

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 LA LIGUA

DICIEMBRE 2004

CADE-IDEPE
CONSULTORES EN INGENIERIA

INDICE

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>PAGINA</u>
1.	ELECCION DE LA CUENCA Y DEFINICION DE CAUCES	1
2.	RECOPIACION DE INFORMACION Y CARACTERIZACION DE LA CUENCA.....	2
2.1	Cartografía y Segementación 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.....	10
2.2.5	Suelos	11
2.3	Flora y Fauna de la Cuenca del río La Ligua	12
2.3.1	Flora terrestre y acuática	12
2.3.2	Fauna Acuática	12
2.4	Sistemas Humanos.....	13
2.4.1	Asentamientos humanos	13
2.4.2	Actividades económicas	14
2.5	Usos del Suelo	14
2.5.1	Uso agrícola.....	15
2.5.2	Uso forestal.....	15
2.5.3	Uso Urbano.....	16
2.5.4	Áreas bajo Protección Oficial y Conservación de la Biodiversidad.....	16
3.	ESTABLECIMIENTO DE LA BASE DE DATOS.....	18
3.1	Información Fluviométrica.....	18
3.2	Usos del Agua.....	19
3.2.1	Usos in – situ	19
3.2.2	Usos extractivos.....	20
3.2.3	Biodiversidad.....	22
3.2.4	Usos Ancestrales	22
3.2.5	Conclusiones.....	22

INDICE

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>PAGINA</u>
3.3	Descargas a Cursos de Agua	24
3.3.1	Descargas de tipo domiciliario	24
3.3.2	Descargas de tipo industrial	27
3.3.3	Contaminación Difusa	31
3.4	Datos de Calidad de Agua	31
3.4.1	Fuentes de Información	31
3.4.2	Aceptabilidad de los programas de monitoreo	33
4.	ANALISIS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION	35
4.1	Análisis de Información Fluviométrica	35
4.1.1	Análisis por estación	35
4.1.2	Conclusiones	38
4.2	Análisis de la Calidad de Agua	39
4.2.1	Selección de parámetros	39
4.2.2	Análisis de Tendencia Central	42
4.2.3	Programa de Muestreo Puntual CADE-IDEPE	44
4.2.4	Base de Datos Integrada (BDI)	45
4.2.5	Procesamiento de datos por período estacional	46
4.3	Factores Incidentes en la Calidad del Agua	53
5.	CALIDAD ACTUAL Y NATURAL DE LOS CURSOS SUPERFICIALES .	56
5.1	Análisis Espacio-Temporal en Cauce Principal	56
5.2	Caracterización de la Calidad de Agua a nivel de la cuenca	61
5.3	Asignación de Clases de Calidad Actual a Nivel de la Cuenca	63
5.4	Calidad Natural y Factores Incidentes	67
5.4.1	Cobre	67
5.4.2	Aluminio	68
5.4.3	Manganeso	68
5.4.4	Conductividad eléctrica	69
5.4.5	Sulfatos	69

INDICE

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>PAGINA</u>
5.4.6	Falencias de información.....	69
5.4.7	Conclusiones.....	70
6.	PROPOSICION DE CLASES OBJETIVOS	71
6.1	Establecimiento de Tramos	71
6.2	Asignación de Clases Objetivos	72
6.3	Grado de Cumplimiento de la Calidad Objetivo	75
7.	OTROS ASPECTOS RELEVANTES	76
7.1	Indice de Calidad de Agua Superficial.....	76
7.1.1	Antecedentes.....	76
7.1.2	Estimación del ICAS	76
7.1.3	Estimación del ICAS objetivo	77
7.2	Programa de Monitoreo Futuro	78
7.3	Sistema de Información Geográfico.....	81
7.4	Referencias	81

ANEXOS

Anexo 3.1 :	Estadísticas de Caudales Medios Mensuales Cuenca del Río La Ligua
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 Acida
Anexo 6.1 :	Asignación de Clase Actual y Objetivo Cuenca del Río La Ligua
Anexo 7.1:	Indice de Calidad Actual Cuenca del Río La Ligua
Anexo 7.2:	Indice de Calidad Objetivo Cuenca del Río La Ligua

1. ELECCION DE LA CUENCA Y DEFINICION DE CAUCES

La cuenca del río La Ligua pertenece a la V Región de Valparaíso ubicándose inmediatamente al sur de la cuenca del Petorca, entre los paralelos 32°10' y 32°40' de latitud sur. Drena una superficie de aproximadamente 1.980 km².

El río La Ligua nace con el nombre de Alicahue en las serranías de los cerros El Cuzco y Alto del Portillo, a unos 4.000 m s.n.m. Después de recibir el estero Cajón de Los Angeles, que viene del sur, pasa a llamarse río La Ligua propiamente tal. La junta se produce unos 5 km antes de Cabildo.

El sistema Alicahue-La Ligua tiene una longitud aproximada de 106 km y una pendiente media de 1,1%. El afluente más importante que recibe hacia aguas abajo es la quebrada La Patagua, que se le une aguas arriba de la ciudad de La Ligua. Luego de un recorrido de 24 km desde este último punto, desagua al mar, frente a la laguna de Longotoma.

Los cauces seleccionados para el estudio son:

- estero Alicahue
- estero Los Angeles
- río Ligua

Ligua

2.

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 La Ligua incluye una amplia variedad de información vectorial la que procede de las siguientes fuentes:

- Bases cartográficas del SIGIRH, del MOP-DGA. Escala 1:50.000 / 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.)

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 La Ligua es la indicada en la Tabla 2.1, la que se muestra en la lámina 1940-LIG-02.

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

CUENCA RIO LA LIGUA					Límites de los segmentos	
SubCuenca	Cauce	REF	SubSeg	Código	Con inicio en:	Términa en:
0520	Estero Alicahue	AL	1	0520 - AL - 10	Naciente estero Alicahue	Est. DGA Alicahue en Colliguay
0520	Estero Alicahue	AL	2	0520 - AL - 20	Est. DGA Alicahue en Colliguay	Límite de subcuenca
0521	Estero Los Angeles	AN	1	0521 - AN - 10	Naciente estero Los Angeles	Junta Quebrada Guayacán
0521	Estero Los Angeles	AN	2	0521 - AN - 20	Junta Quebrada Guayacán	Confluencia río La Ligua
0521	Río La Ligua	LL	1	0521 - LL - 10	Límite de subcuenca	Confluencia estero Los Angeles
0522	Río La Ligua	LL	1	0522 - LL - 10	Confluencia estero Los Angeles	Est. DGA La Ligua en Cabildo
0522	Río La Ligua	LL	2	0522 - LL - 20	Est. DGA La Ligua en Cabildo	Est. DGA La Ligua en Panamericana
0522	Río La Ligua	LL	3	0522 - LL - 30	Est. DGA La Ligua en Panamericana	Desembocadura

Ligua

4.

2.2 Sistema Físico Natural

2.2.1 Clima

Los climas que se distinguen en la cuenca del río La Ligua, corresponden a los climas: Estepa Cálido y Frío de altura en la Cordillera de los Andes. [Ref. 2.1]

a) Clima de Estepa Cálido:

Se desarrolla prácticamente en toda la cuenca del río La Ligua. Su característica principal es la escasa humedad atmosférica, cielos despejados y luminosidad alta, fuerte oscilación térmica diaria y temperaturas media anuales de 14,6° C. Las precipitaciones alcanzan de 150 a 200 mm al año.

Los montos de precipitación media anual registrados en el sector costero de la cuenca alcanzan valores aproximados de 188 mm/año y temperaturas de 14,6° C. Por efectos del relieve, en el sector centro de la cuenca (Cabildo), se presentan áreas de menor sequedad y montos mayores de precipitación (300 mm/año). En sectores más elevados, las precipitaciones alcanzan valores de 248 mm/año y temperaturas medias anuales de 16°C (Alicahue).

b) Clima frío de altura

El Clima Frío de Altura, se localiza en la cordillera de los Andes por sobre los 3.000 metros de altura. Las bajas temperaturas y las precipitaciones sólidas, caracterizan este tipo climático, permitiendo la acumulación de nieve y campos de hielo de tipo permanentes en cumbres y quebradas de la alta cordillera.

En general, para ambos tipos climáticos, los valores registrados de precipitación, son mayores durante las temporadas invernales especialmente durante los meses de mayo, junio, julio y agosto (ver figura 2.1).

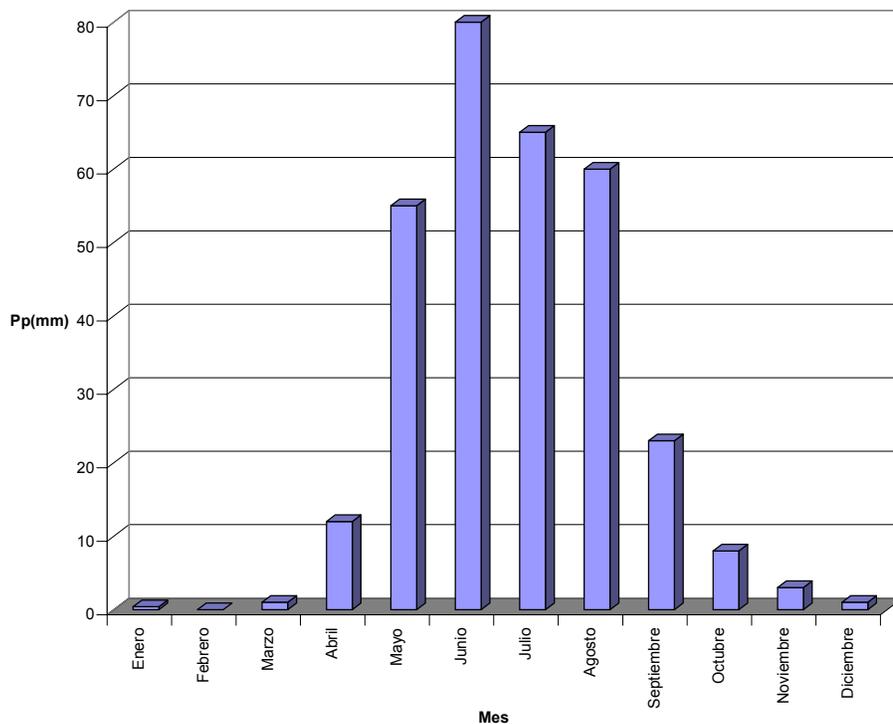


Figura 2.1: Montos de Precipitaciones Medias Mensuales registradas en Estación Pluviométrica de La Ligua

La escorrentía en el sector de Alicahue en Colliguay, presenta valores aproximados de 106 mm/año.

Desde el punto de vista de disponibilidad de los recursos hídricos, en el sector centro de la cuenca (Cabildo), la evaporación potencial alcanza los 1.750 mm/año y en sectores altos (río Alicahue), 1.559 mm/año [Ref. 2.2].

Ligua

6.

2.2.2 Geología y volcanismo

Con respecto a la geología, la zona se caracteriza por presentar una gran potencia de rocas ígneas efusivas, inter-estratificadas con sedimentos marinos y continentales, cuyas edades fluctúan entre el Mioceno Superior-Cretácico Superior y Terciario Inferior.

Los sedimentos marinos están restringidos al Jurásico y Cretácico Inferior distribuyéndose en el sector de la Cordillera de la Costa y en la frontera con Argentina en la Cordillera de los Andes.

Las principales formaciones presentes en el área de estudio son:

a) Formación La Ligua

Sobre el zócalo paleozoico, yace en forma discordante un espesor de rocas constituido por lavas de queratófiro, brechas y tobas con intercalaciones de pizarras, areniscas, cuarcitas y conglomerados de poco desarrollo, debidamente plegadas, definidas como formación La Ligua de edad Triásica Superior. Se ubican en la vertiente norte del valle, en el sector de Pullalli, y al Sur en la localidad de La Higuera.

b) Formación Quebrada El Pobre

La formación presenta su desarrollo típico en la quebrada homónima, en los cerros al Este de ella. Esta formación de edad liásico inferior, consiste en areniscas y lutitas con delgadas intercalaciones de rocas volcánicas y areniscas cuarcíferas de transgresión en la base. Su techo es la transición gradual a queratífros de la formación Ajial. En el fondo de la quebrada Granadillos, los estratos están fuertemente alterados por el batolito que los instruye; las rocas están blanqueadas y a veces salificadas.

c) Formación Ajial

Esta formación está compuesta por lava queratofírica con intercalaciones de tobas, brechas y rocas sedimentarias lenticulares, subyace a una gruesa secuencia de brechas y tobas con intercalaciones de areniscas que se definen como base de la formación Melón y cuyo límite no es claro. Algunos autores incluyen esta secuencia dentro de la formación Ajial. El límite inferior de la formación está marcado por la transición de los sedimentos marinos de

la formación quebrada El Pobre a las rocas volcánicas. El límite superior no está bien definido, ni en su litología, ni estratigráficamente, presentando por lo general, una gruesa serie de brechas y tobas con intercalaciones de areniscas, que corresponden a la formación Melón.

d) Formación Abanico

Secuencia volcano-clástica continental de colores predominantes gris pardo y púrpura rojo grisáceo, que corresponde a una subdivisión de la formación Farellones y la base, la discordancia angular sobre la formación Cristo Redentor, en un lugar reducido; en la mayor parte de la región, la base la constituye la pseudoconcordia algo confusa sobre la formación San José.

La parte basal de la formación, tiene edad post-neocomiana puesto que sobreyace discordantemente a sedimentos marinos con fósiles del neocomiano. Por otra parte, la inconsistencia de la estratigrafía con dataciones radiométricas efectuadas en la zona, impide fijar la edad del techo de esta formación. Sin embargo, las dataciones y fauna fósil de niveles estratigráficamente más bajos, permiten asignarle una edad terciaria inferior.

e) Formación Farellones

Secuencia de rocas volcano-clásticas continentales, en la cual se distinguen tres miembros:

- Miembro Tuquito (Inferior): Consiste en brechas, tobas, lavas andesíticas y riolíticas, conglomerados, tuquitas y lutitas.
- Miembro Guanaco (Medio): Conformado por brechas, tobas lavas andesíticas y basálticas.
- Miembro Buitre (Superior): Corresponde a una gruesa secuencia de lavas basálticas y andesíticas.

Estos procesos depositacionales rellenaron buena parte de las quebradas tributarias y los tramos superiores de los valles principales. Hacia los cursos inferiores, estos sedimentos consisten predominantemente de gravas y arenas fluviales gruesas en las capas existentes por encima del actual piso del valle. Por debajo del nivel anterior y dentro de la región próxima a la línea costera, se encontrarían sucesivamente y de acuerdo a los datos entregados por los sondajes de captación o de reconocimiento, materiales más bien finos y con

Ligua

8.

fuerte proporción de limos y arcillas; más abajo seguiría un espesor de 30 a 50 metros de sedimentos en general gruesos con frecuentes intercalaciones de bolones y capas permeables que contienen acuíferos en presión; hacia el fondo de la profundidad alcanzada por los sondajes se localizarían otra vez depósitos de granulometría en general fina y que presumiblemente se continuarían como predominantes hasta el contacto con el lecho de rocas fundamentales.

Los sedimentos fluviales antiguos, en el sector visible de arenas y gravas gruesas, presentan rodados a menudo muy bien redondeados y con especial abundancia de clastos de rocas graníticas, aunque se ubican en prácticamente todas las unidades rocosas fundamentales reconocibles en la hoya hidrográfica.

Las gravas y arenas fluviales antiguas incluyen algunas capas, generalmente con mayor predominio de finos arcillosos, las cuales presentan una mayor descomposición por meteorización y que parecen revelar lapsos relativamente prolongados durante los cuales cesó o disminuyó el ritmo de acumulación, permitiendo un mejor desarrollo de las acciones de meteorización. Es probable que en profundidades, por debajo del piso actual del valle en estudio, las intercalaciones descompuestas sean más abundantes y ellas justificarían la menor calidad de las aguas de los acuíferos inferiores confinados.

Las rocas intrusivas constituyen varias unidades diferentes, denominadas Batolito de la Costa, Batolito Central y Batolito de la Cordillera de los Andes, que se han desarrollado durante el intervalo de tiempo comprendido entre el Paleozoico y el Terciario Superior [Ref. 2.3]

La cuenca del río La Ligua, no presenta actividad volcánica.

2.2.3 Hidrogeología

A lo largo del valle se han reconocido dos tipos de acuíferos, uno de características libres y otro de tipo confinado [Ref. 2.4].

El primer acuífero se extiende a lo largo de todo el valle, corresponde al relleno más superficial, está compuesto por material granular, gravas y arenas y presenta una estructura y ubicación tal, que permite una gran interacción con los eventuales flujos superficiales del cauce, posee espesor variable en el valle de 10 a 30 metros aproximadamente.

