### a) Cartografía

La cartografía utilizada en la Cuenca del río Elqui incluye una amplia variedad de información vectorial la que procede de las siguientes fuentes:

- Bases cartográficas del SIGIRH, del MOP-DGA. Escala 1:250.000
- Bases del Sistema de Información Ambiental Regional (SIAR) de CONAMA.
- Bases del Catastro de Bosque Nativo de la CONAF, reclasificado por CONAMA.
- Sistema de información integrado de riego (SIIR), de la Comisión Nacional de Riego (CNR.)
- Catastro de Bocatoma MOP/DGA

Dado que las fuentes de información son diversas y que se ha definido como parámetro de referencia el sistema desarrollado por la DGA, se ha aplicado el proceso de análisis establecido en la Metodología. Además ha sido necesario verificar las codificaciones para generar la unión de bases de datos.

#### b) Segmentación preliminar

La segmentación adoptada en la cuenca del río Elqui es la indicada en la Tabla 2.1, la que se muestra en la lámina 1940-ELQ-02.

Tabla 2.1: Segmentación adoptada en los cauces seleccionados de la Cuenca del río Elqui

CUENCA RIO ELQUI					Límites de los segmentos	
SubCuenca	Cauce	REF	SubSeg	Código	Inicia en:	Termina en:
0430	Río DEL TORO	TO	1	0430 - TO - 10	CONFLUENCIA RIO MALO Y RIO VACAS HELADAS	CONFLUENCIA RIO DE LA LAGUNA
0430	Río MALO	MA	1	0430 - MA - 10	NACIENTE RIO MALO	EST. CALIDAD RIO MALO DESPUES TRANQUE DE RELAVES MINERA
0430	Río MALO	MA	2	0430 - MA - 20	EST. CALIDAD RIO MALO DESPUES TRANQUE DE RELAVES MINERA	CONFLUENCIA RIO VACAS HELADAS
0430	Río VACAS HELADAS	VA	1	0430 - VA - 10	NACIENTE RIO VACAS HELADAS	CONFLUENCIA RIO MALO
0430	Río LA LAGUNA	LL	1	0430 - LL - 10	NACIENTE EN PRESA EMBALSE LA LAGUNA	CONFLUENCIA RIO DEL TORO
0430	Río INCAHUAZ	IN	1	0430 - IN - 10	NACIENTE RIO INCAHUAZ	CONFLUENCIA RIO TURBIO
0430	Río TURBIO	TU	1	0430 - TU - 10	CONFLUENCIA RIO DEL TORO Y RIO DE LA LAGUNA	CONFLUENCIA RIO INCAHUAZ
0430	Río TURBIO	TU	2	0430 - TU - 20	CONFLUENCIA RIO INCAHUAZ	EST. CALIDAD RIO TURBIO EN GUANTA
0430	Río TURBIO	TU	3	0430 - TU - 30	EST. CALIDAD RIO TURBIO EN GUANTA	EST. CALIDAD RIO TURBIO EN VARILLAR
0430	Río TURBIO	TU	4	0430 - TU - 40	EST. CALIDAD RIO TURBIO EN VARILLAR	CONFLUENCIA RIO CLARO
0431	Río COCHIGUAZ	CO	1	0431 - CO - 10	NACIENTE RIO COCHIGUAZ	CONFLUENCIA RIO CLARO
0431	Est. DERECHO	ED	1	0431 - ED - 10	NACIENTE ESTERO DERECHO	EST. CALIDAD ESTERO DERECHO EN ALCOHUAZ
0431	Río CLARO	CL	1	0431 - CL - 10	EST. CALIDAD ESTERO DERECHO EN ALCOHUAZ	CONFLUENCIA RIO COCHIGUAZ
0431	Río CLARO	CL	2	0431 - CL - 20	CONFLUENCIA RIO COCHIGUAZ	CONFLUENCIA RIO TURBIO
0432	Río ELQUI	EL	1	0432 - EL - 10	CONFLUENCIA RIO CLARO Y TURBIO	EST. CALIDAD RIO ELQUI EN ALGARROBAL
0432	Río ELQUI	EL	2	0432 - EL - 20	EST. CALIDAD RIO ELQUI EN ALGARROBAL	ENTRADA EMBALSE PUCLARO
0432	Río ELQUI	EL	3	0432 - EL - 30	SALIDA EMBALSE PUCLARO	EST. CALIDAD RIO ELQUI EN ALMENDRAL
0432	Río ELQUI	EL	4	0432 - EL - 40	EST. CALIDAD RIO ELQUI EN ALMENDRAL	LIMITE DE SUBCUENCA
0433	Río ELQUI	EL	1	0433 - EL - 10	LIMITE DE SUBCUENCA	EST. CALIDAD RIO ELQUI EN PUENTE LAS ROJAS
0433	Río ELQUI	EL	2	0433 - EL - 20	EST. CALIDAD RIO ELQUI EN PUENTE LAS ROJAS	DESEMBOCADURA

## 2.2 Sistema Físico - Natural

### 2.2.1 Clima

La cuenca del río Elqui, presenta tres tipos climáticos, el Estepárico costero o Nuboso, Estepa Cálido y Templado Frío de Altura.

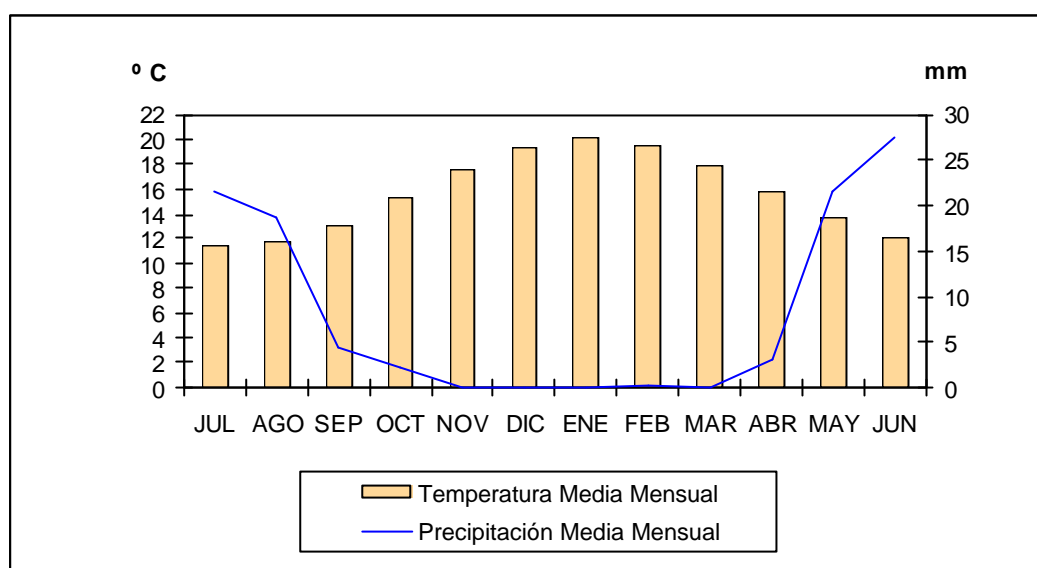
- a) Clima Estepárico costero o Nuboso: se presenta a lo largo de toda la costa. Su influencia llega hasta el interior hasta 40km, por medio de los valles transversales y quebradas. Su mayor característica es la abundante nubosidad; humedad, temperaturas moderadas, con un promedio de precipitaciones de 130 mm anuales con un período seco de 8 a 9 meses
- b) Clima de Estepa Cálido: este clima se sitúa en el valle del río Elqui, por sobre los 800 metros y se caracteriza por la ausencia de nubosidad y sequedad del aire. Sus temperaturas son mayores que en la costa, las precipitaciones no son tan abundantes y los períodos de sequía son característicos.
- c) Clima Templado Frío de Altura: este clima se localiza en la Cordillera de Los Andes sobre los 3.000 metros de altitud con características de altas precipitaciones, temperaturas bajas y nieves permanentes que constituyen un aporte significativo de agua en el período estival [Ref. 2.1].

Con relación a las precipitaciones, los registros de precipitación media anual corresponden a 73,9 mm en el sector de Guanta; 92,4 mm en Paihuano y 137,5 mm en la localidad de Vicuña. El total de agua caída por año alcanza a 125,7 mm.

Las temperaturas varían de 0°C en el sector cordillerano (>3000 m s.n.m.) a 16°C en el sector costero (<1500 m s.n.m.). La estación agroclimática Ovalle registra una temperatura media anual de 16,6°C, con una mínima de 9,4°C y una máxima de 23,8°C.

En el siguiente diagrama climático (Figura 2.1), se presentan los montos de precipitación y temperaturas medias mensuales del río Elqui en el sector de confluencia con los ríos Turbio y Claro.





Ref [2.2]

**Figura 2.1 Diagrama Ombrotérmico, sector nacimiento río Elqui (junta ríos Turbio y Claro)**

En la figura anterior, se identifican claramente las estaciones secas y húmedas. El período seco, se manifiesta en los meses de Septiembre a Abril con precipitaciones medias mensuales que varían entre 0 a 3,1mm y temperaturas comprendidas entre 13,1 y 20,1°C (Enero). El período húmedo, se presenta desde Mayo a Agosto registrando precipitaciones medias mensuales entre 18,8 y 27,6 mm y temperaturas entre 11,5 y 13,6 °C.

Las variables climáticas de humedad relativa y evapotranspiración potencial registrados en el sector alto (río Elqui en nacimiento junta ríos Turbio y Claro) y la desembocadura (La Serena) de la cuenca, se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 2.2: Humedad relativa y Evapotranspiración potencial en la cuenca**

Meses	Río Elquí en nacimiento		Río Elquí en desembocadura	
	Humedad Relativa (%)	Evapotranspiración Potencial (mm)	Humedad Relativa (%)	Evapotranspiración Potencial (mm)
Ene	45	205.0	75	165.0
Feb	45	194.6	76	156.4
Mar	46	166.2	78	133.0
Abr	48	127.5	80	101.0
May	49	88.7	83	69.0
Jun	50	60.4	84	45.6
Jul	50	50.0	85	37.0
Ago	49	60.4	84	45.6
Sep	48	88.8	82	69.0
Oct	47	127.5	79	101.0
Nov	46	166.3	77	133.0
Dic	45	194.6	80	156.4

Ref [2.3]

### 2.2.2 Geología y volcanismo

Todos los cauces se encuentran sobre formaciones geológicas constituida por depósitos no consolidados y rellenos de depósitos fluviales; gravas, arenas y limos del curso actual de los ríos mayores o de sus terrazas subactuales y llanuras de inundación. Los alrededores de los cauces presentan una amplia variedad de formaciones geológicas, siendo las más importantes desde el punto de vista de calidad de agua, las siguientes:

- Sector Quebrada Santa Gracia y La Caleta

Rocas MP1m de tipo Sedimentarias del Mioceno superior-Plioceno. Secuencias sedimentarias marinas transgresivas: areniscas, limolitas, coquinas, conglomerados claizas y fangolitos; ubicadas entre las quebradas, formando una franja de ancho variable.

- Quebrada Marquesa

Rocas Kibg de tipo intrusivas del Cretácico Inferior bajo. Monzodioritas y dioritas de piroxeno, hornenda y biotita, granodioritas y tonalitas. Mineralizaciones de Fe.

- Quebrada Las Cañas

Rocas Kibg de tipo intrusivas del Cretácico Inferior bajo. Monzodioritas y dioritas de piroxeno, hornblenda y biotita, granodioritas y tonalitas. Mineralizaciones de Fe.

- Quebrada Las Cañas

Rocas Kiag de tipo intrusivas del Cretácico inferior alto-cretácico superior bajo. Dioritas y monzodioritas de piroxeno y hornblenda, granodioritas, monzodioritas de hornblenda y biotita. Asociados a mineralización de Fe, Cu, Au.

- Quebrada San Carlos

Rocas Kiag de tipo intrusivas del Cretácico inferior alto-cretácico superior bajo. Dioritas y monzodioritas de piroxeno y hornblenda, granodioritas, monzodioritas de hornblenda y biotita. Asociados a mineralización de Fe, Cu, Au.

- Sector entre límite de la subcuenca de quebrada Marquesa con la Qda. Chacal.

Rocas JK3 de tipo volcánicas del Jurásico Superior-Cretácico Inferior. Secuencias volcánica, lavas, basálticas a riolíticas, domos brechas y aglomerados andesíticos a dacíticos con intercalaciones clásticas continentales y marinas.

- Quebrada Los Loros

Rocas Ki2c de tipo volcano-Sedimentarias del Cretácico inferior-Cretácico superior. Secuencias sedimentarias y volcánicas continentales, con escasas intercalaciones marinas: brechas sedimentarias y volcánicas, lavas andesíticas, conglomerados de areniscas, limolitas calcáreas lacustres con flora fósil.

- Quebrada Uchumi

Rocas Ki2c de tipo volcano-sedimentarias del Cretácico inferior-Cretácico superior. Secuencias sedimentarias y volcánicas continentales, con escasas intercalaciones marinas: brechas sedimentarias y volcánicas, lavas andesíticas, conglomerados de areniscas, limolitas calcáreas lacustres con flora fósil.

- Quebrada Vega Negra

Rocas PEG de tipo intrusivas del Paleoceno-Eoceno. Monzodioritas de piroxeno y biotita, granodioritas y monzodioritas de hornblenda y biotita, dioritas, grabos y pórfidos riolíticos y dacíticos, asociados a mineralización de Cu-Au.

- Sector Río Cochiguaz y San Andrés

Rocas PEG de tipo Intrusivas del Paleoceno-Eoceno. Monzodioritas de piroxeno y biotita, granodioritas y monzodioritas de hornblenda y biotita, dioritas, grabos y pórfidos riolíticos y dacíticos, asociados a mineralización de Cu-Au.

- Sector estero Guanta

Rocas Js2c de tipo volcano-sedimentarias del Jurásico medio-superior. Secuencias sedimentarias y volcánicas continentales, rocas epiclásticas, piroclásticas, lavas andesíticas a riolíticas; ubicadas de manera casi perpendicular al estero de Guanta [Ref 2.4].

No existe influencia volcánica en esta cuenca.

### 2.2.3 Hidrogeología

La cuenca hidrográfica del río Elqui se extiende desde la latitud 29°18 por el norte hasta la latitud 30°26 por el sur.

En la parte alta, destaca la existencia de permeabilidad muy baja debido a la existencia de rocas metamórficas y sedimentarias, volcánicas y plutónicas e hipabisales del período paleozoico motivo por el cual el escurrimiento subterráneo ocurre paralelo a los cauces.

Destacan claramente tres escurrimientos: uno en dirección ESW paralelo al río Turbio hasta el poblado de Rivadavia con una profundidad promedio de 45 m y productividad de 50 m<sup>3</sup>/h/m. Este acuífero escurre a través de rocas de permeabilidad muy baja encauzándose paralelo al río Turbio.

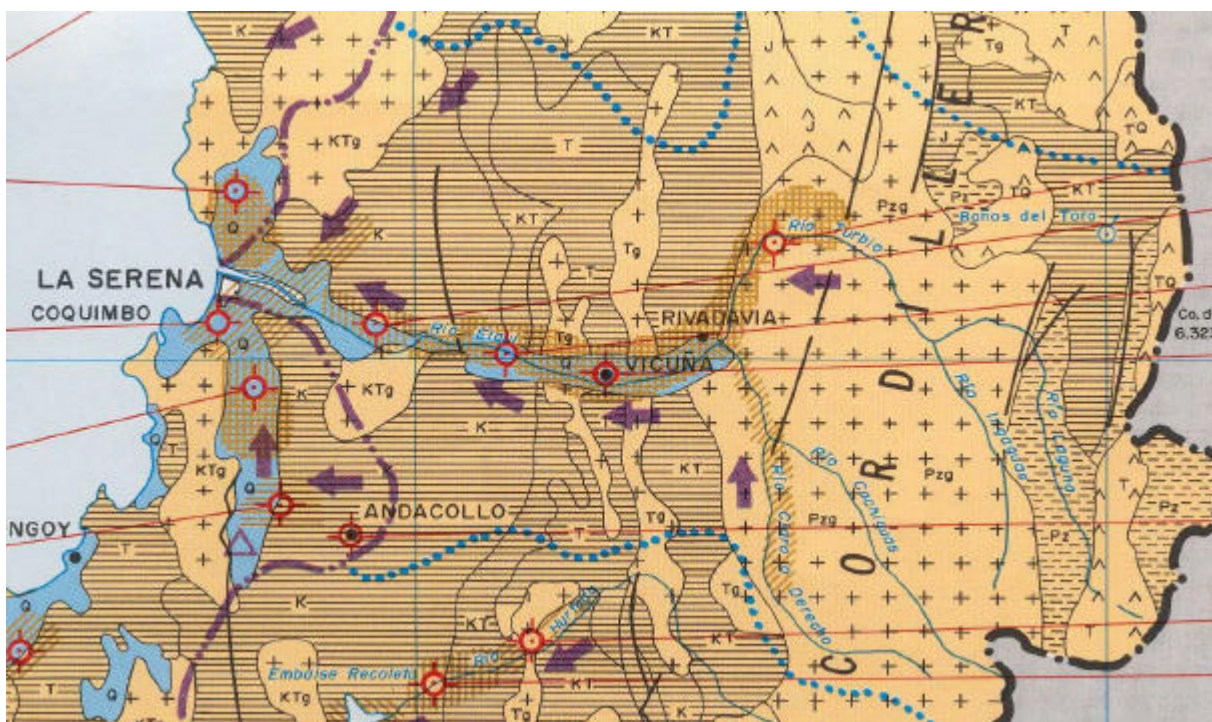
En dirección Sur a Norte por un lecho de rocas Plutónicas escurren aguas subterráneas paralelas al río Claro o Derecho hasta la confluencia con el Turbio en Rivadavia.

Desde Rivadavia hasta la desembocadura en La Serena el acuífero escurre en dirección EW, por depósitos no consolidados o rellenos con profundidades freáticas que varían de los 17 a los 3 metros, encajonados por rocas sedimentario – volcánicas de muy baja

productividad. En este sector del valle, el acuífero freático que se extiende ininterrumpidamente a lo largo de todo el valle, sólo muestra un leve grado de semiconfinamiento en el sector terminal (La Serena). Dicho acuífero presenta valores de transmisividad variables entre 4.200 y 100  $\text{m}^2/\text{día}$ , estimándose como valor medio unos 500  $\text{m}^2/\text{día}$ .

Existe un último acuífero que escurre en dirección NSW paralelo a la cordillera de la Costa por rocas volcánico – sedimentarias del período cretácico, para juntarse al flujo subterráneo principal en las cercanías de la Serena [Ref 2.5].

La figura 2.2 representa las características hidrogeológicas de la cuenca hidrográfica del río Elqui.



[Ref. 2.5]

**Figura 2.2: Características Hidrogeológicas de la cuenca del río Elqui**

#### 2.2.4 Geomorfología

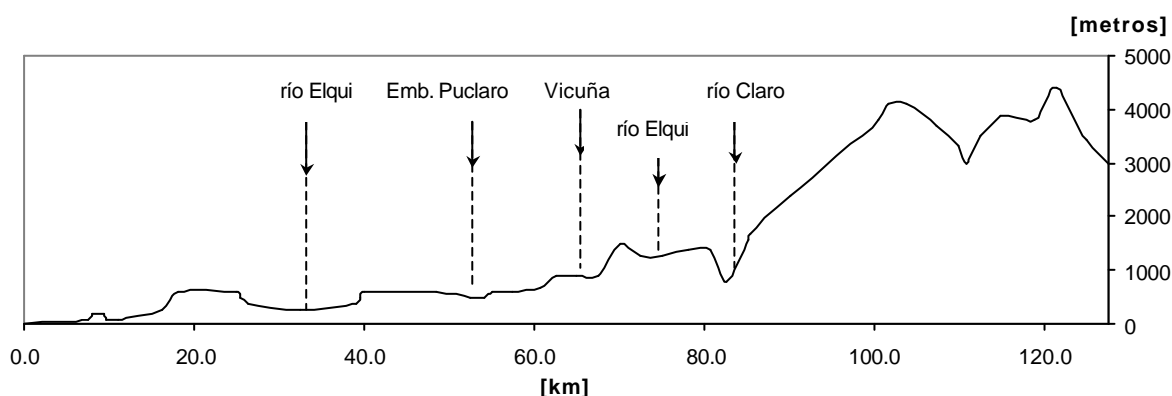
Desde el punto de vista geomorfológico, existe una serie de elementos fisiográficos se pueden identificar claramente; los grupos principales son: Cordillera de los Andes, Valles Transversales, Cordillera de la Costa y Planicies Litorales (Figura 2.3).

El relieve de la cuenca se orienta de Oeste a Este. En el sector del nacimiento del río Elqui (confluencia de los ríos Claro o Derecho y Turbio) la precordillera Andina presenta importantes alturas, destacando el Cerro Mamalluca (2.330 m s.n.m.) por el norte y el Cerro El Molle (2.630 m s.n.m.) por el sur del río Elqui en el sector de Paiguano. Desde este sector hasta la desembocadura en el sector de La Serena, el río Elqui posee un curso general de tipo recto y escurrimiento en sentido Oriente – Poniente.

En sus primeros kilómetros hasta la localidad de El Molle, el río Elqui se caracteriza principalmente por presentar un escurrimiento de tipo recto y valles de reducida extensión. Las elevaciones (cerros y lomajes) que se presentan en este sector, están comprendidas entre los 1.000 y 1.600 m s.n.m. disminuyendo en forma paulatina (baja sinuosidad del relieve).

El tramo final del río (desde el sector de El Molle hasta la desembocadura en el mar), el cauce principal presenta escurrimiento de tipo anastomosado y valles con mayores amplitudes, cuyo material de sedimentación fluvial ha originado amplias terrazas laterales de significativa importancia humana y económica para el área. Estas terrazas se encuentran claramente desarrolladas a unos 25 km de la desembocadura, el nivel superior tiene uno 30 m de altitud en sus inicios, disminuyendo en dirección al mar con una pendiente de 7%, hasta alcanzar unos 120 a 130 m cerca de la desembocadura. Las diferencias de altitud en el valle transversal, oscilan entre los 700 m por el norte del cauce principal de la cuenca y 260 m por el sur de este mismo curso fluvial.

En la costa, este valle se mezcla con las planicies litorales que se manifiestan plenamente y corresponden a terrenos planos que se extienden latitudinalmente por el borde costero, alcanzando en algunos sectores un ancho de 30 km (sector de la Serena) [Ref 2.6] [Ref. 2.7].



## 2.2.5 Suelos

Los suelos de esta región se denominan suelos pardos. En la franja litoral se desarrollan suelos aluviales sobre terrazas marinas y fondos de valles fluviales; estos suelos han evolucionado a partir de sedimentos marinos y continentales. Se denominan suelos de praderas costeras o molisoles, son de color pardo, textura fina, compuestos por arenas y limos. En los niveles superiores de terrazas predominan las arcillas.

En la cuenca del río Elqui, predominan los suelos rojos litosólicos que muestran una formación de arcilla y algunas segregaciones de limo en las grietas de las rocas subyacentes. En antiguos paisajes remanentes hay suelos rojos desérticos más desarrollados y bien diferenciados, ellos tienen en sus primeros 50 cm de profundidad (Horizonte A) suelos de color pardo claro, de textura gruesa. En el lecho del río, los suelos presentan texturas gruesas con gravas y piedras de aluviones. Litosoles en los sectores montañosos.

En el curso medio del Valle de Elqui predominan los suelos aluviales denominados pardo-cálcicos o alfisoles. Son suelos originados tanto por sedimentos aportados por el río Elqui como también por materiales provenientes de los interfluvios montañosos [Ref 2.7] [Ref. 2.8].

## 2.3 Flora y Fauna de la Cuenca del río Elqui

### 2.3.1 Flora terrestre y acuática

La flora terrestre de la cuenca, se caracteriza por la presencia de las siguientes comunidades vegetales: Desierto Florido de las Serranías, Matorral Estepario Costero, Matorral Estepario Interior, Estepa Arbustiva de la Precordillera y Estepa Altoandina de Coquimbo:

- Desierto Florido de las Serranías (Región del Desierto): Encuentra su límite de distribución sur al norte de La Serena y adquiere en esta zona su máximo desarrollo, debido al efecto del aumento latitudinal de las precipitaciones. La comunidad representativa sigue siendo la de *Bulnesia chilensis*, *Adesmia argentea* y *Balsamocarpon brevifolium*, con sus elementos acompañantes característicos.
- Matorral Estepario Costero (Región del Matorral y Bosque Esclerófilo): Presenta fuerte influencia de neblinas; dominan los matorrales de *Ademia microrphylla*, *Cassia coquimbensis*, *Heliotropium stenophyllum* y *Fuchsia lycioides*, con presencia ocasional de especies amenazadas como *Myrcianthes*

coquimbensis (en Peligro), *Porlieria chilensis* (Vulnerable), *Carica chilensis* (Vulnerable) *Aextoxicon punctatum* (Vulnerable) y *Myrceugenia correifolia* (Rara).

- **Matorral Estepario Interior** (Región del Matorral y Bosque Esclerófilo): Es característico por la presencia de comunidades dominadas por *Flourensia thurifera* y *Bridgesia incisaefolia*, que ocupan los llanos y las serranías interiores, sin influencia directa de las neblinas costeras y por lo tanto con un carácter más xerofítico de la vegetación, penetrando aquí algunos elementos del desierto en categoría de amenaza.
- **Estepa Arbustiva de la Precordillera y Estepa Altoandina de Coquimbo** (Región de la Estepa Altoandina): La fisionomía dominante de la vegetación, es la de un matorral bajo y abierto, donde son representativas las comunidades con *Adesmia hystrix* y *Stipa chrysophylla* en los pisos bajos (Estepa Arbustiva de la Precordillera) y con *Adesmia echinus* y *Adesmia aegiceras* en los pisos superiores (Estepa Altoandina de Coquimbo). Esta última formación es característica por la presencia de plantas en cojín, entre las cuales se encuentra *Laretia acaulis* (Vulnerable).

La flora acuática de la cuenca, se caracteriza por la presencia de las especies detalladas en la Tabla 2.1 con un total de 45 especies, el 73,9% corresponde a especies nativas, de las cuales el 28,3% corresponde a ejemplares endémicos [Ref. 2.9].

**Tabla 2.3: Flora acuática presente en la cuenca del río Elqui y su origen**

	ESPECIES	ORIGEN
1	<i>Apium nodiflorum</i>	I
2	<i>Cardamine glacialis</i>	E
3	<i>Carex gayana</i>	N
4	<i>Carex microglochin</i>	N
5	<i>Carex nebularum</i>	N
6	<i>Cotula coronopifolia</i>	I
7	<i>Chenopodium ambrosioides</i>	I
8	<i>Eleocharis albibracteata</i>	N
9	<i>Eleocharis macrostachya</i>	N
10	<i>Eleocharis pachycarpa</i>	N
11	<i>Equisetum giganteum</i>	E
12	<i>Gentiana prostata</i>	E
13	<i>Gentianella coquimbensis</i>	E
14	<i>Juncus articus</i>	N
15	<i>Juncus chilensis</i>	N
16	<i>Juncus leseurii</i>	N



**Tabla 2.3 (Continuación): Flora acuática presente en la cuenca del río Elqui y su origen**

	ESPECIES	ORIGEN
17	<i>Lemna gibba</i>	C
18	<i>Lilaeopsis macloviana</i>	N
19	<i>Limnobium laevigatum</i>	N
20	<i>Mentha citrata</i>	I
21	<i>Mimulus depressus</i>	E
22	<i>Mimulus glabratus</i>	E
23	<i>Mimulus luteus</i>	E
24	<i>Myriophyllum quitense</i>	N
25	<i>Oxycloe andina</i>	E
26	<i>Patiosia clandestina</i>	E
27	<i>Phragmites australis</i>	C
28	<i>Phyla nodiflora</i>	N
29	<i>Polypogon australis</i>	N
30	<i>Polypogon monspelliensis</i>	I
31	<i>Potamogeton berterianus</i>	C
32	<i>Potamogeton striatus</i>	E
33	<i>Potamogeton strictus</i>	E
34	<i>Ranunculus apiifolius</i>	N
35	<i>Ranunculus chilensis</i>	N

Origen: E = Endémico y Nativo; N = Nativo; C = Cosmopolita; I = Introducido.

Ref [2.7]

### 2.3.2 Fauna acuática

En la siguiente tabla se incluyen la fauna íctica caracterizada según especie, origen y estado de conservación presentes en el cauce del río Elqui.

**Tabla 2.4: Fauna íctica presente en el río Elqui**

Especie	Origen	Estado de Conservación
<i>Basilichthys microlepidotus</i>	Endémico	P
<i>Cauque brevianalis</i>	Endémico	V
<i>Galaxias maculatus</i>	Endémico	V

P: peligro de extinción; V: vulnerable.

Ref [2.7]

Cabe destacar que esta cuenca hidrográfica ha sido poco estudiada, a pesar de las importantes relaciones biogeográficas que señalarían los componentes de la comunidad acuática.

## 2.4 Sistemas Humanos

### 2.4.1 Asentamientos humanos

Desde el punto de vista político - administrativo, la cuenca del río Elqui forma parte de la IV Región de Coquimbo, abarcando la provincia de Elqui y las comunas de La Serena, Coquimbo, Andacollo, La Higuera, Paiguano y Vicuña. La cuenca posee una superficie de 980.059 Ha equivalentes al 24% de la Región.

Las ciudades emplazadas en la cuenca corresponden a La Serena (capital regional) y Vicuña. Entre las localidades pobladas de mayor importancia según el número de habitantes, se pueden mencionar las siguientes:

**Tabla 2.5: Población Total de la cuenca del río Elqui**

Nombre Asentamiento	Población Total 2002	Población Total Urbana 2002	Cauce asociado a Localidad
La Serena	160.148	147.815	Río Elqui
Vicuña	24.010	12.910	Río Elqui
Andacollo	10.288	9.444	Río Elqui
Paiguano	4.168	0	Río Claro o Derecho
Pan de Azúcar*	1.232	ND	Río Elqui
El Tambo*	1.203	ND	Río Elqui
Rivadavia*	970	ND	Río Elqui
Algarrobito*	840	ND	Río Elqui
Pisco Elqui*	562	ND	Río Claro o Derecho

ND: No disponible.

La información disponible de población, es a nivel comunal y no de ciudades.

\* Cifra corresponde a una estimación realizada para el año 2002 según datos del censo de 1992.

[Ref 2.10]

De acuerdo a la distribución espacial de los asentamientos humanos anteriores (1940-ELQ-01), en general, éstos se emplazan próximos al cauce principal y al río Claro o Derecho. Los principales asentamientos humanos, se emplazan en el sector bajo de la cuenca (La Serena) y en el sector alto del valle del río Elqui (Vicuña). Ambas ciudades concentran el mayor número de población.

## 2.4.2 Actividades económicas

Las principales actividades que se desarrollan en la cuenca corresponden a la agricultura y minería.

La actividad agrícola, se desarrolla en el Valle del río Elqui, donde sus principales cultivos son los de papaya, palta, chirimoya, higo, durazno y uva. Esta actividad ha dado origen a importantes plantas disecadoras de frutas y de producción de licores, como pisco, aguardiente y vino. En la cuenca existen dos cooperativas agrícolas que extraen su materia prima de las uvas tipo moscatel, Capel Ltda. y la Cooperativa Agrícola Control Pisquero de Elqui Ltda.

La zona también es ampliamente utilizada para el pastoreo de ganado caprino, bovino y caballares.

La actividad minera de la cuenca está representada principalmente por las explotaciones de El Indio, Andacollo y San Jerónimo. La primera, ubicada en la parte alta del río El Toro se encuentra en proceso de término de sus actividades por agotamiento del mineral (oro), por lo que ya ha establecido un plan de abandono de los yacimientos. Las faenas mineras pertenecientes la Cía. Minera El Indio son El Indio y El Tambo, las cuales se emplazan en la zona alta de la subcuenca de los ríos El Toro y Turbio.

La faena minera de Andacollo – Cobre explotado por la Cía. Minera Carmen de Andacollo, se emplazan en la Quebrada de Culebrón, próxima al pueblo de Andacollo, en el extremo sur de la cuenca.

El tercer mineral está ubicado en el sector de Quebrada de Marquesa y se encuentra en pleno proceso de extracción del mineral [Ref 2.11].

## 2.5 Usos del Suelo

La información referente a los Usos del Suelo en la cuenca se presenta en la lámina 1940-ELQ-01 y se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 2.6: Clasificación Usos del suelo Cuenca del río Elqui**

Cuenca del río Elqui (Ha)	Usos del Suelo	Superficie (Ha)	Superficie de la cuenca destinada para cada uso (%)
982.600	Praderas	25.429	3
	Terrenos Agrícolas y Agricultura de Riego	27.713	3
	Plantaciones forestales	0	0
	Áreas Urbanas e industriales	343	0,03
	Minería Industrial	< 156,25	0
	Bosque Nativo y Bosque Mixto	0	0
	Otros Usos*	665.922	68
	Áreas sin vegetación	263.194	27

\* Referidos a los siguientes usos: matorrales, matorral - pradera, rotación cultivo - pradera, áreas no reconocidas, cuerpos de agua, nieves - glaciares y humedales. [Ref. 2.12]

De acuerdo a los límites y escalas para las distintas Macroregiones consideradas en el Catastro del Bosque Nativo, se tiene que para la Macroregión I (regiones administrativas I, II, III y IV), la mínima unidad cartografiada corresponde a 156,25 Ha. Por ello, no es posible cartográficamente representar en la lámina 1940-ELQ-01 el uso de suelo minero.

### 2.5.1 Uso agrícola

El uso del suelo de tipo agrícola en la cuenca comprende 27.713 Ha equivalentes al 3% de la superficie total.

