

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 RIO LAUCA

DICIEMBRE 2004

CADE-IDEPE
CONSULTORES EN INGENIERIA

INDICE

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>PAGINA</u>
1.	ELECCIÓN DE LA CUENCA Y DEFINICIÓN DE CAUCES	1
2.	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA.....	3
2.1	Cartografía y Segmentación Preliminar	3
2.2	Sistema Físico Natural.....	5
2.2.1	Clima	5
2.2.2	Geología y volcanismo	6
2.2.3	Hidrogeología.....	7
2.2.4	Geomorfología.....	8
2.2.5	Suelos	9
2.3	Flora y Fauna de la Cuenca del río Lauca	10
2.3.1	Flora terrestre y acuática	10
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.....	15
2.5.4	Áreas bajo Protección Oficial y Conservación de la Biodiversidad.....	16
3.	ESTABLECIMIENTO DE LA BASE DE DATOS.....	17
3.1	Información Fluviométrica.....	17
3.2	Usos del Agua.....	19
3.2.1	Usos in – situ	19
3.2.2	Usos extractivos.....	20
3.2.3	Biodiversidad.....	21
3.2.4	Usos ancestrales.....	22
3.2.5	Conclusiones.....	23

INDICE

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>PAGINA</u>
3.3	Descargas a Cursos de Agua	25
3.3.1	Descargas de tipo domiciliario	25
3.3.2	Residuos industriales líquidos	25
3.4	Datos de Calidad de Aguas	25
3.4.1	Fuentes de Información	25
3.4.2	Aceptabilidad de los programas de monitoreo	27
4.	ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	29
4.1	Análisis de Información Fluviométrica	29
4.1.1	Análisis por estación	29
4.1.2	Conclusiones	34
4.2	Análisis de la Calidad de Agua	35
4.2.1	Selección de parámetros	35
4.2.2	Análisis de tendencia central	39
4.2.3	Programa de Muestreo Puntual CADE-IDEPE	43
4.2.4	Base de Datos Integrada (BDI)	44
4.2.5	Procesamiento de datos por período estacional	45
4.3	Factores Incidentes en la Calidad del Agua	52
5.	CALIDAD ACTUAL Y NATURAL DE LOS CURSOS SUPERFICIALES .	55
5.1	Análisis Espacio-Temporal en Cauce Principal	55
5.2	Caracterización de la Calidad de Agua a Nivel de la Cuenca	55
5.3	Asignación de Clases de Calidad Actual a Nivel de la Cuenca	58
5.4	Calidad Natural y Factores Incidentes	62
5.4.1	Conductividad eléctrica	64
5.4.2	Oxígeno disuelto (OD)	64
5.4.3	RAS	65
5.4.4	Cloruro	65
5.4.5	Sulfatos	65
5.4.6	Boro	66
5.4.7	Cobre	66

INDICE

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>PAGINA</u>
5.4.8	Cromo	66
5.4.9	Hierro.....	67
5.4.10	Manganeso.....	67
5.4.11	Molibdeno.....	67
5.4.12	Aluminio.....	68
5.4.13	Arsénico.....	68
5.4.14	Falencias de información.....	69
5.4.15	Conclusiones.....	69
6.	PROPOSICION DE CLASES OBJETIVOS	70
6.1	Establecimiento de Tramos	70
6.2	Requerimientos de Calidad según Usos del Agua.....	71
6.3	Grado de Cumplimiento de la Calidad Objetivo	74
7.	OTROS ASPECTOS RELEVANTES	75
7.1	Índice de Calidad de Agua Superficial	75
7.1.1	Antecedentes.....	75
7.1.2	Estimación del ICAS	75
7.1.3	Estimación del ICAS objetivo	76
7.2	Programa de Monitoreo Futuro	76
7.3	Sistema de Información Geográfico.....	79
7.4	Referencias	79

ANEXOS

Anexo 3.1 :	Estadísticas de Caudales Medios Mensuales Cuenca del Río Lauca
Anexo 3.2 :	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 de la Cuenca del Río Lauca
Anexo 7.1:	Indice de Calidad Actual Cuenca del Río Lauca

1. ELECCIÓN DE LA CUENCA Y DEFINICIÓN DE CAUCES

La subcuenca del Lauca, que pertenece a la I Región de Tarapacá, es tributaria de la hoya del salar de Coipasa, cuya mayor extensión se desarrolla en el altiplano boliviano en forma de una gran cuenca cerrada.

La hoya del Lauca ocupa el altiplano chileno y sus cursos medio e inferior pertenecen al altiplano boliviano.

La superficie de la hoya del Lauca, en territorio chileno, alcanza a 2.350 km². El origen del Lauca es el río Desaguadero, que es el emisario de la laguna Cotacotani. Este cuerpo de agua se desarrolla al nororiente del lago Chungará y ambos quedan separados por un portezuelo de rocas volcánicas de 4 Km. de ancho. La Laguna Cotacotani tiene una superficie aproximada de 6 km² y la profundidad media asciende a unos 10 m. La cota de su espejo de agua es de alrededor de 18 m más baja que la del lago Chungará, lo que explica en parte su existencia, puesto que se establece a expensas de dicho desnivel una comunicación subterránea desde aquélla.

La característica fundamental de la laguna Cotacotani, que la distingue de cualquier otro lago chileno, es el elevado número de islas e islotes que interrumpen la continuidad de su espejo de agua. Esta morfología es debida a que ocupa un inmenso campo de lava. La capacidad útil de la laguna se ve muy disminuida por esta causa, alcanzando el volumen almacenado un promedio representativo de 30 a 40 millones de metros cúbicos.

El río Desaguadero, después de un cauce de mucha pendiente, cae a la depresión de la ciénaga de Parinacota, donde se le reúnen varias vertientes para constituir en definitiva el río Lauca propiamente tal.

La depresión de la ciénaga, de 28 km² de superficie, se extiende al poniente de la laguna Cotacotani a la altura media de 4.350 m s.n.m. y se encuentra cubierta en buena parte de bofedales. Por el norte y el oeste queda confinada por cordones volcánicos a través de los cuales el Lauca la desagua abriéndose camino en un verdadero cañón. Una nota característica en la ciénaga es la presencia de cerrilladas de materiales volcánicos como bloques de andesita y basalto, y acumulaciones de cenizas y arenas.

Lauca

2.

Además del río Desaguadero o Lauca superior, alimentan a la ciénaga varias vertientes periféricas, entre las cuales, la principal es la de Ojos de Agua o Grande de Parinacota. Otras vertientes son las de Chacurpujo, Copapujo y Chubire.

El río Lauca, desde la salida de la ciénaga, se dirige al oeste, pero el encuentro de la cordillera Central o de Chapiquiña le provoca un cambio de rumbo hacia el sur y luego vuelve a cambiar para ingresar a Bolivia en dirección de Oeste-este e ir a morir al salar de Coipasa.

En este tramo chileno recibe sus principales tributarios. Por su ribera derecha son los ríos Ancochalloanes, Vizcachani y Quiburcanca; por su lado oriente o izquierdo, el Lauca recibe cursos más importantes que gozan de alimentación desde cumbres englaciada. Tales son los ríos Chusjavidá y Guallatire que desembocan juntos al Lauca:

Los cauces incluidos en el estudio son:

- Río Lauca
- Río Desaguadero
- Río Guallatire

2. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

2.1 Cartografía y Segmentación Preliminar

a) Cartografía

La cartografía utilizada en la cuenca del río Lauca 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 Lauca es la indicada en la Tabla 2.1, la que se muestra en la lámina 1940-LAU-02.

Lauca

4.

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

CUENCA RIO LAUCA					Límites de los segmentos	
SubCuenca	Cauce	REF	SubSeg	Código	Inicia en:	Términa en:
1020	Río DESAGUADERO	DE	1	1020 - DE - 10	Desague laguna Cotacotani	Est. Fluviométrica Río Lauca en Estancia el Lago
1020	Río LAUCA	LA	1	1020 - LA - 10	Est. Fluviométrica Río Lauca en Estancia el Lago	Límite subcuenca
1021	Río LAUCA	LA	1	1021 - LA - 10	Límite subcuenca	Límite Internacional con Bolivia
1021	Río GUALLATIRE	GU	1	1021 - GU - 10	Naciente	Est. Calidad Río Guallatire en Desembocadura
1021	Río GUALLATIRE	GU	2	1021 - GU - 20	Est. Calidad Río Guallatire en Desembocadura	Confluencia Río Lauca

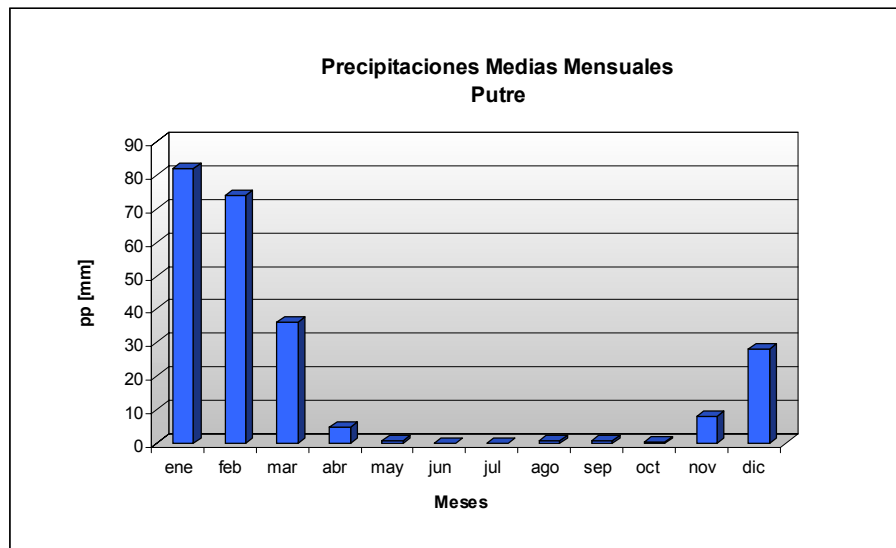
2.2 Sistema Físico Natural

2.2.1 Clima

La cuenca del río Lauca presenta dos tipos climáticos que son Clima Desértico Marginal de Altura y Clima de Estepa de Altura.

- a) Clima Desértico Marginal de Altura: este tipo climático se localiza por sobre los 2.000 metros de altura. Debido a ello, las temperaturas son más atenuadas presentando una media anual de 10°C. En este subtipo aparecen las primeras lluvias que fluctúan entre 50 y 100 mm anuales, las cuales se presentan en los meses de verano producto del invierno boliviano.
- b) Clima de Estepa de Altura: este subtipo climático predomina en el sector altiplánico de la cuenca por sobre los 3.000 metros de altura. La principal característica es el aumento de las precipitaciones que alcanzan a 300 mm de agua caída en el año.

En la Figura 2.1, se presentan los montos de precipitación registrados por la estación Pluviométrica de Putre, localizada a 3.530 metros de altura, en la cuenca del río Lluta. Los mayores montos de precipitación, se concentran en temporada estival producto del llamado invierno Boliviano.



[Ref. 2.1]

Figura 2.1: Precipitaciones Medias Mensuales registradas en Estación Pluviométrica de Putre

La escorrentía superficial media anual registrada en la cuenca, alcanzan valores no superiores a 20 mm/año. En el sector alto de la cuenca, sector de Paquisa la escorrentía registrada es de 1 mm/año. La estación Río Lauca en Estancia el Lago registra 13 mm/año.

Desde el punto de vista de disponibilidad de los recursos hídricos, las pérdidas de agua por evaporación son altas, registrándose en el sector de Guallatire máximas de 1.941 mm/año. La estación Río Lauca en Estancia el Lago registra 39,1 mm/año en lagunas y salares. [Ref. 2.1]

2.2.2 Geología y volcanismo

La geología de la cuenca del Lauca posee diversas formaciones rocosas entre ellas destacan: [Ref. 2.2]

- Cauce río Lauca y Guallatire y zona central de la cuenca: Rocas PP11, del tipo sedimentarias del Plioceno-Pleistoceno. Secuencias sedimentarias lacustres; limos, arcillas con intercalaciones calcáreas, conglomerados o piroclásticos.