El acuífero confinado se encuentra, aproximadamente, desde la localidad de La Ligua y hacia la carretera Panamericana. Esta unidad queda en evidencia a partir de la estratigrafía de los sondajes de esta zona, los que muestran la presencia de estratos de arcilla y limos, que confinan rellenos granulares más profundos, situación constatada en la surgencia de algunos pozos perforados de este sector. De acuerdo a dichos sondajes se ha reconocido una potencia superior a 30 metros para este acuífero, ubicado a partir de los 25 a 30 metros de profundidad.

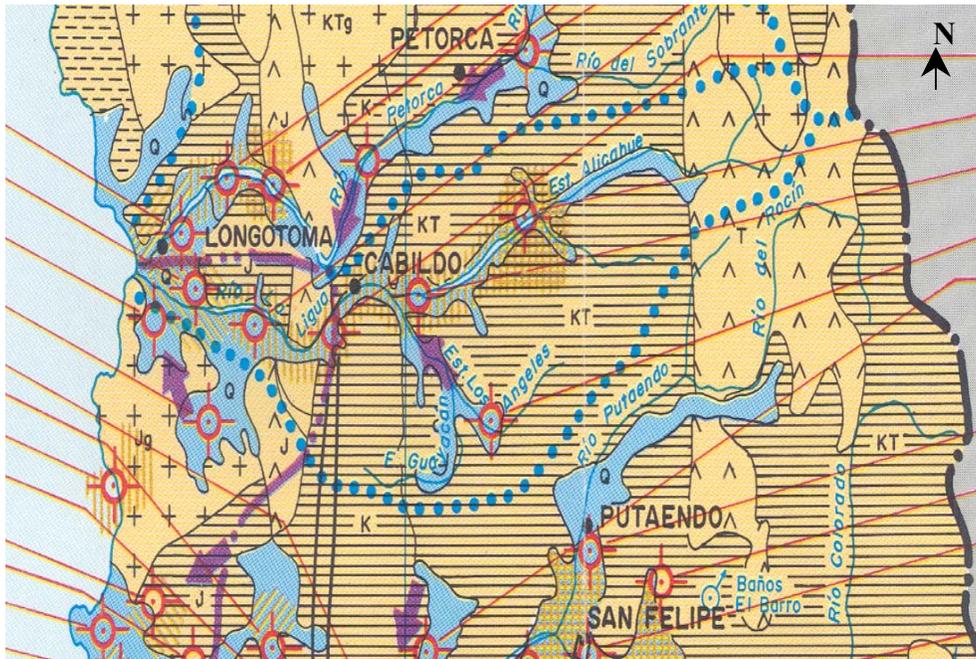
La hidrogeología de la cuenca según las características de permeabilidad de la roca, se puede describir del siguiente modo:

Al poniente de la cordillera de Los Andes se encuentra mayoritariamente terrenos con baja permeabilidad y un área de menor dimensión con alta permeabilidad ubicada en el sector alto del estero Alicahue y otra en el sector de estero Los Ángeles. La cordillera de la costa presenta una muy baja permeabilidad.

La depresión intermedia presenta valles con permeabilidades mayores en las cercanías del cauce del río, en el borde costero presenta una alta permeabilidad de roca. [Ref. 2.5]

El movimiento del acuífero es en sentido del movimiento del cauce principal del río.

La figura 2.2 obtenida desde el Mapa Hidrogeológico de Chile de la DGA [Ref. 2.4] representa las características hidrogeológicas generales de la cuenca del río La Ligua.



[Ref. 2.5]

Figura 2.2: Características Hidrogeológicas de la Cuenca del río La Ligua (Escala 1:1.000.000)

2.2.4 Geomorfología

La geomorfología característica de la cuenca del río La Ligua corresponde a un territorio formado por dos unidades morfológicas fundamentales: las planicies litorales fluviales y marinas o ambas a la vez, en la costa; y una zona montañosa interior donde la cordillera de la Costa y cordillera de Los Andes que se unen desde el punto de vista del relieve.

El río La Ligua escurre por un valle que es típico de los valles transversales de la zona central, V Región. Este cauce limita al norte con el valle del río Petorca y al sur con el valle del río Aconcagua, el último de los valles transversales.

Desde el punto de vista geomorfológico, existe una serie de elementos fisiográficos que podrían ser identificados claramente. Los grupos principales son: Cordillera de Los Andes, valles Transversales y cordillera de la Costa.

El valle del río La Ligua desde su confluencia con el estero Alicahue, presenta llanuras fluviales reducidas y su cauce presenta un trazado de tipo recto. En este sector, se

presentan las máximas elevaciones, entre las más importantes se encuentran: Cerro Paihuen (1.254 m s.n.m.), Cerro Asta (1.295 m s.n.m.) y Cerro Pangué (1.240 m s.n.m.) por el norte y por el sur Monte Felipe (1.596 m s.n.m.) y Cerro de la Ciudad (1.562 m s.n.m.). Desde la localidad de Cabildo hasta su desembocadura en el mar, las llanuras fluviales son más amplias con respecto al tramo anterior y el tipo de trazado que presenta el río es de tipo anastomosado [Ref. 2.6].

2.2.5 Suelos

La cuenca del río La Ligua posee unidades taxonómicas similares a las del Valle del Aconcagua. Estas unidades corresponden básicamente a suelos anfisoles, inceptisoles y mollisoles que son característicos de la V Región de Valparaíso. A continuación, en la tabla 2.2, se describen las principales características que presentan estas unidades.

Tabla 2.2: Unidades Taxonómicas presentes en la cuenca del río La Ligua

Tipo	Zona	Características
Alfisoles	Se presentan en sectores costeros	Suelos con buen grado de evolución. En la vertiente poniente de la Cordillera de la Costa estos suelos se han desarrollado directamente a partir de roca granítica, presentando un fuerte incremento del contenido de arcilla en profundidad.
Inceptisoles	Situados preferentemente en la costa	Suelos de desarrollo incipiente que forman inclusiones en toda la región V, generalmente son derivados de terrazas marinas altas y de relieve plano a ligeramente inclinado, de colores pardo rojizos.
Mollisoles	Ubicados en el valle central	Suelos aluviales, en la zona que comprende a la región de Valparaíso alcanzan un desarrollo moderado. Cabe mencionar que sobre estos suelos se desarrolla la mayor parte de la agricultura de riego de la zona.

[Ref. 2.7]

Otra característica de los suelos presentes en la cuenca, es la presencia de suelos de terrazas remanentes, que constituyen los mejores suelos de la zona y se caracterizan por presentar perfiles profundos, bien desarrollados, de texturas medias a finas, de buena estructura y planos suavemente ondulados. Las características anteriores, permiten un buen desarrollo radicular y buena retención de humedad, los que se encuentran localizados en la zona del valle.

Ligua

12.

2.3 Flora y Fauna de la Cuenca del río La Ligua

2.3.1 Flora terrestre y acuática

Las comunidades vegetales tipo de esta cuenca son: Matorral Espinoso del Secano Interior (zona alta del río) y Matorral Estepario Arborescente (en el valle y desembocadura del río).

Las principales características de las comunidades vegetales tipo, son las siguientes:

- Matorral Espinoso del Secano Interior: es una comunidad característica por la presencia de arbustos altos, casi arbóreos y de espino (*Acacia caven*). Es típica la presencia de una pradera muy diversificada y con mucho desarrollo. Para esta formación, las especies comunes son *Acacia caven*-*Maytenus boaria*, *Lithrea cuastica*- *Peumus Boldus*, *Baccharis linearis*-*Plantago hispidula* y *Belpharocalyx cruckshanksii*- *Crinodendron patagua*.
- Matorral Estepario Arborescente: formación vegetal que tienden a predominar los matorrales leñosos altos e incluso sub- arbóreos, a modo de respuesta frente a la acción de condiciones físicas del medio más favorables. La fisonomía del paisaje vegetal, está dominada por los arbustos bajos y praderas anuales de gran desarrollo. En esta formación vegetal, se distinguen las siguientes especies: *Boldo*- *Mitique*, *Palo Colorado*- *Salvia Dulce*, *Coironcillo*- *Monte Negro* y *Suspiro*- *Quisquito*. [Ref. 2.8]

Respecto a la flora acuática a pesar que se conoce la presencia de vegetación acuática en la cuenca del Río La Ligua, esta no ha sido descrita sistemáticamente. [Ref. 2.9]

2.3.2 Fauna Acuática

La fauna acuática existente en la cuenca del río La Ligua está constituida por insectos acuáticos, organismos bentónicos macroinvertebrados y peces.

La fauna de insectos acuáticos no ha sido descrita sistemáticamente, por lo cual no es concluyente en los resultados, sino que más bien existe avistamientos casuales de estas especies en ciertos lugares de la cuenca.

Los organismos macroinvertebrados observados son dos: el *Aegla papudo* y el *cryphiops caementarius* (ambos catalogados en peligro de extinción).

Las especies piscícolas están representadas por cuatro especies que se ubican distribuidos a lo largo de toda la cuenca se encuentran representados en la tabla siguiente:

Tabla 2.3: Especies piscícolas presentes en la cuenca del río La Ligua

ESPECIE		Estado de conservación
Nombre Común	Nombre científico	
Pejerrey costero	Basilichthys microlepidotus	Vulnerable
Puye	Galaxias Maculatus	Peligro de extinción
Bagrecito	Trichomycterus aerolatus	Vulnerable
Pejerrey chileno	Cauque brevianalis	Peligro de extinción

[Ref. 2.9]

2.4 Sistemas Humanos

2.4.1 Asentamientos humanos

De acuerdo a la división político – administrativa, la cuenca del Río La Ligua ocupa una pequeña superficie de la V Región de Valparaíso (12,1%). Comprende la provincia de Petorca, y San Felipe de Aconcagua. A nivel comunal abarca las comunas de La Ligua, Cabildo, Papudo y Putaendo.

La población que abarca la cuenca alcanza al año 2002 a 50.903 habitantes considerando las principales localidades pobladas de la cuenca (ciudad de La Ligua y Cabildo), lo que corresponde al 3,3% del total de la población de la Región.

La localidad que presenta una mayor concentración de población, es la ciudad de La Ligua con 31.987 habitantes, representando un 63% del total de la población de la cuenca. Los datos de población total y total urbana para cada localidad, se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2.4: Población total cuenca del río La Ligua

Nombre Asentamiento	Población Total (2002)	Población Total Urbana 2002	Cauce Asociado a Localidad
La Ligua	31.987	24.214	Río La Ligua
Cabildo	18.916	18.916	Río La Ligua

[Ref. 2.10]

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

Los datos de población dada por el censo 2002 corresponden a datos a nivel comunal y no de ciudad.

2.4.2 Actividades económicas

La principal actividad económica en la cuenca, es la minera que está dada por la explotación de cobre en la ciudad de Cabildo. Las empresas que explotan este mineral son la compañía minera Cerro Negro S.A. (en forma subterránea) y por la minera Las Cenizas S.A. (planta y mina).

Actualmente la Minera Cerro Negro mantiene su planta de tratamiento de sulfuros con una capacidad de 9.000 toneladas anuales de concentrados de cobre. La producción anual de es de 2.400 toneladas de cobre fino.

La minera Las Cenizas es productora de concentrado de cobre y oro. Cuenta con faenas mineras en la ciudad de Cabildo, provincia de Petorca. Anualmente la planta produce 11.000 toneladas de cobre fino, 170 Kilos de oro y 3.000 Kilos de plata, todos estos productos contenidos en concentrados. [Ref. 2.11][Ref. 2.12]

Otra actividad económica importante en la zona es la actividad agropecuaria destacando la venta de ganado caprino.

2.5 Usos del Suelo

La información referente a los usos del suelo en la cuenca se presenta en la lámina 1940-LIG-01 y se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 2.5: Clasificación Usos del suelo cuenca del río La Ligua

Cuenca del río La Ligua (Ha)	Usos del suelo	Superficie (Ha)	Superficie de la cuenca destinada para cada uso (%)
198.000	Praderas	2.391	1,2
	Terrenos agrícolas y agricultura de riego	10.729	5,4
	Plantaciones forestales	625	0,3
	Áreas urbanas e industriales	519	0,3
	Minería Industrial	262	0,1
	Bosque nativo y bosque mixto	1.974	1
	Otros Usos*	172.433	87,1
Áreas sin vegetación	9.067	4,6	

*Referidos a los siguientes usos: Referidos a los siguientes usos: matorrales, matorral – pradera, rotación cultivo – pradera, áreas no reconocidas, cuerpos de agua, nieves – glaciares y humedales [Ref. 2.13]

2.5.1 Uso agrícola

El uso agrícola del suelo es el más importante de la cuenca. Los terrenos de uso agrícola, se ubican próximos al río La Ligua y comprenden una superficie de 10.729 Ha. La superficie de terrenos destinados a la rotación de cultivo - pradera comprende 680 Ha. [Ref. 2.13]

Los grupos de cultivos predominantes en la cuenca, corresponden a frutales, forrajeras y cereales. [Ref. 2.14]

2.5.2 Uso forestal

El uso de suelo de tipo forestal no es relevante en la cuenca. Las plantaciones de bosque comprenden una superficie de 625 Ha (0,3 % de la superficie total de la cuenca). La superficie forestal anterior está constituida principalmente por plantaciones de Pino Radiata y Eucaliptus. [Ref. 2.14]

Ligua

16.

2.5.3 Uso Urbano

Los terrenos destinados a uso urbano alcanzan una superficie de 519 Ha correspondientes sólo al 0,3% de la superficie total de la cuenca. Esta área comprende a ciudades, pueblos y zonas industriales.

Las localidades más importantes según el número de habitantes corresponden a La Ligua y Cabildo, con 24.214 y 18.916 habitantes respectivamente (según censo 2002). Estas localidades se emplazan en la zona baja del Valle, entre la confluencia del río La Ligua con el estero Los Angeles hasta la desembocadura.

La superficie destinada a la minería industrial, comprende una superficie de 262 Ha, equivalentes al 0,1% de la superficie total de la cuenca. [Ref. 2.13][Ref. 2.10]

Los datos de población dada por el censo 2002 corresponden a datos a nivel comunal y no de ciudad.

2.5.4 Áreas bajo Protección Oficial y Conservación de la Biodiversidad

La cuenca no posee Áreas bajo Protección Oficial.

Las Áreas de Conservación de la Biodiversidad en la cuenca de La Ligua, se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2.6: Áreas de Conservación de la Biodiversidad

Nombre sitio	Superficie (Ha)	Característica del ecosistema
Altos de Petorca y Alicahue	102.301	Cuenca y subcuenca. Matorral espinoso de las serranías, matorral esclerófilo andino, estepa altoandina de Santiago. Alto endemismo, con presencia de especies vegetales amenazadas o escasas, y especies de interés. Presencia de la población más importante de guanacos en Chile Centra. Hábitat reproductivo de numerosas especies.
Cordillera El Melón	42.586	Montañas y cerros: Cerros Chache, Altos Casa Piedra, Morro La Campana y Altas cumbres hasta Cerro El Caqui. Bosque esclerófilo costero, matorral estepario arborescente y matorral espinoso de las serranías. Alta diversidad botánica. Presencia del belloto del norte. Relativa pristinidad y potencia de regeneración. Constituye un corredor de fauna. Alto endemismo de vertebrados. Presencia de puma, especie con problemas de conservación.

[Ref. 2.13] [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 es el siguiente:

Tabla 3.1: Estaciones Fluviométricas de la Cuenca del río La Ligua

Nombre	Período de Registro
RÍO ALICAHUE EN COLLIGUAY	1963 – 2002
RÍO LIGUA EN QUINQUIMO	1979 – 2002

La ubicación de las estaciones se ilustra en la lámina 1940-LIG-02.

La cuenca del río Ligua tiene un régimen nival en su parte alta, en el afluente río Alicahue, y en la zona baja, cerca de desembocadura, un régimen pluvio – nival.

Para el análisis hidrológico se cuenta con dos estaciones fluviométricas, Alicahue en Colliguay, la cual tiene un régimen nival, y Ligua en Quinquimo, con régimen pluvio – nival.

Tabla 3.2: Grupos de Estaciones Fluviométricas

	Régimen	Nombre Estación
1	Nival	RÍO ALICAHUE EN COLLIGUAY
2	Pluvio – Nival	RÍO LIGUA EN QUINQUIMO

Para completar las estadísticas de estas estaciones, que muestran regímenes distintos, se utilizaron correlaciones lineales con estaciones de la cuenca vecina del río Petorca, debido a la semejanza que existe entre ellas, y a la cercanía entre las estaciones. Para rellenar la estadística de la estación Alicahue en Colliguay y Ligua en Quinquimo se usaron las estaciones Sobrante en Piñadero y Petorca en Longotoma respectivamente, ambas pertenecientes a la cuenca del río Petorca.