Los terrenos agrícolas se presentan principalmente a lo largo del valle del río Elqui aguas abajo de la localidad de Vicuña hasta la desembocadura en La Serena. Estos terrenos se presentan únicamente en áreas aledañas a las terrazas fluviales de este cauce, mayoritariamente entre la localidad del Almendral y ciudad de La Serena. En el sector alto del río (nacimiento en la confluencia de los ríos Turbio y Claro o Derecho) la superficie de terrenos de agrícolas es muy reducida pero se logra desarrollar una pequeña superficie en algunos sectores del río Claro o Derecho y el río Cochiguaz afluente de este último.

Según los antecedentes existentes al año 1997, la provincia del Elqui posee terrenos agrícolas destinados principalmente a cultivos de forrajeras anuales y permanentes, frutales, hortalizas y parronales viníferos [Ref 2.13].

El sector agrícola más extenso e importante según los tipos de cultivos anteriores, se localiza en las comunas de Coquimbo y La Serena, destacando también la superficie agrícola destinada a frutales, viñas y parronales en la comuna de Vicuña [Ref 2.12].

### 2.5.2 Uso forestal

Este tipo de uso del suelo, no se presenta en la cuenca [Ref 2.12].

### 2.5.3 Uso urbano

El uso del suelo de tipo urbano en la cuenca es reducido, sólo alcanza las 343 Ha equivalentes al 0,03% de la superficie total. Este tipo de uso comprende a ciudades, pueblos y zonas industriales [Ref 2.10].

La población urbana, se concentra mayoritariamente en la ciudad La Serena y las localidades de Vicuña y Andacollo con un total aproximado al año 2002 de 170.000 habitantes (a nivel comunal). El centro urbano más importante de la cuenca es la ciudad de La Serena emplazada en la zona costera en la desembocadura del río Elqui. La importancia de esta ciudad, capital de la IV Región, radica en concentrar un número importante de población urbana y servicios básicos, además constituye un importante centro cultural y es el principal centro turístico de la cuenca y la región.

Al interior de la cuenca en la zona de la cordillera media o valle transversal, también se emplazan asentamientos humanos que poseen un importante porcentaje de población urbana con respecto a la totalidad de los asentamientos presentes en la cuenca, estos corresponden a la localidad de Vicuña localizada en la parte alta del río Elqui y la localidad de Andacollo emplazada en el sector sur poniente de la cuenca [Ref 2.10].

La superficie de la cuenca destinada a la actividad minera, es reducida (menor a 156,25 ha) pero de gran importancia económica. Existen numerosos yacimientos mineros cupríferos de pequeña envergadura distribuidos principalmente en a lo largo de todo el cauce del río Elqui (aguas abajo de la localidad de Vicuña) y también localizados en la zona norponiente y surponiente de la cuenca [Ref 2.12].

La faena minera más importante emplazada en la cuenca, corresponde al mineral de Andacollo – Cobre explotado por la Cía. Minera Carmen de Andacollo. Esta mina se emplaza próxima al pueblo de Andacollo, en el extremo sur de la cuenca.

La minería aurífera, está representada por el mineral de El Indio y El Tambo, ambas pertenecientes a la Cía. Minera El Indio. Estas faenas se emplazan en la zona alta de la subcuenca de los ríos El Toro y Turbio [Ref 2.11].

#### 2.5.4 Áreas bajo Protección Oficial y Conservación de la Biodiversidad

La cuenca del río Elqui no posee Áreas bajo Protección Oficial pertenecientes al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado, SNASPE. Los sitios de conservación de la biodiversidad existente en la cuenca, incluidos en el documento “Estrategia Regional y Plan de Acción de la Biodiversidad IV Región de Coquimbo”, se incluyen en la siguiente tabla.

**Tabla 2.7: Áreas de Conservación de la Biodiversidad**

Nombre del sitio	Superficie (Ha)	Característica del ecosistema
Condoriaco	5.685,8	Zona con alto endemismo, presencia de algarrobito y loro tricachue: especies en peligro de extinción. Pristinidad baja.
Estero Derecho	20.968,1	Zona bien conservada y poco impactada, riqueza de especies particulares de ambientes cordilleranos. En él se planifica la construcción del Tranque Piuquenes. Alto grado de pristinidad.
Guanta	49.527	Zona muy bien conservada y poco impactada. Riqueza de especies en las vegas alto – andinas de la cordillera de Doña Ana. Alto grado de pristinidad.
Arrayán	11.783,2	Zona con alto endemismo. Poblaciones arbóreas (Guayacán, Algarrobo). Pristinidad media.
Punta Teatinos – Quebrada Honda	12.510,4	Zona de alto endemismo, riqueza y diversidad de especies en el humedal Laguna Teatino y a lo largo norte de costa. Pristinidad media.

Ref [2.14] Ref [2.15]

### 3. ESTABLECIMIENTO DE LA BASE DE DATOS

#### 3.1 Información Fluviométrica

La información utilizada para la realización del presente estudio hidrológico ha sido proporcionada por el Centro de Información de Recursos Hídricos (CIRH) de la Dirección General de Aguas. El detalle para la cuenca del río Elqui es el siguiente:

**Tabla 3.1: Estaciones Fluviométricas Cuenca del río Elqui**

Nombre	Período de Registro
ELQUI EN ALMENDRAL	1954 - 2000
ELQUI EN ALGARROBAL	1950 - 2000
CLARO EN RIVADAVIA	1950 - 2001
CLARO EN MONTEGRANDE	1950 - 1983
COCHIGUAZ EN EL PEÑON	1983 - 2001
ESTERO DERECHO ALCOHUAZ	1984 - 2000
TURBIO EN VARILLAR	1950 - 2001
TURBIO EN GUANTA	1967 - 1983
TORO EN JUNTA RIO LAGUNA	1985 - 2000
LAGUNA EN SALIDA EMBALSE LAGUNA	1964 - 2000

En toda esta cuenca se observa un régimen nival.

Para el análisis hidrológico se ha considerado sólo un grupo de estaciones, ya que todas ellas muestran un régimen nival.

- Grupo 1; Régimen Nival: Este grupo agrupa todas las estaciones fluviométricas de la cuenca, ya que todas muestran un marcado régimen nival.

**Tabla 3.2: Grupo de Estaciones Fluviométricas**

	Régimen	Nombre Estación
1	Nival	ELQUI EN ALMENDRAL
2		ELQUI EN ALGARROBAL
3		CLARO EN RIVADAVIA
4		CLARO EN MONTEGRANDE
5		COCHIGUAZ EN EL PEÑON
6		ESTERO DERECHO ALCOHUAZ
7		TURBIO EN VARILLAR
8		TURBIO EN GUANTA
9		TORO EN JUNTA RIO LAGUNA
10		LAGUNA EN SALIDA EMBALSE LAGUNA

Para completar y extender las estadísticas de las estaciones incompletas se utilizaron correlaciones lineales con la estación patrón más cercana. Estas estaciones patrones fueron escogidas de acuerdo a que contaran con un registro completo y extenso. Las tres estaciones patrones seleccionadas son Elqui en Algarrobal, Claro en Rivadavia y Turbio en Varillar.

La estadística completada y extendida utilizada para el análisis de frecuencia de esta cuenca se encuentra en el anexo 3.1, donde se diferencia entre los datos estimados y los existentes.

### 3.2 Usos del Agua

Las aguas superficiales presentes en una cuenca hidrográfica pueden ser utilizadas de distintas maneras. Se han diferenciado tipos de usos del agua, los cuales se han agrupado en usos in-situ, usos extractivos, usos para la biodiversidad y usos ancestrales.

Las fuentes utilizadas en este capítulo corresponden a:

- Catastro de Bocatomas III a VIII Regiones DGA.
- Catastro Bosque Nativo CONAF – CONAMA.
- “Estrategia Regional y Plan de Acción de la Biodiversidad IV Región de Coquimbo”, CONAMA-CONAF-SAG-INIA-DGA-SERNAP



- “Estudio de Síntesis de Catastros de Usuarios de Agua e Infraestructuras de Aprovechamiento”, Ricardo Edwards – Ingenieros Ltda. para MOP octubre 1991
- “Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile”, IPLA Ltda. MOP enero 1996.

### 3.2.1 Usos in – situ

Los usos de agua in-situ corresponden a aquellos que ocurren en el ambiente natural de la fuente de agua. A continuación se mencionan los usos in-situ en esta cuenca que se relacionan con la calidad del agua:

#### a) Acuicultura

El uso del agua para la acuicultura considera las zonas de la cuenca destinadas para la producción de recursos hidrobiológicos. El uso para este tipo de actividad requiere la autorización por parte del organismo correspondiente, que en este caso es el SERNAP. La información recopilada señala que no existen áreas expresamente autorizados para acuicultura en los ríos de esta cuenca.

#### b) Pesca deportiva y recreativa

Este uso es el que se destina a la actividad realizada con el objeto de capturar especies hidrobiológicas sin fines de lucro y con propósito de deporte, recreo, turismo o pasatiempo.

Las principales áreas donde se desarrolla esta práctica en la cuenca del río Elqui son:

- Vicuña, Paiguano y Andacollo.

No es posible asignar Andacollo a un segmento específico.

### 3.2.2 Usos extractivos

Los usos extractivos son los que se extraen o consumen en su lugar de origen. A continuación se mencionan los usos extractivos en esta cuenca que se relacionan con la calidad del agua:

## a) Riego

El uso del agua para riego es aquel que incluye la aplicación del agua desde su origen natural o procedente de tratamiento. Se distingue riego irrestricto y restringido. El primero es el que contempla agua, cuyas características físicas, químicas y biológicas la hacen apta para su uso regular en cada una de las etapas de desarrollo de cultivos agrícolas, plantaciones forestales o praderas naturales. En el riego restringido, en cambio, la aplicación se debe controlar, debido a que sus características no son las adecuadas para utilizarlas en todas las etapas de cultivos y plantaciones. En este acápite, sin embargo, no se desagregan estas clasificaciones de riego, porque no existen antecedentes para hacerlo.

La cuenca contaba en 1990 con 17.900 has de riego, a través de 5.070 usuarios. Sin embargo, en el río Elqui existen solamente 209 usuarios constituidos legalmente a través de 5 asociaciones de canalistas y 2 comunidades de aguas. (Ref.3.1)

Los cultivos más importantes de la cuenca lo constituyen los frutales y uva de mesa y pisquera.

En la siguiente tabla se indican las demandas de agua de riego del río Elqui en 1996.

**Tabla 3.3: Demandas de agua de riego 1996 (l/s)**

May	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr
1025	1824	1898	3178	5805	6535	9451	6025	8687	7308	5063	2056

(Ref. 3.2)

## b) Captación para agua potable

El uso para la captación de agua potable es aquel que contempla la utilización en las plantas de tratamiento para el abastecimiento tanto residencial como industrial.

Las ciudades que ejercen mayor demanda de agua potable son La Serena, Andacollo, Vicuña y Paiguano.

En la siguiente tabla se muestran las demandas actuales en las principales localidades de la cuenca:

**Tabla 3.4: Demandas de agua potable de la cuenca del río Elqui (l/s)**

Año	La Serena	Andacollo	Vicuña
2000	342	26	16

(Ref. 3.2)

## c) Generación de energía eléctrica

En la actualidad no se genera energía hidroeléctrica en esta cuenca. Sin embargo, existen derechos de aprovechamiento no consuntivos otorgados por la DGA, de los que se presume una futura construcción de centrales hidroeléctricas.

**Tabla 3.5: Demandas de agua para futuras centrales hidroeléctricas (l/s)**

Central	Fuente	Derechos
La Laguna	Río Turbio	2.000
Incaguaz	Ríos Turbio, Incaguaz y San Andrés	1.900
Los Tilos	Río Turbio	2.400
Balalita	Ríos Turbio, Incaguaz y San Andrés	4.300
Cochiguaz	Río Cochiguaz	600

(Ref. 3.2)

Debido a que estas centrales son proyectos a futuro no se incluirán en la tabla final ni tampoco en la lámina de usos del agua.

## d) Actividad industrial

Las actuales demandas de agua para uso industrial la concentran la agroindustria, la producción de vinos y licores y las embotelladoras.

Para el análisis de la demanda, la cuenca del río Elqui se ha dividido en dos sectores:

- Río Elqui Medio: Corresponde al río Elqui entre Junta ríos Turbio y Claro y bajo quebrada de Leiva, en las cercanías de Vicuña. En esta zona se ubican industrias pisqueras que demandaban netamente 40000 (m<sup>3</sup>/mes) en 1996.
- Río Elqui Bajo: Corresponde al río Elqui entre quebrada El Arrayán hasta su desembocadura. Aquí se localizan alrededor de diez industrias, las que demandaban netamente 143000 (m<sup>3</sup>/mes) en 1996. (Ref. 3.2)

## e) Actividad minera

A continuación se presentan las demandas mineras actuales sobre recursos de agua superficiales:

**Tabla 3.6: Demandas mineras de la cuenca del río Elqui (l/s)**

Nombre	Fuente	Derechos (l/s)
Cía. Minera El Indio	Río Malo	75
Cía. Minera El Indio	Río Toro Muerto	50
Humberto Pinto	Río Cochiguaz	300
Soc. Minera Uchumi	Río Elqui	3
Bethlem Chile Iran Mines Company	Río Elqui	100

(Ref. 3.2)

Respecto al derecho de agua que se ha otorgado en el río Cochiguaz, cabe destacar que no se dispone de su ubicación exacta. Por esta razón sólo aparece en la tabla de usos del agua asignada al segmento del río, pero no en la lámina.

También dentro del uso del agua para la actividad minera, cabe destacar la Minera San Jerónimo ubicada en Quebrada de Marquesa y la Minera Carmen de Andacollo en las cercanías de Andacollo.

### 3.2.3 Biodiversidad

La protección y conservación de comunidades acuáticas, a la que hace referencia el Instructivo, son abordadas en el presente estudio desde el punto de vista del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado (SNASPE), de la Estrategia de Biodiversidad y algunos otros sitios de interés que pudieran sobresalir de la información recopilada (sitios CONAF, etc.).

En la cuenca del río Elqui no existen sitios que conforman el SNASPE.

En cuanto a la “Estrategia Regional y Plan de Acción de la Biodiversidad IV Región de Coquimbo”, los sitios prioritarios de conservación de biodiversidad aparecen identificados en el capítulo 2.5.4 “Áreas de Conservación de la Biodiversidad”.

### 3.2.4 Usos ancestrales

Para esta cuenca no se han detectado derechos de agua otorgados a comunidades indígenas.

### 3.2.5 Conclusiones

En la lámina 1940-ELQ-02: “Estaciones de Medición y Usos del Agua” se muestran los cauces seleccionados para el presente estudio, con su respectiva segmentación y los distintos usos asociados a cada cauce. Esta misma información se presenta en la tabla 3.7, la cual contiene el tipo de uso del agua por segmento.

La tabla 3.7 ha sido concebida como una matriz, ubicando los segmentos en las filas y los usos de agua en las columnas. Para definir las columnas se han considerado los usos prioritarios establecidos en el Instructivo, complementándolos con otros usos (hidroelectricidad, actividad industrial, etc.) que si bien no aparecen en él, permiten tener una visión más global de la cuenca.

Tabla 3.7: Usos por Segmento en la Cuenca del Elqui

Cauce	Segmento	Usos in situ		Riego	Captación A.P.	Extractivos		Actividad Industrial	Actividad Minera	Biodiversidad*	Ancestrales
		Acuicultura	Pesca Deportiva Y Recreativa			Hidroelectricidad					
Río Vacas Heladas	0430VA10									•	
Río Malo	0430MA10								•	•	
	0430MA20									•	
Río del Toro	0430TO10										
Río de La Laguna	0430LL10										
Río Turbio	0430TU10										
	0430TU20			•							
	0430TU30			•							
	0430TU40			•							
Río Incahuaz	0430IN10										
Estero Derecho	0431ED10			•						•	
Río Claro	0431CL10			•							
	0431CL20		•	•	•						
Río Cochiguaz	0431CO10			•					•		
Río Elqui	0432EL10			•					+		
	0432EL20		•	•	•		•				
	0432EL30			•							
	0432EL40			•							
	0433EL10			•							
	0433EL20			•	•		+				

+ = Con los antecedentes disponibles no es posible asignar los usos a un segmento específico.

\* Esta columna considera la "Estrategia Regional y Plan de Acción de la Biodiversidad IV Región de Coquimbo"

### 3.3 Descargas a Cursos de Agua

#### 3.3.1 Descargas de tipo domiciliario

La cuenca del río Elqui posee una población urbana total estimada por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) al año 2001 de 169.319 habitantes. Esta población comprende las ciudades de La Serena y Vicuña, así como los poblados de Paiguano, Algarrobito y Andacollo.

Del total de población urbana presente en la cuenca, el 96% (162.018 habitantes) posee servicios de agua potable y alcantarillado. Esto refleja que un grupo importante de población urbana es atendida con estos servicios por la empresa sanitaria ESSCO.

La empresa sanitaria además de los servicios anteriores, provee a la población con servicios de tratamiento de aguas servidas. Según estimaciones al año 2002 (SISS), las ciudades de La Serena y Coquimbo poseen un alto porcentaje en el tratamiento de sus aguas servidas, superior al 98% en cada una de ellas. La ciudad de Vicuña, posee una menor cobertura que las ciudades anteriores (95%), mientras que los poblados de Andacollo y Paiguano poseen una cobertura de 77,3 y 48,5 % respectivamente.

Se estima que al año 2005, la empresa ESSCO incrementará la cobertura de tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de La Serena en 0,5%, de Coquimbo en 0,1% y de Vicuña en un 0,2%. Para el caso de los poblados de Andacollo y Paiguano, se proyectan incrementos mayores, de 13 y 22% respectivamente.

A continuación, en la tabla 3.7 se incluye información referente a la empresa de servicios sanitarios que opera actualmente en la cuenca; el cuerpo receptor de las aguas servidas; el porcentaje de cobertura de tratamiento de aguas servidas (estimadas al año 2001) y población total estimada (urbana y saneada) para cada localidad. Los valores de concentración de los parámetros característicos de las aguas servidas, son aquellos estipulados en el Decreto N° 90/00, en el cual se incluyen como límite máximo permisible.

Tabla 3.8: Descargas de Aguas Servidas

LOCALIDAD ATENDIDA	SEGMENTOS ASOCIADOS A LAS DESCARGAS	CUERPO RECEPTOR	EMPRESA DE SERVICIOS SANITARIOS	COBERTURA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS (%)	POBLACIÓN URBANA TOTAL ESTIMADA (Hab)	POBLACIÓN ESTIMADA SANEADA (Hab)	PLANTA DE TRATAMIENTO	NOMBRE PLANTA	CAUDAL (L/s)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	pH	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	A y G (mg/l)	Cu Total (mg/l)	Fe disuelto (mg/l)	Colif. Fecales (NMP/100 ml)
La Serena	no asociado a segmento	mar	ESCCO	98,5	143.005	140.910	SI	EMISARIO SUBMARINO LA SERENA	260,9	35	6,0 - 8,5	80	20	1	5	< 1,0E+03
Vicuña	0432EL30	río Elqui	ESCCO	94,5	12.825	12.099	SI	LAGUNA AIREADA VICUÑA	22,4	35	6,0 - 8,5	80	20	1	5	< 1,0E+03
Paihuano	0431CL40	río Claro	ESCCO	48,5	1.258	616	SI	LODOS ACTIVADOS PAIHUANO	1,1	35	6,0 - 8,5	80	20	1	5	< 1,0E+03
Algarrobito	0433EL20	río Elqui	ESCCO	Nd	Nd	0	Nd	LODOS ACTIVADOS ALGARROBITO	Nd	35	6,0 - 8,5	80	20	1	5	< 1,0E+03
Andacollo	Nd	Nd	ESCCO	77,3	12,231	8,393	SI	LAGUNA AIREADA ANDACOLLO	15,5	35	6,0 - 8,5	80	20	1	5	< 1,0E+03

NOTAS:

- Nd: información no disponible.
- La información de población Total y saneada, corresponde a una estimación al año 2001 realizada por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS).
- Las concentraciones de los parámetros característicos de las aguas servidas debe ser proporcionada por la empresa sanitaria ESSCO. Si los efluentes de aguas servidas cumplen con el Decreto N° 90/00, las concentraciones de éstos parámetros son inferiores a aquellas incluidas en la tabla anterior (límite máximo permisible por el Decreto N°90).
- El valor de caudal de descarga del efluente de la empresa de servicios sanitarios, ha sido estimado con respecto a la población estimada saneada al 2001, disponible en el Informe Anual de Coberturas de Servicios Sanitarios de la Superintendencia de Servicios Sanitarios, SISS.
- La información asociada a coberturas, población y plantas de tratamiento, ha sido proporcionada por la SISS.
- Las localidades de Coquimbo y La Serena no tienen segmento asociado ya que se trata de ciudades costeras que descargan sus aguas servidas al mar.



### 3.3.2 Residuos industriales líquidos

Dentro de las principales fuentes contaminantes de la cuenca se encuentran aquellas generadas por la actividad minera e industrial - pisquera.

La actividad minera está representada principalmente por las explotaciones del mineral El Indio y San Jerónimo. La mina El Indio se ubica en la parte alta de la subcuenca del río El Toro, sobre el cauce del río Malo. El efecto contaminante de la faena minera se manifiesta en varios de los componentes químicos presentes en el agua (Tabla 3.11). El mineral de San Jerónimo, se encuentra en pleno proceso de extracción del mineral y tiene mucha importancia desde el punto de vista del número y tamaño de sus relaves.

Otra fuente de contaminación son los depósitos de antiguas actividades mineras. Muchas de ellas se encuentran en quebradas próximas al cauce del río Elqui, por los que al existir precipitaciones importantes, estos residuos son arrastrados al río, contaminándolo con metales pesados. Sin embargo, debido a que son procesos ocasionales su cuantificación es difícil.

La actividad industrial pisquera en la cuenca está representada principalmente por dos cooperativas agrícolas que extraen su materia prima de las uvas tipo moscatel. Estas cooperativas corresponden a Capel Ltda. y Cooperativa Agrícola Control Pisquero de Elqui Ltda.

En la tabla siguiente, se incluyen las concentraciones características de los efluentes de las empresas asociadas a las actividades económicas anteriores.

Tabla 3.9: Residuos Industriales Líquidos

INDUSTRIA	COMUNA	DESCARGA	SEGMENTO ASOCIADO A LA DESCARGA	CUERPO RECEPTOR	CIIU	Caudal (L/s)	pH	T	SS	SD	A y G	HC	DBO <sub>5</sub>	As	Cl	Ca	Cu	Cr	P	Na	Ni	Fe	Pb	SO4	Zn	PE	B	Al	Mg	CE (mmho/cm)
Cía, Minera el Indio	Vicuña	río, suelo	0430TO10	río Elqui	29014	Nd			*	*																				
Cía, Minera San Jerónimo	Vicuña	Nd	Nd	Nd	23032	Nd	*	*	*	*				*			*	*			*		*	*	*					
Cía, Minera Dos Valles	Vicuña	Nd	Nd	Nd	23032	Nd	*	*	*	*				*			*	*			*		*	*	*					*
Avícola Silva	Nd	Río	Nd	río Elqui	11127	Nd	*		*				*						*											
Capel Vicuña	Vicuña	río	0432EL30	río Elqui	31321	Nd	*		*				*																	
Control Pisco Elqui	Vicuña	río	0432EL30	río Elqui	31321	Nd	*		*				*																	
Pisquera río Elqui	Vicuña	río	0432EL40	río Elqui	31321	Nd	*		*				*																	
Agrícola Bakulic	La Serena	Nd	Nd	Nd	11205	Nd																								
Curtiembre San Antonio	Nd	Nd	Nd	Nd	32311	Nd	*	*	*	*	*		*					*					*		*					
Papayas Olivier S,A	Vicuña	Nd	Nd	Nd	31131	Nd	*	*	*	*	*		*						*							*				

- Nd: información no disponible,
- Las celdas con asterisco, representan los parámetros típicos que se deberían encontrar en efluentes de cada industria de acuerdo a su clasificación CIIU según Decreto N°90/00.
- Las unidades de concentración de los parámetros físico – químicos están expresados en mg/L.

### 3.3.3 Contaminación difusa

Aplicando la metodología de estimación de la Contaminación Difusa para las subcuencas 0430, 0431, 0432 y 0433 del río Elqui, se puede concluir que potencialmente existen algunos compuestos activos que podrían estar sobre el valor establecido para Clase 1 en el Instructivo. Estos serían: Carbofurano, trifluralina y clorotalonil. Dado que la agricultura de la zona es realizada por pequeños agricultores, se estima que la aplicación de este tipo de productos es mucho menor. En el anexo 3.2 se encuentra un estudio de estimación de contaminantes.

Se realizó un muestreo puntual de plaguicidas en el río Elqui en La Serena (15 Octubre 2003), cuyos valores se encuentran contenidos en el capítulo 4.2.4 y su análisis posteriormente en el capítulo 5.2.

Dada la naturaleza de ser una muestra puntual, estos resultados por tanto no son concluyentes, pero si pueden entregar una orientación o permiten tener un orden de magnitud de la contaminación por plaguicidas en el río Elqui.

## 3.4 Datos de Calidad de Aguas

### 3.4.1 Fuentes de Información

Las fuentes de información utilizadas en este estudio para el análisis de la cuenca del río Elqui son las siguientes:

- a) Monitoreo de Calidad de aguas de la DGA, periodo de registro desde 1981-2002.

REGISTRO DE PROGRAMA DE MONITOREO DGA					
Cuenca	Río Elqui				
Cuerpos de Agua Monitoreados	Medición de Caudal	Nº Parámetros Medidos	Nº Parámetros Instructivo	Período de Registro	Nº Registros
<b>Río Elqui</b>					
En El Almendral	SI	32	21	1981-2002	172
En El Algarrobal	SI	32	21	1981-2002	92
En La Serena	SI	32	21	1981-2002	76
En Puente Las Rojas	NO	31	21	1990-2002	44
En Punta de piedra (*)	NO	17	9	1986	1
En Vicuña (*)	NO	13	8	1981	1
<b>Río Malo</b>					
Antes Estero Negro (*)	NO	16	10	1980-1984	16
Antes faena minera El Indio (*)	NO	16	10	1981-1984	18
Antes río Vacas Heladas	NO	33	21	1990-2002	120
Después tranque relave El Indio	NO	34	21	1981-2002	211
<b>Río Turbio</b>					
Antes río Incaguaz (*)	NO	17	10	1981-1986	24
Después río Toro y río La Laguna	NO	33	21	1981-2002	185
En Almendral (*)	NO	10	8	1992-1993	3
En Guanta	SI	33	21	1986-2002	157
En Varillar	SI	33	21	1981-2002	218
<b>Río Toro</b>					
Antes río Vacas Heladas (*)	NO	14	8	1980	1
Antes río La Laguna	SI	34	21	1981-2002	217
Después Estero Negro y río Malo (*)	NO	17	10	1981-1984	22
<b>Río Claro</b>					
En Montegrando (*)	SI	15	9	1981-1983	10
En Rivadavia	SI	32	21	1981-2002	82
<b>Estero Derecho</b>					
En Alcohuz	SI	32	21	1984-2002	67
En Cochiguaz (*)	NO	17	10	1981	1
<b>Río Incaguaz</b>					
Antes río Turbio	NO	32	21	1981-2002	78

REGISTRO DE PROGRAMA DE MONITOREO DGA					
Cuenca	<b>Río Elqui</b>				
Cuerpos de Agua Monitoreados	Medición de Caudal	Nº Parámetros Medidos	Nº Parámetros Instructivo	Período de Registro	Nº Registros
<b>Río Cochiguaz</b>					
Antes Estero Derecho (*)	NO	16	10	1981	1
<b>Río La Laguna</b>					
En Salida embalse La Laguna (*)	SI	14	7	1983-1984	3
<b>Río Vacas Heladas</b>					
Antes río Malo	NO	34	21	1990-2002	120
<b>Parámetros medidos Instructivo</b>					
• Indicadores físico-químicos	SI	• Orgánicos plaguicidas		NO	
• Inorgánicos	SI	• Microbiológicos		NO	
• Metales esenciales	SI	• Orgánicos		NO	
• Metales no esenciales	SI	• Otros parámetros no normados		SI	

(\*) : Estación de monitoreo suspendida

- b) Programa de Monitoreo del Servicio de Salud de Coquimbo, estudio “Calidad Físico-Química de aguas, Cuenca del Río Elqui” (1997-2003).

Sus principales características son las siguientes:

REGISTRO DE PROGRAMA DE MONITOREO DEL SERVICIO DE SALUD DE COQUIMBO					
Cuenca	Río Elqui				
Cauces monitoreados	Medición de Caudal	Nº Parámetros Medidos	Nº Parámetros Instructivo	Periodo de Registro	Nº de Registros
<b>Río Elqui</b>					
En Algarrobal	NO	3	3	1997-2001	43
En Vicuña	NO	3	3	1997-2003	63
<b>Río Turbio</b>					
En Algarrobal	NO	3	3	2001-2003	19
En Chapilca	NO	3	3	1997-2001	43
Después del Toro y La Laguna	SI	8	6	2000-2003	4
En Guanta	NO	8	6	1997-2003	62
<b>Río Toro</b>					
En Juntas Río La Laguna	SI	8	6	2000-2003	4
<b>Río La Laguna</b>					
En juntas Río del Toro	SI	8	6	2000-2003	4
<b>Río Malo</b>					
Antes Río Vacas Heladas	SI	8	6	2000-2003	4
Después Tranque de Relave	SI	8	6	2000-2003	4
<b>Río Vacas Heladas</b>					
Antes Río Malo	SI	8	6	2000-2003	4
<b>Parámetros medidos Instructivo</b>					
• Indicadores físico-químicos	SI	• Orgánicos plaguicidas		NO	
• Inorgánicos	SI	• Microbiológicos		NO	
• Metales esenciales	SI	• Orgánicos		NO	
• Metales no esenciales	SI	• Otros parámetros no normados		NO	

## c) Programa de Muestreos del SAG (1999).

Sus principales características son las siguientes:

REGISTRO DE PROGRAMA DE MONITOREO DEL SAG					
Cuenca	Río Elqui				
Cuerpos de Agua Muestreados	Medición de Caudal	Nº Parámetros Medidos	Nº Parámetros Instructivo	Periodo de Registro	Nº de Registros
<b>Río Elqui</b>					
Planta Capel Vicuña (aguas arriba efluente)	NO	4	4	1999	1
Planta Capel Vicuña (aguas abajo efluente)	NO	4	4	1999	1
Planta Control Pisco Elqui (aguas arriba efluente)	NO	4	4	1999	1
Planta Control Pisco Elqui (aguas abajo efluente)	NO	4	4	1999	1
Planta Pisquera Río Elqui (aguas arriba efluente)	NO	4	4	1999	1
Planta Pisquera Río Elqui (aguas abajo efluente)	NO	4	4	1999	1
<b>Plantas Tratamiento Aguas Servidas</b>					
Elqui Las Dunas (aguas arriba efluente)	NO	1	1	1999	1
Elqui Las Dunas (aguas abajo efluente)	NO	1	1	1999	1
Elqui Las Tacas (aguas arriba efluente)	NO	1	1	1999	1
Elqui Las Tacas (aguas abajo efluente)	NO	1	1	1999	1
Essco Vicuña (aguas arriba efluente)	NO	1	1	1999	1
Essco Vicuña (aguas abajo efluente)	NO	1	1	1999	1
<b>Parámetros medidos Instructivo</b>					
• Indicadores fisico-químicos	SI	• Orgánicos plaguicidas		NO	
• Inorgánicos	SI	• Microbiológicos		SI	
• Metales esenciales	SI	• Orgánicos		NO	
• Metales no esenciales	NO	• Otros parámetros no normados		NO	

### 3.4.2 Aceptabilidad de los programas de monitoreo

Conforme al procedimiento metodológico para la aceptabilidad de los programas de monitoreo, corresponde validar automáticamente los datos de calidad de aguas contenidos en la red de monitoreos de la DGA. Sin embargo, se presenta la aplicación completa de la metodología para definir la Base de Datos Depurada (BDD).

Las etapas básicas para estructurar la BDD para la cuenca son las siguientes:

- Análisis de outliers

Cada vez que, en una estación de monitoreo, un registro o valor de un parámetro aparentemente difiere notoriamente del resto de los valores registrados, se procede a someter estos puntos discordantes al test de Dixon para la detección de outliers. Una vez realizado este proceso de revisión de la información existente en la cuenca del río Elqui, se llegó a eliminar un porcentaje inferior al 0,1 % de los datos. Todo esto permite confirmar la validez de los datos contenidos en la red de monitoreo de la DGA para esta cuenca.

- Análisis de límites físicos

Los límites físicos para los diferentes parámetros contenidos en la red de monitoreo no se vieron sobrepasados, por lo que no se eliminaron datos producto de este análisis.

- Análisis de límites de detección (LD)

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

En la cuenca del río Elqui se encontró que la información de los siguientes parámetros es equivalente al límite de detección por repetirse constantemente en los registros existentes: cromo ( $<10 \mu\text{g/l}$ ), selenio ( $<1 \mu\text{g/l}$ ), cadmio ( $<10 \mu\text{g/l}$ ) y mercurio ( $<1 \mu\text{g/l}$ ). Por lo tanto, estos parámetros no son posibles de considerar en posteriores análisis de la calidad del agua de la cuenca.

La Base de Datos Depurada que contiene la información disponible para análisis de la cuenca del río Elqui, se presenta en un archivo digital en el anexo 3.3.



#### 4. ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

##### 4.1 Análisis de Información Fluviométrica

##### 4.1.1 Análisis por estación

##### d) Subcuenca del Turbio

- Laguna en salida embalse Laguna

Esta estación se encuentra aguas abajo del Embalse La Laguna, en el río homónimo, a 3130 m s.n.m.

En la figura 4.1 se puede observar la curva de variación estacional, la que muestra un fuerte carácter nival, ya que los mayores caudales se observan entre octubre y marzo, tanto en años húmedos y secos. Esto se explica ya que esta estación está emplazada sobre la línea de nieve, la que se ubica a 2350 m s.n.m. en esta zona.<sup>1</sup> Los menores caudales ocurren en los meses de invierno, entre junio y agosto, como puede apreciarse en la tabla 4.1.