- Zona poniente y sur de la cuenca: Rocas OM2c, del tipo Volcanosedimentaria del Oligoceno-Mioceno. Secuencias volcanosedimentarias; lavas basálticas a dacíticas, rocas epiclásticas y piroclásticas
- Zona norte de la Cuenca: Rocas P3t, del tipo Volcánica del Plioceno. Depósitos piroclásticos dacíticos a riolíticos parcialmente soldados.
- Zona oriente de la cuenca: Rocas Q1g, del tipo Sedimentaria del Pleistoceno-Holoceno. Depósitos morrénicos, fluvioglaciales y glacilacustre, diamictos de bloques y matriz de limo/arcilla, gravas, arenas y limos.

Rocas Qa, del tipo Sedimentaria del Pleistoceno-Holoceno. Depósitos aluviales, subordinadamente coluviales o lacustres: gravas, arenas y limos.

- Zona nor-oriente de la cuenca: Rocas MS3i, del tipo volcánica del Mioceno superior. Centros y secuencias volcánicas lavas y domos, depósitos piroclásticos, andesíticos a dacíticos con intercalaciones aluviales, asociados a depósitos epitermales de Au-Ag.

Existe influencia volcánica en esta cuenca por parte del Guallatire (Estratovolcán, Histórico cuya última erupción se registra entre 1900 y 1963), que se ubica en la cuenca, además de los volcanes Pomerame y Parinacota (Estratovolcán del Holoceno, cuyo registro de última erupción es desconocido). [Ref. 2.3]

2.2.3 Hidrogeología

La cuenca hidrogeológica del río Lauca se extiende desde la latitud 18°10' hasta la latitud 18°40' sur.

La litología asociada a la cuenca hidrogeológica del río Lauca (territorio nacional) es principalmente de dos tipos, uno de ellos corresponde a rocas volcánicas fracturadas constituidas por coladas, tobas y brechas con intercambio de sedimentos clásticos continentales de los períodos terciario y cuaternario, caracterizados por una permeabilidad media. El otro tipo corresponden a depósitos no consolidados, rellenos conformados por

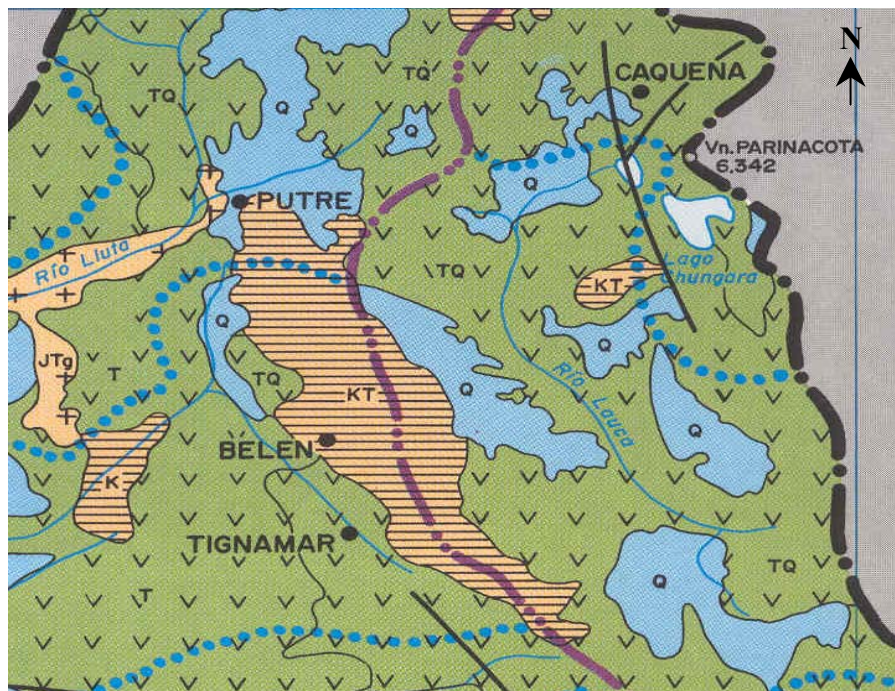
Lauca

8.

sedimentos fluviales, glaciales, aluviales y lacustres del periodo cuaternario, que poseen alta permeabilidad.

El acuífero drena totalmente hacia la frontera con Bolivia movilizándose hacia las depresiones altiplánicas.

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



[Ref. 2.4]

**Figura 2.2: Características Hidrogeológicas de la cuenca del río Lauca
(escala 1:1.000.000)**

2.2.4 Geomorfología

El río Lauca se encuentra en el sector nororiente de la I Región de Tarapacá, en la provincia de Parinacota. Su curso sigue principalmente orientación poniente – oriente hasta desembocar en cuerpos lacustres localizados en Bolivia.

La cuenca del río Lauca, se emplaza por sobre los 4.000 metros de altitud por lo que su relieve se caracteriza, en general, por la alternancia sucesiva de cordones montañosos de importantes alturas. El río a lo largo de toda su trayectoria, escurre a través de

un cajón cordillerano donde recibe aportes superficiales de numerosas quebradas, de lecho estrecho y confinado por cerros.

Desde el nacimiento del río Lauca hasta el poblado del mismo nombre, su escurrimiento presenta orientación norte – sur, con terrazas fluviales escarpadas. En el sector de nacimiento del río, destacan en altura los cerros Vilacollo ubicado a 4.696 metros de altitud y Valenzuela a 4.928 metros. Desde este sector hasta la localidad de Lauca, las alturas del relieve se mantienen por sobre los 4.500 m s.n.m, sin grandes variaciones en altura, destacando el cerro Choquelimpie con 5.254 m s.n.m.

Desde el sector donde se emplaza el poblado de Lauca hasta el límite con Bolivia, el cauce cambia apreciablemente su orientación. En este sector presenta trayectoria con orientación poniente –oriente y caracterizado al igual que el tramo anterior, por terrazas fluviales escarpadas y de reducida amplitud. Las características del relieve en cuanto a altitud, se presenta sin mayores variaciones. [Ref. 2.5]

2.2.5 Suelos

La cuenca del río Lauca posee dos unidades taxonómicas correspondientes a suelos del orden Histosoles y Molisoles.

El tipo de suelo Histosol se encuentra alrededor de las quebradas, oasis y zonas húmedas en general. Generalmente se dan en la alta cordillera, sobre los 3.000 metros de altitud. Corresponden a suelos derivados de tejidos vegetales, se encuentran en los bofedales cuyos suelos orgánicos o minerales, muy estratificados, poseen altos contenidos de materia orgánica y elevada salinidad.

Los suelos del tipo Molisol son suelos en los que se han producido la descomposición y acumulación de grandes cantidades de materia orgánica que da origen a humus rico en calcio. Esto implica que la descomposición se produce en el interior y no sobre el suelo. Por estas razones son características de zonas subhúmedas o semiáridas, con vegetación en pradera que asegura este aporte de materia orgánica en profundidad. [Ref. 2.6]

2.3 Flora y Fauna de la Cuenca del río Lauca

2.3.1 Flora terrestre y acuática

Para esta cuenca se identifica solo una formación vegetal:

- Estepa Alto-Andina Altiplánica: Geoforma que se extiende entre los 4.000 y los 5.000 m s.n.m., como una gran meseta dominada por montañas aisladas. Presenta una gran riqueza florística, organizada en diversas comunidades vegetales que corresponden a un patrón de distribución fundamental, determinado por el relieve y por la presencia de cursos de agua. Las asociaciones más características son: Paja brava – Tola del río (*Festuca orthophylla* – *Parastrephia lucida*); Paja Brava – Huail (*Festuca orthophylla* – *Deyeuxia breviaristata*); Llaretta (*Azorella compacta*); Queñoa (*Polylepis tarapacana*); Caba Paja Brava (*Parastrephia quadrangularis* - *Festuca orthophylla*) y Paquial (*Oxychloe andina*). [Ref. 2.7]

La flora acuática de la cuenca, es aquella identificada en el cauce del río Lauca y su formación en la laguna Parinacota. En la tabla siguiente, se incluyen estas especies.

Tabla 2.2: Flora acuática identificada en el río Lauca

Nombre Científico	Estado de conservación
<i>Arenaria rivularis</i>	No listada
<i>Azolla filiculoides</i>	No listada
<i>Azorella compacta</i>	No listada
<i>Baccharis acaulis</i>	No listada
<i>Calandrinia</i> sp.	No listada
<i>Carex</i> sp.	No listada
<i>Carex</i> sp. 1	No listada
<i>Carex</i> sp. 2	No listada
<i>Carex</i> sp. 4	No listada
<i>Cotula</i> sp.	No listada
<i>Deyeuxia brebreviaristata</i>	No listada
<i>Deyeuxia chrysantha</i>	No listada
<i>Deyeuxia curvula</i>	No listada

Tabla 2.2 (Continuación): Flora acuática identificada en el río Lauca

Nombre Científico	Estado de conservación
Deyeuxia sp.	No listada
Distichia muscoides	No listada
Eleocharis albibracteata	No listada
Elodea potamogeton	No listada
Festuca nardifolia	No listada
Festuca orthophylla	No listada
Gentiana prostrata	No listada
Gentiana sedifolia	No listada
Gentiana sp.	No listada
Hypochoeris taraxacoides	No listada
Hypsela oligophylla	No listada
Hypsela renifolia	No listada
Juncus sp.	No listada
Junellia uniflora	No listada
Lachemilla diplophylla	No listada
Lachemilla pinnata	No listada
Lilaeopsis macloviana	No listada
Mimulus glabratus	No listada
Musci	No listada
Nototriche sp.	No listada
Nototriche sp 1	No listada
Nototriche sp 2	No listada
Nototriche sp 3	No listada
Oxichloe andina	No listada
Parastrephia lucida	No listada
Perezia pygmaea	No listada
Picnophyllum bryoides	No listada
Plantago barbata	No listada
Poa sp.	No listada
Pratia repens	No listada
Ranunculus uniflorus	No listada
Senecio adenophyllus	No listada
Silene mandoni	No listada
Sisymbrium sp.	No listada
Triglochin sp.	No listada
Wemeria aff.Denticulata	No listada
Wemeria heteroloba	No listada
Wemwria pygmaea	No listada
Wemwria poposa	No listada
Wemeria solivaefolia	No listada
Wemwria spatulata	No listada

Lauca

12.

2.3.2 Fauna acuática

En las siguientes tablas, se incluyen aquellas especies de tipo bentónica, anfibia e íctica identificadas en el cauce del río Lauca.