La estadística completada y extendida que se utiliza para el análisis de frecuencia se encuentra en el anexo 3.1, donde se presentan los datos calculados para completar la estadística.

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:

- Sistema de Información Integral de Riego (SIIR).
- Catastro Bosque Nativo CONAF – CONAMA.
- “Estrategia Regional y Plan de Acción de la Biodiversidad V Región de Valparaíso”, CONAMA-CONAF-SAG-INIA-DGA-SERNAP
- “Estudio de Síntesis de Catastros de Usuarios de Agua e Infraestructuras de Aprovechamiento”, Ricardo Edwards – Ingenieros Ltda. para DGA, MOP octubre 1991
- “Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile”, IPLA Ltda. para DGA, 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

La acuicultura es la actividad organizada por el hombre que tiene por objeto la producción de recursos hidrobiológicos, cualquiera sea su finalidad. Tratándose de las aguas continentales superficiales, corresponde a la Subsecretaría de Pesca informar sobre la existencia de zonas destinadas a la acuicultura. En este acápite se consideran sólo las actividades de acuicultura que se realizan en el cauce mismo (uso del agua in-situ). La acuicultura que se realiza fuera del cauce se incluye como uso extractivo de tipo industrial.

Para esta cuenca no existen zonas de acuicultura informadas por la Subsecretaría de Pesca.

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.

En esta cuenca no existen zonas donde se desarrolle esta práctica.

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 infraestructura de riego de la cuenca está formada por 190 canales, con una longitud de 246,2 km, 46 embalses menores y 8 mayores, de ella se sirven 1.906 usuarios para una superficie regada de 7.441, 51 há. Existiendo 36 Comunidades de Aguas.

La demanda bruta al año 1997 correspondía a 116.032.000 m³/año y la neta a 60.632.000 m³/año.[Ref. 3.1]

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.

En esta cuenca se identifican los sistemas La Ligua y Cabildo para abastecer de agua potable a la población. La fuente corresponde exclusivamente a aguas subterráneas.

La demanda bruta de la cuenca La Ligua en el año 2000 correspondía a 66.68 l/s, en tanto que para Cabildo era de 37.09 l/s.[Ref. 3.2]

c) Generación de energía eléctrica

En esta cuenca no existe generación de energía hidroeléctrica.

d) Actividad industrial

Esta cuenca no presenta demandas de agua para el desarrollo de actividades de tipo industrial.

e) Actividad minera

En esta cuenca se encuentran derechos de agua otorgados a distintas empresas mineras, tal como se expone a continuación:

Tabla 3.3: Demandas mineras de la cuenca del río La Ligua

Nombre	Fuente	Derechos (l/s)
Cía. Minera Cerro Negro	Est. Pilipeumo	47
Cía. Minera Cerro Negro	Q. Honda	22
Cía. Minera Cerro Negro	Qda. Guayacán	10
Emil Rausal	Q. Infiemillo	10
Emil Rausal	Q. Manantiales	1
Cía. Minas San Lorenzo	Est. Vitahue	100

[Ref. 3.2]

La información entregada en la tabla 3.3 no es posible de representar en la lámina de usos de agua, debido a que no se dispone de la ubicación exacta de la extracción de agua.

No se dispone de información para la localización de la quebrada Manantiales.

El resto de las minas utilizan recursos hídricos subterráneos.

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 La Ligua no existen sitios contemplados en el SNASPE.

En cuanto a la “Estrategia Regional y Plan de Acción de la Biodiversidad V Región de Valparaíso”, los sitios prioritarios de conservación de la 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-LIG-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 3.4, la cual contiene el tipo de uso del agua por segmento.

La tabla 3.4 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 3.4: Usos de agua por segmento en la cuenca del río La Ligua

Cauce	Segmento	Usos in situ		Extractivos					Biodiversidad*	Ancestrales
		Acuicultura	Pesca Deportiva Y Recreativa	Riego	Captación A.P.	Hidroelectricidad	Actividad Industrial	Actividad Minera		
Estero Alicahue	0520AL10			•					•	
	0520AL20			•					•	
Estero Los Ángeles	0521AN10			•						
	0521AN20			•				•		
Río La Ligua	0521LL10			•						
	0522LL10			•						
	0522LL20			•						
	0522LL30			•						

[Ref 3.2], [Ref. 3.3]

* En esta columna se incluye sitios SNAPE, sitios priorizados, santuarios, etc.

3.3 Descargas a Cursos de Agua

3.3.1 Descargas de tipo domiciliario

La cuenca del Río La Ligua posee una población urbana total estimada al año 2001 de 33.148 habitantes considerando las localidades con población mayor a 5.000 personas. Del total de población urbana presente en la cuenca, el 94% (31.164 habitantes) posee tratamiento de aguas servidas. Actualmente, la empresa de servicios sanitarios ESVAL S.A. provee con servicio alcantarillado y agua potable, así como de tratamiento de aguas servidas a las dos localidades que se emplazan en la cuenca, La Ligua y Cabildo.

Las localidades de La Ligua y Cabildo, poseen al año 2001 una población urbana estimada de 20.228 y 12.920 habitantes respectivamente. Su población saneada estimada al año 2002, es de 19.103 y 12.061 habitantes, equivalente al 94% y 93% respectivamente. A partir del 2005, se proyecta que ambas localidades cuenten con una cobertura de tratamiento de aguas servidas de 97% en La Ligua y 96% en la localidad de Cabildo.

A continuación, en la tabla 3.5 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 3.5: Descargas de Aguas Servidas

Localidad	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	Caudal (L/s)	DBO ₅ mg/l	pH	Sólidos Suspendidos mg/L	A y G mg/l	Cu mg/l	Fe disuelto mg/l	Colif. Fecales NMP/100 ml
La Ligua	0522LL - 20	Río La Ligua	EsvaI	95,1	20.228	19.103	SI	35,4	35	6,0 – 8,5	80	20	1	5	< 1,0E+03
Cabildo	0522LL - 10	Río La Ligua	EsvaI	94,1	12.920	12.061	SI	22,3	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(SISS).
- Las concentraciones de los parámetros característicos de las aguas servidas debe ser proporcionada por la empresa sanitaria ESVAL. 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 ESVAL S.A., 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

Ligua

26.

3.3.2 Descargas de tipo industrial

Una de las actividades económicas más importantes de la cuenca es la minería del cobre, representada por la Compañía Minera Las Cenizas y Cerro Negro, ubicadas en las proximidades de la localidad de Cabildo. Los cauces receptores afectados por los efluentes de las mineras, son el Río La Ligua y Estero Los Angeles.

En la tabla 3.6 se incluye información acerca de las mineras antes mencionadas que se localizan en la cuenca, sus cargas contaminantes, el cuerpo receptor afectado, la localización de las mineras, entre otros.

Ligua

28.

Tabla 3.6: Residuos Industriales Líquidos

Industria	Comuna	Segmento asociado a la Descarga	Cuerpo Receptor	CIIU	Caudal (L/s)	pH	T	SS	SD	A y G	HC	DBO ₅	As	Cd	CN	Cu	Cr	P	Hg	Ni	NH ₄	Pb	SO ₄	Zn	PE	B	Al	Mn
Compañía Minera Las Cenizas	Cabildo	0522LL - 10	Río La Ligua	23023	Nd	8,4	*	0,7	914				*	0,004	*	0,08	*		<0,0001	*		0,04	381	*				0,29
Compañía Minera Las Pataguas	La Ligua	0522LL - 20	Río La Ligua	23023	Nd	9,4	*	0,1	365				*	<0,002	*	0,2	*		0,0001	*		0,013	227	*				*
Minera Cerro Negro	Cabildo	0521AN - 20	Estero Los Angeles	23023	Nd	7,8	*	*	*				*	*	*	0,07	*		*	*		*	545	*				*

NOTA:

Nd: información no disponible.

Las unidades de concentración de los parámetros físico – químicos están expresados en mg/L.

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,

Ligua
30.

3.3.3 Contaminación Difusa

Aplicando la metodología de estimación de la Contaminación Difusa para el segmento del río La Ligua en Quinquimo, se puede concluir que potencialmente existen algunos compuestos activos que podrían estar sobre el valor establecido para Clase 1 en el IP. Estos serían: Captán, Clorotalonil, 2.4-D, Dicoflop-metil y Atrazina+N-dealkyl metabolitos. Dado que la agricultura del sector 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 contaminación difusa del río La Ligua.

3.4 Datos de Calidad de Agua

3.4.1 Fuentes de Información

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

Ligua

32.

- a) Monitoreo de Calidad de aguas de la DGA, período de registro desde 1980-2002

REGISTRO DE PROGRAMA DE MONITOREO DGA					
Cuenca	Río La Ligua				
Cuerpos de Agua Monitoreados	Medición de Caudal	N° Parámetros Medidos	N° Parámetros Medidos en Instructivo	Período de Registro	N ° de Registros
Río La Ligua					
Después Estero Alicahue y Estero Los Angeles (*)	NO	13	10	1994	1
En Cabildo	NO	12	8	1980-2002	75
En Quinquimo	SI	32	19	1994-2002	17
En Panamericana (*)	NO	30	19	1982-1996	54
Río Alicahue					
En Colliguay	SI	29	18	1984-2002	66
Estero Los Angeles					
Antes Río La Ligua	NO	17	10	1980-2002	59
Parámetros medidos Instructivo					
• Indicadores fisico-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) Análisis y Evaluación de los Recursos Hídricos de Las Cuencas de los Ríos Petorca y La Ligua. Realizado por IPLA Ltda. con la asesoría de AC Ingenieros Consultores Ltda., 1998.

Este estudio contiene información de calidad de aguas superficiales de los ríos La Ligua y Petorca y algunos de sus afluentes. Los análisis presentados en este documento se basan en registros de la DGA para los siguientes parámetros: pH, conductividad eléctrica, cloruro, bicarbonato, carbonato, sulfato, sodio, potasio, calcio, magnesio, hierro, nitrato y boro. Por lo tanto, no representan información adicional a considerar en el análisis de esta cuenca.

- c) Programa de Seguimiento del Proyecto: Control de la Contaminación de Recursos Naturales Renovables -SAG.

Este programa de seguimiento del SAG contempla el muestreo de efluentes y del cuerpo receptor antes y después de la descarga de la Minera Las Cenizas y Minera Cerro Negro. En el caso del río La Ligua se dispone de información puntual de los siguientes parámetros: conductividad eléctrica, pH, sólidos totales, cloruro, sulfato, cobre, molibdeno, mercurio y plomo.

d) Programa de Monitoreo de ESVAL. Planta Los Maitenes

Este programa de monitoreo de ESVAL considera el muestreo 20 metros antes de la descarga de la Planta Los Maitenes y 100 metros después de ésta. Esta planta descarga en el río La Ligua cerca de la estación de monitoreo río La Ligua en Panamericana. En este caso, los muestreos entregan información puntual de los siguientes parámetros: DBO₅, sólidos suspendidos y coliformes fecales.

e) Programa de Muestreo Puntual CADE-IDEPE

El detalle se presenta en el acápite 4.2.3.

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, 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 La Ligua se encontró que la información de los siguientes parámetros es equivalente al límite de detección por repetirse constantemente en los registros existentes: boro (<1 mg/l); selenio y mercurio (<1 µg/l); cromo, níquel y cadmio (<10 µg/l); molibdeno y plomo (<0.01 mg/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 el análisis de la cuenca del río La Ligua, se presenta en la forma de 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

a) Subcuenca del Alicahue

- Alicahue en Colliguay

Esta estación se ubica en el río Alicahue, aguas arriba de la junta con quebrada La Cerrada, a 1780 m s.n.m.

En la tabla 4.1 y figura 4.1, donde se presentan los caudales mensuales para distintas probabilidades de excedencia, es posible apreciar un claro régimen nival.

En años húmedos los mayores caudales ocurren entre octubre y diciembre, producto de deshielos, mientras que los menores se presentan entre febrero y junio.

En años secos los caudales se distribuyen de manera más uniforme, sin mostrar grandes variaciones a lo largo del año. Los mayores caudales ocurren entre julio y octubre, mientras que los menores se presentan entre diciembre y mayo, como puede apreciarse la tabla 4.1.

Tabla 4.1: Río Alicahue en Colliguay (m^3/s)¹

Pex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	1.407	1.275	2.033	3.255	4.212	7.422	9.285	20.837	9.408	3.499	2.304	1.571
10	1.085	1.062	1.550	2.390	3.058	4.699	6.221	10.731	5.480	2.492	1.726	1.209
20	0.791	0.836	1.117	1.644	2.075	2.730	3.818	4.803	2.875	1.652	1.217	0.880
50	0.433	0.497	0.596	0.805	0.989	1.027	1.473	1.034	0.895	0.753	0.624	0.480
85	0.206	0.225	0.275	0.334	0.397	0.388	0.415	0.156	0.286	0.286	0.274	0.228
95	0.133	0.128	0.175	0.199	0.232	0.265	0.170	0.051	0.190	0.162	0.169	0.147
Dist	L2	G2	L2	L2	L2	L3	L3	L2	L3	L2	L2	L2

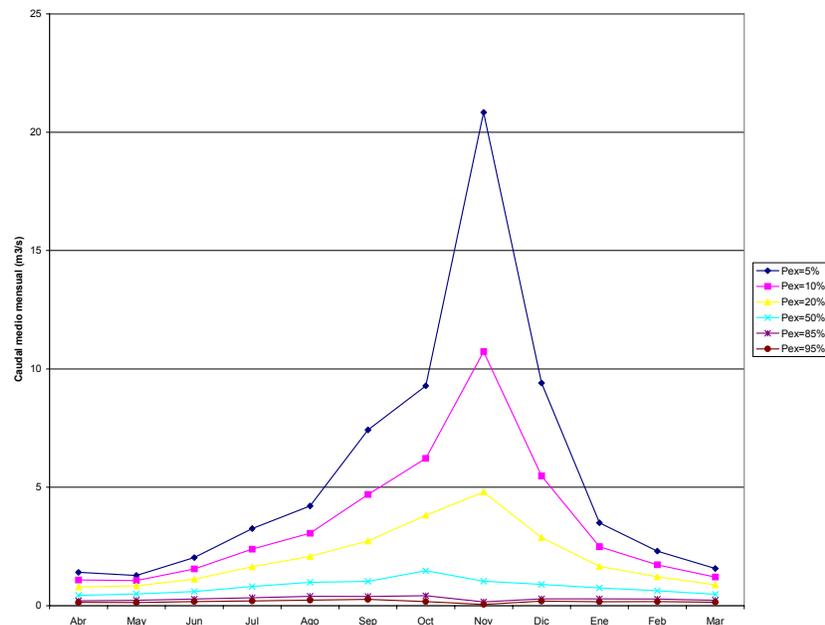


Figura 4.1: Curva de Variación Estacional Río Alicahue en Colliguay

¹ Donde: Pex (%) corresponde a la probabilidad de excedencia, y la fila Dist entrega la abreviatura de la distribución de mejor ajuste para el mes correspondiente. La abreviatura corresponde a la 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

b) Subcuenca del Ligua

- Ligua en Quinquimo

Se ubica en el río Ligua, muy cerca de su desembocadura, a 18 m s.n.m.

En la tabla 4.2 y figura 4.2 se presentan los caudales mensuales para diferentes probabilidades de excedencia.

En años húmedos los mayores caudales ocurren entre junio y noviembre, producto de lluvias invernales y deshielos primaverales. Los menores caudales ocurren entre enero y mayo.

En años secos los caudales medios mensuales se presentan muy bajos a lo largo de todo el año, con valores inferiores a 100 l/s, salvo leves aumentos que ocurren entre julio y septiembre que no superan los 600 l/s.