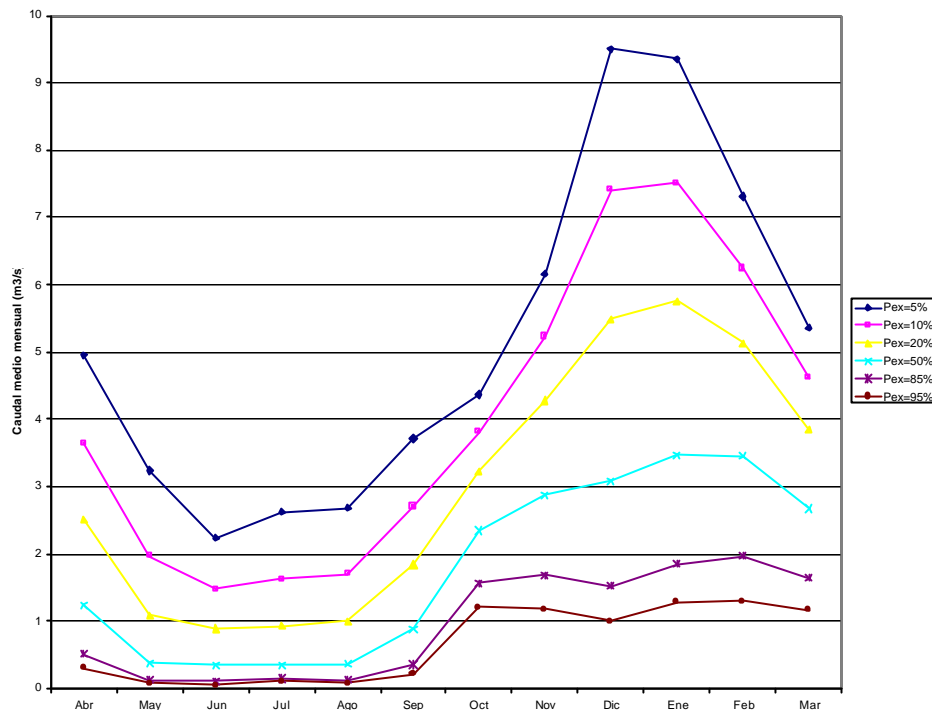
**Tabla 4.1: Río Laguna en salida embalse Laguna (m<sup>3</sup>/s)<sup>2</sup>**

Pex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	4.952	3.233	2.232	2.620	2.679	3.713	4.365	6.153	9.504	9.349	7.307	5.357
10	3.644	1.971	1.471	1.623	1.706	2.701	3.807	5.231	7.412	7.506	6.243	4.614
20	2.513	1.091	0.887	0.923	0.993	1.838	3.225	4.280	5.485	5.753	5.133	3.841
50	1.236	0.371	0.338	0.346	0.366	0.880	2.346	2.870	3.085	3.461	3.458	2.672
85	0.515	0.122	0.103	0.145	0.125	0.355	1.565	1.677	1.519	1.850	1.969	1.634
95	0.308	0.078	0.051	0.109	0.077	0.208	1.211	1.176	1.001	1.281	1.293	1.163
Dist	L2	L3	L2	L3	L3	L2	L3	L3	L2	L2	G	G

<sup>1</sup> DGA. Agosto 1995. Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin Información Fluviométrica.

<sup>2</sup> Donde: Pex (%) corresponde a la probabilidad de excedencia, y la fila Dist entrega la abreviatura de la distribución a la que el mes tuvo un mejor ajuste, la abreviatura corresponde a lo siguiente:

Distribución	Abreviatura
Normal	: N
Log-Normal 2 parámetros	: L2
Log-Normal 3 parámetros	: L3
Gumbel o de Valores Extremos Tipo I	: G
Gamma 2 parámetros	: G2
Pearson Tipo III	: P3
Log-Gamma de 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP



**Figura 4.1: Curva de Variación Estacional Río Laguna en salida embalse Laguna**

- Toro en junta río Laguna

Esta estación se encuentra en el río Toro, inmediatamente aguas arriba de la junta con el río Laguna.

En la tabla 4.2 y figura 4.2 se observa que esta estación muestra un régimen nival, con sus mayores caudales entre noviembre y enero en años húmedos y normales. En años secos los caudales se presentan muy bajos durante todo el año, con valores que no superan los 500 l/s.

Tabla 4.2: Río Toro en junta río Laguna (m<sup>3</sup>/s)

Pex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	0.863	0.773	0.779	0.73	0.747	0.869	1.186	2.131	2.554	1.698	1.184	1.195
10	0.758	0.705	0.696	0.696	0.671	0.764	0.997	1.569	1.825	1.295	0.972	0.956
20	0.659	0.636	0.616	0.655	0.601	0.669	0.825	1.118	1.259	0.963	0.787	0.752
50	0.532	0.538	0.513	0.576	0.513	0.553	0.617	0.663	0.713	0.613	0.577	0.525
85	0.445	0.461	0.441	0.479	0.455	0.480	0.486	0.446	0.472	0.436	0.457	0.400
95	0.415	0.431	0.416	0.422	0.435	0.456	0.444	0.394	0.417	0.391	0.422	0.365
Dist	L3	L3	L3	N	L3	L3	L3	L3	L3	L3	L3	L3

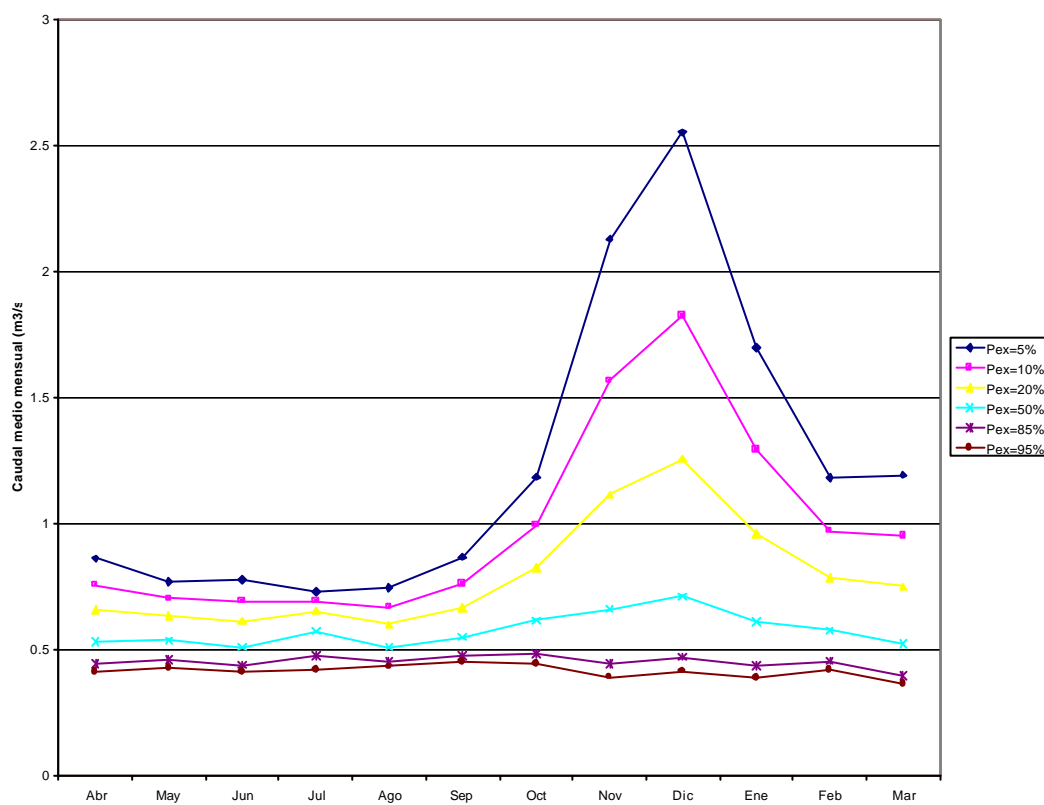


Figura 4.2: Curva de Variación Estacional Río Toro en junta río Laguna

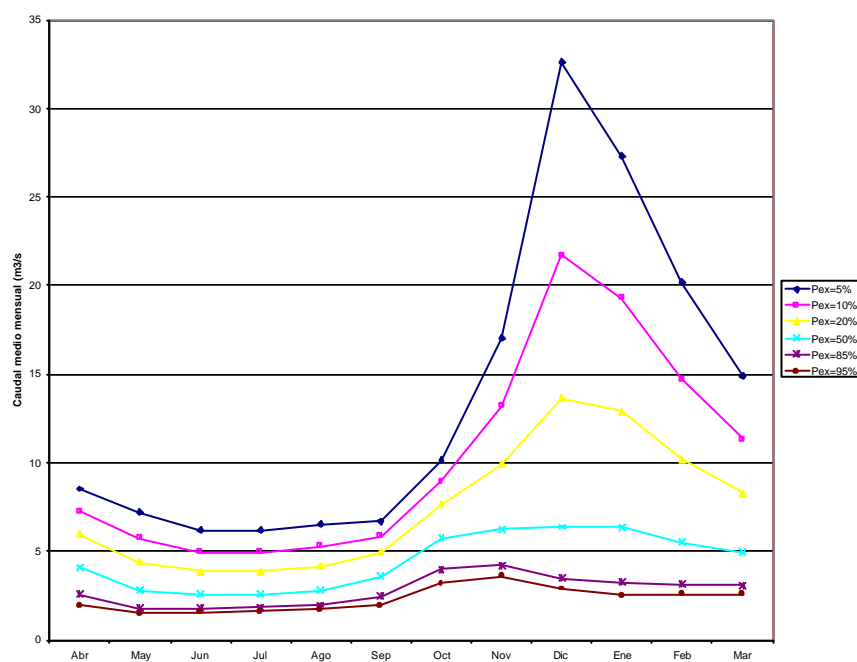
- Turbio en Guanta

Esta estación se encuentra en el río Turbio, aguas abajo de la junta con el río Incahuaz. Se ubica a 1195 m s.n.m.

En la tabla 4.3 y figura 4.3 se presentan las curvas de variación estacional, las que muestran un régimen netamente nival. Los mayores caudales se presentan entre noviembre y febrero, tanto en años húmedos y secos, mientras que los menores caudales ocurren entre junio y agosto.

**Tabla 4.3: Río Turbio en Guanta (m<sup>3</sup>/s)**

Pex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	8.531	7.208	6.186	6.205	6.520	6.702	10.153	16.999	32.586	27.324	20.185	14.877
10	7.255	5.714	4.942	4.965	5.270	5.847	8.939	13.197	21.722	19.314	14.693	11.318
20	5.963	4.376	3.842	3.869	4.148	4.957	7.660	9.921	13.646	12.878	10.190	8.285
50	4.098	2.780	2.557	2.588	2.804	3.614	5.704	6.239	6.376	6.369	5.496	4.931
85	2.582	1.804	1.793	1.827	1.976	2.449	3.966	4.179	3.475	3.268	3.154	3.101
95	1.969	1.501	1.563	1.597	1.718	1.948	3.204	3.591	2.878	2.509	2.555	2.592
Dist	L2	L3	L3	L3	L3	L2	L2	L3	L3	L3	L3	L3



**Figura 4.3 : Curva de Variación Estacional Río Turbio en Guanta**

- Turbio en Varillar

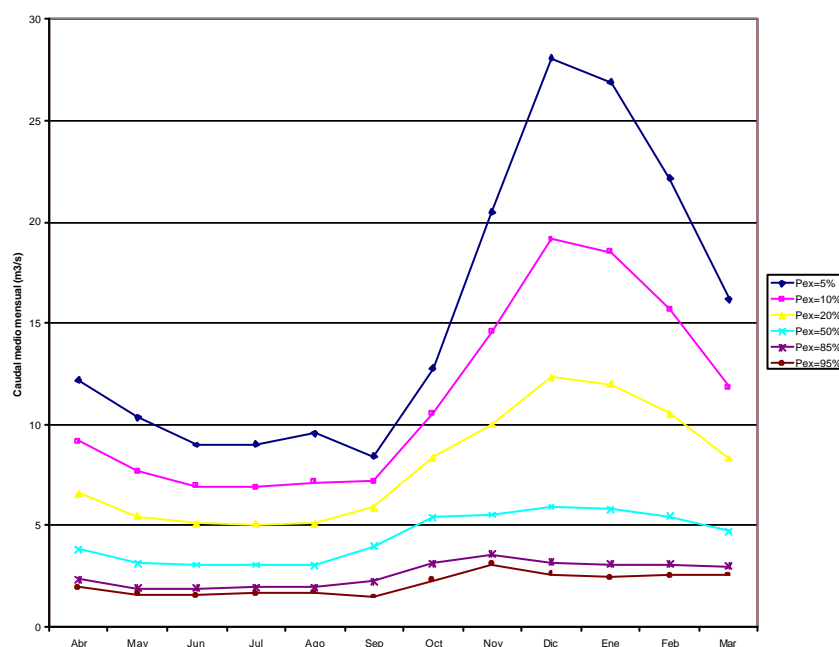
Esta estación se encuentra en el río Turbio, aguas arriba de la junta del río Turbio con el río Claro. Esta ubicada a 860 m s.n.m.

Se observa en las curvas de variación estacional, mostradas en la tabla 4.4 y figura 4.4, que el régimen de esta estación es nival, ya que tanto en años húmedos y secos los mayores caudales ocurren entre los meses de octubre y marzo, producto de deshielos.

Los menores caudales se presentan en meses de invierno, entre junio y agosto.

**Tabla 4.4 : Río Turbio en Varillar (m<sup>3</sup>/s)**

Pex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	12.191	10.353	8.984	9.000	9.547	8.411	12.765	20.457	28.071	26.919	22.145	16.185
10	9.161	7.677	6.915	6.872	7.115	7.183	10.548	14.559	19.149	18.493	15.686	11.819
20	6.602	5.460	5.114	5.059	5.111	5.904	8.371	9.963	12.328	11.982	10.554	8.296
50	3.815	3.109	3.056	3.054	3.005	3.970	5.383	5.526	5.923	5.769	5.451	4.710
85	2.327	1.906	1.878	1.959	1.942	2.253	3.124	3.555	3.198	3.060	3.081	2.984
95	1.921	1.591	1.534	1.655	1.667	1.474	2.270	3.105	2.602	2.453	2.516	2.558
Dist	L3	L3	L3	L3	L3	G	L2	L3	L3	L3	L3	L3



**Figura 4.4: Curva de Variación Estacional Río Turbio en Varillar**

e) Subcuenca del Claro

- Estero Derecho Alcohuez

Esta estación se encuentra en el estero Derecho a 1645 m s.n.m.

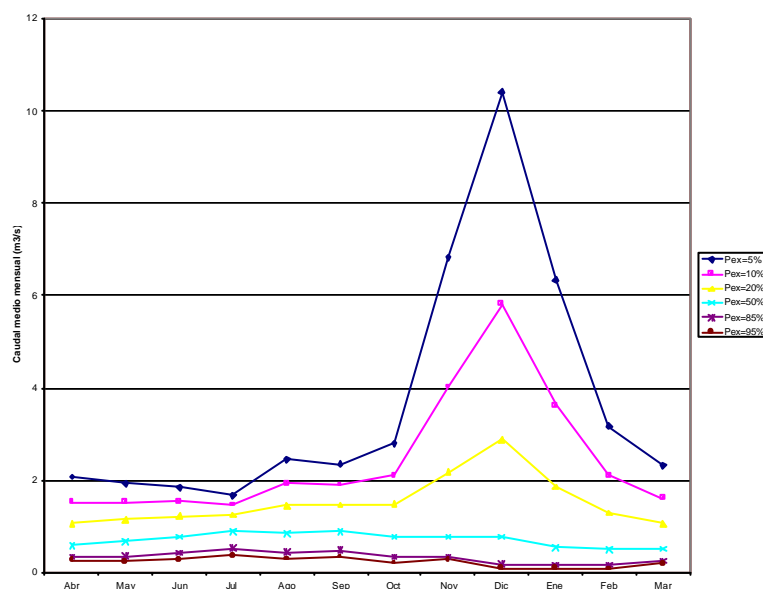
En la tabla 4.5 y figura 4.5 se observa que esta estación presenta un régimen nival, ya que los aportes más importantes provienen de los deshielos.

En años húmedos los mayores caudales ocurren entre noviembre y enero, mientras que los menores lo hacen entre mayo y julio.

En años secos los caudales se presentan muy bajos a lo largo de todo el año, con valores que no superan los 500 l/s.

**Tabla 4.5: Estero Derecho Alcohuez ( $\text{m}^3/\text{s}$ )**

Pex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	2.075	1.927	1.836	1.665	2.440	2.348	2.788	6.836	10.423	6.333	3.170	2.315
10	1.518	1.524	1.528	1.462	1.929	1.894	2.093	4.025	5.820	3.622	2.103	1.611
20	1.057	1.147	1.217	1.240	1.451	1.459	1.479	2.169	2.882	1.853	1.280	1.054
50	0.572	0.667	0.772	0.877	0.842	0.886	0.761	0.765	0.770	0.540	0.495	0.504
85	0.325	0.342	0.413	0.523	0.431	0.480	0.336	0.336	0.174	0.151	0.154	0.251
95	0.261	0.231	0.269	0.354	0.290	0.334	0.208	0.269	0.088	0.092	0.077	0.191
Dist	L3	L2	L3	L3	L2	L2	L2	L3	L3	L3	L2	L3



**Figura 4.5: Curva de Variación Estacional Estero Derecho Alcohuez**

- Cochiguaz en el Peñón

Esta estación se encuentra en el río Cochiguaz a 1360 m s.n.m.

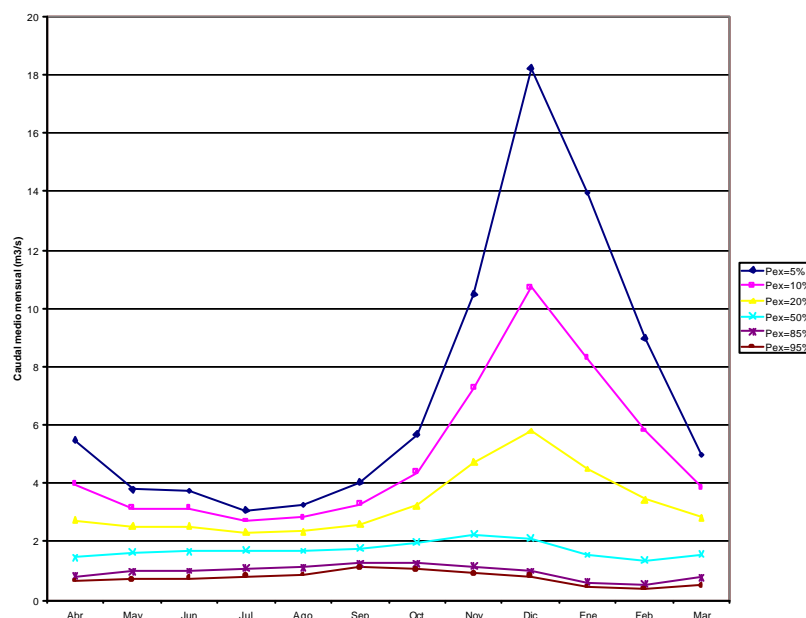
En la tabla 4.6 y figura 4.6 se observa que esta estación muestra un régimen nival, con los mayores caudales en meses de primavera y verano.

En años húmedos los mayores caudales ocurren entre noviembre y febrero, producto de deshielos, mientras que los menores lo hacen entre junio y agosto.

En años secos los caudales se distribuyen de manera más uniforme, sin mostrar variaciones importantes, salvo leves disminuciones entre enero y marzo.

**Tabla 4.6: Río Cochiguaz en el Peñón (m<sup>3</sup>/s)**

Pex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	5.480	3.785	3.750	3.071	3.270	4.027	5.685	10.476	18.239	13.958	8.967	4.985
10	3.978	3.151	3.137	2.720	2.825	3.274	4.383	7.254	10.727	8.303	5.796	3.868
20	2.747	2.524	2.527	2.336	2.366	2.595	3.255	4.728	5.799	4.499	3.454	2.844
50	1.464	1.651	1.672	1.711	1.686	1.778	1.976	2.267	2.109	1.547	1.367	1.581
85	0.824	0.979	1.005	1.103	1.111	1.270	1.252	1.159	1.001	0.610	0.547	0.767
95	0.660	0.720	0.745	0.814	0.869	1.110	1.043	0.902	0.830	0.456	0.381	0.501
Dist	L3	L2	L2	L3	L2	L3	L3	L3	L3	L3	L3	L2



**Figura 4.6: Curva de Variación Estacional Río Cochiguaz en el Peñón**

- Claro en Montegrande

Esta estación se encuentra en el río Claro, aguas abajo de la junta del río Cochiguaz con el estero Derecho. Esta ubicada a 1120 m s.n.m.

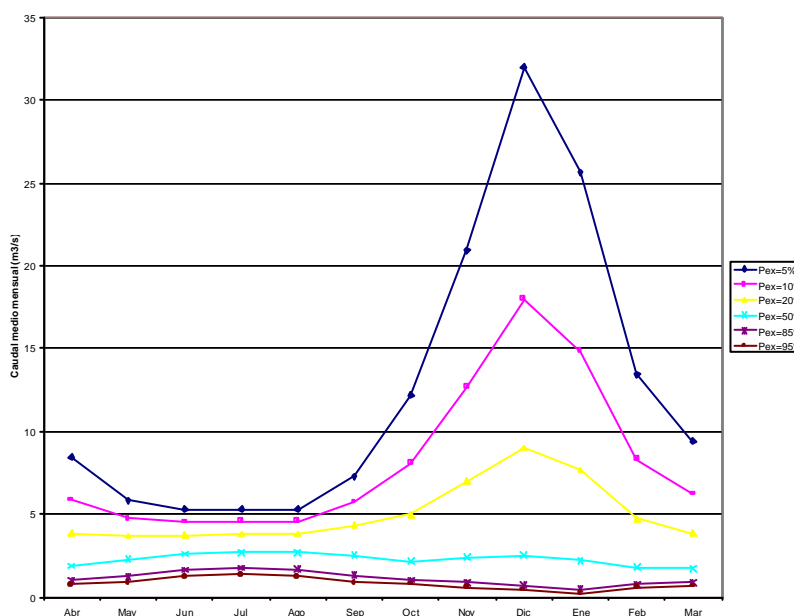
En la tabla 4.7 y figura 4.7 se observa que esta estación muestra un régimen nival, con sus mayores caudales entre en meses de primavera y verano, producto los deshielos.

En años húmedos los mayores caudales se presentan entre noviembre y enero, mientras que los menores lo hacen entre mayo y agosto.

En años normales y secos los caudales se distribuyen de manera más uniforme, sin mostrar variaciones importantes, salvo leves aumentos en los meses de invierno.

**Tabla 4.7: Río Claro en Montegrande (m<sup>3</sup>/s)**

Pex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	8.470	5.830	5.340	5.316	5.301	7.285	12.193	20.954	32.001	25.663	13.464	9.449
10	5.896	4.748	4.561	4.586	4.587	5.780	8.089	12.688	17.990	14.863	8.346	6.260
20	3.874	3.703	3.768	3.835	3.842	4.367	5.009	6.998	9.022	7.683	4.764	3.884
50	1.899	2.302	2.616	2.725	2.717	2.555	2.197	2.428	2.547	2.206	1.816	1.739
85	1.005	1.282	1.669	1.789	1.717	1.321	1.050	0.898	0.710	0.512	0.792	0.879
95	0.798	0.909	1.281	1.397	1.264	0.896	0.809	0.633	0.441	0.242	0.608	0.701
Dist	L3	L2	L2	L2	G	L2	L3	L3	L3	L3	L3	L3



**Figura 4.7: Curva de Variación Estacional Río Claro en Montegrande**



- Claro en Rivadavia

Se encuentra en el río Claro, antes de la junta de éste con el río Turbio. Se ubica a 820 m s.n.m.

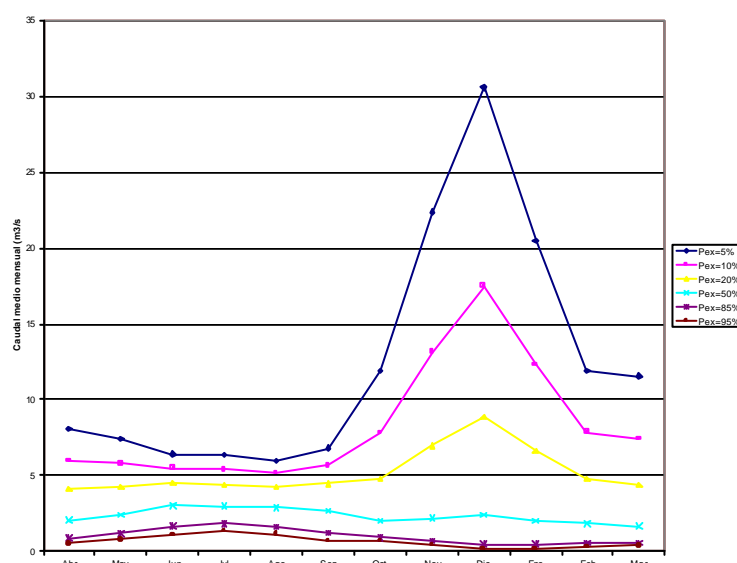
En las curvas de variación estacional, presentadas en la tabla 4.8 y figura 4.8, se puede apreciar que esta estación muestra un régimen nival, ya que sus mayores caudales se deben a aportes nivales.

En años húmedos los mayores caudales ocurren entre noviembre y enero, mientras que los menores lo hacen entre junio y agosto.

En años secos los caudales se distribuyen de manera más uniforme, sin mostrar variaciones de importancia.

**Tabla 4.8: Río Claro en Rivadavia (m<sup>3</sup>/s)**

Pex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	8.080	7.446	6.434	6.394	5.954	6.802	11.937	22.392	30.579	20.504	11.878	11.563
10	5.970	5.795	5.487	5.402	5.158	5.676	7.824	13.158	17.499	12.300	7.864	7.431
20	4.138	4.277	4.499	4.404	4.289	4.482	4.765	6.976	8.900	6.624	4.772	4.381
50	2.054	2.394	3.008	2.980	2.902	2.677	2.009	2.211	2.445	2.029	1.837	1.664
85	0.866	1.171	1.684	1.842	1.654	1.228	0.908	0.713	0.498	0.473	0.567	0.596
95	0.522	0.770	1.082	1.389	1.130	0.706	0.682	0.470	0.195	0.201	0.284	0.380
Dist	L2	L2	L2	L2	G2	G2	L3	L3	L2	L2	L2	L3



**Figura 4.8: Curva de Variación Estacional Río Claro en Rivadavia**

## f) Subcuenca del Elqui

## • Elqui en Algarrobal

Esta estación se encuentra en el río Elqui, aguas abajo de la junta del río Turbio con el río Claro. Está ubicada en el valle del río Elqui, a 760 m s.n.m.

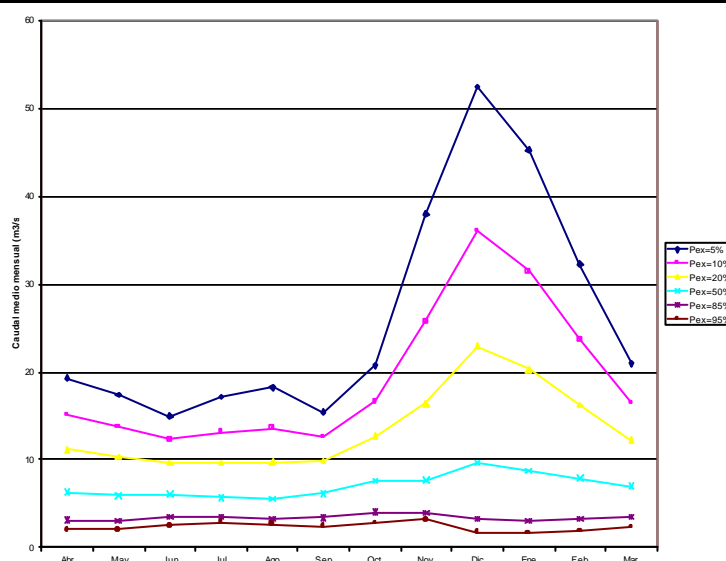
En la tabla 4.9 y figura 4.9 se observa que esta estación muestra un régimen nival, ya que sus mayores caudales son producto de aportes nivales.

En años húmedos los mayores caudales se presentan entre noviembre y enero, producto de los deshielos, mientras que los menores ocurren entre mayo y septiembre.

En años secos los caudales se distribuyen de manera más homogénea, sin mostrar variaciones de consideración.

**Tabla 4.9: Río Elqui en Algarrobal (m<sup>3</sup>/s)**

Pex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	19.299	17.368	14.975	17.185	18.202	15.428	20.734	37.981	52.410	45.224	32.284	20.946
10	15.079	13.701	12.294	13.125	13.611	12.586	16.619	25.735	36.068	31.442	23.673	16.444
20	11.185	10.281	9.681	9.634	9.742	9.835	12.713	16.402	22.940	20.247	16.259	12.266
50	6.315	5.935	6.129	5.721	5.537	6.139	7.618	7.683	9.652	8.723	7.925	7.005
85	3.124	3.017	3.491	3.540	3.302	3.435	4.054	4.000	3.324	3.092	3.270	3.514
95	2.067	2.028	2.509	2.921	2.695	2.443	2.799	3.200	1.778	1.682	1.945	2.343
Dist	L2	L2	L2	L3	L3	L2	L2	L3	L2	L2	L2	L2



**Figura 4.9: Curva de Variación Estacional Río Elqui en Algarrobal**

- Elqui en Almendral

Esta estación se encuentra el río Elqui, aguas abajo de la estación Elqui en Algarrobal. Se ubica en el valle del río Elqui, a 395 m s.n.m.

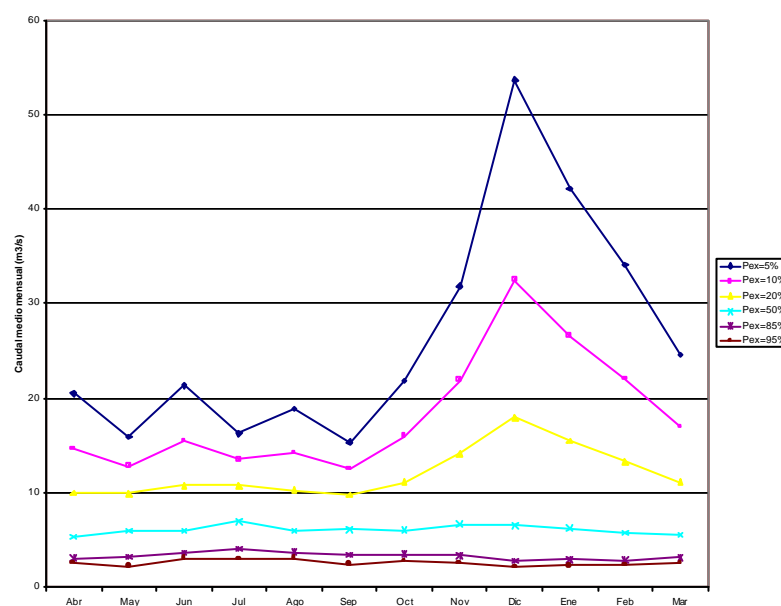
En la tabla 4.10 y figura 4.10 se aprecia que esta estación muestra un régimen nival, ya que sus mayores caudales ocurren en meses de primavera y verano.

En años húmedos los mayores caudales se presentan entre noviembre y febrero, producto de deshielos, mientras que los menores lo hacen entre mayo y septiembre.

En años secos los caudales se distribuyen de manera más uniforme, sin mostrar variaciones de consideración.

**Tabla 4.10: Río Elqui en Almendral (m<sup>3</sup>/s)**

Pex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	20.466	15.939	21.367	16.263	18.856	15.316	21.804	31.875	53.664	42.141	34.121	24.603
10	14.655	12.837	15.501	13.483	14.184	12.493	15.964	21.895	32.453	26.518	22.056	16.965
20	10.001	9.876	10.773	10.745	10.244	9.761	11.138	14.13	17.987	15.464	13.315	11.089
50	5.314	5.983	5.967	6.963	5.956	6.090	6.047	6.648	6.526	6.220	5.739	5.521
85	3.096	3.228	3.659	4.080	3.672	3.406	3.459	3.335	2.769	2.925	2.889	3.119
95	2.557	2.246	3.091	2.981	3.050	2.422	2.786	2.581	2.134	2.320	2.336	2.586
Dist	L3	L2	L3	L2	L3	L2	L3	L3	L3	L3	L3	L3



**Figura 4.10: Curva de Variación Estacional Río Elqui en Almendral**

#### 4.1.2 Conclusiones

A partir de las curvas de variación estacional presentadas en el acápite anterior se caracterizará hidrológicamente la cuenca del río Elqui, determinando específicamente el período de estiaje de cada subcuenca.

Como todas las estaciones fluviométricas muestran un régimen nival y presentan sus menores caudales en el mismo período, se ha caracterizado toda la cuenca en un solo grupo.

##### a) Cuenca del Elqui

Corresponde íntegramente a toda la hoya hidrográfica del río Elqui, incluyendo sus principales afluentes: río Claro, estero Derecho, río Cochiguaz, río Turbio, río La Laguna y río Del Toro. En todos estos cauces se observa un régimen nival, con los mayores caudales entre noviembre y febrero en años húmedos. En años secos los caudales tienden a ser más uniformes a lo largo del año, sin mostrar variaciones importantes. El período de estiaje ocurre en meses de invierno, en el trimestre dado por los meses de junio, julio y agosto.

A continuación se muestra una tabla resumen con el período de estiaje para la cuenca del río Elqui.