Tabla 2.3: Bentos cuenca del río Lauca

PHYLUM	GRUPO	ESPECIE/FAMILIA	Estado de conservación
Platelminta	Turbellaria	Euplanaria	No listada
Nematoda	Turbellaria	Sp1	No listada
Nematelminta	Turbellaria	Sp1	No listada
Mollusca	Gastropoda	Sp1	No listada
	Gastropoda	Taphius montanus	No listada
	Bivalvia	Sp 1	No listada
Annelida	Oligochaeta	Rhyacodrilus sp.	No listada
	Oligochaeta	Gloiobdella sp.	No listada
	Oligochaeta	Helobdella sp 1	No listada
	Oligochaeta	Helobdella sp 2	No listada
	Oligochaeta	Helobdella sp 3	No listada
Artropoda	Ephemeroptera	Dactylobaetis	No listada
	Ephemeroptera	Baetodes	No listada
	Plecoptera	Limnoperla sp.	No listada
	Hemiptera	Ectemnostegella sp.	No listada
	Trichoptera	Ochrotrichia sp 1	No listada
	Trichoptera	Ochrotrichia sp 2	No listada
	Trichoptera	Neotrichia sp	No listada
	Trichoptera	Neotrichia sp2	No listada
	Trichoptera	Sp1	No listada
	Coleoptera	Austrelmis sp	No listada
	Coleoptera	Dysticidae	No listada
	Diptera	Simuliidae	No listada
	Diptera	Ephydriidae	No listada
	Diptera	Dolicopodidae	No listada
	Diptera	Ceratopogoniidae	No listada
	Diptera	Chironomidae sp1	No listada
	Diptera	Chironomidae sp2	No listada
	Diptera	Chironomidae sp3	No listada
	Colembolla	Sp1	No listada
Crustácea	Anhipoda	Hyalella sp1	No listada
	Ostracoda	Sp 1	No listada
	Copepoda	Ciclopoidea sp1	No listada
Aracnida	Hidracarina	Neohygrobates sp	No listada

Tabla 2.4: Anfibios cuenca del río Lauca

Nombre Científico	Nombre Común	Estado de Conservación
Bufo spinulosus	Sapo	Vulnerable
Telmatobius marmoratus	Sapo	No listada
Pleurodema marmorata	Sapo	No listada

Tabla 2.5: Fauna íctica cuenca Lauca

Nombre Científico	Nombre Común	Estado de Conservación
Trichomycterus rivulatus	Bagrecito	En Peligro
Trichomycterus laucaensis	Bagrecito del Lauca	En Peligro
Trichomycterus sp1	Bagre	Con problemas de conservación
Trichomycterus sp 2	Bagre	Con problemas de conservación
Trichomycterus sp 3	Bagre	Con problemas de conservación
Orestias agassizi	Corvinilla, karachi	Vulnerable
Orestias laucaensis	Corvinilla del Lauca	En Peligro
Orestias parinacotensis	Corvinilla de Parinacota	En Peligro
Orestias Chungarensis	Corvinilla de Chungará	En Peligro

[Ref. 2.8][Ref. 2.9][Ref. 2.10][Ref. 2.11][Ref. 2.12][Ref. 2.13]

2.4 Sistemas Humanos

2.4.1 Asentamientos humanos

Desde el punto de vista político - administrativo, la cuenca del río Lauca forma parte de la I Región de Tarapacá abarcando parcialmente la comuna de Putre perteneciente a la provincia de Parinacota. La cuenca tiene una superficie de 235.000 Ha, equivalentes al 4% de la Región. [Ref. 2.14]

En la cuenca se emplaza un total de 29 asentamientos humanos, clasificados como *Aldeas* o *Caseríos*. Según datos censales del año 1992¹, la población era de 181 habitantes. Entre las aldeas o caseríos destaca Choquelimpie y Chucuyo, con 75 y 21 habitantes respectivamente. [Ref. 2.15]

¹ Los datos de población dados por el censo 2002 corresponden a datos a nivel comunal y no de ciudad.

Lauca

14.

2.4.2 Actividades económicas

Una de las actividades económicas más importantes de la cuenca es la actividad turística ya que ésta se emplaza en la macrozona turística que engloba el área silvestre protegida Parque Nacional Lauca y la Reserva Nacional Las Vicuñas. Dentro de esta macrozona se ha considerado el poblado de Putre y las localidades vecinas, importantes por su legado histórico cultural, arquitectónico y arqueológico.

El sector norte de la cuenca, está caracterizado por la inmensidad y riqueza de sus bofedales. Estas áreas naturales que descienden desde el Altiplano, constituyen otra de las actividades económicas importantes ya que son el asiento de la fauna existente en la zona, especialmente para los grupos de camélidos. La fauna camélida, es el sustento de la principal actividad productiva desarrollada por los habitantes de la cuenca.

2.5 Usos del Suelo

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

Tabla 2.6: Clasificación Usos del suelo Cuenca del río Lauca

Cuenca del río Lauca (Ha)	Usos del Suelo	Superficie (Ha)	Superficie de la cuenca destinada para cada uso (%)
235.000	Praderas	168.645	70
	Terrenos agrícolas y agricultura de riego	303	0,1
	Plantaciones forestales	0	0
	Áreas urbanas e industriales	0	0
	Minería Industrial	< 156,25	0
	Bosque nativo y bosque mixto	0	0
	Otros Usos*	25.879	11
Áreas sin vegetación	40.173	17	

* Referidos a los siguientes usos: matorrales, matorral – pradera, rotación cultivo – pradera, áreas no reconocidas, cuerpos de agua, nieves – glaciares y humedales. [Ref. 2.14]

2.5.1 Uso agrícola

El uso de tipo agrícola en la cuenca se concentra en las proximidades del poblado de Choquelimpie en el sector alto de la cuenca. La superficie destinada a este tipo de uso comprende 303 Ha equivalentes al 0,1% de la superficie total de la cuenca. El tipo de agricultura existente en este sector es de tipo intensivo.

Según los antecedentes existentes al año 1997 los principales cultivos en la comuna de Putre corresponden a forrajeras anuales - permanentes y hortalizas. [Ref. 2.16]

2.5.2 Uso forestal

Este tipo de uso del suelo, no se presenta en la cuenca. [Ref. 2.14]

2.5.3 Uso urbano

Este tipo de uso del suelo, no se presenta en la cuenca. [Ref. 2.14][Ref. 2.17]

La actividad minera se concentra en la localidad de Choquelimpie, donde la faena minera del mismo nombre explota los minerales de cobre y oro. Este tipo de uso de suelo, comprende una superficie menor a 156,25 Ha [Ref 2.18].

Según registros oficiales del Servicio Nacional de Geología y Minería han determinado que dentro de la Reserva Nacional Las Vicuñas, existen yacimientos de oro, plata, cobre e hidrocarburos. Algunas empresas mineras han presentado solicitudes para realizar labores de exploración y/o explotación al interior de esta área silvestre protegida. Entre las solicitudes se pueden mencionar a las empresas Asarco Incorporated y Sociedad Contractual Minera Vilacollo. [Ref 2.19].

Actualmente la faena minera de Choquelimpie (explotación de oro) perteneciente a la empresa Contractual Minera Vilacollo está en operación y se emplaza en la comuna de Putre, próxima al poblado de Choquelimpie [Ref 2.20]. Esta área minera pese a poseer una superficie menor a 156,25 Ha, ha sido representada en el plano de uso del suelo respectivo, ya que constituye un área minera de importancia por encontrarse emplazada dentro de un área silvestre protegida (Reserva Nacional Las Vicuñas) [Ref 2.14].

Lauca

16.

2.5.4 Áreas bajo Protección Oficial y Conservación de la Biodiversidad

Las Áreas bajo Protección Oficial pertenecientes al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE) que se emplaza en la cuenca, corresponden al Parque Nacional Lauca y Reserva Nacional Las Vicuñas. La superficie total abarcada por estas áreas protegidas es de 21.512 Ha, equivalentes al 98% de la superficie total de la cuenca.

En la cuenca no existen Áreas de Conservación de la Biodiversidad [Ref 2.21]
[Ref 2.22].

3. ESTABLECIMIENTO DE LA BASE DE DATOS

3.1 Información Fluviométrica

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

Tabla 3.1: Estaciones Fluviométricas de la Cuenca del río Lauca

Nombre	Período de Registro
RÍO LAUCA EN ESTANCIA EL LAGO	1971 - 2001
RÍO LAUCA EN JAPU	1963 - 2001
RÍO GUALLATIRE EN GUALLATIRE	1971 - 2001
RÍO DESAGUADERO COTACOTANI	1964 - 2001

La cuenca del río Lauca es tributaria de la hoya del salar de Coipasa, la cual se ubica en su mayor parte en el altiplano boliviano.

La parte alta del río Lauca se desarrolla en el altiplano chileno, para luego ingresar a territorio boliviano y desembocar en el salar de Coipasa, que corresponde a una gran cuenca cerrada.

El origen del Lauca es el río Desaguadero, el que nace de la laguna Cotacotani. Luego de un cauce de mucha pendiente llega a la depresión de la ciénaga de Parinacota, donde se le reúnen muchas vertientes, constituyendo el Lauca propiamente tal.

A partir de la salida de la ciénaga, el Lauca toma rumbo oeste hasta encontrarse con la cordillera Central o de Chapiquiña, donde cambia de curso hacia el sur. Posteriormente el Lauca vuelve a cambiar de rumbo, esta vez hacia el este, y en este trayecto recibe sus principales afluentes; Chusjavidá y Guallatire. Finalmente ingresa al territorio boliviano, donde desemboca en el salar de Coipasa.

El régimen del río Lauca es pluvial ya que sus principales caudales se producen por aportes de intensas lluvias de verano caídas en el altiplano.

Para el análisis hidrológico se han utilizado dos grupos de estaciones, uno pluvial producto de lluvias de verano y otro nival, con aportes de deshielos de cumbres englaciadas.

- Grupo1; Régimen Pluvial: Este grupo está compuesto por las estaciones fluviométricas ubicadas en el río Lauca y Guallatire. Las estaciones ubicadas en el Lauca muestran una clara influencia pluvial de lluvias de verano altiplánicas, mientras que la estación ubicada en el río Guallatire presenta un régimen pluvial con una importante regulación natural, ya que la estación está ubicada en una zona de bofedales y este río corresponde al desagüe de la laguna Guallatire.
- Grupo2; Régimen Nival: Este grupo está compuesto por sólo una estación fluviométrica, la que se ubica en el río Desaguadero. Presenta un régimen nival, con sus mayores crecidas entre octubre y diciembre, producto de los deshielos de altas cumbres englaciadas.

Tabla 3.2: Grupos de Estaciones Fluviométricas

	Régimen	Nombre Estación
1	Pluvial	RÍO LAUCA EN ESTANCIA EL LAGO
2		RÍO LAUCA EN JAPU
3		RÍO GUALLATIRE EN GUALLATIRE
4	Nival	RÍO DESAGUADERO COTACOTANI

Para poder completar y extender las estadísticas de las estaciones fluviométricas incompletas se utilizaron correlaciones lineales con las estaciones patrones. Todas las estaciones de esta cuenca, con la excepción de Guallatire en Guallatire, se correlacionaron con la estación Lauca en Estancia El Lago. En cambio, la que se ubica en el río Guallatire se correlacionó con la estación Desaguadero Cotacotani.

Cabe destacar que los registros de las estaciones fluviométricas ubicadas en el río Lauca se ven alteradas debido a la existencia del canal Lauca, pero como éste cuenta con una estación que registra las extracciones, se pueden obtener, de manera simple, los caudales naturales de ambas estaciones.

La estadística completada y extendida utilizada para el análisis de frecuencia de esta cuenca se encuentra en el anexo 3.1, donde se señalan 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).
- “Actualización Recursos Hídricos para reestablecimiento de derechos ancestrales indígenas I y II Regiones” AC Consultores.
- Catastro Bosque Nativo CONAF – CONAMA.
- “Estrategia Regional y Plan de Acción de la Biodiversidad I Región de Tarapacá”, 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

Lauca

20.

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.

En esta cuenca se trasvasan aguas con un caudal medio de 0.80 (m³/s) desde el río Lauca hacia el río San José para utilizarlas para el regadío del Valle de Azapa. Esta desviación se realiza por medio del canal Lauca, el que capta las aguas del río homónimo en su salida de la laguna Parinacota. El número total de usuarios del río Lauca es de 870. [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 la cuenca del Lauca no se han detectado bocatomas para este uso.

c) Generación de energía eléctrica

Si bien en la cuenca no hay bocatomas para este uso, existe una central hidroeléctrica en la cuenca del río San José, central Chapiquiña, la que aprovecha las aguas conducidas por el canal Lauca desde el río Lauca a la quebrada de Azapa. Esta central tiene una potencia instalada de 10.200 kW y genera actualmente alrededor de 56 GWh/año. Tiene una altura bruta de 1008 m y se ha diseñado para un caudal de 2,75 m³/s, sin embargo el caudal medio anual utilizado corresponde a sólo 0,80 m³/s. [Ref 3.2].

d) Actividad industrial

En la actualidad no existen bocatomas para este tipo de uso en la cuenca del Lauca.

e) Actividad minera

En esta cuenca existe actividad minera, tales como yacimiento de azufre y minas de oro y plata. Sin embargo no se dispone de mayor información en cuanto a los derechos de agua del sector minero.