Tabla 4.2: Río La Ligua en Quinquimo (m³/s)

Pex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	1.017	2.738	11.735	28.460	17.745	15.61	42.811	18.334	5.512	1.435	1.158	0.525
10	0.532	1.755	5.984	15.952	11.207	9.558	15.871	8.580	2.925	0.784	0.607	0.302
20	0.243	1.022	2.655	7.912	6.410	5.268	4.775	3.420	1.358	0.377	0.277	0.154
50	0.054	0.358	0.577	2.072	2.176	1.668	0.488	0.590	0.313	0.093	0.062	0.043
85	0.009	0.091	0.107	0.398	0.537	0.378	0.037	0.068	0.051	0.017	0.010	0.009
95	0.003	0.036	0.053	0.151	0.210	0.14	0.014	0.019	0.018	0.006	0.003	0.004
Dist	L2	L3	L3	L2	L3	L3	L3	L2	L2	L2	KS	L2

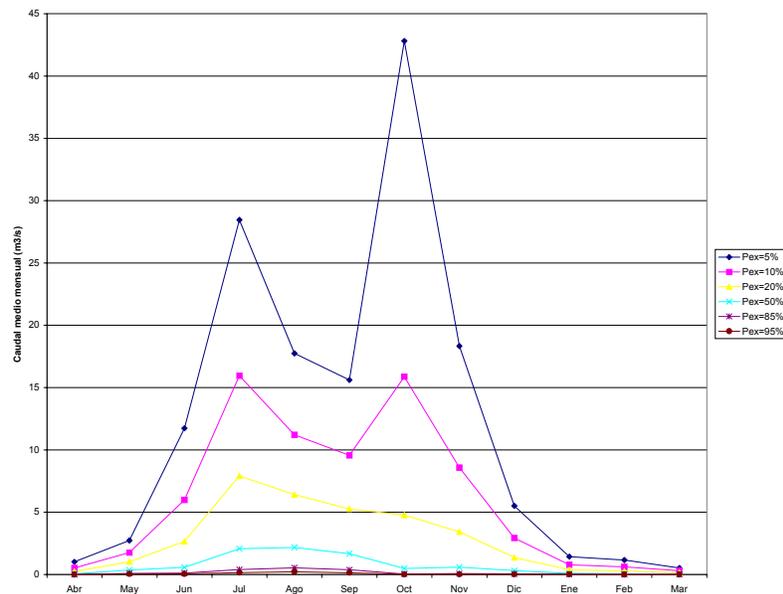


Figura 4.2: Curva de Variación Estacional Río Ligua en Quinquimo

4.1.2 Conclusiones

De acuerdo con las curvas de variación estacional, esta cuenca se ha caracterizado hidrológicamente, poniendo especial énfasis en determinar el período de estiaje.

a) Subcuenca del Alicahue

Corresponde a la cuenca del río Alicahue, desde su nacimiento hasta su junta con el estero Los Angeles, donde se da origen al río La Ligua. Muestra un régimen nival con sus mayores crecidas entre octubre y diciembre, producto de deshielos primaverales. El período de estiaje ocurre en el trimestre marzo, abril, mayo.

b) Subcuenca del La Ligua

Es la hoya hidrográfica del río La Ligua, que abarca desde la junta del Alicahue con el estero Los Angeles hasta la desembocadura del La Ligua en el océano Pacífico. Muestra un régimen pluvio – nival, ya que los aportes pluviales se hacen más importantes que en la subcuenca anterior, por estar ésta a una menor elevación. El período de mayores caudales ocurre entre julio y noviembre. El período de estiaje se observa en el trimestre febrero, marzo, abril, debido fundamentalmente al uso de agua para el riego.

A continuación se muestra una tabla resumen con los períodos de estiaje para las distintas subcuencas de la cuenca del río La Ligua

Tabla 4.3: Períodos de Estiaje para Subcuencas de la Cuenca del río La Ligua

Nº	Subcuenca	Período Estiaje
1	Alicahue	Marzo – Abril – Mayo
2	La Ligua	Febrero – Marzo – Abril

4.2 Análisis de la Calidad de Agua

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 para la caracterización de la calidad de agua de la cuenca, corresponde seleccionar los parámetros a analizar. Los parámetros seleccionados están formados por: parámetros obligatorios y parámetros principales. Los parámetros obligatorios son 6 y siempre los mismos para todas las cuencas. Los parámetros principales son propios de cada cuenca, por ser significativos desde el punto de vista de la calidad de agua.

a) Parámetros obligatorios

Los parámetros obligatorios definidos en la metodología para el análisis de la calidad de agua en todas las cuencas son: pH, DBO₅, conductividad, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos y coliformes fecales. En la tabla 4.4 se les denomina “obligatorios”.

Ligua

40.

b) Parámetros principales

Para seleccionar los parámetros principales se compara el valor que aparece, en el *Instructivo* como 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 4.4 se indica el rango máximo y mínimo de todos los parámetros del *Instructivo* que poseen datos registrados en la BDD. Aquellos sin datos se señalan como “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 esta cuenca.

Tabla 4.4: Selección y Rango de los Parámetros de calidad en la cuenca del río La Ligua

PARAMETROS	UNIDAD	MINIMO	MAXIMO	CLASE 0	SELECCIÓN
FISICO-QUÍMICOS					
Conductividad Eléctrica	μS/cm	110	999	<600	Obligatorio
DBO ₅	mg/L	s/i	s/i	<2	Obligatorio
Color Aparente	Pt-Co	s/i	s/i	<16	No
Oxígeno Disuelto	mg/L	4.7	15.6	>7.5	Obligatorio
pH	unidad	6.3	9.8	6.5 - 8.5	Obligatorio
RAS	-	0.2	1.5	<2.4	No
Sólidos disueltos	mg/L	s/i	s/i	<400	No
Sólidos suspendidos	mg/L	s/i	s/i	<24	Obligatorio
ΔTemperatura	°C	-	-	<0,5	No
INORGANICOS					
Amonio	mg/L	s/i	s/i	<0.5	No
Cianuro	μg/L	s/i	s/i	<4	No
Cloruro	mg/L	3.0	81.5	<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	12.5	165.5	<120	Si
Sulfuro	mg/L	s/i	s/i	<0.04	No
ORGANICOS	-	s/i	s/i	-	No
ORGANICOS PLAGUICIDAS	-	s/i	s/i	-	No

Tabla 4.4 (Continuación): Selección y Rango de los Parámetros de calidad en la cuenca del río La Ligua

PARAMETROS	UNIDAD	MINIMO	MAXIMO	CLASE 0	SELECCIÓN
METALES ESENCIALES					
Boro	mg/l	<1	<1	<0.4	No
Cobre	µg/L	<10	110	<7.2	Si
Cromo total	µg/L	<10	<10	<8	No
Hierro	mg/L	<0.01	3.6	<0.8	Si
Manganeso	mg/L	<0.01	0.4	<0.04	Si
Molibdeno	mg/L	<0.01	<0.01	<0.008	No
Níquel	µg/L	<10	20	<42	No
Selenio	µg/L	<1	<1	<4	No
Zinc	mg/L	<0.01	0.03	<0.096	No
METALES NO ESENCIALES					
Aluminio	mg/L	<0,01	3.7	<0.07	Si
Arsénico	mg/L	<0,001	0.03	<0.04	No
Cadmio	µg/L	<10	<10	<1,8	No
Estaño	µg/L	s/í	s/í	<4	No
Mercurio	µg/L	<1	<1	<0.04	No
Plomo	mg/L	<0,01	<0,01	<0,002	No
MICROBIOLOGICOS					
Coliformes Fecales (NMP)	gérmenes/100 ml	s/í	s/í	<10	Obligatorio
Coliformes Totales (NMP)	gérmenes/100 ml	s/í	s/í	<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
 - DBO₅
 - Oxígeno Disuelto
 - pH
 - Sólidos Suspendidos
 - Coliformes Fecales

- Parámetros Principales
 - Cloruro
 - Sulfato
 - Cobre

Ligua

42.

- Hierro
- Manganeso
- Aluminio

De acuerdo al programa de muestreo puntual realizado por CADE–IDEPE (ver 4.2.5), los siguientes parámetros exceden la clase 0, de manera que también son considerados como parámetros seleccionados.

- Color Aparente
- Sólidos Disueltos
- Estaño
- Coliformes Totales

Los parámetros cuyo valor máximo registrado en la BDD no excede el límite de la clase 0 son considerado que siempre pertenecen a dicha clase. Estos parámetros son los siguientes: RAS, níquel, zinc y arsénico.

No es posible realizar un análisis de los parámetros siguientes: cromo, boro, cadmio, mercurio, plomo y molibdeno, ya que los límites de detección (LD) de los ensayos experimentales son superiores al valor de la clase 0.

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 período 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 La Ligua: conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto, cloruro, sulfato, cobre, hierro, manganeso y aluminio.

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 4.5.

Tabla 4.5: Tendencia Central de Parámetros de Calidad de Agua

CUENCA RIO LA LIGUA
<p>Conductividad Eléctrica:</p> <p><u>Río La Ligua:</u></p> <p>El análisis de este parámetro se realiza comparando las tendencias centrales en las estaciones Cabildo y Panamericana, ya que la estación Quinquimo tiene escasos registros que no muestran una tendencia clara. En las dos primeras estaciones, la comparación se refiere al período común 1982-1995. En este período, la estación Cabildo tiene valores de su tendencia central correspondientes a la Clase 0, con valores en el rango de 400 a 500 $\mu\text{S/cm}$, mientras que la estación Panamericana muestra una tendencia creciente del parámetro pasando de la Clase 0 a la Clase 1, superando los 600 $\mu\text{S/cm}$. Esta situación corresponde a un aumento sostenido a través del tiempo, aspecto que podría ser consecuencia de descargas de origen antrópico. Aún así, la tasa de aumento es extremadamente moderada.</p>
<p>pH:</p> <p><u>Río La Ligua:</u> Se observa en un primer registro, entre 1982-1987, un comportamiento disímil entre las estaciones Cabildo y Panamericana. Mientras en Cabildo se observan valores con una tendencia central decreciente, en Panamericana se observan valores con una tendencia central creciente, alcanzando ambas un valor alcalino cercano a 7,9 en el año 1996.</p>
<p>Oxígeno Disuelto:</p> <p><u>Río La Ligua:</u> En el período 1985-1997 se pueden comparar la tendencia central en las estaciones de Cabildo y Panamericana, que muestran valores muy similares, cercanos a 10 mg/L, situación que podría corresponder a condiciones de sobresaturación de la muestra de agua en la zona baja. La tendencia central del OD en la estación en Quinquimo tienen un período de registro más restringido 1997-2002, 5 años, con un comportamiento bastante alterado presentando un rango de valores de las concentraciones entre 8-10 mg/L, cuya explicación es difícil de precisar. En particular, la estación Cabildo muestra una tendencia central que decrece en los últimos años, desde 10 hasta 9,5 mg/L.</p>
<p>Concentración de Cloruro:</p> <p><u>Río La Ligua:</u> La tendencia central del cloruro en Cabildo es uniforme en toda la serie de tiempo de 20 años, con un valor aproximado a 15 mg/L. En la estación Panamericana presenta un comportamiento disímil para tender a estabilizarse en los últimos 4 años de registro (1993-1997) en un valor de 35 mg/L. La tendencia en la estación Quinquimo no es homogénea, no permite análisis en una serie de tiempo. Los últimos registros están cercanos a un valor de 40 mg/L lo que indica un aumento a lo largo del río.</p>
<p>Concentración de Sulfato:</p> <p><u>Río La Ligua:</u> La comparación de las tendencias centrales sólo se puede realizar para las estaciones Cabildo y Panamericana en el período 1982-1997, ya que al igual que otros parámetros la estación Quinquimo tiene escasos registros. En ambos casos la tendencia central pertenece a la clase 0 no superando los 80 mg/L, sin embargo en Panamericana se presenta un aumento progresivo a través del tiempo, coincidiendo con los aumentos de otros parámetros, entre ellos la conductividad eléctrica que tienen tendencias similares.</p>

Tabla 4.5 (Continuación): Tendencia Central de Parámetros de Calidad de Agua

CUENCA RIO LA LIGUA	
Concentración de Cobre:	
<u>Río La Ligua:</u> La tendencia central en la estación Cabildo presenta dos comportamientos en una primera serie de tiempo (1982-1995) donde tiende a aumentar y luego disminuye fuertemente para tender a estabilizarse desde 1995 en adelante alrededor de 20 mg/L. No es posible analizar la tendencia a lo largo del río, porque las otras estaciones presentan una alta dispersión (panamericana) y escasos registros (Quinquimo).	
Concentración de Hierro:	
<u>Río La Ligua:</u> La tendencia central del hierro en una primera serie de tiempo no es uniforme (1982-1987), desde 1998 en adelante presenta una disminución en el tiempo y un aumento a lo largo del río para permanecer constante en un valor de 0.15 mg/L en la estación de Cabildo y en 0.25 mg/L en la estación panamericana, las dos estaciones tienden a presentar un comportamiento similar.	
Concentración de Manganeso:	
<u>Río La Ligua:</u> Las series de tiempo del manganeso son restringidas, la tendencia es variable en cada estación el mayor registro se encuentra en la estación de Cabildo serie de 8 años (1995-2002) que presenta un comportamiento uniforme en el tiempo con un valor muy bajo cercano a 0.02 mg/L, la estación de Quinquimo con un registro de 5 años(1998-2002) valor entre 0.10- 0.14 mg/L. El registro en la estación Panamericana es de 2 años, lo que no permite análisis en una serie de tiempo.	
Concentración de Aluminio:	
<u>Río La Ligua:</u> El comportamiento de las curvas de tendencia central son disímiles, con series de tiempo muy restringidas que no permiten realizar un análisis detallado.	

4.2.3 Programa de Muestreo Puntual CADE-IDEPE

Este programa está orientado a complementar la información existente en la base de datos disponible y considera tres aspectos claves: en primer lugar, la red actual de monitoreo existente está orientada a medir parámetros inorgánicos de tal modo que no se dispone de información orgánica; en segundo término, la información complementaria está enfocada verificar la clase actual en algunos segmentos de los cauces seleccionados y en tercer lugar, se requiere contar con una información puntual en cauces en los cuales se carece de toda otra información. En el caso de esta cuenca, se ha privilegiado las mediciones inmediatas en zonas donde no existen datos de monitoreo y posibles efectos antrópicos no monitoreados

en la actualidad. Se incluyen mediciones de los parámetros que no registran mediciones anteriores.

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

Considerando estos aspectos en octubre 2003 se llevó a cabo el siguiente programa de muestreo:

Tabla 4.6: Programa de Muestreo

Segmento	Puntos de muestreo	Situación	Parámetros a medir en todos los puntos
0520-AL-10	Estero Alicahue en Colliguay	Estación DGA, vigente	DBO ₅ , Color, SD,
0521-AN-20	Estero Los Angeles a/j río La Ligua	Estación DGA, vigente	SST, NH ₄ , CN ⁻ , F ⁻ ,
0522-LL-30	Río La Ligua en Quinquimo	Estación DGA, vigente	NO ₂ ⁻ , S ₂ ⁻ , Sn, CF, CT

4.2.4 Base de Datos Integrada (BDI)

Para la caracterización de la calidad de agua de la cuenca, se establece la denominada *Base de Datos Integrada* (BDI), la cual contiene datos recopilados de monitoreos o muestreos realizados a la fecha (información de nivel 1 al nivel 3), datos del Programa de Muestreo Puntual realizado por CADE-IDEPE durante el desarrollo de la presente consultoría (información nivel 4) y estimaciones teóricas (información nivel 5) de los parámetros obligatorios DBO₅, sólidos suspendidos y coliformes fecales, en caso de carecer de información de nivel superior. El método de cálculo de estos parámetros se presenta en la Sección II del Informe Final, la cual está destinada a presentar la metodología general del estudio.

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

Ligua

46.

a información de Nivel 2 y se representa en las tablas de calidad de 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 de agua por el valor entre dos paréntesis. (ejemplo OD = ((10,5)))

En el caso de la cuenca de La Ligua la información que compone la BDI es la siguiente:

- Información DGA:

Nivel 1, 2, 3 para los períodos estacionales de invierno, verano, primavera y otoño.
- Programa de Muestreo Puntual CADE-IDEPE: Nivel 4
- Estimaciones información Nivel 5
- Información de Otras Fuentes:
 - ESVAL, Planta Los Maitenes. Información nivel 3.
 - SAG, descarga minera Las Cenizas y minera Cerro Negro. Información nivel 3.

Para la cuenca de La Ligua, la Base de Datos Integrada (BDI) se presenta en la forma de 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 4.7 se presentan los valores característicos por período estacional de los parámetros seleccionados en la cuenca de La Ligua, incluyendo la clase correspondiente para cada uno de ellos de acuerdo al Instructivo.