**Tabla 4.11 : Período de Estiaje para la Cuenca del río Elqui**

Nº	Cuenca	Período Estiaje
1	Elqui	Junio – Julio – Agosto

## 4.2 Análisis Espacio-Temporal en Cauce Principal

De acuerdo a la metodología corresponde realizar los siguientes análisis:

- Selección de parámetros
- Tendencia central
- Análisis por período estacional

### 4.2.1 Selección de parámetros

De acuerdo a la metodología establecida corresponde para la caracterización de la calidad de agua de la cuenca seleccionar los parámetros. Los parámetros seleccionados están formados por: parámetros obligatorios y parámetros principales, los parámetros obligatorios serán siempre los mismos para todas las cuencas, sin embargo los principales son representativos de cada cuenca, por ser más significativos del punto de vista de la calidad de agua.

#### a) Parámetros obligatorios

Los parámetros obligatorios definidos son: conductividad, DBO<sub>5</sub>, oxígeno disuelto, pH, sólidos suspendidos, coliformes fecales.

Para DBO<sub>5</sub>, sólidos suspendidos y coliformes fecales, la base de datos de la DGA no contiene registros.

#### b) Parámetros principales

Para seleccionar los parámetros principales se compara el valor, en el *Instructivo*, del límite de la clase 0 con el valor máximo que alcanza el parámetro, incluyendo todos los registros de la base de datos depurada (BDD).

En la tabla 4.12 se indica el rango de máximo y mínimo de todos los parámetros del *Instructivo* que poseen datos registrados en la BDD. Aquellos sin datos se señalan con “s/i”. Todos los parámetros que tienen valores sobre el límite de la clase 0, señalados con “si”, son seleccionados como parámetros principales para el análisis de la calidad de agua en la cuenca.

**Tabla 4.12: Selección y Rango de los Parámetros de Calidad en la Cuenca del Río Elqui**

PARAMETROS	UNIDAD	FUENTE	MINIMO	MAXIMO	CLASE 0	SELECCION
<b>FISICO-QUIMICOS</b>						
Conductividad Eléctrica	μS/cm	DGA	69	3490	<600	Obligatorio
DBO <sub>5</sub>	mg/L	-	s/i	s/i	<2	Obligatorio
Color Aparente	Pt-Co	-	s/i	s/i	<16	No
Oxígeno Disuelto	mg/L	DGA	4.9	17.8	>7.5	Obligatorio
pH	unidad	DGA	2.3	9.7	6.5 - 8.5	Obligatorio
RAS	-	DGA	0,1	2,3	<2.4	No
Sólidos disueltos	mg/L	-			<400	No
Sólidos suspendidos	mg/L	-			<24	Obligatorio
ΔTemperatura	°C	-	-	-	<0.5	No
<b>INORGANICOS</b>						
Amonio	mg/L	-	s/i	s/i	<0.5	No
Cianuro	μg/L	-	s/i	s/i	<4	No
Cloruro	mg/L	DGA	1.8	447.3	<80	Si
Fluoruro	mg/L	-	s/i	s/i	<0.8	No
Nitrito	mg/L	-	s/i	s/i	<0.05	No
Sulfato	mg/L	DGA	2	1633	<120	Si
Sulfuro	mg/L	-	s/i	s/i	<0.04	No
<b>ORGANICOS</b>		-	s/i	s/i		No
<b>ORGANICOS PLAGUICIDAS</b>		-	s/i	s/i		No
<b>METALES ESENCIALES</b>						
Boro	mg/l	DGA	<0.02	11.6	<0.4	Si
Cobre	μg/L	DGA	<10	114.000	<7.2	Si
Cromo total	μg/L	DGA	<10	<10	<8	No
Hierro	mg/L	DGA	<0.01	278	<0.8	Si
Manganeso	mg/L	Serv.Salud	0.01	20.6	<0.04	Si
Molibdeno	mg/L	DGA	<0.01	0.03	<0.008	Si
Níquel	μg/L	DGA	<10	80	<42	Si
Selenio	μg/L	DGA	<1	<1	<4	No
Zinc	mg/L	DGA	<0.001	5	<0.096	Si
<b>METALES NO ESENCIALES</b>						
Aluminio	mg/L	DGA	<0.01	47	<0.07	Si
Arsénico	mg/L	DGA	<0.001	16.2	<0.04	Si
Cadmio	μg/L	DGA	<10	<10	<1.8	No
Estaño	μg/L	-	s/i	s/i	<4	No
Mercurio	μg/L	DGA	<1	<1	<0.04	No
Plomo	mg/L	DGA	<0.01	0.07	<0.002	Si
<b>MICROBIOLOGICOS</b>						
Coliformes Fecales (NMP)	gérmenes/100 ml	Serv.Salud	4	66	<10	Obligatorio
Coliformes Totales (NMP)	gérmenes/100 ml	-	s/i	s/i	<200	No

De acuerdo a lo anterior, los parámetros seleccionados para el análisis de la calidad de agua en la cuenca son los siguientes:

- Parámetros Obligatorios
  - Conductividad Eléctrica
  - $\text{DBO}_5$
  - Oxígeno Disuelto
  - pH
  - Sólidos Suspendidos
  - Coliformes Fecales
  
- Parámetros Principales
  - Cloruro
  - Sulfato
  - Boro
  - Cobre
  - Hierro
  - Manganeso
  - Molibdeno
  - Níquel
  - Zinc
  - Aluminio
  - Arsénico
  - Plomo

De acuerdo al programa de muestreo realizado por CADE-IDEPE (ver 4.2.5), los siguientes parámetros exceden la clase 0:

- Color Aparente
- Sólidos Disueltos
- Sólidos Suspendidos totales
- Fluoruro
- Coliformes Fecales
- Coliformes Totales

Los parámetros cuyo valor máximo registrado en la BDD no exceden el límite de la clase 0 se consideran que siempre pertenecen a dicha clase. Estos parámetros son: RAS y selenio, los valores de este último corresponden al límite de detección (LD) analítico inferior a la clase excepción.

No es posible realizar un análisis para los parámetros: cromo, cadmio y mercurio, ya que su valor corresponde al límite de detección (LD) analítico que es superior al valor de la clase excepción.

#### 4.2.2 Análisis de tendencia central

La tendencia central se expresa a través de la media móvil, filtro lineal destinado a eliminar variaciones estacionales. En la abcisa se representa el periodo de tiempo expresado en años y en la ordenada el valor del parámetro.

En el anexo 4.1 se presentan las figuras de tendencia central de los parámetros seleccionados en la cuenca del río Elqui: conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH, cloruro, sulfato, boro, cobre, hierro, manganeso, níquel, zinc, aluminio, arsénico y plomo.

En el caso de otros parámetros seleccionados, no se presentan gráficas de tendencia central porque no existen datos suficientes para una serie de tiempo.

Las observaciones que se derivan de las figuras de tendencia central se incluyen en la tabla 4.13.



Tabla 4.13: Tendencia Central de Parámetros de Calidad de Agua

CUENCA DEL RIO ELQUI	
<b>Conductividad Eléctrica:</b>	
<u>Río Turbio:</u>	La conductividad eléctrica a lo largo del río disminuye en 200 $\mu\text{S/cm}$ aguas abajo de la unión de los ríos Toro y La Laguna permaneciendo constante hasta la estación Varillar con una tendencia central plana con un valor de 600 $\mu\text{S/cm}$ en una serie de tiempo de 20 años, en la estación Guanta el valor de la tendencia central, en la misma serie de tiempo, es de 800 $\mu\text{S/cm}$ .
<u>Río Elqui:</u>	La conductividad eléctrica aumenta al doble desde la estación Algarrobal hacia la parte baja, estación La Serena. En una serie de tiempo común las estaciones Algarrobal, Almendral y puente Las Rojas se observa una tendencia central plana en un valor de 600 $\mu\text{S/cm}$ , en la misma serie de tiempo en la estación La Serena la tendencia central es creciente con un valor de 1100 $\mu\text{S/cm}$ .
<b>pH:</b>	
<u>Río Turbio:</u>	El pH a lo largo del río aumenta desde 7,4 a 7,7 con una tendencia central creciente en cada estación en una serie de tiempo de quince años.
<u>Río Elqui:</u>	Entre estaciones la tendencia central del pH varía entre 7,8 y 8,0 con una tendencia central plana en la estación Almendral y una tendencia creciente en las estaciones Algarrobal, Las Rojas y La Serena hacia la alcalinidad.
<b>Oxígeno Disuelto:</b>	
<u>Río Turbio:</u>	En la junta de los ríos Toro y La Laguna la tendencia central es plana en un valor de 9,0 mg/L. En las estaciones Guanta y Varillar se observa una tendencia central decreciente con un valor de 9,2 mg/L en ambas estaciones en una serie de tiempo común de trece años.
<u>Río Elqui:</u>	presenta una tendencia central plana en las estaciones Algarrobal y Almendral con un valor de 9,5 mg/L, en las estaciones puente Las Rojas y La Serena la tendencia central es decreciente en un valor de 9,5 y 10,5 mg/L respectivamente en una serie de tiempo de trece años.

**Tabla 4.13 (Continuación) : Tendencia Central de Parámetros de Calidad de Agua**

<b>CUENCA DEL RIO ELQUI</b>	
<b>Concentración de Cloruro :</b>	
<u>Río Turbio</u> :	En la junta de los ríos Toro y La Laguna y la estación Varillar la tendencia central es plana en un valor de 39,0 y 25 mg/L respectivamente. En la estación Guanta se observan dos comportamientos, en una serie de tiempo de quince años, con una tendencia creciente hasta el año 1991 para luego permanecer constante hasta la fecha en un valor de 25 mg/L.
<u>Río Elqui</u> :	presenta una tendencia central plana, en una serie de tiempo de dieciocho años, en las estaciones Algarrobal, Almendral y Las Rojas con un valor de 18, 20 y 25 mg/L, en la estación La Serena la tendencia se observan dos comportamientos en la misma serie de tiempo hasta 1991 se observa un comportamiento decreciente para luego permanecer constante hasta la fecha con una tendencia central plana en los últimos diez años en un valor de 150 mg/L.
<b>Concentración de Sulfato :</b>	
<u>Río Turbio</u> :	El comportamiento del sulfato a lo largo del río es decreciente, en las estaciones junta de los ríos Toro y La Laguna, Guanta y Varillar la tendencia es creciente con valores de 250, 200 y 175 mg/L, en una serie de tiempo de catorce años.
<u>Río Elqui</u> :	presenta una tendencia central creciente, en una serie de tiempo de veinte años, en las estaciones Algarrobal, Almendral y La Serena con un valor de 130, 140 y 150 mg/L, en la estación La Serena la tendencia se observan dos comportamientos en la misma serie de tiempo hasta 1991 se observa un comportamiento decreciente para luego permanecer constante hasta la fecha con una tendencia central plana en los últimos diez años en un valor de 225 mg/L.
<b>Concentración de Boro:</b>	
<u>Río Turbio</u> :	El comportamiento del boro es decreciente, en las estaciones después de los ríos Toro y La Laguna, Guanta y Varillar la tendencia es de 1, 0,7 y 0,8 mg/L respectivamente, en una serie de tiempo de catorce años.
<u>Río Elqui</u> :	Presenta una tendencia central decreciente, en una serie de tiempo de veinte años. En la estación Algarrobal con un valor de 0,8 mg/L, mientras Almendral, Puente Las Rojas y La Serena con un valor de 0,6 mg/L.
<b>Concentración de Cobre:</b>	
<u>Río Turbio</u> :	En todas las estaciones del río Turbio se observa un comportamiento similar con tendencia creciente disminuyendo el valor desde la junta del río Toro y La Laguna hacia Varillar en 900 ppb. En las estaciones desde la junta del río Toro y La Laguna y Varillar se observa una tendencia central creciente con un valor de 1800 y 900 ppb respectivamente en una serie de tiempo de veinte años. En la estación Guanta la tendencia central es creciente con un valor de 1200 ppb en una serie de tiempo de quince años.
<u>Río Elqui</u> :	Presenta una tendencia central creciente, en una serie de tiempo de veinte años, en la estación Algarrobal con un valor de 420 ppb. En las estaciones Almendral, Puente Las Rojas y La Serena con un valor de 200, 170 y 120 ppb, en todas estas estaciones se observan dos comportamientos, el primero de unos tres años y creciente, mientras el segundo levemente decreciente hasta alcanzar una tendencia plana hasta los valores antes mencionados.

**Tabla 4.13 (Continuación) : Tendencia Central de Parámetros de Calidad de Agua**

<b>CUENCA DEL RIO ELQUI</b>	
<b>Concentración de Hierro :</b>	
<p><u>Río Turbio</u>: En las estaciones del río Turbio se observa un comportamiento similar en las estaciones Guanta y Varillar con una tendencia central plana disminuyendo el valor aguas abajo, en una serie de tiempo de diez años. La estación después de la junta del río Toro y La Laguna presenta una tendencia central creciente con un valor de 6.0 ppb con una serie de tiempo de quince años.</p> <p><u>Río Elqui</u>: En las estaciones Algarrobal y La Serena se observa una tendencia central plana en un valor de 2,2 y 1,0 mg/L en una serie de tiempo de diez años en la estación Almendral se observan dos comportamientos el primero irregular hasta el año 1990, en el periodo siguiente se observa un comportamiento homogéneo con una tendencia central plana con un valor de 2.2 ppb. En la estación puente Las Rojas se observa una tendencia central decreciente con un valor de 1,0 ppb en una serie de tiempo de diez años.</p>	
<b>Concentración de Manganeso:</b>	
<p><u>Río Turbio</u>: En el río Turbio todas las estaciones tienen un comportamiento disímil, en la estación después de la junta del río Toro y La Laguna presenta varios comportamientos (decrece-plana-crece) con un valor de la tendencia en 0.8 mg/L, en una serie de tiempo de cuatro años. LA estación Guanta desde 1997 al 1998 se observa un fuerte disminución para luego tender a aumentar con una tendencia central en un valor de 1.0 mg/L en la serie de tiempo de cuatro años. En la estación Varillar se observa entre los años 1997 y 1998 una fuerte disminución (0.3 mg/L), en el periodo siguiente se observa una tendencia central plana en un valor 0.6 mg/L.</p> <p><u>Río Elqui</u>: El valor del manganeso disminuye aguas abajo En las estaciones Algarrobal y La Serena se observa una tendencia central creciente en un valor de 0.36 y 0.02 mg/L en una serie de tiempo de cuatro años en la estación Almendral se observan dos comportamientos el primero disminuye hasta el año 1999, en el periodo siguiente se observa un comportamiento con una tendencia central plana con un valor de 0.07 mg/L. En la estación puente Las Rojas se observa una tendencia central decreciente con un valor de 0.04 mg/L en una serie de tiempo de cuatro años.</p>	
<b>Concentración de Molibdeno :</b>	
El número de registros para el molibdeno no permite graficar la tendencia central en una serie de tiempo.	
<b>Concentración de Níquel:</b>	
<p><u>Río Turbio</u>: La única estación que se posee datos para graficar una tendencia central en una serie de tiempo es después de la junta del río Toro y La Laguna donde se observa un comportamiento decreciente en 1999 para continuar hasta el año 2002 con una tendencia central plana con un valor de 11.0 ppb.</p> <p><u>Río Elqui</u>: Los datos para el río Elqui no son suficientes para representar la tendencia central en una serie de tiempo.</p>	
<b>Concentración de Zinc :</b>	
<u>Río Turbio</u> : En todas las estaciones del río Turbio se observa un comportamiento similar con una tendencia decreciente en un primer periodo para luego aumentar y presentar valores que van disminuyendo a lo largo del río, desde 0.4, a 0.29 mg/L.	

**Tabla 4.13 (Continuación) : Tendencia Central de Parámetros de Calidad de Agua**

<b>CUENCA DEL RIO ELQUI</b>	
<p><u>Río Elqui</u>: La estación Algarrobal presenta una tendencia central creciente en una serie de tiempo de cinco años con un valor de 0.12 mg/L. En las estaciones Almendral, Las Rojas y La Serena se observa una tendencia central plana con un valor de 0.02 mg/L en una serie de tiempo de cinco años.</p>	
<b>Concentración de Aluminio:</b>	
<p><u>Río Turbio</u>: En las estación junta río Toro y La Laguna se observan dos comportamiento en la serie de tiempo de cuatro años hasta el año 2000 se disminuye para luego crecer y permanece r constante en los últimos dos años en un valor de la tendencia central de 7.0 mg/L . En la estación Guanta se observa una tendencia central creciente en un valor de 5.0 mg/L y en Varillar la tendencia central es plan en un valor de 4.2 mg/L.</p> <p><u>Río Elqui</u>: En la estación Algarrobal presenta una tendencia central creciente en los últimos años de la serie de tiempo de cuatro años con un valor de 2.9 mg/L. En las estaciones Almendral y La Serena se observa una tendencia central plana con un valor de 0.4 y 0.02 mg/L respectivamente, en una serie de tiempo de cuatro años. La tendencia central es decreciente con un valor de 0.5 mg/L en la serie de tiempo de cuatro años.</p>	
<b>Concentración de Arsénico :</b>	
<p><u>Río Turbio</u>: En todas las estaciones del río se observa un mismo comportamiento hasta el año 1995 se presenta un fuerte aumento para luego disminuir con valores de la tendencia central en 0.21, 0.14 y 0.11 mg/L en las estaciones Turbio después de junta ríos Toro y La Laguna, Guanta y Varillar respectivas.</p> <p><u>Río Elqui</u>: En la estación Algarrobal se observan dos comportamientos, en la serie de tiempo de veinte años, hasta el año 1997 aumenta en 0.005 mg/L, en el periodo siguiente tiende a disminuir para tender a una tendencia central en un valor de 0.06 mg/L . En la estación Almendral se observa una tendencia central plana en un valor de 0.04 mg/L. En puente Las rojas la tendencia es a disminuir desde el año 1994 en adelante con un valor de la tendencia central de 0.02 mg/L. En la estación La Serena se observa una tendencia central decreciente en una serie de tiempo de 18 años con un valor de 0.02 mg/L.</p>	
<b>Concentración de Plomo :</b>	
<p><u>Río Turbio</u>: La única estación que se posee datos para graficar una tendencia central en una serie de tiempo es Guanta donde se observa un comportamiento decreciente desde 1994 hasta 1999 para permanecer constante en los últimos años de la serie de tiempo de dieciocho años, en un valor de 0.011 mg/L.</p> <p><u>Río Elqui</u>: Las estaciones Algarrobal y puente Las Rojas presentan el mismo comportamiento en la serie de tiempo de dieciocho años, con un valor de la tendencia central de 0.013 mg/L en ambas estaciones. Para las estaciones Almendral y La Serena no es posible graficar las tendencias centrales, sus datos pertenecen a límites de detección.</p>	

#### 4.2.3 Programa de muestreo

La necesidad de complementar la información existente considera tres aspectos claves: en primer lugar, la red actual de monitoreo existente está orientada a medir parámetros inorgánicos de tal modo que no se dispone de información orgánica; en segundo término, las necesidades de información complementaria están destinadas a verificar la clase actual en algunos segmentos de los cauces seleccionados y en tercer lugar, a contar con una información puntual en cauces en los cuales se carece de toda otra información. En el caso de la cuenca del río Elqui se ha privilegiado las mediciones en lugares donde existen factores incidentes relevantes (minería, ciudades, etc.) y puntos que corresponden a confluencias de cursos de agua de interés. Cabe señalar, que el muestreo es puntual y por lo tanto debe considerarse como tal en cuanto a la validez y representatividad del resultado. Se incluyen mediciones de los parámetros que no registran mediciones anteriores.

Considerando ambos aspectos se llevó a cabo el siguiente programa de muestreo:

**Tabla 4.14: Programa de Muestreo**

Segmento	Puntos de muestreo	Información Previa	Parámetros a medir en todos los puntos
0430TO10	Río Toro antes junta La Laguna	Estación de Monitoreo DGA	DBO <sub>5</sub> , Color, SD, SST, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , CN <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , Sn, CF, CT
0431CL40	Río Claro en Rivadavia	Estación de Monitoreo DGA	
0432EL50	Río Elqui en Almendral	Estación de Monitoreo DGA	
0433EL20	Río Elqui en La Serena	Estación de Monitoreo DGA	DBO <sub>5</sub> , Color, SD, SST, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , CN <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , Sn, CF, CT, Plaguicidas *

(\*) : Plaguicidas : 2,4 D, Aldicarb, Atrazina+N-dealkyl metabolitos, Captan, Carbofurano, Clorothalonil, Cyanazina, Demetón, Diclofop-metil, Dimetoato, Paratión, Pentaclorofenol, Simazina y Trifluralina.

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

Para la caracterización de la calidad de agua de la cuenca, se establece la denominada *Base de Datos Integrada* (BDI), la cual contiene datos recopilados de monitoreos o muestreos realizados a la fecha (información de nivel 1 al nivel 3), datos del programa de muestreos realizados durante el desarrollo de la presente Consultoría (nivel 4)

y datos estimados por el consultor para aquellos parámetros que carecen de toda información (nivel 5).

En forma específica, se ha considerado lo siguiente:

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

La información que contiene la *Base de Datos Integrada* BDI para la cuenca del río Elqui es la siguiente:

- Información DGA:

Nivel 1, 2 y 3 para los períodos estacionales de invierno, verano, primavera y otoño.

- Información Programa Muestreo: Nivel 4
- Información Estimada por el Consultor: Nivel 5
- Información de Otras Fuentes:
  - Servicio de Salud de Coquimbo. Estudio denominado “Calidad Físico-Química de aguas, Cuenca del Río Elqui” (Abril 1997–Marzo 2003). Información nivel 2.
  - Programa de Monitoreo del SAG (1999). Información nivel 3.

Para la cuenca del río Elqui, la Base de Datos Integrada (BDI) se presenta en un archivo digital en el anexo 4.2.

#### 4.2.5 Procesamiento de datos por período estacional

En este acápite se realiza el análisis de los parámetros de calidad de agua por período estacional: verano, otoño, invierno y primavera.

De acuerdo al nivel de calidad de la información disponible en cada período estacional, se procede a calcular para los parámetros seleccionados en esta cuenca el valor característico de cada uno de ellos.

Para la información proveniente de la DGA, en la tabla 4.15 se presentan los valores característicos por período estacional de los parámetros seleccionados en la cuenca del río Elqui, incluyendo la clase correspondiente para cada uno de ellos de acuerdo al Instructivo.

**Tabla 4.15: Calidad de Agua por Períodos Estacionales en la cuenca del Elqui**  
**Información DGA**

Estación De Monitoreo	Conductividad Eléctrica (µS/cm)							
	Invierno		Otoño		Primavera		Verano	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
Río Vacas Heladas Antes Junta Río Malo	1928,2	3	1942,6	3	1770,0	3	1786,9	3
Río Malo después de Tranque de Relav. Minera El Indio	1540,4	3	1743,5	3	1736,2	3	1830,5	3
Río Malo Antes Junta Río Vacas Heladas	1631,2	3	1734,5	3	1677,0	3	1695,0	3
Río Toro Antes Río de La Laguna	1880,0	3	1909,9	3	1847,7	3	1705,0	3
Río Turbio después Río Toro y Río La Laguna	1076,0	2	845,4	2	811,3	2	646,4	1
Río Turbio en Guanta	773,1	2	677,0	1	655,1	1	620,0	1
Río Turbio en Varillar	655,7	1	625,5	1	625,0	1	538,0	0
Río Incaguaz antes Junta Río Turbio	298,2	0	299,4	0	273,2	0	320,7	0
Río Claro en Rivadavia	258,0	0	283,3	0	259,7	0	279,9	0
Estero Derecho en Alcohuz	141,8	0	144,7	0	126,2	0	124,0	0
Río Elqui en Algarrobal	505,9	0	500,0	0	483,3	0	482,6	0
Río Elqui en Almendral	609,4	1	574,9	0	561,5	0	576,1	0
Río Elqui en Puente Las Rojas	690,7	1	635,4	1	639,4	1	704,2	1
Río Elqui en La Serena	1181,1	2	1395,5	2	1169,9	2	1452,1	2

Estación De Monitoreo	Oxígeno Disuelto (mg/L)							
	Invierno		Otoño		Primavera		Verano	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
Río Vacas Heladas antes Junta Río Malo	9,9	0	8,5	0	8,3	0	7,5	1
Río Malo después de Tranque de Relav. Minera El Indio	7,6	0	7,5	1	7,7	0	7,4	2
Río Malo antes Junta Río Vacas Heladas	9,7	0	8,8	0	8,4	0	7,8	0
Río Toro antes Río De La Laguna	10,6	0	9,2	0	9,1	0	8,3	0
Río Turbio después Río Toro y Río La Laguna	10,3	0	8,9	0	9,5	0	8,7	0
Río Turbio en Guanta	10,6	0	9,7	0	9,4	0	8,9	0
Río Turbio en Varillar	10,6	0	9,6	0	9,4	0	8,9	0
Río Incaguaz antes Junta Río Turbio	10,8	0	9,0	0	9,7	0	8,6	0
Río Claro en Rivadavia	10,2	0	8,6	0	10,4	0	8,9	0
Estero Derecho en Alcohuz	10,3	0	8,9	0	10,1	0	9,1	0
Río Elqui en Algarrobal	10,5	0	9,0	0	9,8	0	8,9	0
Río Elqui en Almendral	10,4	0	9,7	0	9,7	0	9,2	0
Río Elqui en Puente Las Rojas	10,6	0	9,6	0	10,1	0	9,6	0
Río Elqui en La Serena	11,3	0	11,3	0	11,1	0	11,4	0



**Tabla 4.15 (Continuación): Calidad de Agua por Períodos Estacionales en la cuenca del Elqui. Información DGA**

Estación De Monitoreo	pH							
	Invierno		Otoño		Primavera		Verano	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
Río Vacas Heladas antes Junta Río Malo	5,6	4	5,8	4	5,7	4	5,7	4
Río Malo después de Tranque de Relav. Minera El Indio	4,8	4	4,7	4	4,8	4	4,6	4
Río Malo Antes Junta Río Vacas Heladas	5,1	4	4,9	4	5,0	4	4,9	4
Río Toro Antes Río de La Laguna	5,4	4	5,1	4	5,3	4	5,2	4
Río Turbio después Río Toro y Río La Laguna	7,4	0	7,6	0	7,7	0	7,7	0
Río Turbio en Guanta	7,8	0	7,9	0	7,9	0	8,0	0
Río Turbio en Varillar	8,0	0	8,0	0	8,0	0	8,0	0
Río Incaguaz antes Junta Río Turbio	7,8	0	7,9	0	7,8	0	7,8	0
Río Claro en Rivadavia	7,9	0	8,0	0	7,9	0	8,0	0
Estero Derecho en Alcohuz	7,5	0	7,8	0	7,8	0	7,7	0
Río Elqui en Algarrobal	8,0	0	8,0	0	8,0	0	8,1	0
Río Elqui en Almendral	8,1	0	8,0	0	8,0	0	8,1	0
Río Elqui en Puente Las Rojas	8,1	0	8,1	0	8,0	0	8,2	0
Río Elqui en La Serena	8,1	0	8,0	0	8,0	0	8,1	0

Estación De Monitoreo	Cloruro (mg/l)							
	Invierno		Otoño		Primavera		Verano	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
Río Vacas Heladas antes Junta Río Malo	(105,7)	2	(100,8)	2	(73,5)	0	107,2	2
Río Malo después de Tranque de Relav. Minera El Indio	11,0	0	12,4	0	13,0	0	12,7	0
Río Malo antes Junta Río Vacas Heladas	(74,5)	0	(71,2)	0	(73,5)	0	69,5	0
Río Toro antes Río de La Laguna	112,9	2	100,8	2	107,4	2	81,3	1
Río Turbio después Río Toro y Río La Laguna	60,3	0	27,9	0	42,1	0	27,4	0
Río Turbio en Guanta	37,7	0	23,4	0	31,1	0	22,1	0
Río Turbio en Varillar	32,4	0	24,2	0	28,7	0	20,9	0
Río Incaguaz antes Junta Río Turbio	9,5	0	9,5	0	9,7	0	9,8	0
Río Claro en Rivadavia	6,9	0	6,2	0	6,5	0	6,0	0
Estero Derecho en Alcohuz	5,2	0	5,3	0	5,2	0	3,9	0
Río Elqui en Algarrobal	18,4	0	19,5	0	19,0	0	18,5	0
Río Elqui en Almendral	21,7	0	22,7	0	22,1	0	18,7	0
Río Elqui en Puente Las Rojas	(25,1)	0	(24,8)	0	(25,2)	0	22,3	0
Río Elqui en La Serena	105,3	2	163,3	3	149,1	2	235,7	4

**Tabla 4.15 (Continuación): Calidad de Agua por Períodos Estacionales en la cuenca del Elqui. Información DGA**

Estación De Monitoreo	Sulfato (mg/l)							
	Invierno		Otoño		Primavera		Verano	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
Río Vacas Heladas antes Junta Río Malo	(868,8)	3	(804,7)	3	(761,6)	3	785,4	3
Río Malo después de Tranque de Relav. Minera El Indio	967,0	3	1094,9	4	1089,7	4	1098,9	4
Río Malo antes Junta Río Vacas Heladas	(809,4)	3	(901,1)	3	(836,3)	3	858,4	3
Río Toro antes Río de La Laguna	863,5	3	898,5	3	849,3	3	830,3	3
Río Turbio después Río Toro y Río La Laguna	402,5	2	189,2	2	287,6	2	211,8	2
Río Turbio en Guanta	249,8	2	165,7	2	241,6	2	184,8	2
Río Turbio en Varillar	210,6	2	158,3	2	194,0	2	175,8	2
Río Incaguaz antes Junta Río Turbio	76,8	0	83,1	0	67,0	0	87,8	0
Río Claro en Rivadavia	39,3	0	48,8	0	37,0	0	47,2	0
Estero Derecho en Alcohuz	17,4	0	16,8	0	15,8	0	16,8	0
Río Elqui en Algarrobal	138,5	1	139,0	1	127,9	1	141,7	1
Río Elqui en Almendral	141,3	1	148,2	1	138,4	1	145,4	1
Río Elqui en Puente Las Rojas	(155,6)	2	(164,3)	2	(155,3)	2	162,3	2
Río Elqui en La Serena	234,1	2	273,1	2	232,3	2	279,9	2

Estación De Monitoreo	Boro (mg/l)							
	Invierno		Otoño		Primavera		Verano	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
Río Vacas Heladas antes Junta Río Malo	5,60	4	3,98	4	3,90	4	3,76	4
Río Malo después de Tranque de Relav. Minera El Indio	1,48	4	1,10	4	1,54	4	1,45	4
Río Malo antes Junta Río Vacas Heladas	4,59	4	3,99	4	3,67	4	4,09	4
Río Toro antes Río de La Laguna	4,60	4	4,04	4	3,85	4	4,15	4
Río Turbio después Río Toro y Río La Laguna	1,57	4	1,27	4	1,17	4	0,99	4
Río Turbio en Guanta	1,16	4	0,95	4	0,86	4	0,72	2
Río Turbio en Varillar	1,06	4	0,94	4	0,79	4	0,68	2
Río Incaguaz antes Junta Río Turbio	0,52	2	0,65	2	0,35	0	0,70	2
Río Claro en Rivadavia	0,35	0	0,99	4	0,30	0	0,48	1
Estero Derecho en Alcohuz	0,36	0	0,53	2	(0,13)	0	0,41	1
Río Elqui en Algarrobal	0,91	4	0,90	4	0,66	2	1,00	4
Río Elqui en Almendral	0,64	2	0,66	2	0,81	4	0,53	2
Río Elqui en Puente Las Rojas	(0,69)	2	(0,71)	2	(0,55)	2	(0,66)	2
Río Elqui en La Serena	(0,69)	2	0,97	4	(0,55)	2	0,64	2

**Tabla 4.15 (Continuación): Calidad de Agua por Períodos Estacionales en la cuenca del Elqui. Información DGA**

Estación De Monitoreo	Cobre (µg/l)							
	Invierno		Otoño		Primavera		Verano	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
Río Vacas Heladas antes Junta Río Malo	190	2	200	2	150	2	190	2
Río Malo después de Tranque de Relav. Minera El Indio	16763	4	17540	4	14838	4	21361	4
Río Malo antes Junta Río Vacas Heladas	10655	4	12920	4	11996	4	17596	4
Río Toro antes Río de La Laguna	6900	4	7745	4	5380	4	9250	4
Río Turbio después Río Toro y Río La Laguna	2374	4	1601	4	1622	4	1738	4
Río Turbio en Guanta	1434	4	1062	4	1118	4	1086	4
Río Turbio en Varillar	890	3	808	3	930	3	847	3
Río Incaguaz antes Junta Río Turbio	83	2	103	2	59	2	62	2
Río Claro en Rivadavia	19	2	21	2	19	2	22	2
Estero Derecho en Alcohuaz	<10	<2	22	2	20	2	16	2
Río Elqui en Algarrobal	511	3	474	3	555	3	709	3
Río Elqui en Almendral	224	3	200	3	250	3	267	3
Río Elqui en Puente Las Rojas	(149)	2	89	2	(104)	2	118	2
Río Elqui en La Serena	80	2	30	2	72	2	36	2

Obs.: Donde se indica Clase <2, se debe entender "menor o igual" a 2

Estación De Monitoreo	Hierro (mg/l)							
	Invierno		Otoño		Primavera		Verano	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
Río Vacas Heladas antes Junta Río Malo	20,72	4	14,82	4	17,57	4	15,66	4
Río Malo después de Tranque de Relav. Minera El Indio	38,78	4	44,64	4	37,79	4	43,86	4
Río Malo antes Junta Río Vacas Heladas	23,76	4	23,06	4	28,00	4	27,86	4
Río Toro antes Río de La Laguna	21,30	4	23,31	4	20,10	4	26,07	4
Río Turbio después Río Toro y Río La Laguna	7,38	4	4,45	2	6,06	4	7,10	4
Río Turbio en Guanta	5,15	4	3,71	2	6,24	4	5,73	4
Río Turbio en Varillar	3,00	2	3,38	2	4,49	2	4,48	2
Río Incaguaz antes Junta Río Turbio	0,81	1	0,62	0	0,61	0	0,62	0
Río Claro en Rivadavia	0,31	0	0,24	0	0,25	0	0,28	0
Estero Derecho en Alcohuaz	0,29	0	0,36	0	0,39	0	0,54	0
Río Elqui en Algarrobal	1,78	2	2,34	2	2,44	2	2,46	2
Río Elqui en Almendral	1,16	2	1,00	1	1,74	2	2,34	2
Río Elqui en Puente Las Rojas	(0,83)	1	0,35	0	(0,54)	0	(0,61)	0
Río Elqui en La Serena	0,58	0	0,56	0	0,34	0	0,28	0