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.).

Este uso contempla el agua que se utiliza en los SNASPE y en la “Estrategia Regional y Plan de Acción de la Biodiversidad I Región de Tarapacá”. El Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado (SNASPE) corresponde a aquellos ambientes naturales, terrestres

Lauca

22.

o acuáticos, que el Estado protege y maneja para lograr su conservación. Está formado por: Parques Nacionales, Reservas Nacionales y Monumentos Naturales.

En la cuenca del río Lauca se ubican dos sitios que están contemplados en el SNASPE. Ellos son:

- Parque Nacional Lauca: Es uno de los más altos del mundo con un promedio los 4.500 m s.n.m. Dentro de la flora del lugar destacan el bofedal y bosques densos de queñoa y llareta. Especies notables de la fauna son las vicuñas, guanacos y huemules. También abundan las vizcachas sobre las rocas, llamas y alpacas. Las aves que lo habitan suman unas 130 especies, siendo las más importantes la tagua gigante, queltehue de la puna, pato puna, flamenco chileno, entre otras.
- Reserva Nacional Las Vicuñas: Se ubica inmediatamente al sur del Parque Nacional Lauca. La vegetación característica entre los 3.200 y 3.800 m s.n.m. corresponde a matorrales bajos y algunos bosques de queñoa, ubicados en las quebradas. Sobre los 3.800 m s.n.m. se observan dos tipos de praderas: la seca, correspondiente a llareta y paja brava, y la húmeda, formada por bofedales.

En la cuenca del Lauca no existen áreas incluidas en la “Estrategia Regional y Plan de Acción de la Biodiversidad I Región de Tarapacá”.

3.2.4 Usos ancestrales

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

Sin embargo, se estima que a futuro estén claramente establecidos los derechos otorgados por la DGA a las comunidades indígenas de las distintas etnias de la primera región. Esto de acuerdo al convenio DGA-Conadi, “Convenio Marco para la Protección, Constitución y Reestablecimiento de los derechos de Agua de Propiedad Ancestral de las Comunidades Aymaras y Atacameñas, 1987”, que responde al restablecimiento de los derechos ancestrales de agua.

En este informe se ha supuesto la localización de dichos derechos de agua, en ciertos segmentos, tomando como referencia el estudio elaborado por AC Consultores. Esta localización se expresa en la tabla 3.3. Sin embargo, como no se conoce la ubicación específica, estos usos no aparecen indicados en la lámina 1940-LAU-02.

3.2.5 Conclusiones

En la lámina 1940-LAU-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 3.3, la cual contiene el tipo de uso del agua por segmento.

La tabla 3.3 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.

Lauca

24.

Tabla 3.3: Usos de agua por Segmento en la Cuenca del Lauca

Cauce	Segmento	Usos in situ			Extractivos				Biodiversidad**	Ancestrales
		Acuicultura	Pesca Deportiva Y Recreativa	Riego	Captación A.P.	Hidroelectricidad	Actividad Industrial	Actividad Minera		
Río Desaguadero	1020DE10								•	
Río Lauca	1020LA10	■	■	•	■	•	■	■	•	•
	1021LA10	■	■		■	■		■	•	■
Río Guallatire	1021GU10	■	■	•	■	■	■	■	•	•
	1021GU20	■	■	•	■	■	■	■	•	•

Nota: Si bien existe actividad minera, no se dispone de información sobre derechos de agua que permita relacionarlas con los segmentos.

[Ref 3.1], [Ref. 3.2]

* 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 Lauca posee un total de 29 asentamientos humanos clasificados como *Aldeas o Caseríos* que no cuentan con sistema de alcantarillado ni agua potable. La información disponible de los asentamientos humanos emplazados en la cuenca, corresponde únicamente a los datos censales del año 1992 referidos a la localidad de Parinacota.

La cuenca del río Lauca no posee población urbana.

3.3.2 Residuos industriales líquidos

En la cuenca del río Lauca no se han identificado establecimientos industriales que hagan uso de las aguas del cauce principal ni sus afluentes.

3.4 Datos de Calidad de Aguas

3.4.1 Fuentes de Información

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

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

REGISTRO DE PROGRAMA DE MONITOREO DGA					
Cuenca	Lauca				
Cuerpos de Agua Monitoreados	Medición de Caudal	Nº Parámetros Medidos	Nº Parámetros Instructivo	Período de Registro	Nº Registros
Río Lauca					
Después de Quiburcanca (*)	NO	3	3	-	3

Lauca

26.

REGISTRO DE PROGRAMA DE MONITOREO DGA					
Cuenca	Lauca				
En Estancia el Lago (*)	SI	16	10	1980-1983	4
En Ungalliri (*)	NO	14	8	1980-1981	7
En Japu	SI	32	21	1983-2001	27
Río Guallatire					
En nacimiento (*)	NO	16	10	1985-1986	3
En desembocadura (*)	NO	32	21	1986-2001	23
Río Desaguadero					
En Cotacotani (*)	SI	32	21	1980-2001	43
Parámetros medidos Instructivo					
• Indicadores físico-químicos	SI	• Orgánicos plaguicidas		NO	
• Inorgánicos	SI	• Microbiológicos		NO	
• Metales esenciales	SI	• Orgánicos		NO	
• Metales no esenciales	SI	• Otros parámetros no normados		SI	

(*) Estaciones de monitoreo suspendidas

b) Programa de muestreo SAG 1999-2000. Río Lauca

En este programa se consideran 2 muestras del año 1999 y 2000 de los siguientes nueve parámetros: pH, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn, As, Cd, y Pb.

Los puntos de muestreo son:

- Río Lauca 50m antes junta estero Millune
- Río Lauca 50m después junta estero Millune

c) 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 en la cuenca del río Lauca, 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 Lauca se encontró que la información de los siguientes parámetros es equivalente al límite de detección por repetirse constantemente en los registros existentes: níquel (<10 µg/l), selenio (<1 µg/l), cadmio (<10 µg/l) mercurio (<1 µg/l) 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.

Lauca

28.

La Base de Datos Depurada que contiene la información disponible para análisis de la cuenca del río Lauca, se presenta en la forma de un archivo digital en el anexo 3.2.

4. ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

4.1 Análisis de Información Fluviométrica

4.1.1 Análisis por estación

a) Subcuenca del Desaguadero

- Desaguadero Cotacotani

Se encuentra en el origen del río Desaguadero, en el lugar donde la laguna Cotacotani desagua sus aguas en este río. Se ubica a 4500 m s.n.m.

En la tabla 4.1 y figura 4.1, donde se muestran los caudales mensuales para distintas probabilidades de excedencia, se puede observar que esta estación presenta un régimen nival, con sus mayores caudales entre octubre y diciembre, producto de los deshielos de las altas cumbres.

En años húmedos los mayores caudales se presentan entre octubre y diciembre, producto de los deshielos, mientras que los menores caudales lo hacen en abril y agosto.

En años secos los mayores caudales también ocurren en octubre y diciembre, sin embargo los menores caudales se observan en febrero y marzo.

Tabla 4.1: Río Desaguadero Cotacotani (m³/s)²

Pex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	0.814	0.907	0.898	0.709	0.699	0.983	1.345	1.648	1.244	0.793	0.697	1.351
10	0.678	0.757	0.707	0.601	0.625	0.829	1.050	1.459	1.030	0.673	0.609	0.843
20	0.537	0.598	0.529	0.486	0.536	0.674	0.800	1.259	0.820	0.543	0.503	0.476
50	0.324	0.358	0.304	0.307	0.365	0.454	0.525	0.951	0.530	0.336	0.300	0.160
85	0.135	0.165	0.154	0.155	0.155	0.279	0.377	0.672	0.310	0.141	0.050	0.042
95	0.049	0.095	0.103	0.097	0.031	0.209	0.336	0.549	0.226	0.051	0.010	0.019
Dist	G	G2	L2	G2	N	L2	L3	L2	L2	L3	N	L2

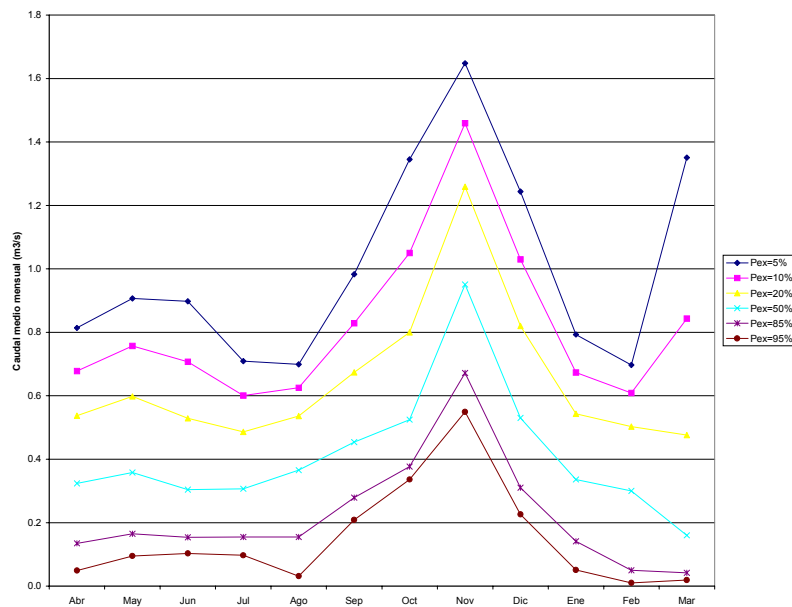


Figura 4.1: Curva de Variación Estacional Río Desaguadero Cotacotani

² 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 Lauca

- Lauca en Estancia El Lago

Esta estación se ubica en la parte alta del río Lauca, aguas abajo de la bocatoma del canal Lauca, a 4370 m s.n.m.

En la tabla 4.2 y figura 4.2 se observa que esta estación presenta un régimen pluvial, con sus mayores caudales entre enero y marzo, producto de lluvias altiplánicas de verano. Tanto en años húmedos y secos los mayores caudales se presentan en meses de verano, mientras que en el resto del año se observan caudales bastante similares, sin mostrar variaciones importantes.

Tabla 4.2: Río Lauca en Estancia El Lago (m³/s)

Pex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	1.563	1.409	1.184	1.491	1.634	1.355	1.479	1.600	1.404	2.170	2.995	2.900
10	1.351	1.206	1.060	1.204	1.303	1.187	1.219	1.299	1.290	1.880	2.421	2.343
20	1.131	0.999	0.927	0.957	1.015	1.012	0.994	1.034	1.152	1.578	1.871	1.811
50	0.798	0.697	0.717	0.679	0.684	0.745	0.740	0.729	0.888	1.122	1.143	1.106
85	0.502	0.448	0.523	0.523	0.493	0.511	0.597	0.550	0.562	0.717	0.623	0.602
95	0.368	0.345	0.434	0.479	0.437	0.410	0.556	0.498	0.371	0.533	0.436	0.422
Dist	G	L2	L2	L3	L3	L2	L3	L3	N	G	L2	L2

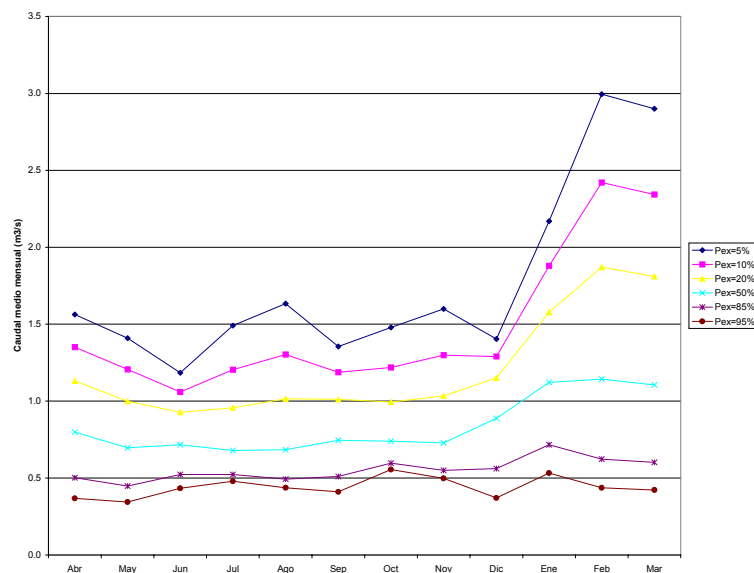


Figura 4.2: Curva de Variación Estacional Río Lauca en Estancia El Lago

Lauca

32.