Tabla 4.7: Calidad de Agua por Períodos Estacionales en la cuenca de La Ligua. Información DGA

ESTACIÓN DE MUESTREO	Conductividad Eléctrica (µS/cm)							
	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
RIO ALICAHUE EN COLLIGUAY	247,2	0	291,2	0	241,6	0	175,8	0
RIO LIGUA EN CABILDO	513,2	0	626,2	1	500,0	0	448,5	0
RIO LIGUA EN QUINQUIMO	((907,0))	2	((825,7))	2	((665,2))	1	((506,6))	0
ESTERO LOS ANGELES A/J RIO LIGUA	692,3	1	385,0	0	370,0	0	369,3	0
RIO LIGUA EN PANAMERICANA	813,4	2	804,9	2	642,2	1	673,9	1

ESTACIÓN DE MUESTREO	Oxígeno Disuelto (mg/l)							
	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
RIO ALICAHUE EN COLLIGUAY	9,2	0	11,0	0	11,5	0	10,4	0
RIO LIGUA EN CABILDO	(8,5)	0	10,0	0	9,8	0	10,9	0
RIO LIGUA EN QUINQUIMO	((6,9))	2	((5,8))	2	((10,7))	0	((8,7))	0
ESTERO LOS ANGELES A/J RIO LIGUA	(8,2)	0	10,1	0	9,8	0	9,7	0
RIO LIGUA EN PANAMERICANA	8,0	0	10,4	0	(10,7)	0	10,5	0

ESTACIÓN DE MUESTREO	pH							
	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
RIO ALICAHUE EN COLLIGUAY	8,3	0	8,3	0	8,2	0	8,2	0
RIO LIGUA EN CABILDO	8,0	0	8,2	0	8,3	0	8,2	0
RIO LIGUA EN QUINQUIMO	((8,1))	0	((8,5))	0	((8,3))	0	(7,9)	0
ESTERO LOS ANGELES A/J RIO LIGUA	7,2	0	7,4	0	7,8	0	7,4	0
RIO LIGUA EN PANAMERICANA	8,0	0	8,0	0	8,3	0	8,1	0

ESTACIÓN DE MUESTREO	Sulfato (mg/l)							
	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
RIO ALICAHUE EN COLLIGUAY	32,6	0	37,0	0	30,9	0	22,6	0
RIO LIGUA EN CABILDO	93,5	0	95,7	0	78,3	0	72,3	0
RIO LIGUA EN QUINQUIMO	((153,9))	2	((142,2))	1	((104,0))	0	((77,0))	0
ESTERO LOS ANGELES A/J RIO LIGUA	31,3	0	30,2	0	37,9	0	72,3	0
RIO LIGUA EN PANAMERICANA	90,3	0	82,6	0	85,0	0	91,1	0

ESTACIÓN DE MUESTREO	Cloruro (mg/l)							
	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
RIO ALICAHUE EN COLLIGUAY	10,9	0	13,9	0	11,2	0	6,7	0
RIO LIGUA EN CABILDO	20,4	0	22,3	0	17,0	0	13,7	0
RIO LIGUA EN QUINQUIMO	((50,6))	0	((55,8))	0	((30,7))	0	((17,6))	0
ESTERO LOS ANGELES A/J RIO LIGUA	12,9	0	10,8	0	11,3	0	13,6	0
RIO LIGUA EN PANAMERICANA	48,9	0	45,8	0	23,8	0	37,6	0

Tabla 4.7 (Continuación): Calidad de Agua por Períodos Estacionales en la cuenca de La Ligua. Información DGA

ESTACIÓN DE MUESTREO	Cobre ($\mu\text{g/l}$)							
	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
ESTERO LOS ANGELES A/J RIO LIGUA	13	2	16	2	(11)	2	19	2
RIO ALICAHUE EN COLLIGUAY	<10	<2	<10	<2	<10	<2	12	2
RIO LIGUA EN CABILDO	29	2	16	2	13	2	19	2
RIO LIGUA EN PANAMERICANA	<10	<2	20	2	(14)	2	36	2
RIO LIGUA EN QUINQUIMO	((13))	2	((15))	2	((13))	2	(<10)	<2

ESTACIÓN DE MUESTREO	Hierro (mg/l)							
	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
ESTERO LOS ANGELES A/J RIO LIGUA	0,06	0	0,13	0	0,12	0	0,12	0
RIO ALICAHUE EN COLLIGUAY	0,19	0	0,24	0	0,22	0	1,02	1
RIO LIGUA EN CABILDO	0,14	0	0,10	0	0,12	0	0,09	0
RIO LIGUA EN PANAMERICANA	0,43	0	0,25	0	0,22	0	0,24	0
RIO LIGUA EN QUINQUIMO	((0,26))	0	((0,12))	0	((0,12))	0	((0,28))	0

ESTACIÓN DE MUESTREO	Manganeso (mg/l)							
	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
ESTERO LOS ANGELES A/J RIO LIGUA	((0,02))	0	((<0,01))	0	((0,02))	0	((0,02))	0
RIO ALICAHUE EN COLLIGUAY	(<0,01)	0	(<0,01)	0	(0,02)	0	(0,02)	0
RIO LIGUA EN CABILDO	((<0,01))	0	((0,02))	0	(0,02)	0	(0,02)	0
RIO LIGUA EN PANAMERICANA	((0,02))	0	((0,24))	3	((0,11))	2	((<0,01))	0
RIO LIGUA EN QUINQUIMO	((0,29))	3	((0,07))	2	((0,07))	2	((0,06))	2

ESTACIÓN DE MUESTREO	Aluminio (mg/l)							
	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
ESTERO LOS ANGELES A/J RIO LIGUA	((0,5))	2	((0,3))	2	((0,4))	2	((0,5))	2
RIO ALICAHUE EN COLLIGUAY	(0,6)	2	(0,5)	2	(0,7)	2	((2,9))	3
RIO LIGUA EN CABILDO	((0,4))	2	((0,5))	2	(0,5)	2	((0,9))	2
RIO LIGUA EN PANAMERICANA	((0,5))	2	((0,5))	2	((0,5))	2	((0,5))	2
RIO LIGUA EN QUINQUIMO	((0,5))	2	((0,5))	2	((0,4))	2	((0,6))	2

(): Información Nivel 2
 (()): Información Nivel 3

En el caso del monitoreo de ESVAL en la Planta Los Maitenes, se cuenta con información adicional a la presentada por la DGA, en lo que respecta a: DBO₅, sólidos suspendidos y coliformes fecales. A continuación en la tabla 4.8 se presenta por período estacional la información de dichos parámetros.

**Tabla 4.8: Calidad de Agua por Períodos Estacionales
en la cuenca de La Ligua. Información ESVAL 2002-2003**

ESTACIÓN DE MUESTREO	DBO5 (mg/l)							
	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
20mts antes descarga Planta Los Maitenes	((1,7))	0	((1,4))	0	((1,5))	0	((1,8))	0
20mts después descarga Planta Los Maitenes	((5,2))	2	((6,3))	2	((2,0))	0	((1,7))	0

ESTACIÓN DE MUESTREO	SST (mg/l)							
	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
20mts antes descarga Planta Los Maitenes	((4,3))	0	((5,0))	0	((9,3))	0	((14,5))	0
20mts después descarga Planta Los Maitenes	((5,0))	0	((5,0))	0	((6,5))	0	((6,7))	0

ESTACIÓN DE MUESTREO	Coliformes Fecales (NMP/100ml)							
	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
20mts antes descarga Planta Los Maitenes	((98))	1	((193))	1				
20mts después descarga Planta Los Maitenes	((57))	1	((497))	1				

La información puntual del programa de monitoreo del SAG de la que se dispone para esta cuenca se presenta a continuación en la tabla 4.9.

**Tabla 4.9: Calidad de Agua en la Cuenca del río La Ligua
Información SAG 2000**

PUNTO DE MUESTREO	Conductividad Eléctrica (µS/cm)							
	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
Río La Ligua antes desc. Minera Las Cenizas	((427))	0	-	-	((441))	0	((323))	0
Río La Ligua después desc. Minera Las Cenizas	((343))	0	-	-	((499))	0	((353))	0
Estero Los Angeles antes desc. Minera Cerro Negro	((619))	1	-	-	((530))	0	((506))	0
Estero Los Angeles después desc. Minera Cerro Negro	((605))	1	-	-	((547))	0	((562))	0

PUNTO DE MUESTREO	PH							
	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
Río La Ligua antes desc. Minera Las Cenizas	((8,6))	0	-	-	((8,8))	0	((8,4))	0
Río La Ligua después desc. Minera Las Cenizas	((9,2))	0	-	-	((7,9))	0	((8,2))	0
Estero Los Angeles antes desc. Minera Cerro Negro	((8,2))	0	-	-	((8,2))	0	((8,3))	0
Estero Los Angeles después desc. Minera Cerro Negro	((8,4))	0	-	-	((8,6))	0	((8,4))	0

PUNTO DE MUESTREO	Sólidos Disueltos (mg/L)							
	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
Río La Ligua antes desc. Minera Las Cenizas	((334))	0	-	-	((248))	0	((234))	0
Río La Ligua después desc. Minera Las Cenizas	((278))	0	-	-	((310))	0	((260))	0
Estero Los Angeles antes desc. Minera Cerro Negro	((476))	1	-	-	-	-	-	-
Estero Los Angeles después desc. Minera Cerro Negro	((508))	2	-	-	-	-	-	-

PUNTO DE MUESTREO	Cloruro (mg/L)							
	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
Río La Ligua antes desc. Minera Las Cenizas	((9,5))	0	-	-	((7,3))	0	((5,9))	0
Río La Ligua después desc. Minera Las Cenizas	((8,5))	0	-	-	((10,0))	0	((6,3))	0
Estero Los Angeles antes desc. Minera Cerro Negro	((8,5))	0	-	-	((4,8))	0	((4,9))	0
Estero Los Angeles después desc. Minera Cerro Negro	((6,5))	0	-	-	((4,9))	0	((4,4))	0

**Tabla 4.9 (Continuación): Calidad de Agua en la Cuenca del río La Ligua
Información SAG 2000**

PUNTO DE MUESTREO	Sulfato (mg/L)							
	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
Río La Ligua antes desc. Minera Las Cenizas	((67))	0	-		((64))	0	((36))	0
Río La Ligua después desc. Minera Las Cenizas	((49))	0	-		((65))	0	((41))	0
Estero Los Angeles antes desc. Minera Cerro Negro	((110))	0	-		((95))	0	((75))	0
Estero Los Angeles después desc. Minera Cerro Negro	((160))	2	-		((150))	1	((135))	1

PUNTO DE MUESTREO	Cobre (µg/L)							
	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
Río La Ligua antes desc. Minera Las Cenizas	((<20))	<2	-		((<20))	<2	((<20))	<2
Río La Ligua después desc. Minera Las Cenizas	((<20))	<2	-		((<20))	<2	((<20))	<2
Estero Los Angeles antes desc. Minera Cerro Negro	((50))	2	-		((60))	2	((<20))	<2
Estero Los Angeles después desc. Minera Cerro Negro	((40))	2	-		((70))	2	((40))	2

PUNTO DE MUESTREO	Molibdeno (mg/L)							
	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
Río La Ligua antes desc. Minera Las Cenizas	((0,03))	0	-		((0,09))	2	((0,08))	2
Río La Ligua después desc. Minera Las Cenizas	((0,06))	2	-		((0,06))	2	((0,12))	2
Estero Los Angeles antes desc. Minera Cerro Negro	((0,02))	0	-		((0,10))	2	((0,16))	2
Estero Los Angeles después desc. Minera Cerro Negro	((0,02))	0	-		((0,08))	2	((0,22))	4

PUNTO DE MUESTREO	Mercurio (µg/L)							
	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
Río La Ligua antes desc. Minera Las Cenizas	((<1))	<4	-		((<1))	<4	((<1))	<4
Río La Ligua después desc. Minera Las Cenizas	((<1))	<4	-		((<1))	<4	((<1))	<4
Estero Los Angeles antes desc. Minera Cerro Negro	((<1))	<4	-		((<1))	<4	((<1))	<4
Estero Los Angeles después desc. Minera Cerro Negro	((<1))	<4	-		((<1))	<4	((<1))	<4

PUNTO DE MUESTREO	Plomo (mg/L)							
	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase	Valor	Clase
Río La Ligua antes desc. Minera Las Cenizas	((<0,05))	<2	-		((<0,05))	<2	((<0,05))	<2
Río La Ligua después desc. Minera Las Cenizas	((<0,05))	<2	-		((<0,05))	<2	((<0,05))	<2
Estero Los Angeles antes desc. Minera Cerro Negro	((<0,05))	<2	-		((<0,05))	<2	((<0,05))	<2
Estero Los Angeles después desc. Minera Cerro Negro	((<0,05))	<2	-		((<0,05))	<2	((<0,05))	<2

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 Puntual CADE-IDEPE (información nivel 4) informado en el capítulo 4.2.3. A continuación se presenta el resultado de los análisis para la cuenca del río La Ligua.

**Tabla 4.10: Calidad de Agua Cuenca del río La Ligua
Muestreo Puntual CADE-IDEPE primavera 2003**

Punto de Muestreo	DBO ₅ (mg/L)	
	Valor	Clase
Estero Los Angeles a/j río La Ligua	<1.5	0
Estero Alicahue en Colliguay	<1.5	0
Río La Ligua en Quinquimo	2.4	1

Punto de Muestreo	Color Aparente (Pt-Co)	
	Valor	Clase
Estero Los Angeles a/j río La Ligua	5	0
Estero Alicahue en Colliguay	10	0
Río La Ligua en Quinquimo	20	1

Punto de Muestreo	Sólidos Disueltos (mg/L)	
	Valor	Clase
Estero Los Angeles a/j río La Ligua	334	0
Estero Alicahue en Colliguay	135	0
Río La Ligua en Quinquimo	453	1

Punto de Muestreo	Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)	
	Valor	Clase
Estero Los Angeles a/j río La Ligua	<10	0
Estero Alicahue en Colliguay	<10	0
Río La Ligua en Quinquimo	<10	0

Punto de Muestreo	Amonio (mg/L)	
	Valor	Clase
Estero Los Angeles a/j río La Ligua	0.05	0
Estero Alicahue en Colliguay	0.03	0
Río La Ligua en Quinquimo	0.03	0

Punto de Muestreo	Cianuro (µg/L)	
	Valor	Clase
Estero Los Angeles a/j río La Ligua	<3	0
Estero Alicahue en Colliguay	3	0
Río La Ligua en Quinquimo	<3	0

Punto de Muestreo	Fluoruro (mg/L)	
	Valor	Clase
Estero Los Angeles a/j río La Ligua	0.2	0
Estero Alicahue en Colliguay	0.1	0
Río La Ligua en Quinquimo	<0.1	0

**Tabla 4.10 (Continuación): Calidad de Agua Cuenca del río La Ligua
Muestreo Puntual CADE-IDEPE primavera 2003**

Punto de Muestreo	Nitrito (mg/L)	
	Valor	Clase
Estero Los Angeles a/j río La Ligua	<0.01	0
Estero Alicahue en Colliguay	<0.01	0
Río La Ligua en Quinquimo	<0.01	0

Punto de Muestreo	Sulfuro (mg/L)	
	Valor	Clase
Estero Los Angeles a/j río La Ligua	<0.01	0
Estero Alicahue en Colliguay	<0.01	0
Río La Ligua en Quinquimo	<0.01	0

Punto de Muestreo	Estaño ($\mu\text{g/L}$)	
	Valor	Clase
Estero Los Angeles a/j río La Ligua	<300	
Estero Alicahue en Colliguay	300	4
Río La Ligua en Quinquimo	30	3

Punto de Muestreo	Coliformes Fecales (NMP/100ml)	
	Valor	Clase
Estero Los Angeles a/j río La Ligua	130	1
Estero Alicahue en Colliguay	17	1
Río La Ligua en Quinquimo	350	1

Punto de Muestreo	Coliformes Totales (NMP/100ml)	
	Valor	Clase
Estero Los Angeles a/j río La Ligua	540	1
Estero Alicahue en Colliguay	49	0
Río La Ligua en Quinquimo	350	1

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 consiste en que los límites de detección de esas metodologías de análisis no pueden llegar a los valores límites de la clase de excepción. Por lo tanto, los siguientes parámetros: plomo (Pb), hidrocarburos totales (HC), mercurio (Hg) y estaño (Sn), no pueden ser clasificados en clase de excepción.

En la tabla antes presentada, se han incluido los resultados entregados por el laboratorio externo contratado para llevar a cabo los análisis. En los casos en que el límite de detección analítico es superior al valor correspondiente a la clase de excepción, correspondería

verificar si existe otra metodología de análisis, o bien redefinir el valor a fijar en la clase de excepción. Por otra parte, cuando el análisis de laboratorio entrega un valor en límite de detección analítico que se encuentra entre los límites definidos para dos clases de calidad, por el momento sólo es posible señalar que el parámetro podría ser clasificado en una clase de calidad “menor” a aquella correspondiente al límite superior entre ambas. Por ejemplo, a una concentración de estaño de $< 20 \mu\text{g/l}$ se le debería asignar, tal como está definido actualmente el Instructivo, una clase de calidad < 2 . Se estima que, en casos como éste, el Instructivo debería definir un criterio de modo tal que fuese posible asignar siempre una clase de calidad en particular y no dejar su clasificación sin definir.

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 a éste. La segunda columna identifica los factores tanto naturales como antropogénicos que explican los valores de los parámetros contaminantes. La tercera identifica aquellos parámetros seleccionados que sobrepasan la clase de excepción del Instructivo asociados al segmento correspondiente y de los cuales se dispone de información ya sea proveniente de la red de monitoreo de la DGA y/o de muestreos puntuales realizados por otra entidad. La última columna fundamenta y particulariza los factores incidentes.