**Tabla 4.15 (Continuación): Calidad de Agua por Períodos Estacionales en la cuenca del Elqui. Información DGA**

Estación De Monitoreo	Manganeso (mg/l)							
	Invierno		Otoño		Primavera		Verano	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
Río Vacas Heladas antes Junta Río Malo	(4,46)	4	(3,49)	4	((3,85))	4	(4,40)	4
Río Malo después de Tranque de Relav. Minera El Indio	(7,78)	4	(6,31)	4	((7,80))	4	(8,01)	4
Río Malo antes Junta Río Vacas Heladas	(5,58)	4	(4,11)	4	((6,50))	4	(5,44)	4
Río Toro Antes Río de La Laguna	(5,26)	4	(3,83)	4	((4,70))	4	(4,80)	4
Río Turbio después Río Toro y Río La Laguna	((1,05))	4	(0,72)	4	((1,37))	4	(0,77)	4
Río Turbio en Guanta	(1,24)	4	0,98	4	((0,97))	4	(0,74)	4
Río Turbio en Varillar	((0,69))	4	0,51	4	((0,74))	4	(0,44)	4
Río Incaguaz antes Junta Río Turbio	((0,31))	4	(0,15)	2	((0,16))	2	((0,03))	0
Río Claro en Rivadavia	((<0,01))	0	(0,03)	0	((0,03))	0	((<0,01))	0
Estero Derecho en Alcohuz	((0,02))	0	(0,04)	1	((0,02))	0	((0,02))	0
Río Elqui en Algarrobal	((0,35))	4	(0,29)	4	((0,41))	4	((0,28))	4
Río Elqui en Almendral	((0,08))	2	(0,06)	2	((0,08))	2	((0,05))	1
Río Elqui en Puente Las Rojas	((0,03))	0	(0,05)	1	((0,07))	2	((0,03))	0
Río Elqui en La Serena	((0,02))	0	(0,03)	0	((<0,01))	0	((0,04))	1

Estación De Monitoreo	Molibdeno (mg/l)							
	Invierno		Otoño		Primavera		Verano	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
Río Vacas Heladas antes Junta Río Malo	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1
Río Malo después de Tranque de Relav. Minera El Indio	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1
Río Malo antes Junta Río Vacas Heladas	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1
Río Toro antes Río de La Laguna	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1
Río Turbio después Río Toro y Río La Laguna	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1
Río Turbio en Guanta	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1
Río Turbio en Varillar	(<0,01)	<1	(<0,01)	<1	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1
Río Incaguaz antes Junta Río Turbio	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1
Río Claro en Rivadavia	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1
Estero Derecho en Alcohuz	((0,02))	2	(<0,01)	<1	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1
Río Elqui en Algarrobal	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1
Río Elqui en Almendral	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1
Río Elqui en Puente Las Rojas	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1
Río Elqui en La Serena	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1	((0,02))	2	((<0,01))	<1

Obs.: Donde se indica Clase <1, se debe entender "menor o igual" a 1

**Tabla 4.15 (Continuación): Calidad de Agua por Períodos Estacionales en la cuenca del Elqui. Información DGA**

Estación De Monitoreo	Níquel (µg/l)							
	Invierno		Otoño		Primavera		Verano	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
Río Vacas Heladas antes Junta Río Malo	(22)	0	(24)	0	((15))	0	(30)	0
Río Malo después de Tranque de Relav. Minera El Indio	(44)	1	(40)	0	((60))	2	(63)	2
Río Malo antes Junta Río Vacas Heladas	(36)	0	(44)	1	((45))	1	(52)	1
Río Toro antes Río de La Laguna	(30)	0	(26)	0	((35))	0	(38)	0
Río Turbio después Río Toro y Río La Laguna	(14)	0	(11)	0	((<10))	0	(<10)	0
Río Turbio en Guanta	(<10)	0	(<10)	0	((<10))	0	(<10)	0
Río Turbio en Varillar	(<10)	0	(<10)	0	((<10))	0	(<10)	0
Río Incaguaz antes Junta Río Turbio	((<10))	0	((<10))	0	((<10))	0	((<10))	0
Río Claro en Rivadavia	((<10))	0	(<10)	0	((<10))	0	((<10))	0
Estero Derecho en Alcohuaz	((<10))	0	((<10))	0	((<10))	0	((<10))	0
Río Elqui en Algarrobal	((<10))	0	(<10)	0	((<10))	0	((<10))	0
Río Elqui en Almendral	((<10))	0	((<10))	0	((<10))	0	((<10))	0
Río Elqui en Puente Las Rojas	((<10))	0	(<10)	0	((<10))	0	((<10))	0
Río Elqui en La Serena	((<10))	0	(<10)	0	((<10))	0	((<10))	0

Estación De Monitoreo	Zinc (mg/l)							
	Invierno		Otoño		Primavera		Verano	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
Río Vacas Heladas antes Junta Río Malo	((0,69))	2	(0,62)	2	(0,84)	2	(0,77)	2
Río Malo después de Tranque de Relav. Minera El Indio	((3,20))	3	(3,48)	3	(4,50)	3	(3,79)	3
Río Malo antes Junta Río Vacas Heladas	(2,50)	3	(2,46)	3	(2,80)	3	(2,62)	3
Río Toro antes Río de La Laguna	(2,07)	3	(2,01)	3	(2,10)	3	(1,78)	3
Río Turbio después Río Toro y Río La Laguna	((0,61))	2	(0,38)	2	(0,49)	2	(0,31)	2
Río Turbio en Guanta	(0,36)	2	(0,27)	2	(0,33)	2	(0,22)	2
Río Turbio en Varillar	(0,41)	2	(0,26)	2	(0,26)	2	(0,19)	2
Río Incaguaz antes Junta Río Turbio	((0,04))	0	((0,05))	0	(0,08)	0	((0,02))	0
Río Claro en Rivadavia	((<0,01))	0	(<0,01)	0	(0,02)	0	((<0,01))	0
Estero Derecho en Alcohuaz	((<0,01))	0	(<0,01)	0	(0,03)	0	((0,02))	0
Río Elqui en Algarrobal	((0,11))	1	(0,09)	0	(0,16)	2	((0,13))	2
Río Elqui en Almendral	((0,02))	0	(0,02)	0	(0,02)	0	((0,02))	0
Río Elqui en Puente Las Rojas	((<0,01))	0	(0,02)	0	(0,02)	0	((<0,01))	0
Río Elqui en La Serena	((<0,01))	0	(0,02)	0	(0,02)	0	((0,02))	0

**Tabla 4.15 (Continuación): Calidad de Agua por Períodos Estacionales en la cuenca del Elqui. Información DGA**

Estación De Monitoreo	Aluminio (mg/l)							
	Invierno		Otoño		Primavera		Verano	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
Río Vacas Heladas antes Junta Río Malo	(14,41)	4	(10,24)	4	((7,66))	4	(14,13)	4
Río Malo después de Tranque de Relav. Minera El Indio	(28,82)	4	(25,90)	4	((26,85))	4	(34,92)	4
Río Malo antes Junta Río Vacas Heladas	(21,62)	4	(26,70)	4	((27,81))	4	(26,35)	4
Río Toro antes Río de La Laguna	(19,20)	4	(21,45)	4	((18,80))	4	(21,64)	4
Río Turbio después Río Toro y Río La Laguna	((8,16))	4	(6,16)	4	((8,50))	4	(5,45)	4
Río Turbio en Guanta	(4,17)	3	(4,43)	3	((7,02))	4	(6,56)	4
Río Turbio en Varillar	(4,23)	3	(3,40)	3	((5,12))	4	(5,70)	4
Río Incaguaz antes Junta Río Turbio	((2,45))	3	((1,23))	3	((2,69))	3	((0,81))	2
Río Claro en Rivadavia	((0,21))	2	((0,22))	2	((0,25))	2	((0,33))	2
Estero Derecho en Alcohuz	((0,22))	2	(0,18)	2	((0,15))	2	((0,37))	2
Río Elqui en Algarrobal	((1,43))	3	(2,45)	3	((5,15))	4	((3,35))	3
Río Elqui en Almendral	((0,41))	2	((0,33))	2	((0,29))	2	((0,41))	2
Río Elqui en Puente Las Rojas	((0,19))	2	(0,57)	2	((0,85))	2	((0,60))	2
Río Elqui en La Serena	((0,11))	2	((0,13))	2	((0,19))	2	((0,26))	2

Estación De Monitoreo	Arsénico (mg/l)							
	Invierno		Otoño		Primavera		Verano	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
Río Vacas Heladas antes Junta Río Malo	0,624	4	0,505	4	0,506	4	0,463	4
Río Malo después de Tranque de Relav. Minera El Indio	1,476	4	1,287	4	1,109	4	1,286	4
Río Malo antes Junta Río Vacas Heladas	1,344	4	0,974	4	1,109	4	0,910	4
Río Toro antes Río de La Laguna	0,814	4	0,808	4	0,844	4	0,865	4
Río Turbio después Río Toro y Río La Laguna	0,303	4	0,204	4	0,195	4	0,168	4
Río Turbio en Guanta	0,196	4	0,118	4	0,186	4	0,120	4
Río Turbio en Varillar	0,117	4	0,087	2	0,153	4	0,096	2
Río Incaguaz antes Junta Río Turbio	0,005	0	0,005	0	0,005	0	0,006	0
Río Claro en Rivadavia	0,005	0	0,005	0	0,007	0	0,007	0
Estero Derecho en Alcohuz	0,004	0	0,005	0	0,004	0	0,004	0
Río Elqui en Algarrobal	0,060	2	0,054	2	(0,064)	2	0,092	2
Río Elqui en Almendral	0,033	0	0,027	0	0,054	2	0,040	1
Río Elqui en Puente Las Rojas	(0,026)	0	0,017	0	0,018	0	0,018	0
Río Elqui en La Serena	0,020	0	0,016	0	0,016	0	0,017	0

**Tabla 4.15 (Continuación): Calidad de Agua por Períodos Estacionales en la cuenca del Elqui. Información DGA**

Estación De Monitoreo	Plomo (mg/l)							
	Invierno		Otoño		Primavera		Verano	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
Río Vacas Heladas antes Junta Río Malo	(<0,01)	<1	(<0,01)	<1	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1
Río Malo después de Tranque de Relav. Minera El Indio	((0,04))	2	(<0,01)	<1	((0,04))	2	(0,02)	1
Río Malo antes Junta Río Vacas Heladas	(<0,01)	<1	(<0,01)	<1	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1
Río Toro antes Río De La Laguna	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1
Río Turbio después Río Toro y Río La Laguna	(<0,01)	<1	(<0,01)	<1	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1
Río Turbio en Guanta	(<0,01)	<1	<0,01	<1	((0,02))	1	(<0,01)	<1
Río Turbio en Varillar	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1
Río Incaguaz antes Junta Río Turbio	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1
Río Claro en Rivadavia	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1
Estero Derecho en Alcohuz	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1
Río Elqui en Algarrobal	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1	((0,02))	1	((<0,01))	<1
Río Elqui en Almendral	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1
Río Elqui en Puente Las Rojas	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1	((0,02))	1	((<0,01))	<1
Río Elqui en La Serena	((<0,01))	<1	(<0,01)	<1	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1

Obs.: Donde se indica Clase <1, se debe entender "menor o igual" a 1

La información puntual del programa de muestreos del SAG de la que se dispone para esta cuenca, incluye análisis aguas arriba y abajo de la descarga de una serie de agroindustrias y plantas mineras. A continuación se presentan los resultados obtenidos por el SAG para los siguientes parámetros: conductividad eléctrica, pH, sólidos totales, sulfato y cobre.

**Tabla 4.16: Calidad de Agua Cuenca de Elqui. Información SAG****a) Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )**

Cuerpo de Agua Muestreado	Industrias	Aguas Arriba		Aguas Abajo	
		Valor	Clase	Valor	Clase
Río Elqui	Papayas Olivier	((1017))	2	((1063))	2
	Capel Vicuña	((550))	0	((2865))	4
	Pisco Elqui	((510))	0	((1000))	2
	Minera San Jerónimo	((1280))	2	((660))	1
	Minera Dos Valles	((1320))	2	((1380))	2

**b) pH**

Cuerpo de Agua Muestreado	Industrias	Aguas Arriba		Aguas Abajo	
		Valor	Clase	Valor	Clase
Río Elqui	Papayas Olivier	((7.2))	0	((7.1))	0
	Capel Vicuña	((7.6))	0	((10.9))	4
	Pisco Elqui	((8.1))	0	((4.0))	4
	Minera San Jerónimo	((7.8))	0	((9.0))	0
	Minera Dos Valles	((7.7))	0	((7.5))	0

**c) Sólidos Totales (mg/l)**

Cuerpo de Agua Muestreado	Industrias	Aguas Arriba		Aguas Abajo	
		Valor	Clase	Valor	Clase
Río Elqui	Papayas Olivier	((825))	2	((1216))	3
	Capel Vicuña	((723))	2	((6255))	4
	Pisco Elqui	((200))	0	((2922))	4
	Minera San Jerónimo	((1494))	3	((584))	2
	Minera Dos Valles	((1476))	3	((1438))	3



**Tabla 4.16 (Continuación): Calidad de Agua Cuenca de Elqui. Información SAG****d) Sulfato (mg/L)**

Cuerpo de Agua Muestreado	Industrias	Aguas Arriba		Aguas Abajo	
		Valor	Clase	Valor	Clase
Río Elqui	Papayas Olivier	((296))	2	((360))	2
	Capel Vicuña	((250))	2	((487))	2
	Pisco Elqui	((21))	0	((56))	0
	Minera San Jerónimo	((570))	3	((237))	2
	Minera Dos Valles	((544))	3	((665))	3

**e) Cobre (µg/L)**

Cuerpo de Agua Muestreado	Industrias	Aguas Arriba		Aguas Abajo	
		Valor	Clase	Valor	Clase
Río Elqui	Papayas Olivier	-		-	
	Capel Vicuña	-		-	
	Pisco Elqui	-		-	
	Minera San Jerónimo	((20))	2	((40))	2
	Minera Dos Valles	((20))	2	((151))	2

**f) Coliformes Fecales (NMP/100ml)**

Cuerpo de Agua Muestreado	Plantas de Tratamiento	Aguas Arriba		Aguas Abajo	
		Valor	Clase	Valor	Clase
Río Elqui	Elqui Las Dunas	((4.0))	0	((13.1))	1
	Elqui Las Tacas	-		((7.4))	0
	Essco Vicuña	-		((66.0))	1

La información del estudio realizado por el Servicio de Salud de Coquimbo, denominado “Calidad Físico-Química de aguas, Cuenca del Río Elqui” (Abril 1997–Marzo 2003), incluye análisis en los ríos: Elqui, Turbio, Toro, Malo y Vacas Heladas, de los siguientes parámetros: conductividad eléctrica, pH, cobre, hierro, manganeso y arsénico, los que a continuación se presentan en la Tabla 4.17.

**Tabla 4.17: Calidad de Agua Cuenca de Elqui. Información Serv.Salud Coquimbo**a) Conductividad Eléctrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

Cuerpo de Agua Muestreado	Punto de Muestreo	Valor	Clase
Río Elqui	En Algarrobal	-	
	En Vicuña	-	
Río Turbio	En Algarrobal	-	
	En Chapilca	-	
	En Guanta	(537)	0
	Después de río Toro y La Laguna	(696)	1
Río Toro	En junta río La Laguna	(1618)	3
Río Malo	Antes río Vacas Heladas	(1700)	3
	Después Tranque de Relave	(1993)	3
Río Vacas Heladas	Antes de río Malo	(1445)	2

## b) pH

Cuerpo de Agua Muestreado	Punto de Muestreo	Valor	Clase
Río Elqui	En Algarrobal	-	
	En Vicuña	-	
Río Turbio	En Algarrobal	-	
	En Chapilca	-	
	En Guanta	(7.9)	0
	Después de río Toro y La Laguna	(7.4)	0
Río Toro	En junta río La Laguna	(4.0)	4
Río Malo	Antes río Vacas Heladas	(3.6)	4
	Después Tranque de Relave	(3.3)	4
Río Vacas Heladas	Antes de río Malo	(5.7)	4

**Tabla 4.17 (Continuación): Calidad de Agua Cuenca de Elqui. Información Serv.Salud Coquimbo**

c) Cobre ( $\mu\text{g/L}$ )

Cuerpo de Agua Muestreado	Punto de Muestreo	Valor	Clase
Río Elqui	En Algarrobal	(347)	3
	En Vicuña	(525)	3
Río Turbio	En Algarrobal	(1334)	4
	En Chapilca	(483)	3
	En Guanta	(1812)	4
	Después de río Toro y La Laguna	(4120)	4
Río Toro	En junta río La Laguna	(22700)	4
Río Malo	Antes río Vacas Heladas	(35260)	4
	Después Tranque de Relave	(50847)	4
Río Vacas Heladas	Antes de río Malo	(520)	3

d) Hierro ( $\text{mg/L}$ )

Cuerpo de Agua Muestreado	Punto de Muestreo	Valor	Clase
Río Elqui	En Algarrobal	(0.87)	1
	En Vicuña	(1.84)	2
Río Turbio	En Algarrobal	(4.07)	2
	En Chapilca	(1.23)	2
	En Guanta	(4.14)	2
	Después de río Toro y La Laguna	(5.92)	4
Río Toro	En junta río La Laguna	(24.42)	4
Río Malo	Antes río Vacas Heladas	(32.65)	4
	Después Tranque de Relave	(142.82)	4
Río Vacas Heladas	Antes de río Malo	(17.08)	4

**Tabla 4.17 (Continuación): Calidad de Agua Cuenca de Elqui. Información Serv.Salud Coquimbo**

e) Manganeseo (mg/L)

Cuerpo de Agua Muestreado	Punto de Muestreo	Valor	Clase
Río Elqui	En Algarrobal	-	
	En Vicuña	-	
Río Turbio	En Algarrobal	-	
	En Chapilca	-	
	En Guanta	(0.63)	4
	Después de río Toro y La Laguna	(1.06)	4
Río Toro	En junta río La Laguna	(3.81)	4
Río Malo	Antes río Vacas Heladas	(5.07)	4
	Después Tranque de Relave	(10.22)	4
Río Vacas Heladas	Antes de río Malo	(3.43)	4

f) Arsénico (mg/L)

Cuerpo de Agua Muestreado	Punto de Muestreo	Valor	Clase
Río Elqui	En Algarrobal	(0.038)	0
	En Vicuña	(0.039)	0
Río Turbio	En Algarrobal	(0.067)	2
	En Chapilca	(0.057)	2
	En Guanta	(0.108)	4
	Después de río Toro y La Laguna	(0.190)	4
Río Toro	En junta río La Laguna	(0.700)	4
Río Malo	Antes río Vacas Heladas	(0.820)	4
	Después Tranque de Relave	(5.860)	4
Río Vacas Heladas	Antes de río Malo	(0.520)	4

Durante el mes de octubre del presente año (primavera 2003), con el fin de completar la información existente de la cuenca y corroborar la asignación de clase propuesta, se llevó a cabo el Programa de Muestreo informado en el capítulo 4.2.3. A continuación se presenta el resultado de los análisis para la cuenca del río Elqui:

**Tabla 4.18: Calidad de Agua Cuenca del río Elqui  
Muestreo Puntual CADE-IDEPE**

Punto de Muestreo	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	
	Valor	Clase
Río Toro a/j río La Laguna	<1.5	0
Río Claro en Rivadavia	<1.5	0
Río Elqui en Almendral	<1.5	0
Río Elqui en La Serena	<1.5	0

Punto de Muestreo	Color Aparente (Pt-Co)	
	Valor	Clase
Río Toro a/j río La Laguna	50	2
Río Claro en Rivadavia	5	0
Río Elqui en Almendral	5	0
Río Elqui en La Serena	5	0

Punto de Muestreo	Sólidos Disueltos (mg/L)	
	Valor	Clase
Río Toro a/j río La Laguna	1330	3
Río Claro en Rivadavia	90	0
Río Elqui en Almendral	290	0
Río Elqui en La Serena	490	1

Punto de Muestreo	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	
	Valor	Clase
Río Toro a/j río La Laguna	507	4
Río Claro en Rivadavia	<10	0
Río Elqui en Almendral	<10	0
Río Elqui en La Serena	<10	0

Punto de Muestreo	Amonio (mg/L)	
	Valor	Clase
Río Toro a/j río La Laguna	0.12	0
Río Claro en Rivadavia	0.02	0
Río Elqui en Almendral	0.02	0
Río Elqui en La Serena	0.02	0

**Tabla 4.18 (Continuación): Calidad de Agua Cuenca del río Elqui**  
**Muestreo Puntual CADE-IDEPE**

Punto de Muestreo	Cianuro total (µg/L)	
	Valor	Clase
Río Toro a/j río La Laguna	3	0
Río Claro en Rivadavia	<3	0
Río Elqui en Almendral	<3	0
Río Elqui en La Serena	<3	0

Punto de Muestreo	Fluoruro (mg/L)	
	Valor	Clase
Río Toro a/j río La Laguna	1.1	2
Río Claro en Rivadavia	0.4	0
Río Elqui en Almendral	0.5	0
Río Elqui en La Serena	0.5	0

Punto de Muestreo	Nitrito (mg/L)	
	Valor	Clase
Río Toro a/j río La Laguna	<0.01	0
Río Claro en Rivadavia	<0.01	0
Río Elqui en Almendral	<0.01	0
Río Elqui en La Serena	<0.01	0

Punto de Muestreo	Sulfuro (mg/L)	
	Valor	Clase
Río Toro a/j río La Laguna	<0.01	0
Río Claro en Rivadavia	<0.01	0
Río Elqui en Almendral	<0.01	0
Río Elqui en La Serena	<0.01	0

Punto de Muestreo	Estaño (µg/L)	
	Valor	Clase
Río Toro a/j río La Laguna	<10	<2
Río Claro en Rivadavia	<10	<2
Río Elqui en Almendral	<10	<2
Río Elqui en La Serena	<10	<2

**Tabla 4.18 (Continuación): Calidad de Agua Cuenca del río Elqui  
Muestreo Puntual CADE-IDEPE**

Punto de Muestreo	Coliformes Fecales (NMP/100ml)	
	Valor	Clase
Río Toro a/j río La Laguna	<2	0
Río Claro en Rivadavia	6	0
Río Elqui en Almendral	<2	0
Río Elqui en La Serena	33	1

Punto de Muestreo	Coliformes Totales (NMP/100ml)	
	Valor	Clase
Río Toro a/j río La Laguna	<2	0
Río Claro en Rivadavia	23	0
Río Elqui en Almendral	<2	0
Río Elqui en La Serena	540	1

Para los Plaguicidas se tiene lo siguiente:

Parámetro	Río Elqui en La Serena	
	Valor	Clase
2,4 D (µg/L)	<1	0
Aldicarb (µg/L)	<0.8	0
Atrazina + N-dealkyl metabolitos (µg/L)	<0.5	0
Captan (µg/L)	<1	0
Carbofurano (µg/L)	<1	0
Clorothalonil (µg/L)	<0.1	0
Cyanazina (µg/L)	<0.2	0
Demetón (µg/L)	<0.08	0
Diclofop-metil (µg/L)	<0.1	0
Dimetoato (µg/L)	<1	0
Paration (µg/L)	<1	0
Pentaclorofenol (µg/L)	<0.2	0
Simazina (mg/L)	<0.001	0
Trifluralina (µg/L)	<0.08	0

Al realizarse el programa de muestreos se verificó una inconsistencia en el Instructivo, respecto a los límites de la Clase de excepción y la metodología de análisis de ciertos parámetros de calidad. Esta inconsistencia se debe a que los límites de detección de esas metodologías de análisis no pueden llegar a los valores límites de la clase de excepción. Por tanto los siguientes parámetros: plomo (Pb), hidrocarburos totales (HC), mercurio (Hg) y estaño (Sn), no pueden ser clasificados en clase de excepción.

### 4.3 Factores Incidentes en la Calidad del Agua

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

La tabla 4.19 explica los factores incidentes en la cuenca del río Elqui.



Tabla 4.19: Factores Incidentes en la Calidad del Agua en la Cuenca del Río Elqui

SEGMENTO RÍO	FACTORES INCIDENTES		PARÁMETROS QUE PUEDEN VERSE AFECTADOS	CARACTERIZACIÓN DEL FACTOR
	NATURALES	ANTROPOGENICOS		
Río Vacas Heladas a/j río Malo 0430-VA-10	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lixiviación superficial y subterránea de filones mineralizados de la franja metalogénica</li> <li>Escorrentía de aluminosilicatos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Drenajes de aguas de minas</li> <li>Descargas difusas desde tortas de estériles mineros</li> <li>Descargas difusas de aguas servidas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>OD, Cl, Cu, Zn, CE, <math>\text{SO}_4^{-2}</math>, pH, B, Fe, Mn, Al, As</li> <li>Posiblemente <math>\text{DBO}_5</math>, CF, CT.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Geología: Formaciones rocosas de los períodos terciario y cretácico constituido por rocas volcánicas</li> <li>Litología: Franja metalogénica F-10</li> <li>Geomorfología: Cordón cordillerano interrumpido por valles transversales de origen fluvial</li> <li>Minería: Minas: El Azufre, La improvisada</li> <li>Centros poblados: Poblado Las Hediondas</li> <li>Conservación de recursos naturales: Sitio prioritario para la conservación de biodiversidad: Guanta</li> </ul>
Río Malo después del tranque minera El Indio 0430-MA-10	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lixiviación superficial y subterránea de filones mineralizados de la franja metalogénica</li> <li>Escorrentía de aluminosilicatos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Drenajes de aguas de minas</li> <li>Descargas difusas desde relave minero</li> <li>Descargas difusas desde tortas de estériles mineros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>OD, Ni, Pb, CE, Zn, pH, <math>\text{SO}_4^{-2}</math>, B, Cu, Fe, Mn, Al, As</li> <li>Posiblemente <math>\text{DBO}_5</math>, CF, CT.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Litología: Franja metalogénica F-10</li> <li>Geología: Formaciones rocosas del período cretácico de origen sedimento volcánico.</li> <li>Geomorfología: Cordón cordillerano interrumpido por valles transversales de origen fluvial</li> <li>Conservación de recursos naturales: Sitio prioritario para la conservación de biodiversidad: Guanta</li> <li>Minería: C.M. El Indio: Minas el Viento, Mina El Tambo y Mina El Indio. Plantas de beneficio: El Tambo y El Indio. Relaves: Tranque de Relave minera el Indio.</li> </ul>

Tabla 4.19 (Continuación): Factores Incidentes en la Calidad del Agua en la Cuenca del Río Elqui

SEGMENTO RÍO	FACTORES INCIDENTES		PARÁMETROS QUE PUEDEN VERSE AFECTADOS	CARACTERIZACIÓN DEL FACTOR
	NATURALES	ANTROPOGENICOS		
Río Malo antes Vacas Heladas 0430-MA-20	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lixiviación superficial y subterránea de filones mineralizados de la franja metalogénica</li> <li>Escorrentía de aluminosilicatos</li> <li>Aporte de aguas hidrotermales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sin factores importantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ni, CE, <math>\text{SO}_4^{2-}</math>, Zn, pH, B, Cu, Fe, Mn, Al, As,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Litología: Franja metalogénica F-10</li> <li>Geología: Formaciones rocosas del período cretácico de origen sedimento volcánico</li> <li>Hidrogeología: Baños del Toro</li> <li>Geomorfología: Cordón cordillerano interrumpido por valles transversales de origen fluvial</li> <li>Conservación de recursos naturales: Sitio prioritario para la conservación de biodiversidad: Guanta</li> </ul>
Río Toro a/j río Laguna 0430-TO-10	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rocas sedimentarias</li> <li>Lixiviación superficial y subterránea de filones mineralizados de la franja metalogénica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Descargas difusas de aguas servidas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cl, CE, <math>\text{SO}_4^{2-}</math>, Zn, pH, B, Cu, Fe, Mn, Al, As, F, CN, SDT, SST, Color Aparente.</li> <li>Posiblemente <math>\text{DBO}_5</math>, CF, CT.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Litología: Franja metalogénica F-10</li> <li>Centros Poblados: Poblado Junta del Toro</li> <li>Hidrología: Confluencia ríos Vacas heladas y río Malo</li> </ul>
Río La Laguna salida embalse Laguna 0430-LL-10	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lixiviación superficial y subterránea de formaciones geológicas</li> <li>Desagüe del embalse La laguna</li> <li>Escorrentía de aluminosilicatos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contaminación difusa por ganadería</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hidrología: Embalse La Laguna</li> <li>Geomorfología: Cordón cordillerano interrumpido por valles transversales de origen fluvial</li> <li>Ganadería: Veranadas de ganado bovino y caprinos</li> </ul>

Tabla 4.19 (Continuación): Factores Incidentes en la Calidad del Agua en la Cuenca del Río Elqui

SEGMENTO RÍO	FACTORES INCIDENTES		PARÁMETROS QUE PUEDEN VERSE AFECTADOS	CARACTERIZACIÓN DEL FACTOR
	NATURALES	ANTROPOGENICOS		
Río Turbio después de río Toro y Laguna 0430-TU-10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lixiviación superficial y subterránea de formaciones geológicas</li> <li>• Escorrentía de aluminosilicatos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ganadería: Veranadas de ganado bovino y caprinos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CE, <math>\text{SO}_4^{-2}</math>, Zn, B, Cu, Fe, Mn, Al, As</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geología: Formaciones rocosas del período Paleozoico de origen Plutónico e hipoabisal – graníticas</li> <li>• Hidrología: Río La Laguna es un río que en su nacimiento en el Embalse es de muy buena calidad al juntarse con el río Seco se empeora</li> <li>• Ganadería: Veranadas de ganado bovino y caprinos</li> </ul>
Río Turbio en Guanta 0430-TU-20	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lixiviación superficial y subterránea de formaciones geológicas</li> <li>• Escorrentía de aluminosilicatos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ganadería: Veranadas de ganado bovino y caprinos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pb, CE, <math>\text{SO}_4^{-2}</math>, Zn, B, Cu, Fe, Mn, Al, As,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geología: Formaciones rocosas del período Paleozoico de origen Plutónico e hipoabisal – graníticas</li> <li>• Ganadería: Veranadas de ganado bovino y caprinos</li> <li>• Conservación de recursos naturales: Sitio prioritario para la conservación de biodiversidad: Guanta</li> </ul>
Río Turbio en Varillar 0430-TU-30	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lixiviación superficial y subterránea de formaciones geológicas</li> <li>• Escorrentía de aluminosilicatos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descargas difusas de plaguicidas y fertilizantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CE, <math>\text{SO}_4^{-2}</math>, Fe, Zn, Cu, B, Mn, Al, As</li> <li>▪ Posiblemente Carbofurano, trifluralina y clorotalonil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geología: Formaciones geológicas del período Paleozoico de origen Plutónico e hipoabisal – graníticas.</li> <li>• Agricultura: Cultivos de Viñas y Parronales en forma intensa y tecnificada</li> <li>• Cubierta vegetal: Sólo en planicies fluviales</li> </ul>
Río Incaguaz a/j río Turbio 0430-IN-10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lixiviación superficial y subterránea de formaciones geológicas</li> <li>• Escorrentía de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descargas difusas de plaguicidas y fertilizantes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Fe, B, Cu, Al, Mn</li> <li>▪ Posiblemente Carbofurano,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geología: Formaciones rocosas del período Paleozoico de origen Plutónico e hipoabisal – graníticas</li> <li>• Agricultura: Cultivos de Viñas y Parronales en</li> </ul>

Tabla 4.19 (Continuación): Factores Incidentes en la Calidad del Agua en la Cuenca del Río Elqui

SEGMENTO RÍO	FACTORES INCIDENTES		PARÁMETROS QUE PUEDEN VERSE AFECTADOS	CARACTERIZACIÓN DEL FACTOR
	NATURALES	ANTROPOGENICOS		
	aluminosilicatos		Carbofurano, trifluralina y clorotalonil	forma intensa y tecnificada • Ganadería: Caprina • Cubierta vegetal: Sólo en planicies fluviales
Río Claro en Rivadavia 0431-CL-20	• Rocas andesíticas	• Descargas difusas de plaguicidas y fertilizantes	▪ Cu, Al, B ▪ Posiblemente Carbofurano, trifluralina y clorotalonil	• Geología: Formaciones rocosas de los períodos terciario y cretácico constituido por rocas volcánicas • Geomorfología: Valle transversal con laderas constituidas por materiales coluviales y aluviales • Hidrología: Incorporación del • Agricultura: Cultivos de Viñas y Parronales en forma intensa y tecnificada • Ganadería Caprina • Cubierta vegetal: Sólo en planicies fluviales
Estero Derecho en Alcohuz 0431-ED-10	• Rocas mineralizadas • Suelos negros • Sitio Prioritario de biodiversidad	• Descargas difusas de plaguicidas y fertilizantes • Descargas difusas de aguas servidas	▪ Mn, B, Cu, Mo, Al ▪ Posiblemente Carbofurano, trifluralina y clorotalonil	• Hidrología: Estero Derecho • Centros poblados: Poblado de Alcohuz • Agricultura: Cultivos de Viñas y Parronales en forma intensa y tecnificada • Ganadería: Caprina • Cubierta vegetal: Sólo en planicies fluviales
Río Elqui en Algarrobal 0432-EL-10	• Rocas volcano - sedimentarias continentales y marinas	• Descargas difusas de plaguicidas y fertilizantes • Aporte de los tributarios • Descargas difusas de aguas servidas	▪ $SO_4^{2-}$ , Pb, Fe, Zn, As, Cu, B, Mn, Al ▪ Posiblemente: DBO5, CF, SST, CT, carbofurano, trifluralina y	• Formaciones rocosas de los períodos terciario y cretácico constituido por rocas volcánicas. • Centros poblados: Poblado de Rivadavia • Geomorfología: Valle transversal con laderas constituidas por materiales coluviales y aluviales. • Agricultura: Cultivos de Viñas y Parronales en forma intensa y tecnificada • Cubierta vegetal: Sólo en planicies fluviales