- Lauca en Japu

Se ubica en la zona baja de la parte chilena del río Lauca, cerca del límite con Bolivia, a 3907 m s.n.m.

En la tabla 4.3 y figura 4.3 se observa que esta estación muestra un marcado régimen pluvial, con sus mayores caudales en febrero y marzo en años muy húmedos, producto de intensas lluvias de verano del denominado “Invierno Altiplánico”, y con caudales muy parejos en el resto del año. Tanto para años húmedos y secos los mayores caudales se presentan entre febrero y marzo, mientras que en el resto del año se observan caudales relativamente constantes, sin mostrar variaciones de importancia.

Tabla 4.3: Río Lauca en Japu (m³/s)

Pex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	6.546	4.186	3.402	3.536	3.933	3.870	3.143	3.266	4.231	11.159	20.394	18.822
10	5.695	3.635	3.223	3.362	3.493	3.377	2.944	3.036	3.807	9.134	15.592	14.388
20	4.808	3.133	3.018	3.152	3.072	2.925	2.719	2.778	3.350	7.167	11.264	10.392
50	3.468	2.519	2.662	2.751	2.517	2.366	2.337	2.345	2.624	4.508	6.050	5.580
85	2.277	2.129	2.280	2.256	2.123	2.006	1.940	1.904	1.942	2.547	2.814	2.594
95	1.737	2.004	2.082	1.965	1.982	1.888	1.739	1.684	1.628	1.821	1.795	1.654
Dist	G	L3	L2	N	L3	L3	L2	L2	L2	L2	L3	L2

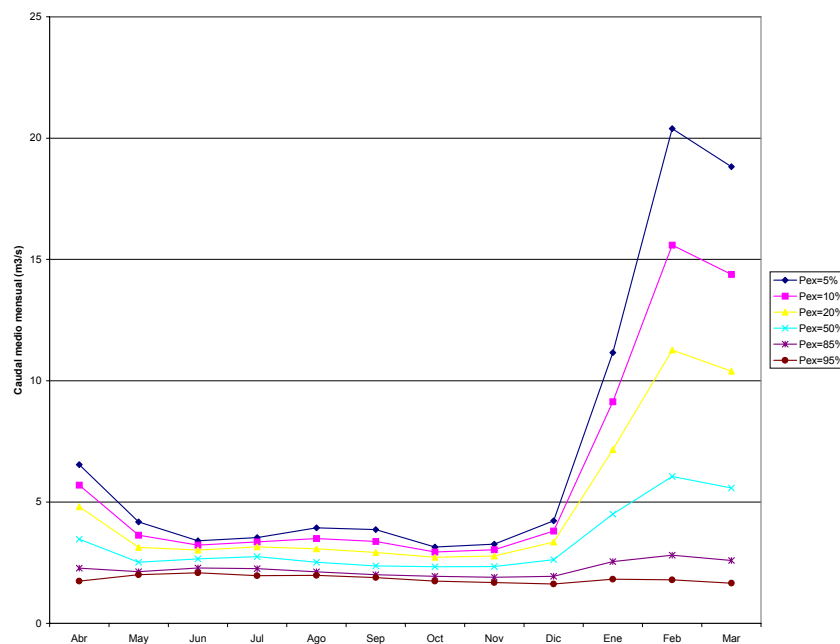


Figura 4.3: Curva de Variación Estacional Río Lauca en ZAPU

- c) Subcuenca Guallatire
- Guallatire en Guallatire

La estación Guallatire en Guallatire está ubicada en el río del mismo nombre, en una zona de bofedales, a 4280 m s.n.m.

En la tabla 4.4 y figura 4.4 es posible observar que esta estación muestra un régimen pluvial con una gran regulación natural, lo que hace que los caudales, tanto para años húmedos y secos, se mantengan prácticamente constantes a lo largo de todo el año, mostrando leves aumentos en el mes de enero, producto de lluvias de verano.

Esta importante regulación se debe al hecho de que el río Guallatire corresponde al desagüe de la laguna con el mismo nombre, y además a que esta estación está ubicada en una zona de bofedales, los que producen un efecto regulatorio en los caudales del río.

Tabla 4.4: Río Guallatire en Guallatire (m³/s)

Pex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	0.424	0.485	0.444	0.454	0.438	0.434	0.425	0.403	0.403	0.461	0.429	0.436
10	0.405	0.436	0.426	0.435	0.421	0.415	0.402	0.387	0.387	0.425	0.410	0.417
20	0.382	0.389	0.403	0.412	0.400	0.392	0.377	0.369	0.368	0.391	0.388	0.394
50	0.339	0.327	0.360	0.368	0.361	0.348	0.332	0.333	0.331	0.342	0.345	0.349
85	0.285	0.284	0.306	0.313	0.313	0.294	0.285	0.290	0.286	0.305	0.292	0.294
95	0.253	0.268	0.275	0.281	0.285	0.262	0.260	0.264	0.259	0.291	0.261	0.262
Dist	N	L3	N	N	N	N	L2	N	N	L3	N	N

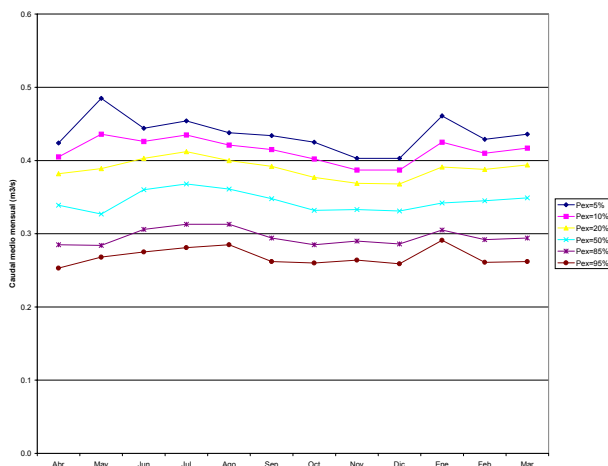


Figura 4.4: Curva de Variación Estacional Río Guallatire en Guallatire

4.1.2 Conclusiones

De acuerdo a las curvas de variación estacional presentadas en el capítulo anterior se caracterizará hidrológicamente la cuenca del río Lauca, especificando el período de estiaje de cada subcuenca.

a) Subcuenca del Desaguadero

Corresponde a la hoya hidrográfica del río Desaguadero, desde su nacimiento en la laguna Cotacotani, hasta su paso por la ciénaga de Parinacota, donde al reunirse muchas vertientes pasan a formar el río Lauca. Muestra un régimen nival, con los mayores caudales entre octubre y diciembre, producto de los deshielos. El período de estiaje ocurre en el trimestre dado por los meses de junio, julio y agosto.

b) Subcuenca del Lauca

Es el área drenada por el río Lauca, desde sus inicios en la ciénaga de Parinacota hasta su paso por el límite fronterizo entre Chile y Bolivia, incluyendo la hoya del río Guallatire. A lo largo de todo el curso del río Lauca se observa un claro régimen pluvial, producto de intensas lluvias altiplánicas de verano. En el caso del río Guallatire, producto de la regulación natural que sufre, tal como se mencionó anteriormente, presenta caudales muy uniformes a lo largo del año, mostrando pequeñas variaciones en sus caudales.

En toda esta subcuenca, tanto en la hoya del Lauca y del Guallatire, el período de menores caudales se extiende desde junio a diciembre, ya que éstos permanecen prácticamente constantes durante ese período.

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

Tabla 4.5: Períodos de Estiaje para Subcuencas de la Cuenca del río Lauca

Nº	Subcuenca	Período Estiaje
1	Desaguadero	Junio – Julio – Agosto

2	Lauca	Junio a Diciembre
---	-------	-------------------

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 son: conductividad, DBO₅, oxígeno disuelto, pH, sólidos suspendidos y coliformes fecales.

Para DBO₅, sólidos suspendidos y coliformes fecales, la base de datos de la DGA no contiene registros.

b) Parámetros principales

Para seleccionar los parámetros principales se compara el valor 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 4.6 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 4.6: Selección y Rango de los Parámetros de Calidad en la Cuenca del Río Lauca

PARÁMETROS	UNIDAD	MINIMO	MAXIMO	CLASE 0	SELECCIÓN
FISICO-QUÍMICOS					
Conductividad Eléctrica	μS/cm	320	1021	<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	3,0	13,5	>7,5	Obligatorio
pH	unidad	6,0	9,4	6,5 - 8,5	Obligatorio
RAS	-	0,8	3,2	<2,4	Si
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	18,1	114,1	<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	42,3	234,0	<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
METALES ESENCIALES					
Boro	mg/l	0,2	4.0	<0,4	Si
Cobre	μg/L	<10	280	<7,2	Si
Cromo total	μg/L	<10	90	<8	Si
Hierro	mg/L	<0,01	4,47	<0,8	Si
Manganeso	mg/L	<0,01	0,34	<0.04	Si
Molibdeno	mg/L	<0,01	0,03	<0,008	Si
Níquel	μg/L	<10	<10	<42	No
Selenio	μg/L	<1	<1	<4	No
Zinc	mg/L	<0,01	0,07	<0,096	No
METALES NO ESENCIALES					
Aluminio	mg/L	<0,01	1,45	<0,07	Si
Arsénico	mg/L	<0,001	0,514	<0,04	Si
Cadmio	μg/L	<10	<10	<1,8	No
Estaño	μg/L	s/i	s/i	<4	No
Mercurio	μg/L	<1	<1	<0,04	No
Plomo	mg/L	<0,01	<0,01	<0,002	No
MICROBIOLÓGICOS					
Coliformes Fecales (NMP)	gérmenes/100 ml	s/i	s/i	<10	Obligatorio

Coliformes Totales (NMP)	gérmenes/100 ml	s/i	s/i	<200	No
--------------------------	-----------------	-----	-----	------	----

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

Parámetros Obligatorios

- Conductividad Eléctrica
- DBO₅
- Oxígeno Disuelto
- pH
- Sólidos Suspendidos
- Coliformes Fecales

Parámetros Principales

- RAS
- Cloruro
- Sulfato
- Boro
- Cobre
- Cromo
- Hierro
- Manganeso
- Molibdeno
- Aluminio
- Arsénico

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
- Cianuro
- Estaño

Los parámetros cuyo valor máximo registrado en la BDD no excede el límite de la clase 0 se considera que siempre pertenece a dicha clase. Estos parámetros son: amonio,

fluoruro, nitrito, sulfuro, zinc y coliformes totales. Los parámetros níquel y selenio también se clasifican en clase 0, aunque su valor corresponde al límite de detección.

No es posible realizar un análisis para los parámetros: cadmio, mercurio y plomo, ya que su valor corresponde al límite de detección (LD) y es superior 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 Lauca: conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH, RAS, cloruro, sulfato, boro, cobre, cromo, hierro, manganeso, molibdeno, aluminio y arsénico.

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 4.7.