En la Tabla 4.11 se explica los factores incidentes en la cuenca del río La Ligua.

Tabla 4.11: Factores Incidentes en la Calidad del Agua en la Cuenca del Río La Ligua

ESTACION DE CALIDAD / SEGMENTO	FACTORES INCIDENTES		PARÁMETROS QUE PUEDEN VERSE AFECTADOS	CARACTERIZACIÓN DEL FACTOR
	NATURALES	ANTROPOGENICOS		
Estero Alicahue en Colliguay 0520-AL-10	Lixiviación superficial y subterránea de filones de mineralizados de las franjas metalogénicas. Escorrentías de arcillas (aluminio silicatos) con pH básico generan complejos de aluminio en solución.	Contaminación difusa por agricultura.	Cu, Fe, Al Posiblemente Sn, CF, CT, DBO ₅	<ul style="list-style-type: none"> Geología: Formación geológica Om2c caracterizada por rocas tipo volcano-sedimentarias correspondiente al periodo oligoceno-pleistoceno compuesta por lavas basálticas a dacíticas y rocas epiclásticas y piroclásticas. Litología: Franja metalogénica F-11 Conservación de recursos naturales: Sitio de preservación Alicahue Agricultura: Existencia de agricultura Geomorfología: Topografía de alta montaña, con escasa cubierta vegetal, favorable a la ocurrencia de escorrentías. Ganadería: veranadas
Estero Los Ángeles a/j río La Ligua 0521-AN-20	Lixiviación superficial y subterránea de filones de mineralizados de las franjas metalogénicas. Escorrentías de arcillas (aluminio silicatos) con pH básico generan complejos de aluminio en solución.	Contaminación difusa por ganadería Lixiviación de tortas de material de descarte minero Descarga de aguas de minas	CE, Cu, Al Posiblemente Sn, CF, CT, DBO ₅	<ul style="list-style-type: none"> Franja metalogénica F-5 Agricultura: Agricultura intensiva Minería: Minas Cerro Negro, Mina María Hidrología: Existencia de derechos de agua para la minería en Cerro Negro (69 L/s) Ganadería: veranadas

Tabla 4.11 (Continuación): Factores Incidentes en la Calidad del Agua en la Cuenca del Río La Ligua

ESTACION DE CALIDAD / SEGMENTO	FACTORES INCIDENTES		PARÁMETROS QUE PUEDEN VERSE AFECTADOS	CARACTERIZACIÓN DEL FACTOR
	NATURALES	ANTROPOGENICOS		
Río La Ligua en Cabildo 0522-LL-10	Lixiviación superficial y subterránea de filones de mineralizados de la franja metalogénica. Recarga del río La Ligua por la napa subterránea	Contaminación difusa por Descarga de aguas servidas Extracción de áridos Lixiviación de tortas de material de descarte minero Descarga de aguas de minas Contaminación difusa por agricultura.	Cu, Al, CE Posiblemente plaguicidas Captán, Clorotalonil, Atrazina Sn, CF, DBO ₅ , CT	<ul style="list-style-type: none"> • Sitio de Cordillera del Melón • Agricultura: Intensiva • Franja metalogénica F-4 • Mina Las Cenizas (Cabildo) • Minas El Carmen, El Regalo, Latorre, Los Maquis, El Sauce y Luisa. • Pozo de la DGA con 3,7 m de nivel freático • Ciudad de Cabildo con 12920 habitantes con Pta. tratamiento de aguas servidas (94% cobertura).
Río La Ligua en Quinquimo 0522-LL-30	Lixiviación superficial y subterránea de filones de mineralizados de la franja metalogénica. Recarga del río La Ligua por la napa subterránea	Descarga de RILES con DBO ₅ al alcantarillado y/o río Contaminación difusa por aguas servidas Extracción de áridos Lixiviación de tortas de material de descarte minero Descarga de aguas de minas Contaminación difusa por agricultura.	Cu, Al, Mn, OD, SO ₄ , CE Posiblemente plaguicidas Captán, Clorotalonil, Atrazina CF, CT, Color aparente, SD, Sn, DBO ₅	<ul style="list-style-type: none"> • Litología: Franja metalogénica F-4 • Agricultura: Intensiva • Geología: Rocas sedimentarias, metamórficas, biotitas, y anfíbolos que contienen grandes cantidades de manganeso • Hidrogeología: Afloramiento de aguas subterráneas. Pozo de la DGA con nivel freático, Pozo de la DGA con 5 m de nivel freático • Centros Poblados: Ciudad de La Ligua (Con Pta de tratamiento de aguas servidas 95%) • Minería: Cía. Minera La Patagua, Minas María Luisa y Bodega • Industrias: Existencia de industrias de alimentos (Dulces y Confites)

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 que es el Río La Ligua, se cuenta con tres estaciones de monitoreo a lo largo del río, que son:

- La Ligua en Cabildo
- La Ligua en Panamericana
- La Ligua Quinquimo.

En la Figura 5.1 se incluye el perfil longitudinal sólo de aquellos parámetros que, siendo seleccionados, exceden la Clase 0 en alguno de los 4 períodos estacionales. Dichos parámetros son los siguientes: conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, sulfato, cobre, manganeso y aluminio.

Debido al reducido número de registros con que se cuenta por período estacional, las figuras consideran los valores medios de cada uno de los parámetros antes mencionados.

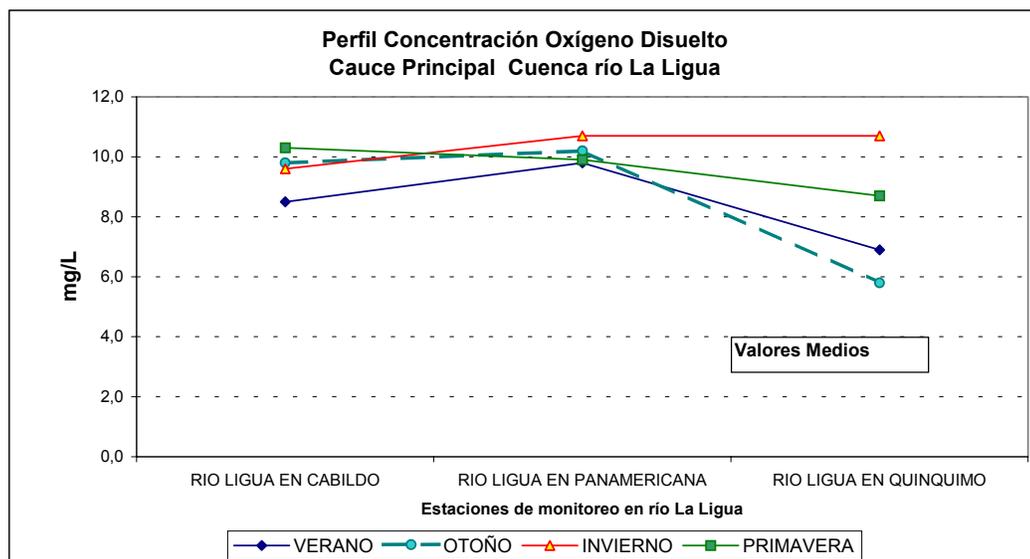
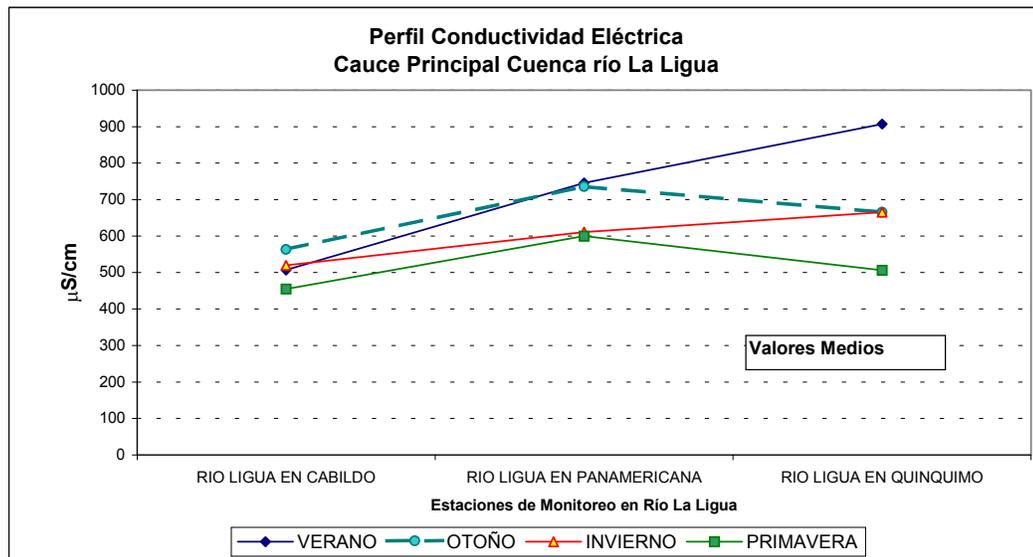


Figura 5.1: Perfil Longitudinal de Calidad de Agua en el río La Ligua

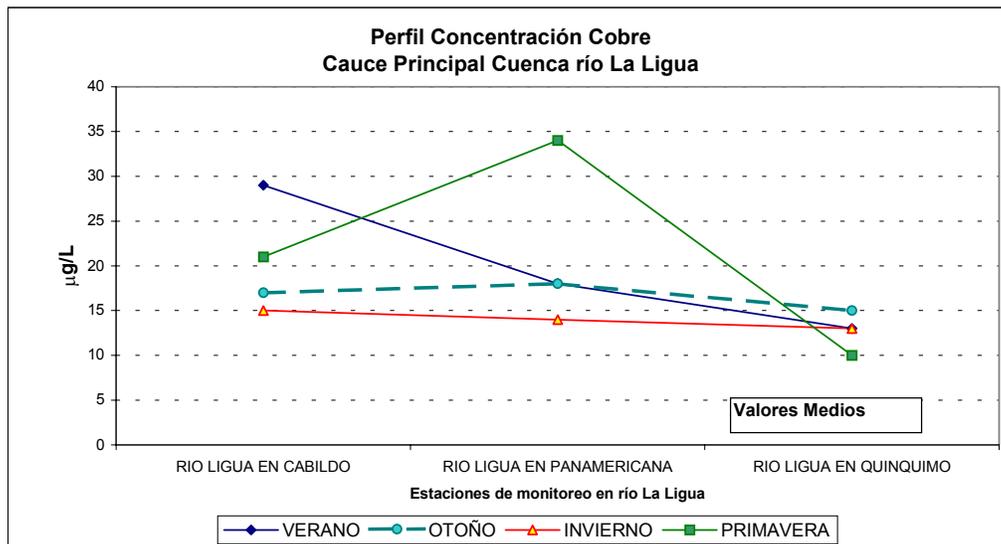
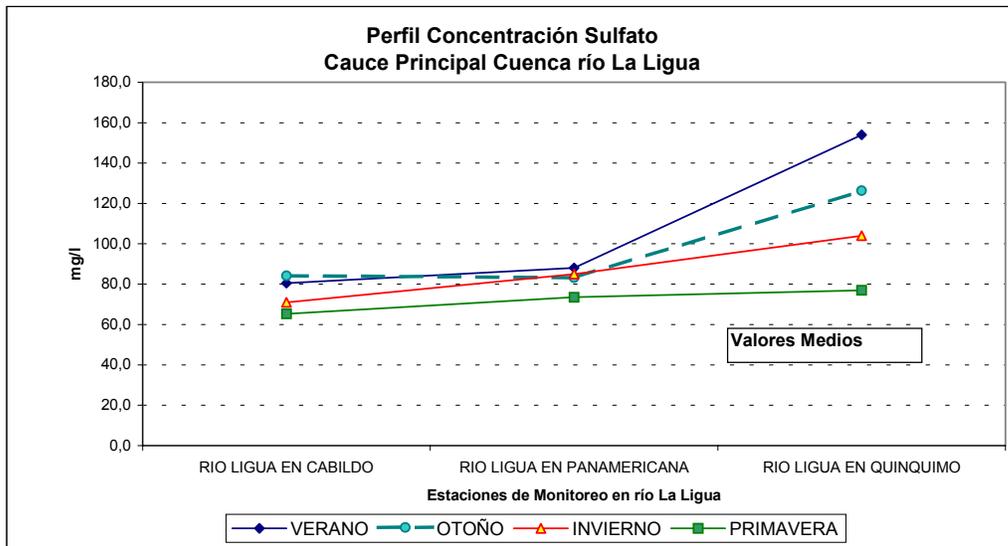


Figura 5.1 (Continuación): Perfil Longitudinal de Calidad de Agua en el río La Ligua

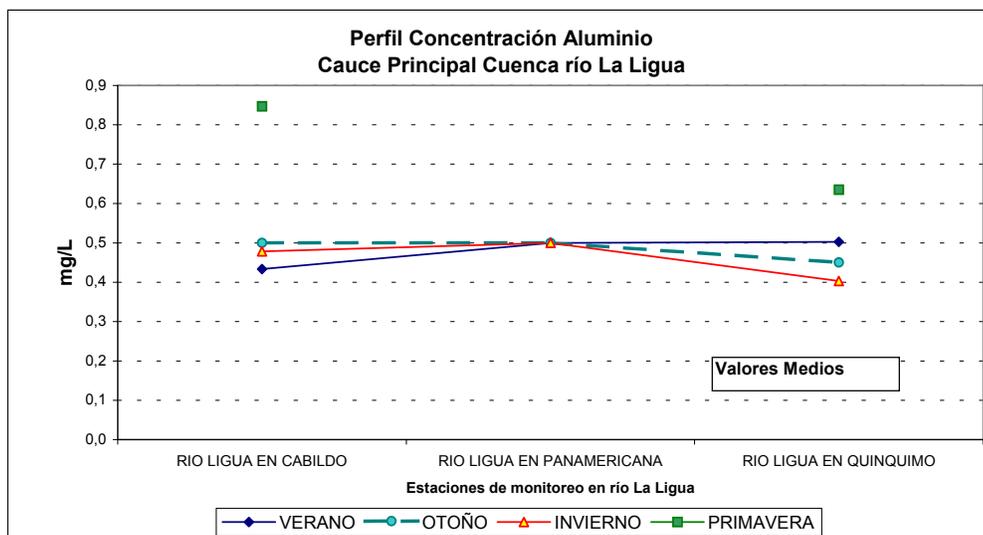
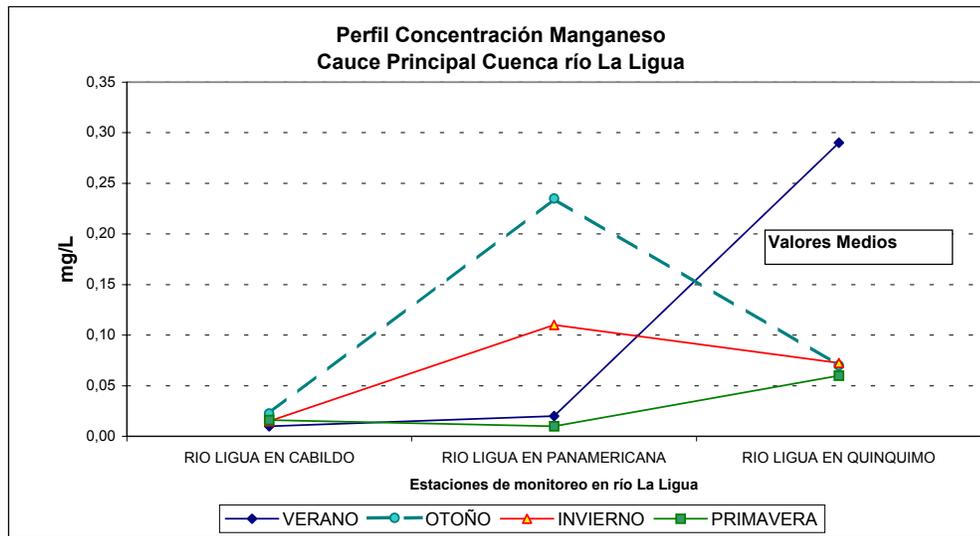


Figura 5.1 (Continuación): Perfil Longitudinal de Calidad de Agua en el río La Ligua

De las figuras 5.1 se puede deducir lo siguiente:

- CE: Los perfiles longitudinales permiten observar que los valores más altos de los parámetros (envolvente superior) se presentan en otoño y verano en las zonas altas y bajas de la cuenca, clase 1 y clase 2 respectivamente, lo que coincide con períodos estacionales de caudales menores. La envolvente inferior se muestra en primavera con todos los valores en clase 0. La comparación de los valores de la parte alta con aquellos cercanos a la desembocadura, muestra que en general la conductividad tiende a aumentar, lo que podría explicarse por factores antrópicos o efectos derivados de posteriores arrastres de material, cuyo efecto de dilución es progresivo a lo largo del cauce principal.
- Oxígeno Disuelto: La envolvente superior se presenta inicialmente en la estación de primavera en Cabildo para continuar en invierno hasta Quinquimo. Todos los valores se encuentran en clase 0 a excepción de aquellos de verano y otoño en la estación río La Ligua en Quinquimo.
- SO_4^{2-} : Los perfiles longitudinales del sulfato muestran que la envolvente superior, se presenta en otoño para la parte alta de la cuenca y en verano en la parte baja. Todos los valores se encuentran en clase 0 excepto en la estación Quinquimo en otoño y verano. La envolvente inferior corresponde a primavera con todos los valores en clase 0.
- Cu: Los perfiles longitudinales muestran que el cobre disminuye desde la estación Panamericana a la estación Quinquimo en todos los períodos estacionales. La envolvente superior se encuentra en clase 2 y se presenta en los períodos de verano-primavera-otoño. La envolvente inferior corresponde a primavera hasta la estación Quinquimo y en primavera en la estación Panamericana, todos los valores son clase 2.
- Mn: Los perfiles longitudinales del manganeso muestra que la envolvente superior, se presenta en otoño y verano aumentando desde la estación Cabildo a la de Quinquimo, pasando de clase 0 a clase 3, la envolvente inferior se muestra en primavera, todos sus valores son clase 0.
- Al: Los perfiles longitudinales del aluminio muestran que la envolvente superior, (valores superiores del parámetro), se presenta en la parte alta de

la cuenca en otoño con valores en clase 2 y en la parte baja de la cuenca en otoño y verano para las estaciones Panamericana y Quinquimo respectivamente, todos los valores son clase 2. Sin embargo, se encuentran valores en clase 3 que corresponden a la primavera pero no es posible establecer un perfil ya que se tienen datos sólo en dos estaciones. La envolvente inferior se muestra en verano en la parte alta de la cuenca y en invierno en la parte baja con todos los valores en clase 0.