Tabla 4.19 (Continuación): Factores Incidentes en la Calidad del Agua en la Cuenca del Río Elqui

SEGMENTO RÍO	FACTORES INCIDENTES		PARÁMETROS QUE PUEDEN VERSE AFECTADOS	CARACTERIZACIÓN DEL FACTOR
	NATURALES	ANTROPOGENICOS		
Río Elqui en Almendral 0432-EL-30	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lixiviación superficial y subterránea de filones mineralizados de la franja metalogénica</li> <li>• Rocas asociadas a mineralización de Cu y Au</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actividad minera de manganeso y cobre</li> <li>• Descargas difusas de plaguicidas y fertilizantes</li> <li>• Descarga de Aguas servidas</li> <li>• Descargas difusas desde tortas de estériles mineros</li> </ul>	trifluralina y clorotalonil <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CE, <math>\text{SO}_4^{-2}</math>, Fe, Mn, Al, As, Cu, B</li> <li>▪ Posiblemente: CF, CT, <math>\text{DBO}_5</math> y SST, carbofurano, trifluralina y clorotalonil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Litología: Franja metalogénica F 4</li> <li>• Geología: Formaciones rocosas de los períodos terciario y cretácico constituido por rocas volcánicas.</li> <li>• Geomorfología: Valle transversal con laderas constituidas por materiales coluviales y aluviales.</li> <li>• Descargas: Aguas arriba descarga de la ciudad de Vicuña (ESSCO), Empresa Capel Vicuña.</li> <li>• Agricultura: Agricultura de Viñas y Parronales en forma intensa y tecnificada.</li> <li>• Cubierta vegetal: Sólo en planicies fluviales</li> <li>• Minería: C. M. Manganesos Atacama: Minas: Los Loros, Copihue y Puntilla. Planta de beneficio de mineral y mina (Mn): La puntilla. C.M. San Jerónimo. Minería de cobre: 21 de mayo, El Volcán y Hanze. Planta de beneficio (Cu): Talcuna, Represa, Marianita, Bedosti Mina de oro: Farellón, Inés, Caserones.</li> </ul>
Embalse Puclaro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estratificación del embalse</li> <li>• Sedimentación de las aguas</li> <li>• Filtraciones de aguas del embalse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descargas difusas de plaguicidas y fertilizantes</li> <li>• Eutrofización</li> <li>• Descarga de RILES</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Posiblemente: CE, <math>\text{SO}_4^{-2}</math>, Fe, Mn, Al, As, Cu, B</li> <li>▪ Posiblemente Carbofurano,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hidrología: Embalse Puclaro</li> <li>• Geomorfología: Valle transversal con laderas constituidas por materiales coluviales y aluviales.</li> <li>• Agricultura: Cultivos de Viñas y Parronales en forma intensa y tecnificada</li> <li>• Descargas: Empresa Pisquera Pisco Elqui.</li> </ul>

Tabla 4.19 (Continuación): Factores Incidentes en la Calidad del Agua en la Cuenca del Río Elqui

SEGMENTO RÍO	FACTORES INCIDENTES		PARÁMETROS QUE PUEDEN VERSE AFECTADOS	CARACTERIZACIÓN DEL FACTOR
	NATURALES	ANTROPOGENICOS		
			trifluralina y clorotalonil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cubierta vegetal: Sólo en planicies fluviales</li> </ul>
Río Elqui en Pte. Las Rojas 0433-EL-10	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lixiviación superficial y subterránea de filones mineralizados de la franja metalogénica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descargas difusas de aguas servidas</li> <li>• Descargas difusas de plaguicidas y fertilizantes</li> <li>• Descargas difusas desde tortas de estériles mineros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ CE, Fe, Mn, Pb, <math>\text{SO}_4^{-2}</math>, B, Cu, Al</li> <li>▪ Posiblemente <math>\text{DBO}_5</math>, CF, CT, Carbofurano, trifluralina y clorotalonil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Litología: Franja metalogénica F-4</li> <li>• Centros poblados: Poblado de Las Rojas</li> <li>• Cubierta vegetal: Sólo en planicies fluviales</li> <li>• Agricultura: Cultivos de viñas, parronales, papayas, etc, en forma intensa y tecnificada</li> <li>• Geomorfología: Valle transversal con laderas constituidas por materiales coluviales y aluviales.</li> <li>• Minería: Minas (Au): San Luis. Minas (Cu): San Enrique, Marisel. Plantas de beneficio de mineral: San Luis, Rolex, Las Rojas, Aliaga, El Sauce</li> </ul>
Río Elqui en La Serena 0433-EL-20	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lixiviación superficial y subterránea de filones mineralizados de la franja metalogénica</li> <li>• Rocas ricas en Calizas ejercen efecto tampón</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descargas de aguas servidas</li> <li>• Descargas difusas de plaguicidas y fertilizantes</li> <li>• Descarga de mineras</li> <li>• Descargas difusas desde tortas de estériles mineros</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mn, CE, <math>\text{SO}_4^{-2}</math>, Cu, Mo, Al, Cl, B, SDI, CF, CT</li> <li>▪ Posiblemente <math>\text{DBO}_5</math>, SST, CF y CT, Carbofurano, trifluralina y clorotalonil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Centros poblados: Ciudad de La Serena con 98,5 % cobertura de sus aguas servidas</li> <li>• Litología: Franja metalogénica F-4</li> <li>• Agricultura: Cultivos de viñas, parronales, papayas, etc, en forma intensa y tecnificada</li> <li>• Comuna de La Compañía</li> <li>• Descarga de Cía. Minera del Pacífico, a través de quebrada Santa Gracia</li> <li>• Minería: Minas de Cu: La fortuna, manto grueso, solcito ½, Danubio, Rinconcito, 26 de agosto, Sta. Rosita, la nueva verde, San Luis, la cubana, Perlita. Minas de oro: California, María Elena, La vinchuca 1 y 2, La violeta, El sol, esperanza, León, Mercedes, Chimulca, Condoriaco, Sta.</li> </ul>

**Tabla 4.19 (Continuación): Factores Incidentes en la Calidad del Agua en la Cuenca del Río Elqui**

SEGMENTO RÍO	FACTORES INCIDENTES		PARÁMETROS QUE PUEDEN VERSE AFECTADOS	CARACTERIZACIÓN DEL FACTOR
	NATURALES	ANTROPOGENICOS		
				Rosa, Villarrica, Esmeralda, San Luis. Plantas de beneficio de mineral: Juan Soldado, San Antonio, San Lorenzo, Lambert, Itamar, El Romeral, Chacay, Esmeralda. Minas de carbonato: Amalia.

Nota: En Anexo 4.3 se encuentra el Mapa de potencial de generación ácida (Ministerio de Minería)

## 5. CALIDAD ACTUAL Y NATURAL DE LOS CURSOS SUPERFICIALES

### 5.1 Análisis Espacio-Temporal en Cauce Principal

Para el análisis del cauce principal, ríos Turbio y Elqui, se cuenta con siete estaciones de monitoreo que son:

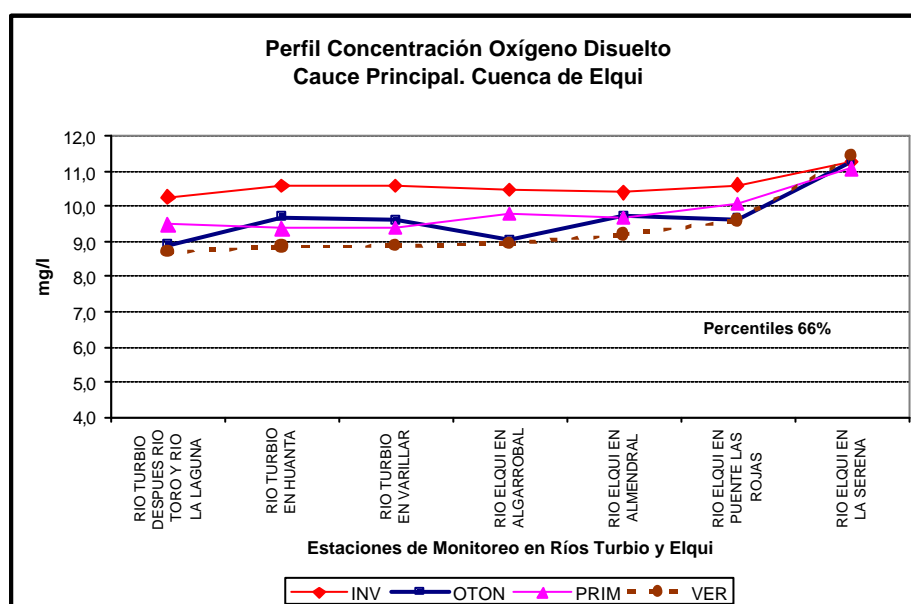
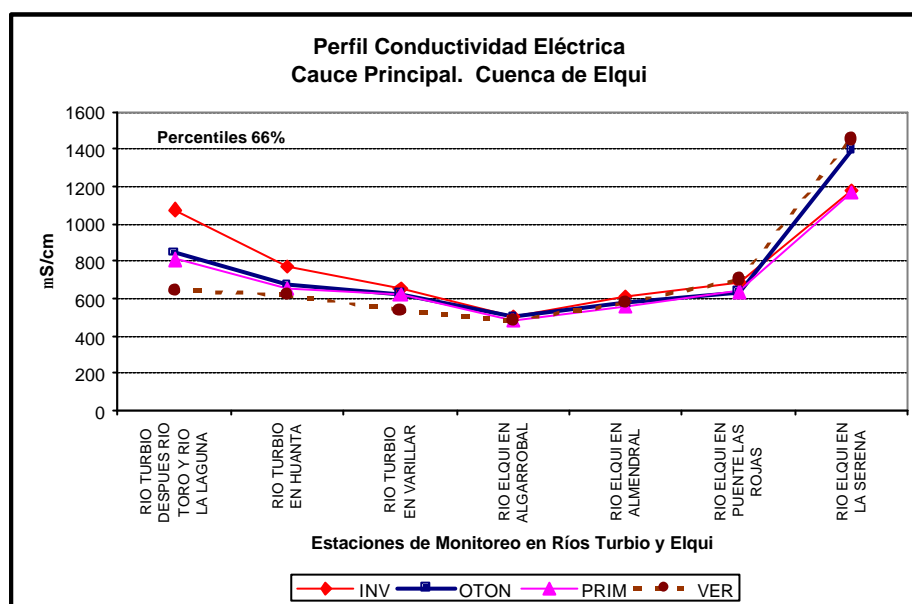
- Turbio después río Toro y río La Laguna
- Turbio en Guanta
- Turbio en Varillar
- Elqui en Algarrobal
- Elqui en Almendral
- Elqui en Puente Las Rojas
- Elqui en La Serena

En la Figura 5.1 se incluye el perfil longitudinal de aquellos parámetros seleccionados que exceden la clase 0 en esta cuenca, para los 4 períodos estacionales. Dichos parámetros son los siguientes: conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH, cloruro, sulfato, boro, cobre, hierro, manganeso, zinc, aluminio y arsénico.

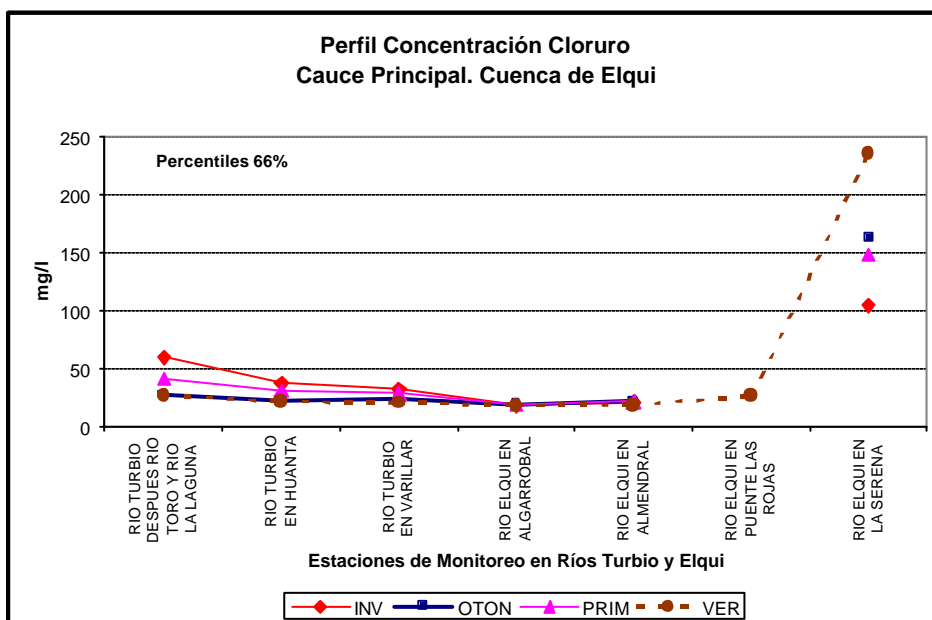
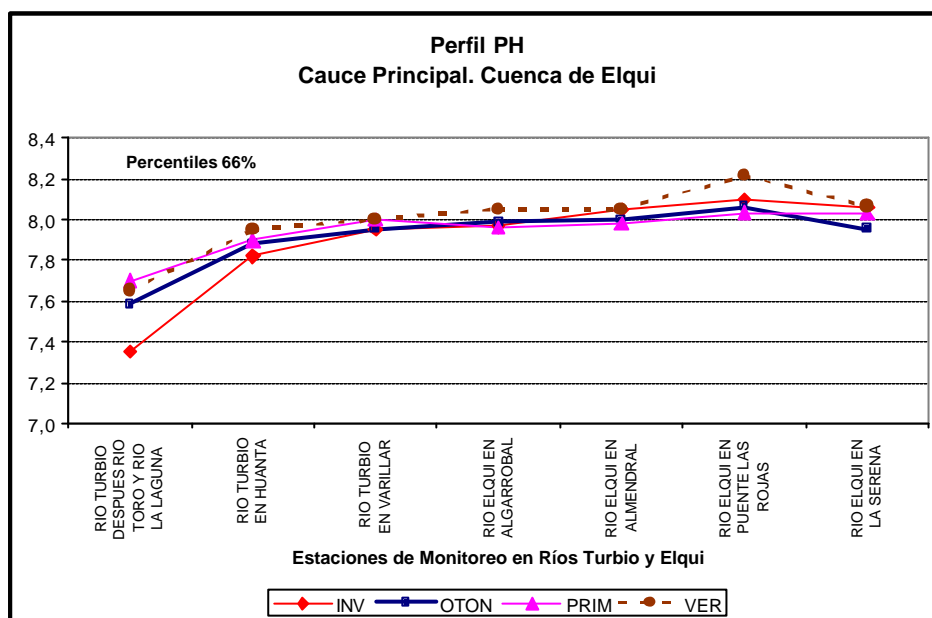
Debido al reducido número de registros con que se cuenta por período estacional, para los parámetros: boro, manganeso, zinc y aluminio, en esta cuenca se grafican valores medios. Para el resto de los parámetros mencionados en el párrafo anterior, se grafican los percentiles 66%.

No se presenta representación gráfica para los parámetros: molibdeno, níquel y plomo, por contar en su mayoría con registros equivalentes al límite de detección (LD).

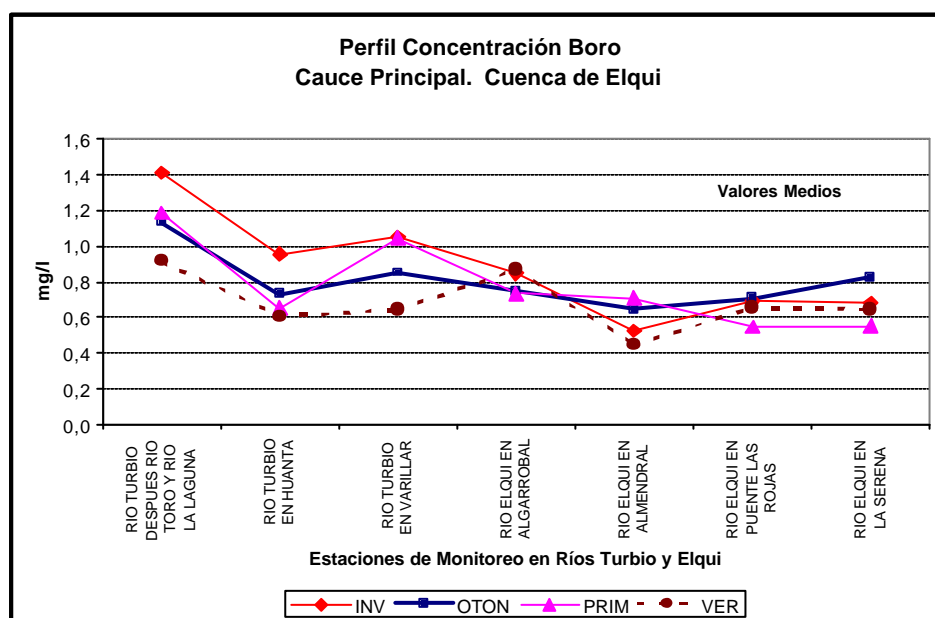
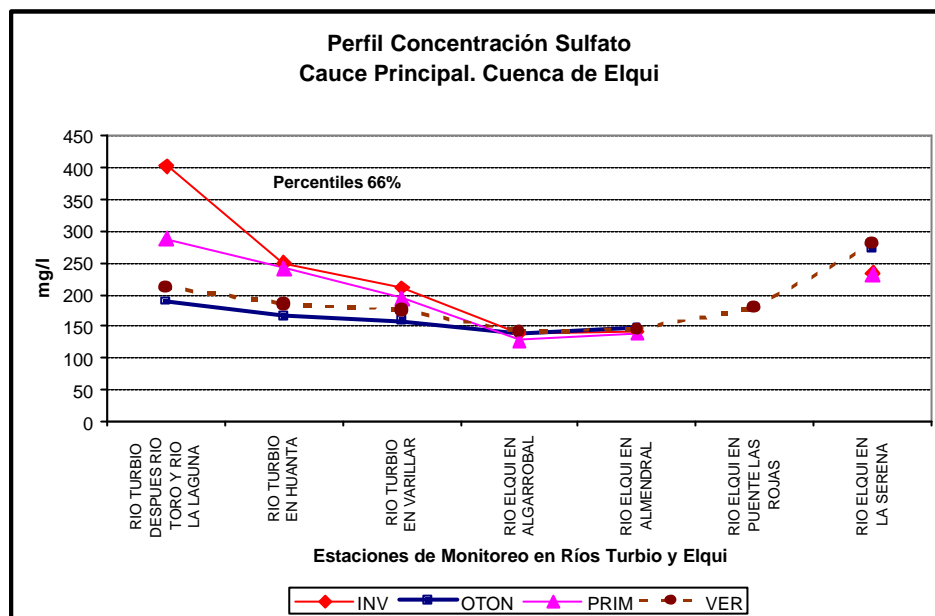




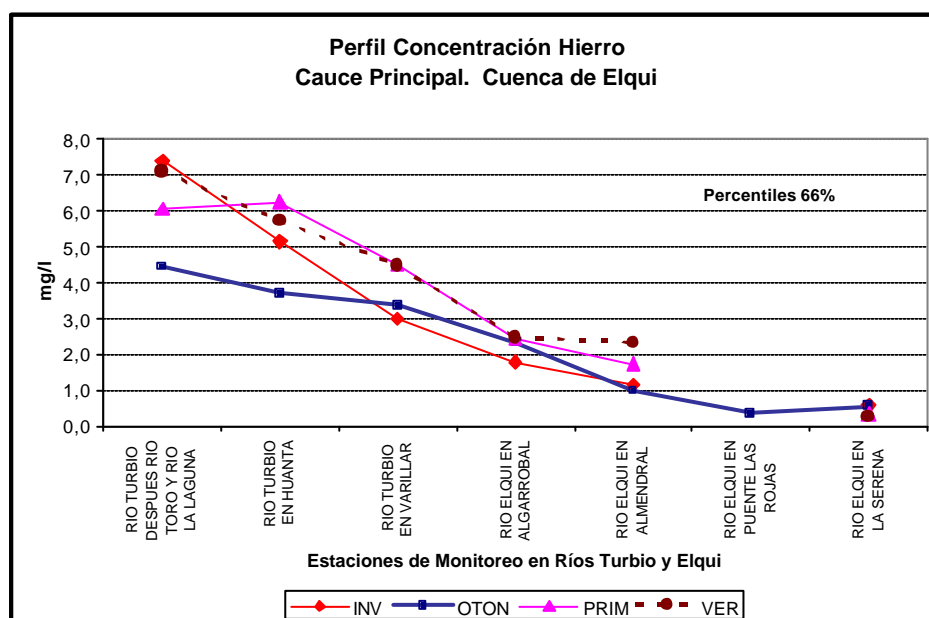
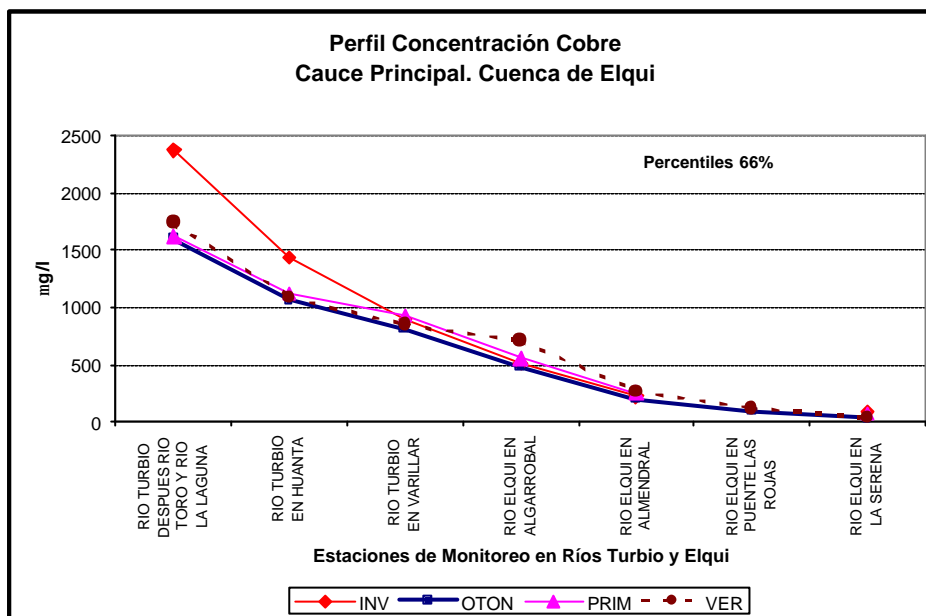
**Figura 5.1: Perfil Longitudinal de Calidad de Agua en ríos Turbio-Elqui**



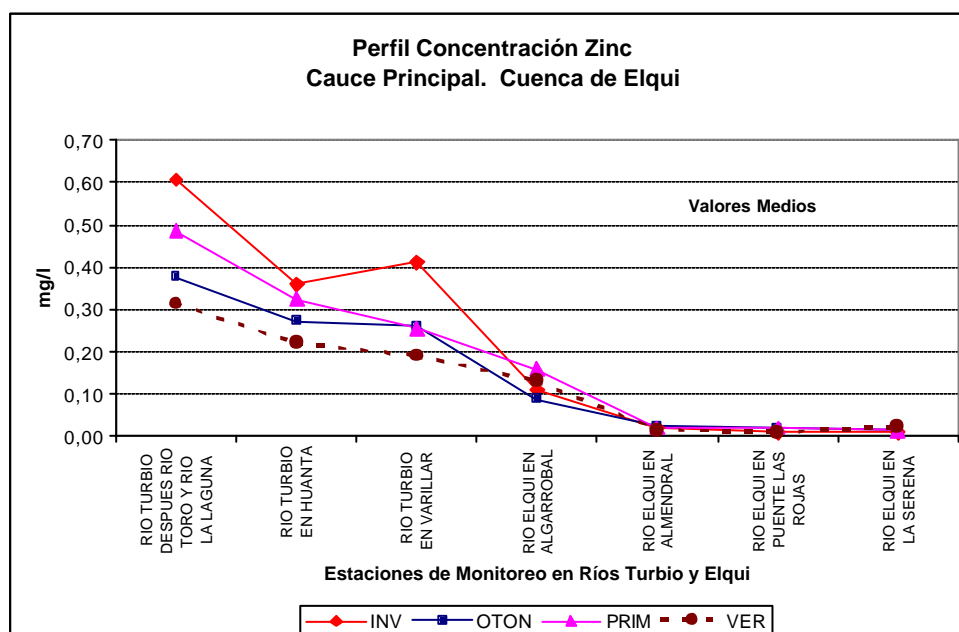
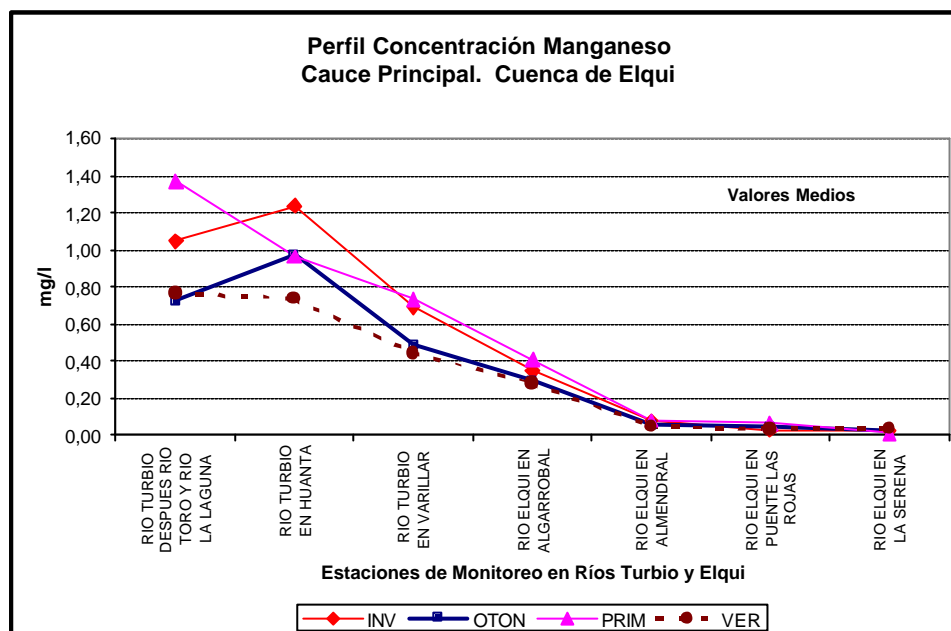
**Figura 5.1 (Continuación): Perfil Longitudinal de Calidad de Agua en ríos Turbio-Elqui**



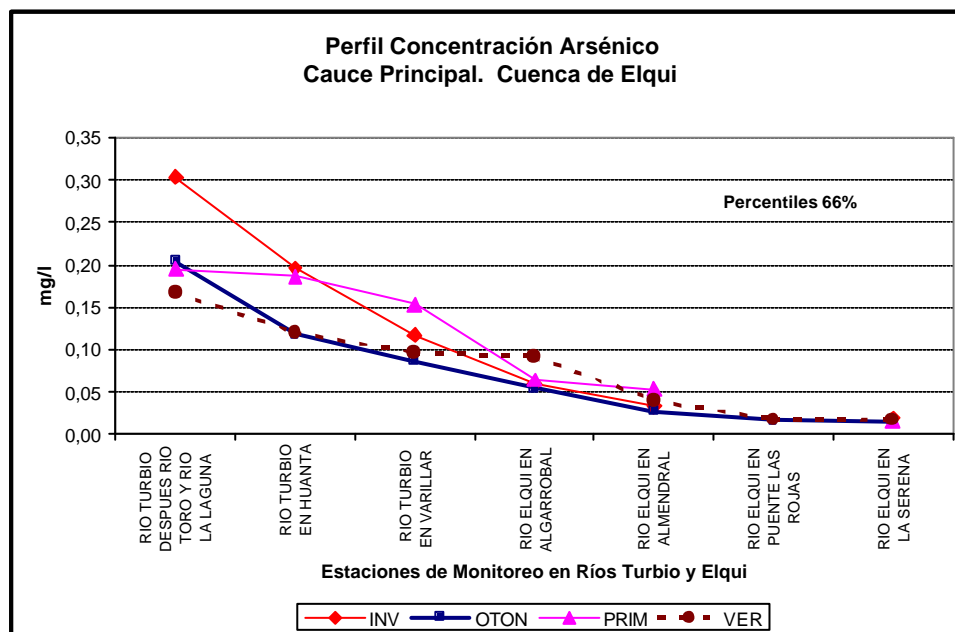
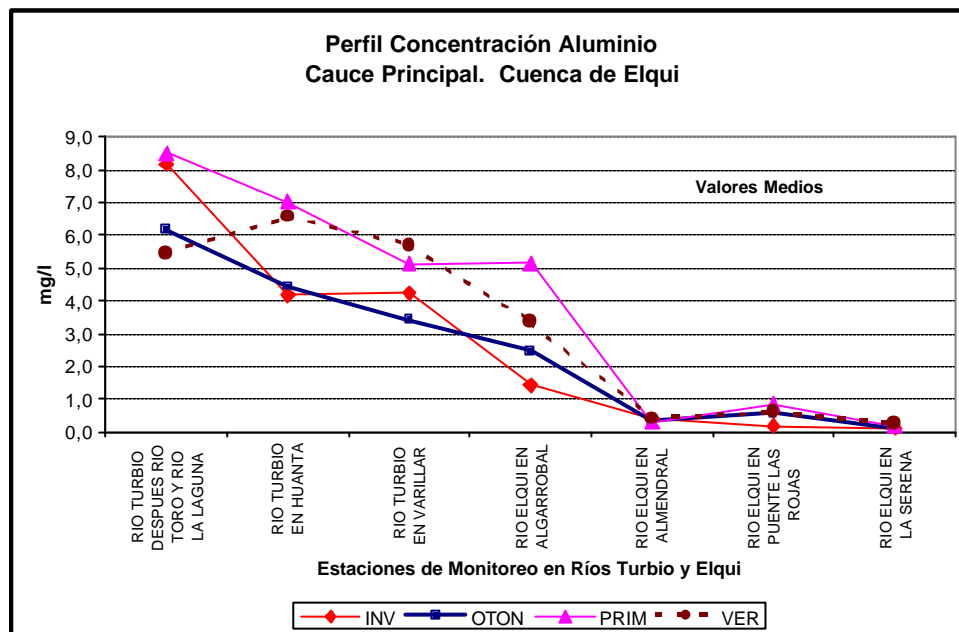
**Figura 5.1 (Continuación): Perfil Longitudinal de Calidad de Agua en ríos Turbio-Elqui**



**Figura 5.1 (Continuación): Perfil Longitudinal de Calidad de Agua en Ríos Turbio-Elqui**



**Figura 5.1 (Continuación): Perfil Longitudinal de Calidad de Agua en Ríos Turbio-Elqui**



**Figura 5.1 (Continuación): Perfil Longitudinal de Calidad de Agua en Ríos Turbio-Elqui**

En las representaciones anteriores para la estación de monitoreo Río Elqui en Puente Las Rojas no se incluye el valor del percentil 66% por contar con información equivalente al nivel 2, en los siguientes casos:

- cloruro: invierno, otoño y primavera;
- sulfato: invierno, otoño y primavera;
- cobre : invierno y primavera,
- hierro: invierno, primavera y verano;
- arsénico: invierno y primavera.

De las figuras 5.1 se pueden extraer lo siguiente:

- CE: Los perfiles longitudinales permiten observar que los valores más altos de los parámetros (envolvente superior) se presentan en invierno con valores clasificados en clase 2 en la parte alta del río Turbio y clase 1 en Varillar, continuando en el río Elqui en invierno en las estaciones Algarrobal y Almendral con valores desde clase 0 a clase 1 y en verano en las estaciones puente Las Rojas y La Serena en clase 1 y clase 2 respectivamente. La particularidad observada en la estación La Serena es que corresponde al valor más alto de la cuenca con variación estacional. La envolvente inferior corresponde en verano y primavera con todos los valores en clase 1 y clase 0. La estación con el valor más bajo en ambos ríos es la estación Algarrobal en el Elqui.
- OD: Los perfiles longitudinales permiten observar que los valores más altos de los parámetros (envolvente superior) se presentan en invierno excepto en la estación La Serena en verano con un perfil plano hasta la estación puente Las Rojas donde aumenta hacia la estación La Serena con todos los valores en clase 0. La envolvente inferior se observa en verano para todo el río excepto en la estación La Serena en primavera, a lo largo del río se observa un comportamiento plano hasta la estación Algarrobal que tiende a crecer con todos los valores asignados a la clase 0.
- pH: La envolvente superior se encuentran en el periodo de verano excepto en la parte alta del río Turbio en primavera con todos los valores asignados en clase 0. Desde la estación Guanta a puente Las Rojas nos e observa variación estacional. La envolvente inferior se observa en invierno-otoño y primavera con todos los valores asignados a la clase 0.
- Cloruro: Los perfiles longitudinales del cloruro permiten observar que la envolvente superior se presenta en tres períodos estacionales: invierno-otoño-verano. Con valores asignados a la clase 0 en la parte alta y media

de los ríos, excepto en La Serena con valores en clase 4. La envolvente inferior se observa en verano para todas las estaciones con todos los valores asignados a la clase 0, excepto en la estación La Serena en invierno con valores en clase 2.