Tabla 4.7: Tendencia Central de Parámetros de Calidad de Agua

CUENCA RIO LAUCA
Conductividad Eléctrica:
<u>Río Desaguadero</u> : Se observa una tendencia central plana en una serie de tiempo de 22 años con un valor de 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
<u>Río Lauca</u> : Se observa una tendencia central plana en una serie de tiempo de 16 años, con valores de 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en la estación Lauca en Japu.
<u>Río Guallatire</u> : Se observa una tendencia central creciente en un valor de 550 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en una serie de tiempo de dieciséis años.

Lauca

40.

Tabla 4.7 (Continuación): Tendencia Central de Parámetros de Calidad de Agua

CUENCA RIO LAUCA	
Oxígeno Disuelto	
<p><u>Río Desaguadero</u>: En una serie de tiempo de quince años se observa un comportamiento creciente en la estación Cotacotani en un valor de 8,0 mg/L.</p>	
<p><u>Río Lauca</u>: En la estación Japu se tiene una serie de tiempo restringida sólo a dos años con un comportamiento decreciente con una tendencia central en un valor de 7,2 mg/L.</p>	
<p><u>Río Guallatire</u>: En la estación Desembocadura se observan dos comportamientos, el primero hasta 1998 con una tendencia plana con un valor de 6,5 mg/L, donde se tiene un aumento 1 mg/L para presentar un comportamiento disímil hasta el año 2001 con una tendencia central decreciente en un valor de 7,0 mg/L en una serie de tiempo de catorce años.</p>	
pH :	
<p><u>Río Desaguadero</u>: En una serie de tiempo de veinte años se observa un comportamiento constante en un valor básico en una serie de tiempo de veinte años con un valor de la tendencia central de 8,2.</p>	
<p><u>Río Lauca</u>: En la estación Lauca en Japu se observa una tendencia central plana en una serie de tiempo de catorce años con un valor 7,8.</p>	
<p><u>Río Guallatire</u>: En la estación Desembocadura se observa un comportamiento constante con una tendencia central plana en un valor de 7,8 en una serie de tiempo de once años.</p>	
RAS:	
<p><u>Río Desaguadero</u>: en una serie de tiempo de dieciocho años se observa una tendencia central plana con un valor de 1,6.</p>	
<p><u>Río Lauca</u>: En una serie de tiempo de trece años se observa a lo largo del río un comportamiento uniforme con una tendencia central plana en un valor de 2,5 en la estación Lauca en Japu.</p>	
<p><u>Río Guallatire</u>: En la serie de tiempo de trece años se observa una tendencia central plana con un aumento en el año 1999, con un valor de 1,0.</p>	
Cloruro :	
<p><u>Río Desaguadero</u>: Se observa desde el año 1990, una tendencia central plana con un valor de 38 mg/L en la serie de tiempo de diez años.</p>	
<p><u>Río Lauca</u>: En la estación Japu se observa un comportamiento creciente con una tendencia central creciente en un valor de 80 mg/L en una serie de tiempo dieciséis años.</p>	
<p><u>Río Guallatire</u>: En la serie de tiempo de once años se observa un comportamiento creciente hasta el año 1990 para permanecer constante y con una tendencia central plana hasta el año 2001 en un valor de 39 mg/L.</p>	

Tabla 4.7 (Continuación): Tendencia Central de Parámetros de Calidad de Agua

CUENCA RIO LAUCA
Sulfato:
<p><u>Río Desaguadero</u>: En la serie de tiempo de dieciocho años se observa desde el año 1982 una tendencia central plana con un valor de 180 mg/L.</p> <p><u>Río Lauca</u>: El comportamiento en la estación Japu es constante en la serie de tiempo de catorce años con un valor de la tendencia central plana en 120 mg/L.</p> <p><u>Río Guallatire</u>: En la serie de tiempo de catorce años se observa un comportamiento creciente con una tendencia central plana en un valor de 130 mg/L.</p>
Boro:
<p><u>Río Desaguadero</u>: Presenta una tendencia central plana con un comportamiento constante en un valor de 1,2 mg/L.</p> <p><u>Río Lauca</u>: En la estación Japu se observa un comportamiento decreciente hasta el año 1989 para permanecer constante en adelante hasta el año 2001 en un valor de la tendencia central de 2,2 mg/L.</p> <p><u>Río Guallatire</u>: El comportamiento del boro presenta una tendencia central plana en una serie de tiempo de trece años con un valor de 0,8 mg/L.</p>
Cobre:
<p><u>Río Desaguadero</u>: Presenta una tendencia central plana con un valor de 10 µg/L en una serie de tiempo restringida a tres años.</p> <p><u>Río Lauca</u>: En la estación Japu el comportamiento es decreciente, observándose un incremento en los valores entre los años 1991 a 1993, la tendencia central es decreciente con un valor de 35 µg/L.</p> <p><u>Río Guallatire</u>: El comportamiento del cobre es decreciente en los últimos cuatro años de la serie de tiempo con un valor de la tendencia central en 20 µg/L.</p>
Cromo total:
<p><u>Río Desaguadero</u>: En la serie de tiempo de quince años se observa una tendencia central decreciente en un valor de 28 µg/L.</p> <p><u>Río Lauca</u>: El número de registros no permite el análisis de la tendencia central.</p> <p><u>Río Guallatire</u>: El número de registros no permite el análisis de la tendencia central.</p>
Hierro:
<p><u>Río Desaguadero</u>: En la serie de tiempo de once años se observa una tendencia central decreciente en un valor de 0,18 mg/L.</p> <p><u>Río Lauca</u>: Se observa un comportamiento disímil con una tendencia central creciente en la estación Japu en un valor de 0.82 mg/L.</p>

Tabla 4.7 (Continuación): Tendencia Central de Parámetros de Calidad de Agua

CUENCA RIO LAUCA
<p><u>Río Guallatire</u>: Se observa en una serie de tiempo de trece años un comportamiento decreciente hasta el año 1994 para luego permanecer constante en un valor de la tendencia central en 0,3 mg/L.</p>
<p>Manganeso:</p>
<p><u>Río Desaguadero</u>: Se observa una tendencia central decreciente en la serie de tiempo de cuatro años en un valor de 0.025 mg/l</p> <p><u>Río Lauca</u>: La serie de tiempo restringida a cuatro años con un comportamiento creciente con un valor de la tendencia central de 0,07 mg/L en la estación en Sifón N°1 y un valor de la tendencia central creciente en la estación Japu de 0,1 mg/L.</p> <p><u>Río Guallatire</u>: Desde el año 2000 se observa un comportamiento decreciente con un valor de la tendencia central en 0.038 mg/L. En la primera parte de la serie de tiempo de cuatro años, el comportamiento es relativamente constante y una tendencia plana.</p>
<p>Molibdeno :</p>
<p><u>Río Desaguadero</u>: Presenta una tendencia central plana, en una serie de tiempo restringida a cuatro años con un valor de 0.010 mg/L.</p> <p><u>Río Lauca</u>: En la estación Japu se observa una tendencia central creciente en una serie de tiempo restringida a cuatro años con un valor de 0.014 mg/L.</p> <p><u>Río Guallatire</u>: Se observa una tendencia central plana, en una serie de tiempo restringida a cuatro años con un valor de 0.010 mg/L.</p>
<p>Aluminio:</p>
<p><u>Río Desaguadero</u>: Se tiene una serie de tiempo de veinte años con un comportamiento constante plano hasta el año 1997, en los últimos cuatro años se observa una tendencia central levemente decreciente en un valor de 0,45 mg/L.</p> <p><u>Río Lauca</u>: Se observa un comportamiento creciente en la estación Sifón N°1 en una serie de tiempo de cuatro años en un valor de 0,25 mg/L en la estación Japu, en la misma serie de tiempo, se observa desde 1999 un comportamiento decreciente con un valor de 0.8 mg/L.</p> <p><u>Río Guallatire</u>: Se observa una tendencia central plana, en una serie de tiempo restringida a cuatro años con un valor de 0.4 mg/L.</p>
<p>Arsénico:</p>
<p><u>Río Desaguadero</u>: En una serie de tiempo de cuatro años se observa un comportamiento constante con una tendencia central plana con un valor de 0,05 mg/L.</p> <p><u>Río Lauca</u>: En la estación Japu en la misma serie de tiempo, se observa desde 1999 un comportamiento decreciente con un valor de 0.22 mg/L, el arsénico se introducen al ambiente en forma de compuestos inorgánicos como: arsenitos, y</p>

Tabla 4.7 (Continuación): Tendencia Central de Parámetros de Calidad de Agua

CUENCA RIO LAUCA
arseniato. El arsenito es más tóxico que el arseniato. En la determinación por espectrometría de absorción atómica potencialmente pueden interferir ciertos metales como: cobre, plomo, mercurio, molibdeno; a cantidades mayores de 1 µg/L.
<u>Río Guallatire</u> : Se observa una tendencia central plana, en una serie de tiempo restringida a cuatro años con un valor de 0.02 mg/L.

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 a verificar la clase actual en algunos segmentos de los cauces seleccionados y en tercer lugar, se requiere contar con una información puntual en cauces en los cuales se carece de toda otra información. En el caso de esta cuenca, se han privilegiado las mediciones en cuatro puntos, con el fin de caracterizar lo más ampliamente posible el río Lauca y sus tributarios principales.

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 ambos aspectos, en octubre de 2003 se llevó a cabo el siguiente programa de muestreo:

Tabla 4.8: Programa de Muestreo Puntual CADE-IDEPE

Segmento	Puntos de muestreo	Situación	Parámetros a medir en todos los puntos
1020DE10	Río Desaguadero en Cotacotani	Estación DGA	DBO ₅ , color aparente, SD, SST, NH ₄ ⁺ , CN ⁻ , F ⁻ , NO ₂ ⁻ , S ₂ ⁻ , Sn, CF, CT
1021LA10	Río Lauca en ZAPU	Estación DGA	
1020LA10	Río Lauca en Aguas arriba del Estero Millune	Estación por definir	
1021GU10	Río Guallatire en Desembocadura	Estación DGA	

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 a información de nivel 2 y se representa en las tablas de calidad del agua por el valor entre paréntesis. (ejemplo OD = (10,5))
- Si sólo se dispone de un número menor que 5 registros por período estacional, se procede a calcular el promedio de los valores, que equivale a información de nivel 3 y se representa en las tablas de calidad del agua por el valor entre dos paréntesis. (ejemplo OD = ((10,5)))

En el caso de la cuenca del río Lauca la información que compone la BDI es la siguiente:

- Información DGA: nivel 1, 2 y 3 para los períodos estacionales de invierno, verano, primavera y otoño.
- Programa de Muestreo Puntual CADE-IDEPE : Nivel 4
- Información estimada por el consultor : Nivel 5

- Otras fuentes de información:
 - Programa de Muestreo SAG. Información nivel 3

Para la cuenca del río Lauca, 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 periodo 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 4.9 se presentan los valores característicos por período estacional de los parámetros seleccionados en la cuenca del río Lauca, incluyendo la clase correspondiente para cada uno de ellos de acuerdo al Instructivo.