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 del río La Ligua presentada por grupos de parámetros y por parámetro según el *Instructivo*. Este análisis está basado en toda la información presentada en el punto 4.2.4.

Tabla 5.1: Análisis de los Parámetros de Calidad Actual

CUENCA RIO LA LIGUA
Parámetros fisico- Químicos (FQ): Conductividad Eléctrica , DBO₅, Color, OD, pH, RAS, SDT, SST
<p><u>CE</u>: Presenta variaciones estacionales y temporales, entre las clases 0 a la 2 .La variación es menor entre períodos estacionales que a lo largo del río en un mismo período estacional. Así el río La Ligua en Cabildo tiene una conductividad eléctrica que va de clase 0 a la clase 1, con valores cercanos entre sí lo que no coincide con la variación longitudinal que varía de clase 0 a clase 2 en el período de menores caudales y a clase 1 en invierno y primavera. Se observa que en general la conductividad varía inversamente del caudal.</p> <p><u>OD</u>: Todos los valores están en clase 0, a excepción de estación Quinquimo. En relación a la variación temporal los valores más altos corresponden al período de caudales mayores. El perfil longitudinal de la concentración no muestra tendencia, lo que contrasta con el perfil de temperatura creciente de cordillera al mar, situación que no es posible explicar.</p> <p><u>pH</u>: No se observan variaciones acentuadas , con valores en clase 0</p> <p><u>RAS, SST</u> : Con valores clasificados en Clase 0 (SST obtenido del muestreo puntual en primavera)</p> <p><u>DBO₅</u>: En las estaciones E. Los Angeles a/j río La Ligua y Alicahue se asigna clase 0, mientras en río La Ligua en Quinquimo en clase 1.</p> <p><u>Color, SD</u>: Tanto el color como los SD se clasifica en clase 0 en las estaciones del E. Los Angeles y Alicahue y en clase 1 en río La Ligua en Quinquimo.</p>

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

CUENCA RIO LA LIGUA
Inorgánicos (IN): NH_4^+ , CN^- , Cl^- , F^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , S^{2-}
<p><u>Cl</u>: El cloruro esta siempre en clase 0 , independiente del punto de muestreo y del período estacional</p> <p><u>SO₄²⁻</u>: Presenta una situación diferente caracterizada por pasar de clase 0 a clase 1 ó 2 en período en caudales menores y mantenerse en la clase 0 cuando hay caudales mayores, depende inversamente del caudal.</p> <p><u>NH₄⁺, CN⁻, F⁻, NO₂⁻, S²⁻</u>: En las estaciones estero Los Angeles, estero Alicahue y río La Ligua Quinquimo se asigna la clase 0 (muestreo CADE en primavera)</p>
Orgánicos (OR): Aceites y grasas, PCBs, SAAM, fenol, HCAP, HC, tretracloroetano, tolueno
No se dispone de información para los parámetros orgánicos.
Orgánicos Plaguicidas (OP): Ácido 2,4-D, aldicarb, aldrín, atrazina, captán, carbofurano, clordano, clorotalonil, Cyanazina, demeton, DDT, diclofop-metil, dieldrín, dimetoato, heptaclor, lindano, paratión, pentaclorofenol, siazina, trifluralina.
No se dispone de información para los parámetros orgánico plaguicidas
Metales Esenciales (ME): B, Cu, Cr_{total}, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Zn
<p><u>Cu</u>: En todos los períodos estacionales y puntos de monitoreos los valores registrados quedan clasificados en clase 2, sin embargo los valores tienden a estar cercanos a clase 1 en un rango de 10 a 30 µg/L.</p> <p><u>Fe</u>: En todos los períodos estacionales y puntos de monitoreo los valores son clasificados en clase 0.</p> <p><u>Mn</u>: La parte alta de la cuenca muestra concentraciones bajas asignables a clase 0. Sin embargo, las estaciones de monitoreo de la parte baja del río están clasificadas en clase 2 y 3. Esta situación es constante a lo largo del año, podría ser atribuible a efectos de aguas subterráneas o de origen geológico.</p> <p><u>Fe, Ni, Se, Zn</u>: Con valores clasificados en Clase 0</p> <p><u>B, Mo, Cr_{total}</u>: los datos pertenecen a un límite de detección superior a la clase 0, no es posible un análisis.</p>
Metales no Esenciales (MN): Al, As, Cd, Sn, Hg, Pb
<p><u>Al</u>: En todos los períodos estacionales y puntos de monitoreo, es decir espacial y temporalmente, los valores son clasificados en clase 2.</p> <p><u>As</u>: Con valores clasificados en Clase 0</p> <p><u>Sn</u>: De acuerdo a resultados del muestreo puntual de primavera, se asigna clase 4 en la estación Alicahue y clase 3 en Quinquimo.</p>

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

CUENCA RIO LA LIGUA
<u>Cd, Hg,Pb</u> : los datos pertenecen a un límite de detección superior a la clase 0, no es un posible un análisis.
Indicadores Microbiológicos (IM): CF, CT
<u>CF</u> : Con valores clasificados en clase 1 (muestreo puntual CADE-IDEPE)
<u>CT</u> : Con valores asignados a clase 1 en E. Los Angeles y río La Ligua en Quinquimo. En el estero Alicahue se asigna clase 0 (muestreo puntual primavera).

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

El análisis realizado en los acápite anteriores permite elaborar la tabla 5.2, 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 por parámetro se utiliza la información de mejor nivel (la de niveles inferiores se emplea como verificación).

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

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

superior (niveles 1 a 3), se utilizan los datos puntuales obtenidos (información nivel 4). Para la cuenca del río La Ligua, estos parámetros son: DBO₅, color, SD, SST, NH₄⁺, CN⁻, F⁻, S²⁻, NO₂⁻, Sn, CF y CT.

- En el caso de los parámetros DBO₅, sólidos suspendidos y coliformes fecales, si no se dispone de ninguna información de nivel superior, se emplea como valor de referencia la estimación del consultor (información nivel 5). El método de estimación de dichos parámetros se presenta en el capítulo 4 de la Sección II del Informe Final, destinada a describir la Metodología empleada.
- Cuando se disponer de información de distintas fuentes para un mismo parámetro, se le asigna a éste en la tabla 5.2 la clase correspondiente a la fuente de información que contenga un mayor número de registros (mejor nivel de información de acuerdo a la metodología).

Tabla 5.2: Asignación de Clases de Calidad Actual

Tabla 5.2a: Cauce Principal - Río La Ligua

Estaciones de Calidad	Código de Segmentos	Clases del Instructivo					Parámetros con valor en límite de detección	Parámetro seleccionado sin información	Observación
		0	1	2	3	4			
Río La Ligua en Cabildo	0522-LL-10	OD, pH, Cl, SO ₄ ²⁻ , Fe, Mn, RAS, Ni, Se, Zn, As, SD	DBO ₅ , CF, CE	Cu, Al, Mo			Cr _{Total} , B, Cd, Hg, Pb,	Otros parámetros seleccionados	Información DGA niveles 1 y 2. Nivel 3 para Al y Mn. Información SAG nivel 3 (pto. Muestreo descarga minera Las Cenizas) SD, Mo, corrobora clasificación DGA de: pH, Cl y SO ₄ ²⁻ . Difiere en clasificación de: CE (clase 0) Información nivel 5 estimación CADE-IDEPE: DBO ₅ , CF
Río La Ligua en Panamericana	0522-LL-20	OD, pH, Cl, SO ₄ ²⁻ , Fe, SST, RAS, Ni, Se, Zn, As	CF	CE, Al, Cu	Mn, DBO ₅		Cr _{Total} , B, Cd, Hg, Pb, Mo	Otros parámetros seleccionados	Información dDGA niveles 1 y 2. Nivel 3 para Al y Mn. Información nivel 3, aguas servidas de La Ligua. DBO ₅ , CF, SST información otorgada por ESVAL-Los Maitenes.
Río La Ligua Quinquimo	0522-LL-30	pH, Cl, Fe, RAS, Ni, Se, Zn, As, SST, NH ₄ ⁺ , CN ⁻ , F ⁻ , NO ₂ ⁻ , S ²⁻	CF, CT color aparente, SD, DBO ₅	CE, SO ₄ ²⁻ , OD, Al, Cu	Mn, Sn		Cr _{Total} , B, Cd, Hg, Pb, Mo	Otros parámetros seleccionados	Información DGA niveles 1 y 2. Nivel 3 para Al y Mn. Información nivel 4, muestreo puntual CADE-IDEPE primavera 2003 para: DBO ₅ , color aparente, SD, SST, NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , CN ⁻ , F ⁻ , S ²⁻ , CF, CT, Sn.

Parámetros seleccionados de la cuenca del río La Ligua: Conductividad eléctrica, DBO₅, oxígeno disuelto, pH, sólidos suspendidos, coniformes fecales, cloruro, sulfato, cobre, hierro, manganeso, aluminio, color aparentes, sólidos disueltos, estaño, coliformes totales.

Tabla 5.2b: Cauce Secundario Estero: Alicahue

Estaciones de Calidad	Código de Segmentos	Clases del Instructivo					Parámetros con valor en límite de detección	Parámetros seleccionados sin información	Observación
		0	1	2	3	4			
Estero Alicahue en Colliguay	0520-AL-10	CE, OD, pH, Cl, SO ₄ ²⁻ , CF, DBO ₅ , RAS, Ni, Se, Zn, As, color aparente, SD, SST, NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , CN ⁻ , F ⁻ , S ²⁻ , CF, CT, Mn	Fe, CF	Cu	Al	Sn	Cr _{Total} , B, Cd, Hg, Pb, Mo	Otros parámetros seleccionados	Información nivel 4, muestreo puntual CADE-IDEPE primavera 2003 para :DBO ₅ , color aparente, SD, SST, NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , CN ⁻ , F ⁻ , S ²⁻ , CF, CT, Sn.

Tabla 5.2c: Cauce Secundario Estero: Los Angeles

Estaciones de Calidad	Código Segmentos	Clases del Instructivo					Parámetros con valor en límite de detección	Parámetros seleccionados sin información	Observación
		0	1	2	3	4			
Estación SAG (Minera Cerro Negro)	0521-AN-10	pH, Cl ⁻ , RAS, Ni, Se, Zn, As	CE	Cu , SO ₄ ²⁻ , SD		Mo	Cr _{Total} B, Cd, Hg, Pb	Otros parámetros seleccionados	Monitoreo SAG 2000, información nivel 3 (se utiliza el valor con peor clasificación)
Estero Los Angeles a/j río La Ligua	0521-AN-20	OD, pH, Cl, SO ₄ ²⁻ , Mn, Fe, DBO ₅ , RAS, Ni, Se, Zn, As, color aparente, SD, SST, NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , CN ⁻ , F ⁻ , S ²⁻	CE, CF, CT	Al, Cu			Cr _{Total} , B, Cd, Hg, Pb, Mo	Otros parámetros seleccionados	Información DGA niveles 1 y 2. Nivel 3 para Al y Mn Información nivel 4, muestreo puntual CADE-IDEPE primavera 2003 para: DBO ₅ , color aparente, SD, SST, NH ₄ ⁺ , NO ₂ ⁻ , CN ⁻ , F ⁻ , S ²⁻ , CF, CT.

5.4 Calidad Natural y Factores Incidentes

En la Tabla 5.3 se identifican los parámetros que exceden la clase de excepción en los diferentes cursos de agua de la cuenca del río La Ligua, basada en la información estadística por períodos estacionales que se presenta en la Tabla 4.8.

Tabla 5.3: Valores estacionales máximos de los parámetros en la Cuenca del río La Ligua

Estación	Segmento	CE ($\mu\text{S/cm}$)	SO_4^{-2} (mg/L)	Cu ($\mu\text{g/L}$)	Mn (mg/L)	Al (mg/L)
Estero Alicahue en Colliguay	0520AL10			12		((2.9))
Estero Los Angeles a/j río La Ligua	0521AN20	692.3		19		((0.5))
Río La Ligua en Cabildo	0522LL10	626.2		29		((0.9))
Río La Ligua en Quinquimo	0522LL30	((907.0))	((153.9))	((15))	((0.29))	((0.6))

Fuente: Elaboración propia

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:

- El Cobre y el Aluminio son los parámetros que se encuentran omnipresentes en todos los cauces de la cuenca.
- Los sulfatos y el manganeso sólo se encuentran excedidos en la parte baja de la cuenca.
- La conductividad eléctrica se encuentra excedida a lo largo de todo el río La Ligua y en menor grado en el Estero Los Angeles.

5.4.1 Cobre

Los valores de cobre procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 12 y 29 $\mu\text{g/L}$. Sin embargo estos valores no constituyen ningún obstáculo para que el agua sea en riego.

La presencia de cobre es atribuible esencialmente a la existencia de tres franjas metalogénicas (F11, F5 y F4 – Ver Mapa de Potencial de Generación ácida en anexo 4.3, las cuales por procesos de lixiviación de los filones mineralizados adicionan cobre a las corrientes de agua. Esta lixiviación se manifiesta mayormente en las aguas subterráneas, lo cual queda ratificado porque en el tramo más bajo del río la concentración es mayor donde coincide la fuerte aparición de las aguas subterráneas.

El origen del aporte de cobre es mixto, tanto natural como antrópico. Este se debe a los depósitos de material de descarte procedentes de la minería - depositados como tortas – que constituyen fuentes potenciales de contaminación de las aguas superficiales, las que toman mayor relevancia cuando ocurren precipitaciones. La minería asociada a la cuenca presenta además, fuentes de contaminación irreversibles hasta la fecha, dadas por los drenajes de aguas de minas y el depósito de los materiales de descarte los que en su mayor parte no cuentan con el diseño de un sistema de disposición que permita la contención o tratamiento de la escorrentía de estos.

5.4.2 Aluminio

El aluminio detectado presenta valores comprendidos entre 0,5 y 2,9 mg/L (Estación DGA Alicahue en Colliguay – Primavera).

Estos valores sin embargo no presentan problemas para que las aguas sean utilizadas para riego. La presencia del aluminio disuelto es atribuible a la interacción de dos factores combinados, las escorrentías de sedimentos compuestos principalmente de aluminosilicatos y el pH alto (8,0 a 8,4). Los compuestos de aluminio silicatos en un ambiente alcalino reaccionan formando naturalmente complejos de aluminio en solución, de características inofensivas para las comunidades acuáticas.

5.4.3 Manganeso

El manganeso detectado presenta valores máximos cercanos a 0,29 mg/L (Estación DGA La Ligua en Panamericana – Primavera). Estos valores sin embargo no presentan problemas para que el agua utilizada sea para riego.

La presencia del manganeso se debe al afloramiento de napas subterráneas en la sección más baja del río La Ligua, en la cual el acuífero recarga el curso superficial. El manganeso presente naturalmente en los suelos y en rocas sedimentarias es lixiviado por las aguas subterráneas hasta que emergen en la parte baja del río incrementando el contenido de manganeso en el cauce.