- Sulfato: Los perfiles longitudinales del sulfato permiten observar que la envolvente superior se presenta en invierno-verano-otoño con una tendencia decreciente aguas abajo de la estación “después río Toro y río La Laguna” hasta Algarrobal con valores en clase 2 y clase 1 desde el Almendral para aumentar hasta La Serena con valores en clase 2. La envolvente inferior se observa en otoño y primavera con el mismo comportamiento de la envolvente superior con valores en clase 2.
- Boro: Los perfiles longitudinales del boro permiten observar que la envolvente superior se presenta en todos los periodos estacionales con valores asignados a clase 4 hasta Algarrobal, en clase 2 entre el Almendral y puente Rojas y aumenta en La Serena a clase 4. Se observando el valor más alto en la estación “después río Toro y río La Laguna”. La envolvente inferior presenta variación estacional entre verano y primavera. En verano con valores en clase 4 en la estación “después río Toro y río La Laguna”, clase 2 hasta el Algarrobal en verano y primavera, clase 1 en verano en la estación Almendral y en primavera clase 2 hasta la estación La Serena.
- Cobre: El comportamiento del cobre tiende a disminuir desde la parte alta a la desembocadura, correspondiendo al valor más alto en los ríos a la estación “después río Toro y río La Laguna” asignado a clase 4. La envolvente superior se observa en los periodos de invierno-primavera y verano con valores asignados desde la clase 4 a la clase 2. La envolvente inferior se presenta con todos sus valores asignados a la clase 4, clase 3, y clase 2 en los periodos de primavera y otoño. El perfil longitudinal del río es decreciente desde la parte alta a la desembocadura.
- Hierro: La envolvente superior se observa en los cuatro periodos estacionales con valores asignados a la clase 4, clase 2, y clase 0. La envolvente inferior se observa en los periodos de otoño hasta la estación Guanta, invierno en Varillar y Algarrobal con todos los valores en clase 2 desde el Almendral a La Serena en clase 0 en otoño y verano respectivamente. El perfil longitudinal de la concentración es decreciente tanto en la envolvente superior como la inferior desde la parte alta a la desembocadura.



- **Manganeso:** La envolvente superior se observa en primavera e invierno con valores en clase 4 hasta el Algarrobal, disminuyendo a clase 2 hasta El Almendral y clase 1 en verano en La Serena. La envolvente inferior se observa en otoño en clase 4 en “después río Toro y río La Laguna. En verano en clase 4 hasta Algarrobal, clase 1 en Almendral, clase 0 en puente Las Rojas y en primavera en la Serena en clase 0. El perfil de concentración es decreciente a lo largo del los ríos desde la parte alta a la desembocadura.
- **Zinc:** La envolvente superior del zinc se observa en los periodos de invierno-primavera-otoño en clase 2 hasta la estación el Algarrobal con un perfil decreciente pasando a clase 0 hasta la desembocadura en la estación La Serena. La envolvente inferior se observa en verano en clase 2 hasta la estación Varillar, con un perfil decreciente pasando a clase 0 desde Algarrobal hasta la estación La Serena en invierno.
- **Aluminio:** Los perfiles longitudinales del aluminio permiten observar que la envolvente superior se encuentra en primavera-verano con valores asignados a la clase 4 hasta la estación Algarrobal y clase 2 desde Almendral a la desembocadura. La envolvente inferior se observa en los periodos de invierno-verano. Con los valores más altos en clase 4 en la estación “después río Toro y río La Laguna “, decreciendo a clase 3 desde Guanta hasta y en clase 2 desde El Almendral hasta la desembocadura en clase 0.
- **Arsénico:** Los perfiles longitudinales del arsénico permiten observar que la envolvente superior se encuentra en invierno-primavera-verano con valores asignados a la clase 4 hasta la estación Varillar y clase 2 desde Algarrobal al Almendral y clase 0 hasta la desembocadura. La envolvente inferior se observa en los periodos de otoño-verano, con valores en clase 4 hasta la estación Guanta y clase 2 entre las estaciones Varillar-Algarrobal y clase 0 desde el Almendral a la desembocadura.

## 5.2 Caracterización de la Calidad de Agua a Nivel de la Cuenca

En la tabla 5.1 se comentan las características principales de la calidad actual de la cuenca del río Elqui presentada por grupos de parámetros y por parámetro según el *Instructivo*. Este análisis está basado en la información presentada en el punto 4.2.4.

**Tabla 5.1. Análisis de los Parámetros de Calidad Actual**

CUENCA RIO ELQUI	
Parámetros físico- Químicos (FQ): Conductividad Eléctrica, DBO <sub>5</sub> , Color, OD, pH, RAS, SDT, SST.	
<b>CE:</b>	En los ríos Vacas Heladas, Malo y Toro todos los valores se asignan a la clase 3. En el río Turbio en las estaciones “después de río Toro y río La Laguna” y Varillar no hay variación estacional entre invierno-otoño-primavera con valores en clase 2 y 1 respectivamente. En estación Guanta tampoco se observa variación estacional entre otoño-primavera-verano con valores en clase 1. En invierno se observan valores en clase 2. En general, se ve una disminución de los valores desde la parte alta del río, pasando de clase 2 a clase 1. Los ríos Incaguaz, Claro y estero Derecho presentan valores clase 0 durante todo el año. En el río Elqui no hay variación estacional durante el año, excepto en invierno en Almendral. La conductividad eléctrica tiende a aumentar aguas abajo de la estación Algarrobal desde clase 0 a clase 2 en la estación La Serena.
<b>DBO<sub>5</sub>:</b>	El valor de los datos del muestreo está asignado a la clase 0 en los ríos Toro, Claro y Esquí en Almendral y en La Serena. Toda la información disponibles es de nivel 4.
<b>Color Aparente:</b>	En el río Toro los valores están asignados a la clase 2, en el río Elqui y Claro están asignados a clase 0. Toda la información disponibles es de nivel 4.
<b>SD:</b>	En el río Toro el valor está asignado a la clase 3, en el río Claro y parte alta del río Elqui los valores son clase 0; En el río Elqui en La Serena es clase 1.
<b>SS:</b>	En el río Elqui y Claro los valores están asignados a la clase 0, en el río Toro el valor está asignado a la clase 4.
<b>OD:</b>	Todos los valores están asignados a la clase 0, excepto río Vacas Heladas en verano (clase 1) y río Malo después de tranque de relaves minera El Indio en otoño y verano (clases 1 y 2 respectivamente).
<b>pH:</b>	Ríos Vacas Heladas, Malo y Toro presentan todos los valores en clase 4. Ríos Turbio, Incaguaz, Claro y Elqui y estero Derecho en clase 0.
<b>RAS:</b>	En todos los registros históricos en la cuenca los valores son clasificados en clase 0.
Inorgánicos (IN) : $\text{NH}_4^+$ , $\text{CN}^-$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{F}^-$ , $\text{NO}_2^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{S}^{2-}$	
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>:</b>	Los ríos Vacas Heladas y Toro presentan valores en clase 3 durante todo el año. En el río Malo no se observa variación estacional, excepto en invierno en estación “después de tranque de relaves minera El Indio”. Los valores decrecen aguas abajo de esta estación pasando de clase 4 a clase 3. En el río Turbio todos los valores se asignan a la clase 2. En los ríos Incaguaz y Claro, y Estero Derecho se observan todos los valores en clase 0. El río Elqui no presenta variación estacional. Sus valores aumentan desde la parte alta del río pasando de valores en clase 1 a clase 2.

**Tabla 5.1 (Continuación): Análisis de los Parámetros de Calidad Actual**

<b>CUENCA RIO ELQUI</b>	
<b>Cl<sup>-</sup></b> :	En el río Vacas Heladas no se observa variación estacional en invierno-otoño-verano con valores en clase 2. Los ríos Malo, Turbio, Incaguaz y Claro, y estero Derecho presentan todos sus valores asignados a la clase 0. En el río Toro no se observa variación estacional entre invierno-otoño-primavera con valores en clase 2. El río Elqui en estaciones Algarrobal, Almendral y Puente Las Rojas presenta todos sus valores en clase 0. En La Serena no se observa variación estacional entre invierno-primavera. El máximo valor se presenta en verano en clase 4.
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b> :	El valor del muestreo está asignado a la clase 0 en los ríos Toro, Claro y Elqui
<b>CN<sup>-</sup></b> :	El valor de los datos del muestreo está asignado a la clase 0 en los ríos Toro, Claro y Elqui en Almendral y en La Serena . Toda la información disponibles es de nivel 4.
<b>E<sup>-</sup></b> :	El valor del muestreo está asignado a la clase 0 en los ríos Claro y Elqui, en el río Toro el valor esta asignado a la clase 2.
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b> :	El valor del muestreo está asignado a la clase 0 en los ríos Toro, Claro y Elqui.
<b>S<sup>2-</sup></b> :	El valor del muestreo está asignado a la clase 0 en los ríos Toro, Claro y Elqui
<b>Orgánicos (OR): Aceites y grasas, PCBs, SAAM, fenol, HCAP, HC, tetracloroetano, tolueno</b>	
No se dispone de información para los parámetros orgánicos.	
<b>Orgánicos Plaguicidas (OP): Acido 2,4-D, aldicarb, aldrín, atrazina, captán, carbofurano, clordano, clorotalonil, Cyanazina, demetón, DDT, diclofop-metil, dieldrin, dimetoato, heptaclor, lindano, paratión, pentaclorofenol, siazina, trifluralina.</b>	
<p><b>Acido 2,4-D:</b> El valor del muestreo está asignado a la clase 0 en el río Elqui en La Serena.</p> <p><b>Aldicarb:</b> El valor obtenido del muestreo puntual esta asignado a la clase 0 en los ríos Claro, Toro y Elqui.</p> <p><b>Aldrin:</b> Sin información</p> <p><b>Atrazina +N-dealkyl metabolitos :</b> El valor obtenido del muestreo puntual está asignado a la clase 0 en los ríos Claro, Toro y Elqui.</p> <p><b>Captán, Carbofurano:</b> El valor obtenido del muestreo puntual está asignado a la clase 0 en los ríos Claro, Toro y Elqui.</p> <p><b>Clordano:</b> Sin información</p> <p><b>Clorotalonil, Cyanazina, Demetón:</b> El valor obtenido del muestreo puntual está asignado a la clase 0 en los ríos Claro, Toro y Elqui</p> <p><b>DDT:</b> Sin información</p>	

Tabla 5.1 (Continuación): Análisis de los Parámetros de Calidad Actual

CUENCA RIO ELQUI	
<u>Diclofop-metil</u> :	El valor obtenido del muestreo puntual está asignado a la clase 0 en los ríos Claro, Toro y Elqui.
<u>Dieldrín</u> :	Sin información
<u>Dimetoato</u> :	El valor obtenido del muestreo puntual está asignado a la clase 0 en los ríos Claro, Toro y Elqui
<u>Heptaclor, Lindano</u> :	Sin información
<u>Paratión, Simazina, Trifluralina</u> :	El valor obtenido del muestreo puntual está asignado a la clase 0 en los ríos Claro, Toro y Elqui.
<u>Pentaclorofenol</u> :	El valor del muestreo está asignado a la clase 0 en el río Elqui en La Serena.
Metales Esenciales (ME): B, Cu, Cr <sub>total</sub> , Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Zn	
<u>B</u> :	En los ríos Vacas Heladas, Malo, Toro y Turbio todos los valores están asignados a la clase 4, excepto en verano en el río Turbio en Guanta y Varillar (clase 2). El río Incaguaz no presenta variación en invierno-otoño-verano con valores clasificados en la clase 2. En el río Claro y estero Derecho tampoco se observa variación entre invierno y primavera (clase 0) y los máximos valores se observan en otoño (clase 4 y clase 2). El río Elqui en Algarrobal y Almendral presenta en invierno-otoño-verano valores asignados a las clases 4 y 2 respectivamente. Para estas dos estaciones se observa en primavera valores en clase 2 y 4. Puente Las Rojas no presenta variación estacional (clase 2), al igual que en La Serena, a excepción del otoño en esta última estación, donde se observan valores en clase 4.
<u>Cu</u> :	Los ríos Vacas Heladas, Incaguaz y Claro presentan todos sus valores en clase 2. En los ríos Malo y Toro se observan valores en clase 4 durante todo el año. El río Turbio no presenta variación estacional. Los valores decrecen desde la parte alta del río pasando de valores en clase 4 a 3. En el río Elqui tampoco se observa variación estacional, pasando los valores de clase 3 en la parte alta del río a clase 2.
<u>Cr<sub>total</sub></u> :	Límite de detección superior al de la clase 0 no permite análisis.
<u>Fe</u> :	Ríos Vacas Heladas, Malo y Toro presentan valores en clase 4 a lo largo del año. En el río Turbio no se observa variación estacional. En las estaciones "después de río Toro y río La Laguna" y Guanta los valores se clasifican en clase 4, y en Varillar en clase 2. El río Incaguaz presenta valores en clase 0 durante otoño-primavera-verano. En invierno se observan valores en clase 1. El río Claro y estero Derecho tienen todos sus valores asignados a la clase 0. El río Elqui tampoco presenta variación estacional, excepto en otoño en Almendral y en invierno en Puente Las Rojas. Los valores decrecen desde la parte alta del río pasando desde valores en clase 2 a clase 0.
<u>Mn</u> :	Los ríos Vacas Heladas, Malo, Toro y Turbio presentan valores en clase 4 a lo largo del año. El río Incaguaz presenta valores en clase 2 en otoño y primavera. En invierno se observa el valor más alto en clase 4. El río Claro y estero Derecho tienen todos sus valores asignados a la clase 0, excepto el estero Derecho en otoño (clase 1). El río Elqui no presenta variación estacional con valores en clase 4, 2 y 0 en Algarrobal, Almendral y La Serena. Sin embargo, en verano se presentan variaciones en Almendral y La Serena con valores en clase 1. En Puente Las Rojas el máximo valor se observa en primavera en clase 2. En general, se observa un decrecimiento de los valores desde la parte alta del río pasando de clase 4 a clase 1.

**Tabla 5.1 (Continuación): Análisis de los Parámetros de Calidad Actual**

<b>CUENCA RIO ELQUI</b>	
<b>Mo :</b>	Los valores están en límite de detección. No obstante, en invierno en estero Derecho y en primavera en río Elqui en La Serena se observan variaciones en clase 2.
<b>Ni:</b>	Los ríos Vacas Heladas, Toro, Turbio, Incaguaz, Claro y Elqui, y estero Derecho presentan todos los valores asignados a la clase 0. En el río Malo no se observa variación estacional en estación “después de tranque de relav. minera El Indio” en primavera-verano y “antes junta río Vacas Heladas” en otoño-primavera-verano, con valores en clase 2 y 1 respectivamente. Los valores decrecen desde la parte alta del río pasando de clase 2 a clase 1.
<b>Se:</b>	Límite de detección menor a clase 0 no permite análisis.
<b>Zn:</b>	Los ríos Vacas Heladas y Turbio presentan valores en clase 2 durante todo el año. En los ríos Malo y Toro tampoco se observa variación estacional con valores en clase 3, al igual que en los ríos Incaguaz y Claro y estero Derecho con valores en clase 0. El río Elqui en Algarrobal presenta valores en clase 2 en primavera y verano. Aguas abajo de esta estación los valores decrecen asignándose a la clase 0 en el resto del río.
<b>Metales no Esenciales (MN) : Al, As, Cd, Sn, Hg, Pb</b>	
<b>AL:</b>	Los ríos Vacas Heladas, Malo y Toro poseen todos sus valores asignados a la clase 4. El río Turbio no presenta variación estacional en estación “después de río Toro y río La Laguna” con valores en clase 4. En Guanta y Varillar se observa el mismo comportamiento sin variaciones entre invierno-otoño y primavera-verano, con valores en clase 3 y 4 respectivamente. El río Incaguaz no presenta variación estacional con valores en clase 3, excepto en verano (clase 2). En el río Claro y estero Derecho se observan todos los valores en clase 2. El río Elqui tampoco presenta variación estacional, excepto en Algarrobal en primavera (clase 4). En el resto del río se observan valores en clase 2.
<b>As :</b>	Los ríos Vacas Heladas, Malo, Toro y Turbio presentan todos los valores asignados a la clase 4, a excepción del río Turbio en Varillar en otoño y verano con valores en clase 2. En los ríos Incaguaz, Claro y estero Derecho se observan todos los valores en clase 0. El río Elqui no presenta variación estacional, excepto en Almendral en primavera y verano. Los valores decrecen desde la parte alta del río pasando de clase 2 a clase 0.
<b>Cd y Hg:</b>	No es posible clasificarlo en alguna clase establecida en el Instructivo, por corresponder el dato al límite de detección superior a la clase 0.
<b>Sn:</b>	No posee información,
<b>Pb:</b>	Valores en límite de detección superior al de la clase 0. Sin embargo en río Malo “después de tranque de relave minera El Indio” se observan valores en clase 2 en invierno y primavera y clase 1 en verano. En primavera en ríos Turbio en Guanta y Elqui en Algarrobal y Puente Las Rojas se observan valores asignados a la clase 1.
<b>Indicadores Microbiológicos (IM) : CF, CT</b>	
<b>CE :</b>	Con valores asignados a la clase 1 en la parte baja del río Elqui : sector Las Dunas, clase 0 en las Tacas, en Vicuña clase 1. El valor del muestreo está asignado a la clase 0 en los ríos Toro, Claro y río Elqui en el Almendral. En el río Elqui en La Serena el valor está asignado a clase 1.
<b>CT :</b>	El valor del muestreo está asignado a la clase 0 en los ríos Toro, Claro y parte alta del Elqui, en la parte baja del río Elqui el valor está asignado a clase 1.

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

El análisis realizado en los acápite anteriores permite elaborar la tabla 5.1, en la cual se clasifican los distintos parámetros según la clase a la que pertenecen en un segmento específico.

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

Para la asignación de clases se utiliza la información de mejor nivel (la de niveles inferiores se emplea como verificación).

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

- Para aquellos parámetros que poseen información de nivel 1, se utiliza el valor correspondiente al percentil 66% para el período estacional más desfavorable.
- Para aquellos parámetros que poseen información de nivel 2 ó 3, se utiliza el valor promedio para el período estacional más desfavorable
- Para aquellos parámetros que carecen de toda medición, se emplea como valor de referencia la mejor estimación teórica (información nivel 5). Estas estimaciones serán corroboradas y complementadas con datos puntuales obtenidos del muestreo realizado por el consultor, durante el desarrollo de este proyecto (información nivel 4). Para la cuenca del Elqui los parámetros muestreados son:  $\text{DBO}_5$ , color aparente, sólidos disueltos, sólidos suspendidos,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{CN}^-$ , F,  $\text{NO}_2^-$ , Sn, CF, CT y algunos orgánicos plaguicidas.

**Tabla 5.2: Asignación de Clases de Calidad Actual**  
**Tabla.5.2a: Cauce Principal - Río Turbio- Río Elqui**

Estación de Calidad	Código de Segmento	Clase del Instructivo					Parámetro con valor en límite de detección	Parámetros seleccionados sin información	Observación
		0	1	2	3	4			
Río Turbio después río Toro y río La Laguna	0430TU10	OD, pH, Cl, Ni, RAS, Se, CF, DBO <sub>5</sub>		CE, SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , Zn		B, Cu, Fe, Mn, Al, As SST	Mo, Pb, Cr <sub>total</sub> , Cd, Hg	Otros parámetros seleccionados	Información niveles 1 y 3, datos DGA.  Información nivel 5 estimada por CADE IDEPE para DBO <sub>5</sub> , SST y CF.  Información del Serv. Salud de Coquimbo, nivel 2, corrobora clase 4 para Mn.
Río Turbio en Guanta	0430TU20	OD, pH, Cl, Ni, RAS, Se, CF, DBO <sub>5</sub>	Pb	CE, SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , Zn		B, Cu, Fe, Mn, Al, As, SST	Mo, Cr <sub>total</sub> , Cd, Hg	Otros parámetros seleccionados	Información niveles 1, 2 y 3, datos DGA. Información del Serv. Salud de Coquimbo, nivel 2, corrobora clase 4 para el manganeso.  Información nivel 5 estimada por CADE-IDEPE para DBO <sub>5</sub> , SST y CF.
Río Turbio en Varillar	0430TU30	OD, pH, Cl, Ni, RAS, Se, CF, DBO <sub>5</sub>	CE	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , Fe, Zn	Cu	B, Mn, Al, As SST	Mo, Pb, Cr <sub>total</sub> , Cd, Hg	Otros parámetros seleccionados	Información niveles 1, 2 y 3, datos DGA. Información nivel 5 estimada por CADE-IDEPE para DBO <sub>5</sub> , SST y CF.
Río Elqui en Algarrobal	0432EL10	CE, OD, pH, Cl, Ni, RAS, Se, DBO <sub>5</sub> , SST	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , Pb, CF	Fe, Zn, As	Cu	B, Mn, Al	Mo, Cr <sub>total</sub> , Cd, Hg	Otros parámetros seleccionados	Información niveles 1, 2 y 3, datos DGA. Información nivel 5 estimada por CADE-IDEPE para DBO <sub>5</sub> , SST y CF.
Río Elqui en Vicuña	0432EL20		CF	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>		CE, pH, SST		Otros parámetros seleccionados	Información nivel 3, datos SAG.

Parámetros seleccionados de la cuenca del río Elqui: Conductividad Eléctrica, DBO<sub>5</sub>, Oxígeno Disuelto, pH, Sólidos Suspendidos, Coliformes Fecales, Cloruro, Sulfato, Boro, Cobre, Hierro, Manganeso, Molibdeno, Níquel, Zinc, Aluminio, Arsénico, Plomo, Color aparente, Sólidos Disueltos, Sólidos Suspendidos totales, Fluoruro, Coliformes Totales.

Tabla.5.2a (Continuación) : Cauze Principal - Río Turbio- Río Elqui

Estación de Calidad	Código de Segmento	Clase del Instructivo					Parámetro con valor en limite detección	Parámetros seleccionados sin información	Observación
		0	1	2	3	4			
Río Elqui en Almendral	0432EL30	OD, pH, Cl, Ni, Zn, RAS, DBO <sub>5</sub> , Se, color aparente, SD, SST, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , F <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , S <sup>2-</sup> , CF, CT, CN <sup>-</sup>	CE, SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Fe, Mn, Al, As	Cu	B	Mo, Cr, Hg	Pb, Cd, Otros parámetros seleccionados	Información niveles 1 y 3, datos DGA.  Información nivel 4 muestreo puntual-primavera 2003: color aparente, DBO <sub>5</sub> , SD, SST, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , CN <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , S <sup>2-</sup> , CF, CT.
Río Elqui en minera San Jerónimo	0432EL40	pH	CE	ST, CuSO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>				Otros parámetros seleccionados	Información nivel 3, datos SAG
Río Elqui en Puente Las Rojas	0433EL10	OD, pH, Cl, Ni, Zn, As, RAS, Se, DBO <sub>5</sub> , SST	CE, Fe, Pb, CF	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , B, Cu, Mn, Al			Mo, Cr, Cd, Hg	Otros parámetros seleccionados	Información niveles 1, 2 y 3, datos DGA.  Información nivel 5 estimada por CADE-IDEPE para DBO <sub>5</sub> , SST y CF.  Información del Serv. Salud de Coquimbo, nivel 2, corrobora clase 0 para el As.
Río Elqui en La Serena	0433EL20	OD, pH, Fe, Ni, Zn, As, RAS, Se, DBO <sub>5</sub> , color aparente, SD, SST, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , CN <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , S <sup>2-</sup> , orgánicos plaguicidas*	Mn, CF, CT	CE, SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , Cu, Mo, Al		Cl, B	Pb, Cr, Cd, Hg	Otros parámetros seleccionados	Información niveles 1, 2 y 3, datos DGA.  Información nivel 3 CF, dato SAG  Información nivel 4 muestreo puntual-primavera 2003: color aparente, SD, SST, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , CN <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , S <sup>2-</sup> , y orgánicos plaguicidas indicados en el muestreo *.



**Tabla 5.2b: Cauce Secundario: Río Vacas Heladas**

Estación de Calidad	Código de Segmento	Clase del Instructivo					Parámetro con valor en limite de detección	Parámetros seleccionados sin información	Observación
		0	1	2	3	4			
Río Vacas Heladas antes junta río Malo	0430VA10	Ni, RAS, Se, SST, CF, DBO <sub>5</sub>	OD	Cl, Cu, Zn	CE, SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	pH, B, Fe, Mn, Al, As	Mo, Pb, Cr Cd, Hg	Otros parámetros seleccionados	Información niveles 1, 2 y 3, datos DGA.  Información nivel 5 estimada por CADE-IDEPE para DBO <sub>5</sub> , SST y CF.  Información Serv.Salud Coquimbo, nivel 2 corrobora clase 2 para el Mn.

**Tabla 5.2c: Cauce Secundario: Río Malo**

Estación de Calidad	Código de Segmento	Clase del Instructivo					Parámetro con valor en limite de detección	Parámetros seleccionados sin información	Observación
		0	1	2	3	4			
Río Malo después de tranque de relaves minera El Indio	0430MA10	Cl, RAS, Se, SST, CF, DBO <sub>5</sub>		OD, Ni, Pb	CE, Zn	pH, SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , B, Cu, Fe, Mn, Al, As	Mo, Cr, Cd, Hg	Otros parámetros seleccionados	Información niveles 1 y 3, datos DGA.  Información nivel 5 estimada por CADE-IDEPE para DBO <sub>5</sub> , SST y CF.  Información Serv.Salud Coquimbo, nivel 2 corrobora clase 2 para el Mn.

**Tabla 5.2c (Continuación): Cauce Secundario: Río Malo**

Estación de Calidad	Código de Segmento	Clase del Instructivo					Parámetro con valor en límite de detección	Parámetros seleccionados sin información	Observación
		0	1	2	3	4			
Río Malo antes junta río Vacas Heladas	0430MA20	OD, Cl, RAS, Se, SST, CF	Ni, DBO <sub>5</sub>		CE, SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , Zn	pH, B, Cu, Fe, Mn, Al, As	Mo, Pb, Cr, Cd, Hg	Otros parámetros seleccionados	Información niveles 1, 2 y 3, datos DGA. Información nivel 5 estimada por CADE-IDEPE para DBO <sub>5</sub> , SST y CF. Información Serv.Salud Coquimbo, nivel 2 corrobora clase 2 para el Mn.

**Tabla 5.2d: Cauce Secundario: Río del Toro**

Estación de Calidad	Código de Segmento	Clase del Instructivo					Parámetros con valor en límite de detección	Parámetros seleccionados sin información	Observación
		0	1	2	3	4			
Río del Toro antes de río La Laguna	0430TO10	OD, Ni, RAS, Se, CF, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , DBO <sub>5</sub> , CN <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , S <sup>2-</sup> , CF, CT		Cl, color aparente, F <sup>-</sup>	CE, SD, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Zn	pH, B, Cu, Fe, Mn, Al, As, SST	Mo, Pb, Cr, Cd, Hg	Otros parámetros seleccionados	Información niveles 1, 2 y 3, datos DGA. Información nivel 4 muestreo puntual-primavera2003: DBO <sub>5</sub> , color aparente, SD, SST, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , CN <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , S <sup>2-</sup> , CF, CT.

Tabla 5.2e: Cauce Secundario: Río Incaguaz

Estación de Calidad	Código de Segmento	Clase del Instructivo					Parámetros con valor en límite de detección	Parámetros seleccionados sin información	Observación
		0	1	2	3	4			
Río Incaguaz antes junta río Turbio	0430IN10	CE, OD, pH, Cl, $\text{SO}_4^{-2}$ , Ni, Zn, As, RAS, Se, SST, CF, $\text{DBO}_5$	Fe	B, Cu	Al	Mn	Mo, Pb, Cr, Cd, Hg	Otros parámetros seleccionados	Información niveles 1 y 3, datos DGA.  Información nivel 5 estimada por CADE-IDEPE para $\text{DBO}_5$ , SST y CF.

Tabla 5.2f : Cauce Secundario: Río Claro

Estación de Calidad	Código de Segmento	Clase del Instructivo					Parámetros con valor en límite de detección	Parámetros seleccionados sin información	Observación
		0	1	2	3	4			
Río Claro en Rivadavia	0431CL20	CE, OD, pH, Cl, $\text{SO}_4^{-2}$ , Fe, Mn, Ni, Zn, As, RAS, Se, $\text{DBO}_5$ , color, SD, SST, $\text{NH}_4^+$ , $\text{CN}^-$ , F-, $\text{NO}_2^-$ , $\text{S}^{2-}$ , CF, CT, $\text{CN}^-$ , F <sup>-</sup>		Al, Cu		B	Mo, Pb, Cr, Cd, Hg	Otros parámetros seleccionados	Información niveles 1 y 3, datos DGA.  Información nivel 4 muestreo puntual-primavera2003: $\text{DBO}_5$ , color aparente SD, SST, $\text{NH}_4^+$ , $\text{CN}^-$ , F-, $\text{NO}_2^-$ , $\text{S}^{2-}$ , CF, CT,

Tabla 5.2g: Cauce Secundario: Estero Derecho

Estación de Calidad	Código de Segmento	Clase del Instructivo					Parámetros con valor en límite de detección	Parámetros seleccionados sin información	Observación
		0	1	2	3	4			
Estero Derecho en Alcohuz	0431ED10	CE, OD, pH, Cl, $\text{SO}_4^{2-}$ , Fe, Ni, Zn, As, RAS, Se, SST, CF, $\text{DBO}_5$	Mn	B, Cu, Mo, Al			Pb, Cr, Cd, Hg	Otros parámetros seleccionados	Información niveles 1, 2 y 3, datos DGA.  Información nivel 5 estimada por CADE-IDEPE para $\text{DBO}_5$ , SS y CF.

Los ríos seleccionados sin información en la cuenca del río Elqui son:

- Río Laguna
- Río Cochiguaz

#### 5.4 Calidad Natural

En base al análisis estadístico de los parámetros de calidad de agua disponibles para este estudio, es posible inferir que la calidad natural de los ríos: Elqui, Vacas Heladas, Malo, del Toro, Turbio, Incaguaz y Claro y el estero Derecho; son en general de regular a buena calidad (Clase 1, 2 y 3), con la sola excepción de los siguientes parámetros, que exceden la clase en algunos tramos de los cauces seleccionados: conductividad eléctrica, pH, cloruros, sulfatos, boro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, níquel, zinc, aluminio, arsénico y plomo.

En la Tabla 5.3 se identifican los parámetros que exceden la clase 0 en los diferentes cursos de agua de la cuenca del río Elqui, basada en la información estadística por períodos estacionales que se presenta en la Tabla 4.15.

**Tabla 5.3: Valor estacional máximo de los parámetros naturales en la cuenca del Elqui**

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

Fuente: Elaboración propia

s/i: sin información

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

De la inspección de la tabla, se infieren las siguientes conclusiones:

- Los metales en solución son gravitantes en la calidad del agua del río Elqui, los cuales son de origen mixto (natural y antrópico)
- El boro, cobre y aluminio están presentes en toda la cuenca.
- El pH es bajo en la parte alta de la cuenca, la cual es de origen mixto.
- El plomo aparece puntualmente en algunas cuencas

#### 5.4.1 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica detectada presenta valores comprendidos entre 609  $\mu\text{S/cm}$  (Est. DGA Elqui en Almendral) a 1.943  $\mu\text{S/cm}$  (est. DGA Est. Vacas Heladas a/j río Malo – invierno), la cual supera la clase excepción en la parte baja de la cuenca en aproximadamente 224%. Estos valores sin embargo no presentan problemas para ser utilizadas para riego.

La conductividad eléctrica va incrementándose a medida que los cursos de agua van descendiendo hacia el mar. Debido a que se trata de terrenos áridos, con escasas precipitaciones y alta radiación solar, todos los parámetros tienden a irse concentrando, más aún que desde Vicuña hacia abajo no existen nuevos aportes al río.

Adicionalmente, la litología de la cuenca del Elqui si bien es variada en sus edades geológicas presenta una continuidad en el tipo de roca sedimentaria, formaciones que presentan naturalmente compuestos que fácilmente se disocian en iones con el agua. Este efecto es muy fuerte, sobretodo en las aguas subterráneas, que de acuerdo a la hidrogeología del Elqui existe un fuerte intercambio acuífero río desde Vicuña hasta la parte baja del Elqui.

#### 5.4.2 pH

El pH presenta valores comprendidos entre 5,6 (Est. DGA Est. Vacas Heladas) a 4,6 (est. DGA Río Malo después tranque minera El Indio – invierno), la cual supera la clase excepción en la parte baja de la cuenca en aproximadamente 41,3%.

La presencia de pH's tan bajos tiene un origen mixto se debe a la lixiviación de la pirita existente en los cuerpos mineralizados de la franja metalogénica, que originan la formación de ácidos los cuales bajan el pH. Adicionalmente, las actividades mineras de cabeceras de cauces originan aguas de minas y depósitos de estériles que se lixivian con el agua meteórica, de hecho el río Malo nace prácticamente a partir de aguas de drenajes de minas.

#### 5.4.3 Cloruro

Los valores de cloruros procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 107 mg/L (Est. DGA río Vacas Heladas) a 236 mg/L (Est. DGA río Elqui en la Serena -verano), estos superan la clase excepción en aproximadamente 195%.

La presencia de cloruros en la sección alta de la cuenca del río Elqui se debe a la existencia natural en la litología de la zona compuesta principalmente por formaciones geológicas intrusivas del período carbonífero-pérmico, adicionalmente así como al aporte de aguas hidrotermales procedentes del baño del Toro. En la parte baja, la presencia de los cloruros se debe a la emanación de las aguas subterráneas en el curso superficial que adicionan contenido de iones  $\text{Cl}^-$  que provienen de las lixiviaciones subterráneas de las formaciones geológicas.

#### 5.4.4 Sulfatos

Los valores de sulfatos procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 142 mg/L (Est DGA río Elqui en Almendral) a 1.099 mg/ L (Est DGA río Malo después de tranque de relave minera el Indio - verano), estos superan la clase excepción en aproximadamente 815%.