Tabla 4.9: Calidad de Agua por Períodos Estacionales en la Cuenca del río Lauca
Información DGA

ESTACIÓN DE MONITOREO	Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO DESAGUADERO COTACOTANI	902,6	2	(901,7)	2	946,8	2	862,8	2
RIO GUALLATIRE EN DESEMBOCADURA	((624,3))	1	(575,7)	0	((623,5))	1	(537,7)	0
RIO LAUCA EN JAPU (O EN EL LIMITE)	(676,8)	1	(600,3)	1	(743,8)	1	690,5	1

ESTACIÓN DE MONITOREO	Oxígeno Disuelto (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO DESAGUADERO COTACOTANI	((9,3))	0	((9,8))	0	((7,3))	2	((6,1))	2
RIO GUALLATIRE EN DESEMBOCADURA	((6,0))	2	((7,7))	0	((6,3))	2	((7,0))	2
RIO LAUCA EN JAPU (O EN EL LIMITE)	((8,5))	0	((8,2))	0	((5,8))	2	((6,4))	2

ESTACIÓN DE MONITOREO	pH							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO DESAGUADERO COTACOTANI	8,5	0	(8,2)	0	8,5	0	8,5	0
RIO GUALLATIRE EN DESEMBOCADURA	((8,0))	0	(7,7)	0	((7,0))	0	(8,1)	0
RIO LAUCA EN JAPU (O EN EL LIMITE)	(7,6)	0	(7,7)	0	(7,5)	0	7,8	0

ESTACIÓN DE MONITOREO	RAS							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO DESAGUADERO COTACOTANI	1,7	0	(1,6)	0	1,7	0	1,7	0
RIO GUALLATIRE EN DESEMBOCADURA	((0,9))	0	(0,9)	0	((1,8))	0	(1,0)	0
RIO LAUCA EN JAPU (O EN EL LIMITE)	(2,7)	1	(2,5)	1	(2,6)	1	2,9	1

ESTACIÓN DE MONITOREO	Cloruro (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO DESAGUADERO COTACOTANI	33,9	0	(35,6)	0	36,8	0	(33,7)	0
RIO GUALLATIRE EN DESEMBOCADURA	((37,8))	0	(33,8)	0	((38,4))	0	(32,0)	0
RIO LAUCA EN JAPU (O EN EL LIMITE)	(79,4)	0	(65,3)	0	(93,0)	1	93,8	1

ESTACIÓN DE MONITOREO	Sulfato (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO DESAGUADERO COTACOTANI	190,5	2	(179,2)	2	189,7	2	204,0	2
RIO GUALLATIRE EN DESEMBOCADURA	((149,2))	1	(130,5)	1	((133,2))	1	(128,6)	1
RIO LAUCA EN JAPU (O EN EL LIMITE)	(115,8)	0	(101,8)	0	(124,0)	1	135,2	1

ESTACIÓN DE MONITOREO	Boro (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO DESAGUADERO COTACOTANI	(1,0)	4	((1,0))	4	1,3	4	(1,2)	4
RIO GUALLATIRE EN DESEMBOCADURA	((1,0))	4	(1,0)	4	((1,0))	4	(0,8)	4
RIO LAUCA EN JAPU (O EN EL LIMITE)	((2,0))	4	((1,8))	4	((2,3))	4	(2,0)	4

ESTACIÓN DE MONITOREO	Cobre ($\mu\text{g}/\text{l}$)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO DESAGUADERO COTACOTANI	((<10))	<2	((<10))	<2	((<10))	<2	((<10))	<2
RIO GUALLATIRE EN DESEMBOCADURA	((23))	2	(82)	2	((<10))	<2	(17)	2
RIO LAUCA EN JAPU (O EN EL LIMITE)	((15))	2	(33)	2	(22)	2	(24)	2

Tabla 4.9 (Continuación): Calidad de Agua por Períodos Estacionales en la Cuenca del río Lauca. Información DGA

ESTACIÓN DE MONITOREO	Cromo (µg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO DESAGUADERO COTACOTANI	(20)	2	(20)	2	(42)	2	(25)	2
RIO GUALLATIRE EN DESEMBOCADURA	((<10))	<1	((<10))	<1	((<10))	<1	((<10))	<1
RIO LAUCA EN JAPU (O EN EL LIMITE)	((<10))	<1	((<10))	<1	((<10))	<1	((<10))	<1

ESTACIÓN DE MONITOREO	Hierro (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO DESAGUADERO COTACOTANI	0,10	0	((0,10))	0	(0,17)	0	(0,24)	0
RIO GUALLATIRE EN DESEMBOCADURA	((0,29))	0	(0,30)	0	((0,04))	0	(0,39)	0
RIO LAUCA EN JAPU (O EN EL LIMITE)	((0,87))	1	(0,55)	0	(0,39)	0	(1,31)	2

ESTACIÓN DE MONITOREO	Manganeso (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO DESAGUADERO COTACOTANI	((0,02))	0	((0,03))	0	((0,02))	0	((0,05))	1
RIO GUALLATIRE EN DESEMBOCADURA	((0,02))	0	((0,02))	0	((<0,01))	0	((0,08))	2
RIO LAUCA EN JAPU (O EN EL LIMITE)	((0,06))	2	((0,09))	2	((0,03))	0	((0,16))	2

ESTACIÓN DE MONITOREO	Molibdeno (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO DESAGUADERO COTACOTANI	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1
RIO GUALLATIRE EN DESEMBOCADURA	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1
RIO LAUCA EN JAPU (O EN EL LIMITE)	((<0,01))	<1	((0,02))	2	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1

ESTACIÓN DE MONITOREO	Aluminio (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO DESAGUADERO COTACOTANI	0,50	2	(0,38)	2	0,50	2	(0,50)	2
RIO GUALLATIRE EN DESEMBOCADURA	((0,37))	2	((0,53))	2			((0,47))	2
RIO LAUCA EN JAPU (O EN EL LIMITE)	((0,95))	2	((0,79))	2	((1,45))	3	((0,46))	2

ESTACIÓN DE MONITOREO	Arsénico (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO DESAGUADERO COTACOTANI	((0,035))	0	((0,036))	0	((0,036))	0	((0,095))	2
RIO GUALLATIRE EN DESEMBOCADURA	((0,015))	0	(0,035)	0	((0,024))	0	(0,028)	0
RIO LAUCA EN JAPU (O EN EL LIMITE)	(0,211)	4	(0,214)	4	(0,238)	4	(0,215)	4

Respecto al Programa de muestreo del SAG realizado entre los años 1999 y 2000, aguas arriba y aguas abajo de la junta del río Lauca con el estero Millune, se tiene lo siguiente:

Tabla 4.10: Calidad de Agua en la Cuenca del río Lauca. Información SAG 1999-2000

Punto de Muestreo	pH	
	Valor	Clase
Río Lauca 50m antes junta Estero Millune	((7.5))	0
Río Lauca 50m después junta Estero Millune	((6.9))	0

**Tabla 4.10 (Continuación): Calidad de Agua en la Cuenca del río Lauca.
Información SAG 1999-2000**

Punto de Muestreo	Boro (mg/L)	
	Valor	Clase
Río Lauca 50m antes junta Estero Millune	-	
Río Lauca 50m después junta Estero Millune	((0.28))	0

Punto de Muestreo	Cobre (µg/L)	
	Valor	Clase
Río Lauca 50m antes junta Estero Millune	((76))	2
Río Lauca 50m después junta Estero Millune	((52))	2

Punto de Muestreo	Hierro (mg/L)	
	Valor	Clase
Río Lauca 50m antes junta Estero Millune	((1.70))	2
Río Lauca 50m después junta Estero Millune	((0.16))	0

Punto de Muestreo	Manganeso (mg/L)	
	Valor	Clase
Río Lauca 50m antes junta Estero Millune	((0.09))	2
Río Lauca 50m después junta Estero Millune	((0.30))	4

Punto de Muestreo	Níquel (µg/L)	
	Valor	Clase
Río Lauca 50m antes junta Estero Millune	-	
Río Lauca 50m después junta Estero Millune	((<10))	0

Punto de Muestreo	Zinc (mg/L)	
	Valor	Clase
Río Lauca 50m antes junta Estero Millune	((0.06))	0
Río Lauca 50m después junta Estero Millune	((0.07))	0

Punto de Muestreo	Arsénico (mg/L)	
	Valor	Clase
Río Lauca 50m antes junta Estero Millune	((0.053))	2
Río Lauca 50m después junta Estero Millune	((0.015))	0

**Tabla 4.10 (Continuación): Calidad de Agua en la Cuenca del río Lauca.
Información SAG 1999-2000**

Punto de Muestreo	Cadmio ($\mu\text{g/L}$)	
	Valor	Clase
Río Lauca 50m antes junta Estero Millune	-	
Río Lauca 50m después junta Estero Millune	((<10))	<2

Punto de Muestreo	Plomo (mg/L)	
	Valor	Clase
Río Lauca 50m antes junta Estero Millune	((<0.05))	<2
Río Lauca 50m después junta Estero Millune	((<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 Lauca.

**Tabla 4.11: Calidad de Agua Cuenca del río Lauca
Muestreo Puntual CADE-IDEPE primavera 2003**

Punto de Muestreo	DBO ₅ (mg/L)	
	Valor	Clase
Río Desaguadero en Cotacotani	<1.5	0
Río Guallatire en Desembocadura	<5	<1
Río Lauca aguas arriba del Estero Millune	1.9	0
Río Lauca en ZAPU	<5	<1

Punto de Muestreo	Color Aparente (Pt-Co)	
	Valor	Clase
Río Desaguadero en Cotacotani	5	0
Río Guallatire en Desembocadura	5	0
Río Lauca aguas arriba del Estero Millune	25	2
Río Lauca en ZAPU	15	0

**Tabla 4.11 (Continuación): Calidad de Agua Cuenca del río Lauca
Muestreo Puntual CADE-IDEPE primavera 2003**

Punto de Muestreo	Sólidos Disueltos (mg/L)	
	Valor	Clase
Río Desaguadero en Cotacotani	250	0
Río Guallatire en Desembocadura	493	1
Río Lauca aguas arriba del Estero Millune	130	0
Río Lauca en ZAPU	176	0

Punto de Muestreo	Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)	
	Valor	Clase
Río Desaguadero en Cotacotani	<10	0
Río Guallatire en Desembocadura	<10	0
Río Lauca aguas arriba del Estero Millune	<10	0
Río Lauca en ZAPU	<10	0

Punto de Muestreo	Amonio (mg/L)	
	Valor	Clase
Río Desaguadero en Cotacotani	0.05	0
Río Guallatire en Desembocadura	0.06	0
Río Lauca aguas arriba del Estero Millune	0.02	0

Punto de Muestreo	Cianuro ($\mu\text{g/L}$)	
	Valor	Clase
Río Desaguadero en Cotacotani	40	3
Río Guallatire en Desembocadura	28	3
Río Lauca aguas arriba del Estero Millune	<3	0
Río Lauca en ZAPU	15	3

Punto de Muestreo	Fluoruro (mg/L)	
	Valor	Clase
Río Desaguadero en Cotacotani	0.5	0
Río Guallatire en Desembocadura	0.2	0
Río Lauca aguas arriba del Estero Millune	0.2	0
Río Lauca en ZAPU	0.2	0

Punto de Muestreo	Nitrito (mg/L)	
	Valor	Clase
Río Desaguadero en Cotacotani	<0.01	0
Río Guallatire en Desembocadura	<0.01	0
Río Lauca aguas arriba del Estero Millune	<0.01	0
Río Lauca en ZAPU	<0.01	0

**Tabla 4.11 (Continuación): Calidad de Agua Cuenca del río Lauca
Muestreo Puntual CADE-IDEPE primavera 2003**

Punto de Muestreo	Sulfuro (mg/L)	
	Valor	Clase
Río Desaguadero en Cotacotani	<0.01	0
Río Guallatire en Desembocadura	<0.01	0
Río Lauca aguas arriba del Estero Millune	<0.01	0
Río Lauca en ZAPU	<0.01	0

Punto de Muestreo	Estaño (µg/L)	
	Valor	Clase
Río Desaguadero en Cotacotani	40	3
Río Guallatire en Desembocadura	<200	-
Río Lauca aguas arriba del Estero Millune	70	4
Río Lauca en ZAPU	<200	-

Punto de Muestreo	Coliformes Fecales (NMP/100ml)	
	Valor	Clase
Río Desaguadero en Cotacotani	<2	0
Río Guallatire en Desembocadura	30	1
Río Lauca aguas arriba del Estero Millune	<2	0
Río Lauca en ZAPU	11	1

Punto de Muestreo	Coliformes Totales (NMP/100ml)	
	Valor	Clase
Río Desaguadero en Cotacotani	<2	0
Río Guallatire en Desembocadura	80	0
Río Lauca aguas arriba del Estero Millune	<2	0
Río Lauca en ZAPU	17	0

Al realizarse el programa de muestreos, se verificó una inconsistencia en el Instructivo, respecto a los límites de la Clase de excepción y la metodología de análisis de ciertos parámetros de calidad. Esta inconsistencia 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 y su código. La segunda identifica los factores tanto naturales como antropogénicos que explican los valores de los parámetros contaminantes. La tercera identifica aquellos parámetros seleccionados que sobrepasan la clase de excepción del Instructivo asociados al segmento correspondiente y de los cuales se dispone de información ya sea proveniente de la red de monitoreo de la DGA y/o de muestreos puntuales realizados por otra entidad. La última columna fundamenta y particulariza los factores incidentes.