5.4.4 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica detectada presenta valores comprendidos entre 626 a 907 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la cual supera la clase de excepción en la parte baja de la cuenca en aproximadamente 51 %. Estos valores sin embargo no presentan problemas para que el agua sea utilizada para riego irrestricto.

La presencia de las sales se debe al afloramiento de napas subterráneas en la sección más baja del río La Ligua, en la cual el acuífero recarga el curso superficial. Las sales presentes en los suelos y rocas son lixiviadas por las aguas subterráneas las cuales afloran en las cercanías de Quinquimo.

5.4.5 Sulfatos

Los sulfatos sólo se detecta en el río la Ligua en su tramo más bajo y presenta valores comprendidos de 154 mg/L (Estación DGA La Ligua en Quinquimo – Verano), los cuales superan la clase de excepción en aproximadamente 28 %. Estos valores sin embargo no presentan problemas para que las aguas sean utilizadas para riego irrestricto.

La aparición de los sulfatos se debe al afloramiento de napas subterráneas en la sección más baja del río La Ligua, en la cual el acuífero recarga al curso superficial.

5.4.6 Falencias de información

Visualmente el río La Ligua es un curso de aguas con bastantes sedimentos, lo cual lleva a concluir que es un río que presenta una gran cantidad de sólidos suspendidos totales (SST), sin embargo este parámetro en el muestreo realizado por CADE-IDEPE registró

clase de excepción, lo cual no invalida que en los meses en que entre en régimen pluvial el río, este porte una cantidad apreciable de sedimentos.

Para realizar un estudio más detallado de la calidad natural de la cuenca de La Ligua se hace imprescindible continuar con el programa de monitoreo de la Dirección General de Aguas, así como con los que posee el Servicio Agrícola y Ganadero y los Servicios de Salud, los cuales se deben complementar con los que posea actualmente o tengan proyectado las compañías Mineras existentes en la cuenca.

5.4.7 Conclusiones

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

- La presencia de franjas metalogénicas (F11, F4 y F5) ricas en minerales que cortan en dirección norte sur a la cuenca, le confieren aportes geoquímicos relevantes a los cursos de agua superficiales y subterráneos que las atraviesan, especialmente los tributarios: Alicahue y estero Los Angeles.
- La geomorfología de la cuenca que es de valles transversales con orientación oriente - poniente convierte a la cuenca del La Ligua en un río de área drenante bastante pequeña y canalizada a la cual convergen todos los depósitos coluviales y aluviales, así como material sedimentario que drena por escorrentía por las quebradas y valles hasta el cauce principal.
- El cauce principal como sus tributarios tienen cualidades alcalinas (pH: 7,2 – 8,5).
- Las escasas precipitaciones más la precaria cobertura vegetal, hace que las esporádicas lluvias se transformen en torrentes las cuales transportan una cantidad apreciable de sedimentos.
- En la parte baja, predomina el afloramiento de napas subterráneas por sobre las aguas superficiales, que son drenadas en su mayor parte a partir de Cabildo hacia abajo. Este tipo de agua le suministra características más minerales a las aguas superficiales lo que se traduce en el enriquecimiento de sólidos disueltos y metales en solución, entre los que destacan los metales como el manganeso, cobre, sulfato y conductividad eléctrica.

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 La Ligua 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 de La Ligua

Cauce	Código Segmento	Tramo	Límites de Tramos
Estero Alicahue	0520-AL-10	AL-TR-10	De: Naciente estero Alicahue Hasta: Límite de subcuenca
	0520-AL-20		
Río La Ligua	0521-LL-10	LL-TR-10	De: Límite de subcuenca Hasta: Confluencia estero Los Angeles
	0522-LL-10	LL-TR-20	De: Confluencia estero Los Angeles Hasta: Desembocadura
	0522-LL-20		
	0522-LL-30		
Estero Los Ángeles	0521-AN-10	AN-TR-10	De: Naciente estero Los Angeles Hasta: Confluencia río La Ligua
	0521-AN-20		

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

6.2 Asignación de Clases Objetivos

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

- *Usos de agua:* se reservan tres columnas para indicar los usos de agua en el tramo especificado.
- *Clase actual más característica:* corresponde a la clase de calidad de agua del *Instructivo* que agrupa la mayor parte de los valores de los parámetros representados por sus estadígrafos. Para este efecto se selecciona la clase de tal modo que aproximadamente no más del 10% de los parámetros quede con valores excedidos de la clase seleccionada (no más de 8 parámetros).
- *Clase de uso a preservar:* en función de los usos del agua en el tramo, en esta columna se trata de identificar la clase que es necesario preservar. Esta determinación no es automática, sino que requiere de un análisis en profundidad, el cual se explica detalladamente en la sección destinada a la Metodología (Volumen 1, Sección II).
- *Clase Objetivo del tramo:* es una proposición que toma en cuenta diversos aspectos, como son: usos del agua, calidad natural, calidad actual de los parámetros, y valores a lograr en un futuro cercano, entendido como el plazo de validez de la calidad objetivo propuesta. En principio esta proposición considera que hay parámetros determinados por las características naturales de la cuenca o subcuenca, mientras que otros están condicionados, en distintos grados, por las acciones antrópicas. En particular, los parámetros afectados por aguas servidas son corregidos y asignados a clase 0, ya que ellos corresponden a acciones que se espera corregir dentro del plazo de validez de la calidad objetivo propuesta en este informe. En otros casos, se analiza el comportamiento del parámetro en función del conocimiento de la cuenca o subcuenca, ya sea a través de los factores incidentes o por evidentes acciones perturbadoras, a fin de dilucidar si es mejorable o no la calidad respecto de dicho parámetro. Aún así, cabe señalar que en la mayoría de los parámetros ajenos a las aguas servidas no existe suficiente información para establecer qué parte del valor medido corresponde a efectos antrópicos y cual a situaciones naturales, de tal modo

que no se modifica su asignación de la clase actual. Para aquellos parámetros en que no existe información, se establece que la Calidad Objetivo será la definida para el tramo. Para el grueso de los parámetros, se trata de mejorar o al menos mantener la calidad natural del agua.

- *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 río La Ligua

Cauce	Tramo	Acuicultura y pesca deportiva	Biodiversidad	Riego	Clase actual más característica	Clase de uso a preservar	Clase objetivo del tramo	Excepciones en el tramo		Parámetros seleccionados que requieren más estudios
								Clase Excep.	Parámetros que difieren de la clase Objetivo	
Estero Alicahue	AL-TR-10	--	(*)	Clase 1 a 3	0	1	0	1	Fe	Otros parámetros seleccionados
								2	Cu	
								3	Al	
								4	Sn	
Río La Ligua	LL-TR-10	--	--	Clase 1 a 3	--	1	0 (ver nota)	Otras clases	s/i	Todos los parámetros seleccionados
	LL-TR-20	--	--	Clase 1 a 3	1	1	1	0	DBO ₅ , CF, CT, pH, RAS, SST, Cl, NH ₄ ⁺ , CN ⁻ , F ⁻ , NO ₂ ⁻ , S ²⁻ , Zn, Ni, Se, As	Otros parámetros seleccionados
								2	CE, OD, SO ₄ ⁻² , Cu, Al	
								3	Mn, Sn	
4	--									
Estero Los Angeles	AN-TR-10	--	(*)	Clase 1 a 3	0	1	0	1	CE	Otros parámetros seleccionados
								2	SD, Al, Cu, SO ₄ ⁻²	
								3	--	
								4	Mo	

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

Nota: Se le asigna a este tramo, la misma clase objetivo que aquella del estero Alicahue (AL-TR-10) ubicado aguas arriba

Parámetros seleccionados de la cuenca del río La Ligua: CE, DBO₅, OD, pH, SST, CF, cloruro, sulfato, cobre, hierro, manganeso, aluminio, color aparentes, sólidos disueltos, estaño, coliformes totales.

6.3 Grado de Cumplimiento de la Calidad Objetivo

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

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

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

7. OTROS ASPECTOS RELEVANTES

7.1 Indice 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 La Ligua, estará compuesto por 6 parámetros obligatorios (Conductividad Eléctrica, DBO₅, Oxígeno Disuelto, pH, Sólidos Suspendidos y Coliformes Fecales) y 6 parámetros que han sido seleccionados para esta cuenca.

Consecuentemente, los parámetros relevantes son:

- Cloruro
- Sulfato
- Cobre
- Hierro
- Manganeseo
- Aluminio

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
Est Alicahue en Colliguay	94
La Ligua en Cabildo	85
Est Los Ángeles a/j La Ligua	92
La Ligua en Quinquimo	87
La Ligua en Panamericana	87

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
Est Alicahue en Colliguay	0
La Ligua en Cabildo	1
Est Los Ángeles a/j La Ligua	0
La Ligua en Quinquimo	1
La Ligua en Panamericana	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, se recalcula el ICAS tal como se muestra en la tabla 7.3.

Tabla 7.3: Índice de Calidad de Aguas Superficiales para Calidad Objetivo

Estación de Muestreo	ICAS
Estero los Ángeles a/j La Ligua	93
La Ligua en Panamericana	91

Sólo se realizaron las estimaciones correspondientes a las estaciones de muestreo en que será necesario implementar una estrategia de cumplimiento. Las memorias de cálculo para el ICAS de calidad objetivo se encuentran en el anexo 7.2.

7.2 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. La metodología se encuentra descrita en la sección correspondiente y abarca desde la toma de muestras hasta el tratamiento de la información.

En conformidad a lo dispuesto en el Instructivo la frecuencia mínima de muestreo corresponderá a los cuatro períodos estacionales: Verano, Otoño, Invierno y Primavera.

El programa de monitoreo considera una primera fase, cuya duración es de tres años, en la frecuencia mínima, destinada a completar la Base de Datos Integrada (BDI), en aquellos parámetros que no disponen de suficiente información, midiendo simultáneamente parámetros seleccionados en todos los puntos de la red. Es decir, los parámetros incluyen a los seleccionados, los que no tienen datos y los que están condicionados por los límites de detección analíticos. En particular, el alto costo de los análisis de compuestos orgánicos y orgánicos plaguicidas, obliga a plantear un monitoreo algo más restringido. Se proponen medir Grasas y Aceites, Detergentes e Hidrocarburos, y respecto de los plaguicidas cumplir con las recomendaciones del Anexo A9, sección 6.5.

Sobre la base de estos criterios esta cuenca incluye un monitoreo inicial con los siguientes parámetros:

- Parámetros Obligatorios: Conductividad Eléctrica, DBO₅, Oxígeno Disuelto, pH, Sólidos Suspendidos; Coliformes Fecales
- Parámetros Principales: Color Aparente, Sólidos Disueltos, Cloruro, Sulfato, Cobre, Hierro, Manganeso, Aluminio, Estaño, Coliformes Totales

- Parámetros con Límite de Detección: Boro, Cromo Total, Molibdeno, Cadmio, Mercurio, Plomo
- Parámetros Sin Información: Amonio, Cianuro, Fluoruro, Nitrito, Sulfuro
- Parámetros Orgánicos: Grasas y Aceites, Detergentes, Hidrocarburos
- Parámetros Orgánico Plaguicidas: No se incluyen

Para los parámetros con límites de detección se deberá tomar especial cuidado de utilizar métodos analíticos compatibles con los límites de la clase excepcional del instructivo.

Dependiendo de los resultados de esta fase inicial, se procederá a actualizar la lista de parámetros seleccionados, que ya cuentan con una proposición basada en la información que el estudio ha analizado, continuando el monitoreo con estos parámetros en la frecuencia mínima en las estaciones de la siguiente tabla.

Tabla 7.4: Programa de Monitoreo Futuro

	Punto de Muestreo	Estero Alicahue a/j río La Ligua	Estero Los Angeles a/ j Alicahue	Río La Ligua en Cabildo	Río La Ligua en Panamericana
	COD_SEG	0520AL10	0521AN20	0522LL10	0522LL20
INDICADOR	UNIDAD	Frecuencia Mínima	Frecuencia Mínima	Frecuencia Mínima	Frecuencia Mínima
INDICADORES FÍSICO QUÍMICOS					
Conductividad Eléctrica	µS/cm	O	O	O	O
DBO5	mg/l	O	O	O	O
Color Aparente	Pt-Co	PPL	PPL	PPL	PPL
Oxígeno Disuelto	mg/l	O	O	O	O
pH	unidad	O	O	O	O
RAS					
Sól disueltos	mg/l	PPL	PPL	PPL	PPL
Sól Suspendidos	mg/l	O	O	O	O
INORGANICOS					
Amonio	mg/l	S/I	S/I	S/I	S/I
Cianuro	µg/l	S/I	S/I	S/I	S/I
Cloruro	mg/l	PPL	PPL	PPL	PPL
Fluoruro	mg/l	S/I	S/I	S/I	S/I
Nitrito	mg/l	S/I	S/I	S/I	S/I
Sulfato	mg/l	PPL	PPL	PPL	PPL
Sulfuro	mg/l	S/I	S/I	S/I	S/I
METALES ESCENCIALES					
Boro	mg/l	LD	LD	LD	LD
Cobre	µg/l	PPL	PPL	PPL	PPL
Cromo total	µg/l	LD	LD	LD	LD
Hierro	mg/l	PPL	PPL	PPL	PPL
Manganeso	mg/l	PPL	PPL	PPL	PPL
Molibdeno	mg/l	LD	LD	LD	LD
Níquel	µg/l				
Selenio	µg/l				
Zinc	mg/l				
METALES NO ESCENCIALES					
Aluminio	mg/l	PPL	PPL	PPL	PPL
Arsénico	mg/l				
Cadmio	µg/l	LD	LD	LD	LD
Estaño	µg/l	PPL	PPL	PPL	PPL
Mercurio	µg/l	LD	LD	LD	LD
Plomo	mg/l	LD	LD	LD	LD
INDICADORES MICROBIOLÓGICOS					
C Fecales (NMP)	gérmenes/100 ml	O	O	O	O
C Totales (NMP)	gérmenes/100 ml	PPL	PPL	PPL	PPL

Parámetro	Simbología
Obligatorio	O
Principal	PPL
Sin información	S/I
En límite de detección	LD

7.3 Sistema de Información Geográfico

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

- 1940-LIG-01 : Usos del Suelo
- 1940-LIG-02: Estaciones de Medición y Usos del Agua
- 1940-LIG-03: Calidad Objetivo

7.4 Referencias

Referencia	Título del Informe
2.1	BCN, Biblioteca del Congreso Nacional www.bcn.cl/pags/regional/cont/pags/20001227160506.html .
2.2	MOP, Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Aguas. Balance Hídrico de Chile. 1987.
2.3	SERNAGEOMIN, Servicio Nacional de Geología y Minería. Mapa Geológico de Chile. Escala 1:1.000.000. 2002.
2.4	IPLA, Ltda. Análisis y Evaluación de los Recursos Hídricos de las Cuencas de los ríos Petorca y Ligua. Informe Final. 1998.
2.5	MOP, Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Aguas. Mapa Hidrogeológico de Chile.
2.6	IGM, Instituto Geográfico Militar. Levantamiento Aerofotogramétrico en base a carta regular 1:50.000. Hojas La Ligua y Cabildo, escala 1:250.000. 1986.
2.7	UNIVERSIDAD De CHILE. Informe País, Estado del Medio Ambiente en Chile. Ediciones Lom. 1999.
2.8	GAJARDO, Rodolfo. La Vegetación Natural de Chile, Clasificación y Distribución Geográfica. CONAF. Editorial Universitaria. 1994.
2.9	MOP, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. World Bank, Global Facility.
2.10	INE, Instituto Nacional de Estadísticas http://www.censo2002.cl
2.11	SERNAGEOMIN, Servicio Nacional de Geología y Minería. Atlas de faenas mineras: Minas y Planteas de las Regiones V, VI y XIII. Subdirección Nacional de Minería. . 2002.
2.12	EDITEC Ltda.. Compendio de Minería Chilena. 2003
2.13	CONAF - CONAMA. Catastro de Bosque Nativo
2.14	INE, Instituto Nacional de Estadísticas. VI Censo Nacional Agropecuario. 1997.
2.15	CONAMA, Comisión Nacional del Medio Ambiente http://www.conama.cl
3.1	ARRAU Carolinas, Fernando. Distribución y Comercialización de las Aguas en Chile. Enero 1998. www.bcn.cl
3.2	IPLA Ltda. Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile, 1996.
3.3	RICARDO EDWARDS – INGENIEROS LTDA. Estudio de Síntesis de Catastros de usuarios de agua e infraestructura de aprovechamiento, Octubre 1991.
5.1	R&Q INGENIERÍA LTDA., Caudales Ecológicos en Regiones IV, V y Metropolitana, Informe Final. Dirección General de Aguas, Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos, Ministerio de Obrás Públicas. Tomo 4. Agosto 1993.

Ligua

82.