Los sulfatos presentes son de origen mixto. En los ríos Malo y Vacas Heladas su presencia se debe a las actividades mineras existentes en el lugar las cuales adicionan aguas de drenajes de minas (ricas en sulfatos producto de la descomposición de las piritas presentes en los cuerpos mineralizados de cobre de la franja metalogénica F-10) y en los drenajes difusos de los depósitos de estériles y en filtraciones de relaves mineros.

La presencia de la franja metalogénica es una fuente natural que entrega sulfatos y metales en solución a la cuenca, por las lixiviaciones superficiales y subterráneas de los filones mineralizados.

#### 5.4.5 Boro

Los valores de boro procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 0,5 mg/L (Est DGA estero Derecho en Alcohuaz) a 5,6 mg/L (Est. DGA río Vacas Heladas a/ río Malo - invierno), estos superan la clase de excepción en aproximadamente 1.300%.

El origen del boro se encuentra en las co-precipitaciones de boratos que se encuentran entre los estratos sedimentarios de la cuenca. Estos estratos son lixiviados



volumétricamente por las aguas subterráneas, por las vertientes cordilleranas originadas por el derretimiento nival.

La otra fuente de origen del boro se debe a evaporitas o pequeños salares formados por evaporación de lagunillas, los cuales se concentran y luego escurren especialmente durante el período estival en que acontecen los derretimientos nivales.

#### 5.4.6 Cobre

Los valores de cobre procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 22 µg/L (Est DGA estero Derecho en Alcohuez) a 21.361 µg/L (Est DGA río Malo después de tranque de relave minera el Indio - verano), estos superan la clase excepción en aproximadamente 296.580%.

Estos altos valores medidos en la parte alta de la cuenca tienen origen mixto: esto es por afloramientos naturales y por actividad minera. Específicamente a que las aguas del río Malo nacen desde un drenaje de mina, las cuales contienen lixiviados de agua subterránea de los filones mineralizados, adicionalmente a lo anterior la existencia de un tranque de relaves y depósitos de estériles ejercen una contribución difusa a los cuerpos de agua, además de la litología propia de la cuenca (existencia de franja metalogénica F-10).

En los sectores medio y bajo de la cuenca (Vicuña hacia la desembocadura) se encuentran gran cantidad de minas de cobre y oro junto con plantas de beneficio de minerales – plantas de chancado y flotación – los cuales adicionan aguas de minas y drenajes de depósitos de estériles que aumentan la cantidad de cobre en solución al río Elqui. Se espera que el Embalse Puclaro concentre el metal como sedimentos ricos en cobre.

#### 5.4.7 Hierro

Los valores de hierro procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 0,81 mg/L (Est DGA río Claro en Rivadavia - otoño) a 44,6 mg/L (Est DGA río Malo después de tranque de relave minera el Indio - otoño), estos superan la clase excepción en aproximadamente 519%.

Estos altos valores medidos en la parte alta de la cuenca se deben a la actividad minera, específicamente al tranque de relave que ejerce una contribución difusa a los cuerpos de agua, además de la litología propia de la cuenca (existencia de franja metalogénica F-10).

La presencia de hierro se debe a los sulfuros como la pirita que se encuentran asociados a las rocas volcánicas, que se encuentran asociados a los depósitos porfíricos de cobre.

#### 5.4.8 Manganeseo

Los valores de manganeseo procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los  $<0,01$  mg/L (Est DGA río Claro en Rivadavia - verano) a 8,0 mg/L (Est DGA río Malo después de tranque de relave minera el Indio - verano), estos superan la clase excepción en aproximadamente 19.900%.

Estos altos valores medidos en la parte alta de la cuenca se deben a la litología propia de la cuenca, la que es rica en sales y en metales por la existencia de franja metalogénica F-10.

En el sector medio (alrededores de Vicuña) existen tres minas de Manganeseo pertenecientes a la minera Manganeseos Atacama y una planta de beneficio de mineral, las aguas de minas junto con los depósitos de estériles difunden hacia el Elqui. Se espera que en el Embalse Puclaro concentre el metal como sedimentos ricos en Manganeseo.

#### 5.4.9 Molibdeno

Los valores de molibdeno procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los  $<0,01$  mg/L (Est DGA río Claro en Rivadavia - verano) a 0,02 mg/L (Est DGA río Elqui en la Serena - primavera), estos superan la clase excepción en aproximadamente 150%.

La aparición de molibdeno en los cursos de agua se debería esencialmente a la existencia de molibdeno que acompaña al cobre, existente en la litología de casi toda la cuenca que le adiciona molibdeno a las corrientes de agua. Esta lixiviación se manifiesta tanto en las aguas subterráneas como en las superficiales, lo cual queda ratificado por la existencia de molibdeno disuelto en todos los tributarios y curso principal.

#### 5.4.10 Níquel

Los valores de níquel procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores de 60  $\mu\text{g/L}$  (Est DGA río Malo después de tranque de relave minera el Indio - primavera), estos superan la clase excepción en aproximadamente 43%.

Estos altos valores medidos en la parte alta de la cuenca se deben a la litología propia de la cuenca, la que es rica en sales y en metales por la existencia de franja metalogénica F-10, además de la actividad minera existente que genera desechos que lixivian, que en la actualidad se consideran irreversibles, pero que a futuro se espera revertir.

#### 5.4.11 Zinc

Los valores de zinc procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 0,16 mg/L (Est DGA río Elqui en Algarrobal) a 4,5 mg/L (Est DGA río Malo después de tranque de relave minera el Indio - primavera), estos superan la clase excepción en aproximadamente 4587%.

En la naturaleza el zinc se encuentra generalmente asociado a otros metales como el cobre y el plomo. Por tanto el zinc que aparece en la parte alta de la cuenca en el río se debe al lixiviado de alguna mina de cobre o depósitos de estériles alrededor del cauce.

#### 5.4.12 Aluminio

Los valores de aluminio procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 0,26 mg/L (Est. DGA río Elqui en la Serena) a 34,92 mg/L (Est. DGA río Malo después de tranque de relave minera el Indio - verano), estos superan la clase excepción en aproximadamente 49.785%.

Los aumentos puntuales de la concentración de aluminio se producen generalmente durante el derretimiento de nieves ácidas. Por otra parte dado que la cantidad de aluminio insoluble en suelos es grande, cambios muy pequeños en las condiciones del suelo (lluvias levemente ácidas) pueden llevar a incrementos relativamente grandes en aguas naturales cercanas.

#### 5.4.13 Arsénico

Los valores de arsénico procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 0,054 mg/L (Est. DGA río Elqui en Almendral) a 1,476 mg/L (Est. DGA río Malo después de tranque de relave minera el Indio - invierno), estos superan la clase excepción en aproximadamente 3.590%.

Estos altos valores medidos en la parte alta de la cuenca se deben a la litología propia de la cuenca – la minera el Indio desarrollo un proceso para eliminar el Arsénico - , la que es rica en sales y en metales por la existencia de franja metalogénica F-10, además de la minería existente en la parte alta, lugar donde se registran los mayores valores de arsénico medido.

#### 5.4.14 Plomo

Los valores de plomo procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 0,02 mg/L a 0,04 mg/L (Est. DGA río Malo después de tranque de relave minera el Indio - invierno), este último supera la clase excepción en aproximadamente 1.900%.

En la naturaleza el plomo se encuentra generalmente asociado a otros metales como el cobre y el zinc. Por tanto el plomo se debe al lixiviado de alguna mina de cobre o depósitos de estériles alrededor del cauce.

#### 5.4.15 Falencias de información

Un importante deterioro han experimentado las cuencas del Norte Chico, debido al efecto nocivo que ha tenido la depredación del ganado caprino, la tala de matorral y leña, en donde las escorrentías han lavado los suelos dejando gran cantidad de sedimento y roca desnudas a los chubascos e intemperización. Datos de sólidos suspendidos serían importantes para evaluar el deterioro de la calidad que experimentan estas cuencas.

El embalse Puclaro ubicado aguas abajo de Vicuña es un sedimentador importante que afecta la calidad del agua en cuanto a SST y oxígeno disuelto, principalmente.

Se realizó una campaña de muestreo en el río Elqui (15 Oct. 2003) que abarcó cuatro cursos: río Toro, río Claro y río Elqui en Almendral y la Serena. Los resultados mostraron que se encuentra Fluoruro en el río Toro y sólidos disueltos en el río Elqui en Serena. Ambos parámetros tienen un origen mixto, por lo cual es conveniente que se adicionen en el programa de monitoreo de la cuenca del río Elqui. El fluoruro se debería a los RILes y drenajes de material estéril de la mina El Indio; en tanto que los sólidos disueltos a una combinación entre las actividades agropecuarias del Elqui, como se intercambió entre las aguas subterráneas y superficiales del Elqui.

#### 5.4.16 Conclusiones

La calidad natural del agua superficial de la cuenca está influenciada fuertemente por las siguientes características que explican la calidad natural del río Elqui y sus tributarios:

- La calidad natural de los tributarios de la parte alta de la cuenca, presenta abundancia de metales, los que son de origen natural y antrópico (mixto) por la actividad minera que se efectúa en esta zona.
- La existencia de dos franjas metalogénicas F-10 y F-4 son las grandes modificadoras de la calidad natural en la parte alta de la cuenca.
- En la parte baja la interacción río- acuífero-Embalse Puclaro, hace que las aguas subterráneas tomen un papel relevante en la calidad natural.
- Debido a la actividad minera intensa de la cuenca, se producen sedimentos en el embalse Puclaro con contenido de metales pesados.

## 6. PROPOSICION DE CLASES OBJETIVOS

### 6.1 Establecimiento de Tramos

Como se definió en la metodología, la unidad básica para la definición de la red fluvial es el segmento. De esta manera, toda la Base de Datos de la cuenca está referenciada a los segmentos.

La segmentación preliminar de la cuenca del río Elqui fue presentada en el capítulo 2. En este capítulo se presentan los tramos, los cuales se forman por la sumatoria de segmentos adyacentes. El tramo se caracteriza por tener una misma clase de calidad objetivo a lo largo de toda su extensión.

En la siguiente tabla se presentan los tramos utilizados en la caracterización de calidad de los cauces de la cuenca.

**Tabla 6.1: Tramos de la cuenca del río Elqui**

Cauce	Código Segmento	Tramo	Límites de Tramos
Río Vacas Heladas	0430VA10	VA-TR-10	De: Naciente río vacas Heladas Hasta: Confluencia río Malo
Río Malo	0430MA10	MA-TR-10	De: Naciente río Malo Hasta: Confluencia río Vacas Heladas
	0430MA20		
Río del Toro	0430TO10	TO-TR-10	De: Confluencia río Malo y Vacas Heladas Hasta: Confluencia río de La Laguna
Río de La Laguna	0430LL10	LL-TR-10	De: Naciente salida Embalse La Laguna Hasta: Confluencia río del Toro
Río Turbio	0430TU10	TU-TR-10	De: Confluencia río del Toro y río de La Laguna Hasta: Confluencia río Incahuaz
	0430TU20	TU-TR-20	De: Confluencia río Incahuaz Hasta: Confluencia río Claro
	0430TU30		
	0430TU40		
Río Incaguaz	0430IN10	IN-TR-10	De: Naciente río Incahuaz Hasta: Confluencia río Turbio
Estero Derecho	0431ED10	ED-TR-10	De: Naciente estero Derecho Hasta: Est. DGA estero Derecho en Alcohuaz
Río Claro	0431CL10	CL-TR-10	De: Est. DGA estero Derecho en Alcohuaz Hasta: Confluencia río Turbio
	0431CL20		

**Tabla 6.1 (Continuación): Tramos de la cuenca del río Elqui**

Cauce	Código Segmento	Tramo	Límites de Tramos
Río Cochiguaz	0431CO10	CO-TR-10	De: Naciente río Cochiguaz Hasta: Confluencia río Claro
Río Elqui	0432EL10	EL-TR-10	De: Confluencia río Turbio y Claro Hasta: Límite de subcuenca
	0432EL20		
	0432EL30		
	0432EL40		
	0433EL10	EL-TR-20	De: Límite de subcuenca Hasta: Desembocadura
	0433EL20		

En la lámina 1940-ELQ-02 se ilustra la ubicación de los segmentos que dan origen a los tramos y en la lámina 1940-ELQ-03 se grafica la calidad objetivo por tramo.

## 6.2 Requerimientos de Calidad según Usos del Agua

En la tabla 6.2 que se muestra se identifican los tramos de los cauces seleccionados con la siguiente información:

- *Clase de uso más exigente*, que se establece a partir de la información de la tabla 3.9 del capítulo 3.2.
- *Clase actual más característica*, que corresponde a la clase de calidad de agua del IP que agrupa la mayor parte de los valores de los parámetros, representados por sus estadígrafos. Para este efecto se selecciona la clase de tal modo que queden no más del 10% de los parámetros con valores excedidos.
- *Clase Objetivo del tramo*, que corresponde al perfil dado por las clases de calidad de agua correspondientes a cada parámetro, valores a lograr en un futuro cercano, entendido como el plazo de validez de la calidad objetivo asignada. En principio este perfil considera que hay parámetros determinados por las características naturales de la cuenca o subcuenca, mientras que otros están condicionados, en distintos grados, por las acciones antrópicas. En particular los parámetros afectados por aguas servidas son corregidos y asignados a clase 0, ya que ellos corresponden



a acciones que se espera corregir dentro del plazo de validez de la calidad objetivo definida en este informe. En otros casos se analiza el comportamiento del parámetro en función del conocimiento de la cuenca o subcuenca, ya sea a través de los factores incidentes o por evidentes acciones perturbadoras, a fin de dilucidar si es mejorable o no la calidad respecto de dicho parámetro. Aún así, cabe señalar que en la mayoría de los parámetros ajenos a las aguas servidas no existe suficiente información para establecer que parte del valor medido corresponde a efectos antrópicos y cuál a situaciones naturales, de tal modo que no se modifica su asignación de la clase actual. Para aquellos parámetros que no exista información se establece que la Calidad Objetivo será la definida genéricamente. Para el grueso de los parámetros se trata de mejorar o al menos mantener la calidad natural del agua.

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

Tabla 6.2: Requerimientos de Calidad según Usos del Agua en la Cuenca del Elqui

Cauce	Tramo	Acuicultura y pesca deportiva	Biodiversidad	Riego	Clase de uso más exigente	Clase actual más característica	Clase objetivo del tramo	Excepciones en el tramo		Parámetros seleccionados que requieren más estudios
								Clase Excep.	Parámetros Naturales que difieren de la clase Objetivo	
Río Vacas Heladas	VA-TR-10	--	(*)	--	No hay	Clase 3	Clase 3	0	Ni, RAS, Se, DBO <sub>5</sub> , SST, CF	Otros parámetros seleccionados
								1	OD	
								2	Cl, Cu, Zn	
								4	pH, B, Fe, Mn, Al, As	
Río Malo	MA-TR-10	--	(*)	--	No hay	Clase 3	Clase 3	0	Cl, RAS, Se, SST, CF, DBO <sub>5</sub>	Otros parámetros seleccionados
								1	-	
								2	OD, Ni, Pb	
								4	pH, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , B, Cu, Fe, Mn, Al, As	
Río del Toro	TO-TR-10	--	--	--	No hay	Clase 4	Clase 3	0	OD, Ni, RAS, Se DBO <sub>5</sub> , CF, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , CN <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , S <sup>2-</sup> , CT.	Otros parámetros seleccionados
								1	--	
								2	Cl, color aparente, F	
								4	pH, B, Cu, Fe, Mn, Al, As, SST	
Río de La Laguna	LL-TR-10	--	--	--	No hay	(**)	Clase 0	Otras clases	s/i	Todos los parámetros seleccionados

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

(\*\*) Sólo existen un par de registros de información de calidad de la estación suspendida río La Laguna en la salida del embalse La Laguna, que indican la clase 0 de este cauce.

**Tabla 6.2 (Continuación): Requerimientos de Calidad según Usos del Agua en la Cuenca del Elqui**

Cauce	Tramo	Acuicultura y pesca deportiva	Biodiversidad	Riego	Clase de uso más exigente	Clase actual más característica	Clase objetivo del tramo	Excepciones en el tramo		Parámetros seleccionados que requieren más estudios
								Clase Excep.	Parámetros Naturales que difieren de la clase Objetivo	
Río Turbio	TU-TR-10	--	--	--	No hay	Clase 2	Clase 2	0	OD, pH, Cl, Ni, Se, RAS, CF DBO <sub>5</sub>	Otros parámetros seleccionados
								1	--	
								3	--	
								4	B, Cu, Fe, Mn, Al, As, SST	
	TU-TR-20	--	(*)	Clase 1 a 3	Clase 1	Clase 2	Clase 2	0	OD, pH, Cl, Ni, Se, RAS, CF DBO <sub>5</sub>	Otros parámetros seleccionados
								1	Pb	
								3	--	
								4	B, Cu, Fe, Mn, Al, As, SST	
Río Incaguaz	IN-TR-10	--	--	--	No hay	Clase 0	Clase 0	1	Fe	Otros parámetros seleccionados
								2	B, Cu	
								3	Al	
								4	Mn	

**Tabla 6.2 (Continuación): Requerimientos de Calidad según Usos del Agua en la Cuenca del Elqui**

Cauce	Tramo	Acuicultura y pesca deportiva	Biodiversidad	Riego	Clase de uso más exigente	Clase actual más característica	Clase objetivo del tramo	Excepciones en el tramo		Parámetros seleccionados que requieren más estudios
								Clase Excep.	Parámetros Naturales que difieren de la clase Objetivo	
Estero Derecho	ED-TR-10	--	(*)	Clase 1 a 3	Clase 1	Clase 0	Clase 0	1	Mn	Otros parámetros seleccionados
								2	B, Cu, Mo, Al	
								3	-	
								4	-	
Río Claro	CL-TR-10	Clase 2	--	Clase 1 a 3	Clase 1	Clase 0	Clase 0	1	--	Otros parámetros seleccionados
								2	Cu, Al	
								3	-	
								4	B	
Río Cochiguaz	CO-TR-10	--	--	Clase 1 a 3	Clase 1	s/i	Clase 1 (**)	Otras clases	s/i	Todos los parámetros seleccionados de la cuenca

(\*\*) No se cuenta con información en este cauce, por lo que se le asigna la clase de uso más exigente

Tabla 6.2 (Continuación): Requerimientos de Calidad según Usos del Agua en la Cuenca del Elqui

Cauce	Tramo	Acuicultura y pesca deportiva	Biodiversidad	Riego	Clase de uso más exigente	Clase actual más característica	Clase objetivo del tramo	Excepciones en el tramo		Parámetros seleccionados que requieren más estudios
								Clase Excep.	Parámetros Naturales que difieren de la clase Objetivo	
Río Elqui	EL-TR-10	--	(*)	Clase 1 a 3	Clase 1	Clase 2	Clase 1	0	OD, pH, Cl, Ni, RAS, Se, DBO <sub>5</sub> , color aparente, SD, SST, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , CN <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , S <sup>2-</sup> , CF, CT.	Otros parámetros seleccionados
								2	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , Fe, Zn, As	
								3	Cu	
								4	B, Mn, Al	
	EL-TR-20	--	(*)	Clase 1 a 3	Clase 1	Clase 2	Clase 1	0	OD, pH, Fe, Ni, Zn, As, RAS, Se, DBO <sub>5</sub> , color aparente, SD, SST, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , CN <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , S <sup>2-</sup> , orgánicos plaguicidas*	Otros parámetros seleccionados
								2	CE, SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , Cu, Mn, Mo, Al	
								3	--	
								4	Cl, B	

En la lámina 1940-ELQ-03: Calidad Objetivo se ilustra la calidad objetivo de los cauces seleccionados en la cuenca del río Elqui.

### 6.3 Grado de Cumplimiento de la Calidad Objetivo

Con el fin de presentar el Grado de cumplimiento de la Calidad Objetivo, se elabora para cada uno de los parámetros seleccionados de la cuenca del río Elqui, una tabla que contiene la siguiente información:

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

Las tablas generadas en este punto, para la cuenca del río Elqui se presentan en el anexo 6.1.

## 7. OTROS ASPECTOS RELEVANTES

### 7.1 Índice de Calidad de Agua Superficial

#### 7.1.1 Antecedentes

La aplicación del ICAS para esta cuenca, se realiza según lo propuesto en la metodología.

El ICAS de la cuenca del río Elqui, estará compuesto por 6 parámetros obligatorios (Conductividad Eléctrica, DBO<sub>5</sub>, Oxígeno Disuelto, pH, Sólidos Suspendidos y Coliformes Fecales) y 12 parámetros que han sido seleccionados para esta cuenca.

Consecuentemente, los parámetros relevantes son:

- Cloruro
- Sulfato
- Boro
- Cobre
- Hierro
- Manganeso
- Molibdeno
- Níquel
- Zinc
- Aluminio
- Arsénico
- Plomo

#### 7.1.2 Estimación del ICAS

Los resultados que se muestran en la tabla adjunta, son una estimación basada en la información de calidad de agua que se presenta en éste documento. Para aquellos parámetros obligatorios de los cuales no se dispone de información se utiliza para ciertas estaciones críticas de la cuenca información nivel 4 (muestreo descrito en el punto 4.2.3) y para las restantes, información nivel 5 (estimaciones realizadas por el consultor).

**Tabla 7.1: Índice de Calidad de Aguas Superficiales para Calidad Actual**

Estación de Muestreo	ICAS
Río Vacas Heladas	75
Río Malo después del tranque minera El Indio	74
Río Malo antes Vacas Heladas	74
Río Toro a/j río Laguna	65
Río Turbio después de río Toro y Laguna	81
Río Turbio en Guanta	84
Río Turbio en Varillar	86
Río Incaguaz a/j río Turbio	98
Río Claro en Rivadavia	99
Estero Derecho en Alcohuz	99
Río Elqui en Algarrobal	96
Río Elqui en Almendral	98
Río Elqui en pte Las Rojas	98
Río Elqui en La Serena	94

De los resultados de ésta, se puede observar que el agua del río Elqui posee tributarios de muy buena calidad. El cauce principal, calidad muy buena, a pesar de existir intervención antrópica. La memoria de cálculo de la tabla se encuentra en anexo 7.1.

### 7.1.3 Estimación del ICAS objetivo

El Índice de Cumplimiento se basa en la estimación de un ICAS para la calidad objetivo asignada a cada tramo del río. La clase objetivo asignada a los segmentos donde se ubican las estaciones de muestreo aparece en la siguiente tabla:

**Tabla 7.2: Clases Objetivos para cada Estación de Muestreo**

Estación de Muestreo	Clase Objetivo
Río Vacas Heladas	3
Río Malo después del tranque minera El Indio	3
Río Malo antes Vacas Heladas	3
Río Toro a/j río Laguna	3
Río Turbio después de río Toro y Laguna	2
Río Turbio en Guanta	2
Río Turbio en Varillar	2
Río Incaguaz a/j río Turbio	0
Río Claro en Rivadavia	0
Estero Derecho en Alcohuz	0
Río Elqui en Algarrobal	1
Río Elqui en Almendral	1
Río Elqui en pte Las Rojas	1
Río Elqui en La Serena	1



El cumplimiento de los valores de la clase objetivo por todos los parámetros permite el cálculo de un nuevo ICAS. Para ello, se consideran todos los parámetros que exceden el valor correspondiente a la clase objetivo y que son de origen antrópico. Partiendo de la premisa que es factible lograr el cumplimiento de la clase objetivo y el conocimiento de la cuenca se sabe que los parámetros antrópicos cumplen la clase objetivo.

## 7.2 Zonas de Dilución

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

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

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

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

- a) La zona de mezcla debe ser tan pequeña como sea posible de modo que su tamaño o forma no cause o contribuya al deterioro de los usos del agua fuera de ella.
- b) La zona de mezcla debe ser diseñada de modo que permita una zona de paso para el movimiento o rumbo de todas las etapas de la vida acuática.
  - i) para aquellos elementos que tienden a la anulación de la vida acuática, la zona de mezcla no debe ocupar más de una parte de la sección de escurrimiento del río (criterios geométricos), de modo que la zona de mezcla no actúe como una barrera física que impida el paso de la vida acuática.
  - ii) La zona de mezcla no debe ser agudamente letal a la vida acuática que pasa por la zona de mezcla (criterios ecotóxicos).

- iii) Las zonas de mezcla no deben interferir con las rutas migratorias que son esenciales a la reproducción, crecimiento o sobrevivencia de especies acuáticas
  - iv) Las zonas de mezcla no deben causar consecuencias irreversibles a organismos vegetales y animales o incrementar la vulnerabilidad a la depredación.
  - v) Donde existen dos o más zonas de mezclas muy próximas, ellas deben ser definidas de modo que exista una ventana de paso a la vida acuática.
  - vi) Las zonas de mezcla no deben interceptar las desembocaduras de ríos o la intersección de cauces.
- c) Las zonas de mezcla no deben interferir con tomas para agua potable o áreas de recreación que permitan la natación.
- d) Se deben tomar precauciones en el caso que la calidad objetivo ya se encuentre naturalmente sobrepasada en la situación sin proyecto, y no se vislumbren mecanismos de compensación.

#### 7.2.2 Normativa chilena vigente

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

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

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

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

en que:

$C_i$  : límite máximo permitido para el contaminante i

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

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

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

### 7.2.3 Condiciones hidráulicas del cuerpo receptor

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

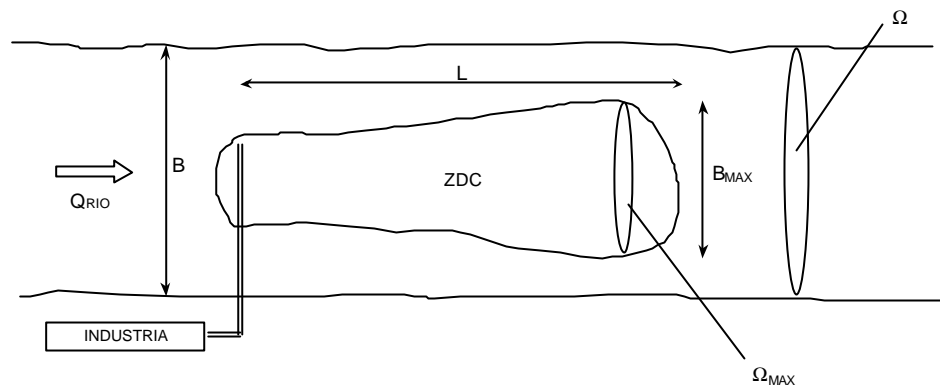
Siendo el caudal una variable aleatoria con fuertes variaciones durante el año y entre diferentes años hidrológicos, el cálculo hidrodinámico del proceso de mezcla requiere la consideración de diferentes escenarios según varía el caudal del río.

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

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

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

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



$$B_{MAX} < \frac{B}{4} \quad B_{MAX} / \Omega_{MAX} : \text{ancho/sección de la}$$

$$\Omega_{MAX} < \frac{\Omega}{4} \quad \text{zona de mezcla al momento de}$$

cumplirse la calidad objetivo

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

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

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

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

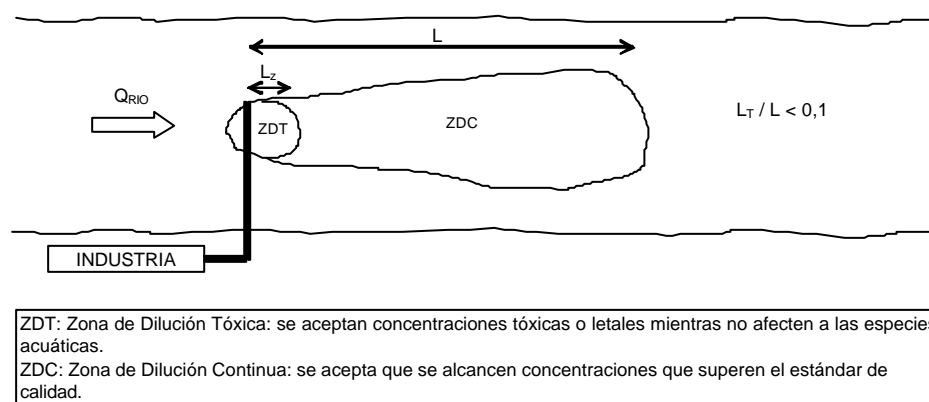
Los criterios geométricos de definición de una zona de dilución constituyen una referencia de carácter general, lo que no reemplaza el cálculo hidrodinámico del proceso de mezcla. Con el objeto de conocer la dilución que se genera en la zona cercana y en la zona lejana, se debe llevar a cabo un análisis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

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

#### 7.2.6 Criterios ecotóxicos

En el caso que la descarga contenga agentes tóxicos, la autoridad deberá evaluar cuidadosamente si define o no una zona de mezcla, ya que la dilución en un cuerpo de agua no reemplaza el tratamiento del efluente antes de que éste sea vertido. Para un parámetro o conjunto de ellos, es preciso distinguir entre toxicidad aguda (de corto plazo) y toxicidad crónica (de largo plazo). El estándar agudo corresponde a un valor que no será excedido por la concentración en una muestra única, o en el promedio de las muestras recolectadas en un día. En tablas de estándares internacionales, el estándar agudo se expresa usualmente como la concentración de un parámetro que es letal al 50 % de cierto organismo (LC-50) durante un período de tiempo definido (96 horas). Por su parte el estándar crónico es el valor que no será excedido por la concentración de una muestra única o del promedio calculado en un período de 30 días.

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



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

### 7.3 Programa de Monitoreo Futuro

La base del programa de monitoreo futuro (estándar) considera que su objetivo es la verificación de la norma secundaria y que las mediciones se efectuarán como complemento de la actual red de monitoreo de la DGA, situación que se materializa en definir los parámetros adicionales en cada estación existente y en agregar otras estaciones, si es estrictamente necesario, cuya localización se describe a continuación. La metodología se encuentra descrita en la sección correspondiente y abarca desde la toma de muestras hasta el tratamiento de la información.

En conformidad a lo dispuesto en el Instructivo la frecuencia mínima de muestreo corresponderá a los parámetros definidos como mínimos para la clasificación, seleccionados, cuatro periodos estacionales: verano, otoño, invierno y primavera.

**Tabla 7.3: Programa de Monitoreo Futuro**

Estaciones de Monitoreo	Segmento	Parámetros	Frecuencia
Río Vacas Heladas a/j río Malo	0430-VA-10	Parámetros seleccionados	Mínima
Río Malo después del tranque minera El Indio	0430-MA-10	Parámetros seleccionados	Mínima
Río Malo antes Vacas Heladas	0430-MA-20	Parámetros seleccionados	Mínima
Río Toro a/j río Laguna	0430-TO-10	Parámetros seleccionados	Mínima
Río Turbio después de río Toro y Laguna	0430-TU-10	Parámetros seleccionados	Mínima
Río Turbio en Guanta	0430-TU-20	Parámetros seleccionados	Mínima
Río Turbio en Varillar	0430-TU-30	Parámetros seleccionados	Mínima
Río Incaguaz a/j río Turbio	0430-IN-10	Parámetros seleccionados	Mínima
Río Claro en Rivadavia	0431-CL-20	Parámetros seleccionados	Mínima
Estero Derecho en Alcohuz	0431-ED-10	Parámetros seleccionados	Mínima
Río Elqui en Algarrobal	0432-EL-10	Parámetros seleccionados	Mínima
Río Elqui en Almendral	0432-EL-30	Parámetros seleccionados	Mínima
Río Elqui en Pte. Las Rojas	0433-EL-10	Parámetros seleccionados	Mínima
Río Elqui en La Serena	0433-EL-20	Parámetros seleccionados	Mínima

#### 7.4 Sistema de Información Geográfico

La Base de Datos que ha sido integrada al SIG es representada en las siguientes láminas:

- 1940-ELQ-01: Usos del suelo
- 1940-ELQ-02: Estaciones de medición y usos del agua
- 1940-ELQ-03: Calidad objetivo

#### 7.5 Referencias

Referencia	Título del Informe
1.1	IGM, Instituto Geográfico Militar. 1986.
2.1	<a href="http://www.apicultura.cl">http://www.apicultura.cl</a>
2.2	Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Aguas. 1987. Balance Hídrico de Chile.
2.3	R & Q Ingeniería Ltda. Agosto 1993. Caudales Ecológicos en Regiones IV, V y Metropolitana, Informe Final. Tomo 4. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas.
2.4	SERNAGEOMIN, Servicio Nacional de Geología y Minería. 2002. Mapa Geológico de Chile. Escala 1:1.000.000
2.5	Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. Mapa Hidrogeológico.
2.6	IGM, Instituto Geográfico Militar. 1986. Levantamiento Aerofotogramétrico en base a carta regular 1:50.000. Hojas: La Serena, Pisco Elqui y Guanta, escala 1:250.000.
2.7	Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. 2001. Perfiles Ecológicos de las cuencas de los ríos Lluta, San José, Huasco, Elqui, Limarí, Petorca, La Ligua, Mataquito, Itata, Imperial y del Lago Budi. Documento Final.
2.8	Meléndez y Pesce Ltda, Agrolog Chile Ltda. 1979. CIREN, Centro de Información de Recursos Naturales.
2.9	Gajardo, Rodolfo. 1994. La Vegetación Natural de Chile, Clasificación y Distribución Geográfica. Conaf. Primera Edición.
2.10	<a href="http://www.censo2002.cl">http://www.censo2002.cl</a>
2.11	EDITEC Ltda. 2003. Compendio de Minería Chilena.
2.12	CONAF - CONAMA. Catastro de bosque nativo.
2.13	INE, Instituto Nacional de Estadísticas. 1997. VI Censo Nacional Agropecuario.
2.14	CONAMA. Estrategia Regional y Plan de Acción de la Biodiversidad IV Región de Coquimbo.
2.15	<a href="http://www.sinia.cl">http://www.sinia.cl</a>
3.1	DGA, Estudio de Síntesis de Catastro de Usuarios de Agua e Infraestructuras de Aprovechamiento, 1991.
3.2	DGA, Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile, 1996.