La Tabla 4.12 explica los factores incidentes en la cuenca del río Lauca.

Tabla 4.12: Factores Incidentes en la Calidad del Agua en la Cuenca del Río Lauca

ESTACION DE CALIDAD / SEGMENTO	FACTORES INCIDENTES		PARÁMETROS QUE PUEDEN VERSE AFECTADOS	CARACTERIZACIÓN DEL FACTOR
	NATURALES	ANTROPOGENICOS		
Río Desaguadero en Cotacotani 0120-DE-10	Lixiviación superficial y volumétrica de litología del sector asociado a esta parte de la cuenca. Surgencia de aguas ricas en sales (Termales) Fenómenos de concentración debido a la evaporación Litología rica en sales y metales	Actividad turística Actividad militar Contaminación difusa por aguas servidas Lixiviación de depósitos de estériles y aguas de drenaje de minas	CE, OD, SO_4^{2-} , B, Cu, Cr, Mo, Al, As, Mn, CN^- , Sn Posiblemente CF, CT, DBO_5	<ul style="list-style-type: none"> • Formaciones geológicas correspondientes a rocas volcánicas fracturadas, compuesta por coladas, tobas y brechas andesíticas con intercalaciones de sedimentos clásticos continentales, ignimbritas, riolíticas y dacíticas, correspondiente a los períodos Terciario y Cuaternario • Parque Nacional Lauca • Clima: Alta radiación solar. Altitud favorece que el agua se encuentre en estado gaseoso • Minería: Mina de oro Choquelimpie • Zona de pajonales y bofedales • Existencia de termas • Poblado de Parinacota y caseríos aymaras
Río Guallatire en desembocadura 1021-GU-10	Existencia de bofedales Fenómenos de concentración debido a la evaporación Lixiviación superficial y volumétrica de litología del sector asociado a esta parte de la cuenca. Influencia volcánica	Actividad turística	CE, OD, SO_4^{2-} , B, Cu, Cr, Mo, Al, Mn, SD, CN^- , Sn, CF, CT, DBO_5	<ul style="list-style-type: none"> • Formaciones geológicas de rocas volcánicas • Parque Nacional Lauca • Clima: Alta radiaciónSolar. Altitud favorece que el agua se encuentre en estado gaseoso • Volcanismo: Volcán Guallatire

Tabla 4.12 (Continuación): Factores Incidentes en la Calidad del Agua en la Cuenca del Río Lauca

ESTACION DE CALIDAD / SEGMENTO	FACTORES INCIDENTES		PARÁMETROS QUE PUEDEN VERSE AFECTADOS	CARACTERIZACIÓN DEL FACTOR
	NATURALES	ANTROPOGENICOS		
Río Lauca aguas arriba del estero Millune* 1020-LA-10	Fenómenos de concentración debido a la evaporación Lixiviación superficial y volumétrica de litología del sector asociado a esta parte de la cuenca	Actividad turística Contaminación difusa por aguas servidas	Cu, Fe, Mn, As, Color aparente, Sn Posiblemente CF, CT, DBO ₅	<ul style="list-style-type: none"> • Formaciones geológicas de rocas volcánicas • Parque Nacional Lauca • Clima: Alta radiación Solar. Altitud favorece que el agua se encuentre en estado gaseoso • Poblado de Misitune y Carisa
Río Lauca aguas abajo estero Millune* 1020-LA-10	Litología rica en sales y metales. Fenómenos de concentración debido a la evaporación	Actividad turística Contaminación difusa por aguas servidas	Cu, Mn Posiblemente CF, CT, DBO ₅	<ul style="list-style-type: none"> • Parque Nacional Lauca • Clima: Alta radiación Solar. Altitud favorece que el agua se encuentre en estado gaseoso • Poblado de Misitune y Carisa
Río Lauca en Japu (o en el límite) 1021-LA-10	Litología rica en sales y metales. Fenómenos de concentración debido a la evaporación	Actividad turística Contaminación difusa por aguas servidas	CE, OD, RAS, Cl, SO ₄ ⁻² , B, Cu, Cr, Fe, Mn, Mo, Al, As, CN ⁻ , Posiblemente CF, CT, DBO ₅	<ul style="list-style-type: none"> • Parque Nacional Lauca • Clima: Alta radiación Solar. Altitud favorece que el agua se encuentre en estado gaseoso • Poblado de Japu

* Muestreo SAG

5. CALIDAD ACTUAL Y NATURAL DE LOS CURSOS SUPERFICIALES

5.1 Análisis Espacio-Temporal en Cauce Principal

Para el análisis del agua del cauce principal, río Lauca, en la cuenca de éste se cuenta sólo con una estación de monitoreo, que es:

- Río Lauca en Japu

Debido a la existencia de esta única estación de monitoreo en el río Lauca, no es posible analizar el perfil longitudinal de la calidad de agua en relación a los parámetros seleccionados que exceden la clase 0 en esta cuenca, para los cuatro períodos estacionales.

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 en los ríos seleccionados de la cuenca del río Lauca presentada por grupos de parámetros y por parámetro según el *Instructivo*. Este análisis está basado en la información presentada en el punto 4.2.4.

Tabla 5.1: Análisis de los Parámetros de Calidad Actual

CUENCA RÍO LAUCA
Parámetros físicos- Químicos (FQ): Conductividad Eléctrica, DBO₅, Color, OD, pH, RAS, SDT, SST.
<u>CE</u> : En el río Desaguadero todos los valores se asignan a la clase 2. En el río Lauca todos los valores se clasifican en clase 1 sin variación estacional. El río Guallatire no presenta variación estacional entre invierno-primavera y otoño-verano con valores en clase 1 y 0 respectivamente.
<u>DBO₅</u> : El valor del muestreo puntual en primavera en los ríos Lauca, Guallatire y Desaguadero está asignado a la clase 0.
<u>Color Aparente</u> : El valor del muestreo puntual en primavera en los ríos Guallatire, Desaguadero y Lauca en la estación Japu está asignado a la clase 0. En la estación Lauca aguas arriba del estero Millune está asignado a la clase 2.
<u>SD</u> : El valor del muestreo puntual en primavera en los ríos Lauca y Desaguadero está asignado a la clase 0. En el río Guallatire en la estación Desembocadura está asignado a la clase 1.
<u>SST</u> : El valor del muestreo puntual en primavera en los ríos Lauca, Guallatire y Desaguadero está asignado a la clase 0.

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

CUENCA RÍO LAUCA
<p><u>OD</u>: En los ríos Lauca y Desaguadero los valores son semejantes entre invierno-otoño y primavera-verano con valores en clase 0 y 2 respectivamente. En el río Guallatire los valores son similares a lo largo del año asignados a la clase 2, excepto en otoño en clase 0.</p> <p><u>pH</u>: Todos los valores están asignados a la clase 0.</p> <p><u>RAS</u>: En todos los ríos no se observa variación estacional con valores en clase 0 para los ríos Desaguadero y Guallatire. En el río Lauca los valores se asignan en clase 1.</p>
<p>Inorgánicos (IN): NH_4^+, CN^-, Cl^-, F^-, NO_2^-, SO_4^{2-}, S^{2-}</p> <p><u>Cl⁻</u>: Todos los valores observados se asignan a la clase 0 en los ríos Desaguadero y Guallatire. En el río Lauca no se observa variación entre invierno-otoño y primavera-verano con valores en clase 0 y 1 respectivamente.</p> <p><u>SO₄²⁻</u>: En los ríos Desaguadero y Guallatire no se observa variación estacional con valores en clase 2 y 1 respectivamente. El río Lauca no presenta variación estacional entre invierno-otoño y primavera-verano con valores en clase 0 y 1 respectivamente.</p> <p><u>NH₄⁺</u>: El valor del muestreo puntual en primavera, en los ríos Guallatire, Desaguadero y Lauca, en todas las estaciones de muestreo está asignado a la clase 0.</p> <p><u>CN⁻</u>: El valor del muestreo puntual en primavera, en los ríos Guallatire, Desaguadero y Lauca en la estación Japu, en todas las estaciones muestreadas está asignado a la clase 0. aguas arriba del estero Millune</p> <p><u>F⁻</u>: El valor del muestreo puntual en primavera, en los ríos Guallatire, Desaguadero y Lauca, en todas las estaciones muestreadas está asignado a la clase 0.</p> <p><u>NO₂⁻</u>: El valor del muestreo puntual en primavera, en los ríos Guallatire, Desaguadero y Lauca, en todas las estaciones muestreadas está asignado a la clase 0.</p> <p><u>S²⁻</u>: El valor del muestreo puntual en primavera, en los ríos Guallatire, Desaguadero y Lauca, en todas las estaciones de muestreo está asignado a la clase 0.</p>
<p>Orgánicos (OR): Aceites y grasas, PCBs, SAAM, fenol, HCAP, HC, tetracloroetano, tolueno</p> <p>No se dispone de información para los parámetros orgánicos.</p>
<p>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.</p> <p>No se dispone de información para los parámetros orgánicos plaguicidas.</p>

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

CUENCA RÍO LAUCA	
Metales Esenciales (ME): B, Cu, Cr_{total}, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Zn	
█	<p>B: Todos los valores se clasifican en clase 4.</p> <p>Cu: En el río Desaguadero los valores se encuentran en límite de detección superior a la clase 0. En el río Lauca no se observa variación estacional con todos los valores en clase 2. El río Guallatire tiene sus valores en clase 2 durante el año, a excepción de la primavera en límite de detección.</p> <p>Cr_{total}: En el río Desaguadero los valores se clasifican en clase 2 sin variación estacional. En los ríos Lauca y Guallatire los niveles de concentración están en el límite de detección superior al de la clase 0, lo cual no permite análisis.</p>
█	<p>Fe: Todos los valores se encuentran asignados a la clase 0, a excepción del río Lauca, donde se observan valores en clase 1 y 2 en invierno y verano respectivamente.</p> <p>Mn: Los ríos Desaguadero y Guallatire no presentan variación estacional con valores en clase 0, excepto en verano en clase 1 y 2 respectivamente. En el río Lauca los niveles de concentración son similares en clase 2 en invierno, otoño y verano.</p>
█	<p>Mo: Prácticamente todos los valores se encuentran en límite de detección superior al de la clase 0. Sin embargo se pueden observar valores en clase 2 en el río Lauca en otoño.</p>
█	<p>Ni, Se, Zn: Los registros históricos permiten calificar sus valores siempre en clase 0.</p>
Metales no Esenciales (MN) : Al, As, Cd, Sn, Hg, Pb	
█	<p>Al: En todos los ríos los valores se asignan a la clase 2. Sin embargo en el río Lauca en primavera los valores están clasificados en clase 3.</p> <p>As: No se observa variación estacional en los niveles de concentración, presentándose valores en clase 0 en los ríos Desaguadero y Guallatire, y en clase 4 en el río Lauca. La única variación se observa en el río Desaguadero en clase 2.</p> <p>Cd, Hg y Pb: No es posible clasificarlo en alguna clase establecida en el Instructivo, por corresponder el dato al límite de detección superior a la clase 0.</p> <p>Sn: El valor del muestreo puntual en primavera, en los ríos Guallatire y Lauca en Japu solo permite señalar que esta asignado a una clase inferior a la clase 3. En la estación en el río Lauca aguas arriba del estero Millune esta asignado a la clase 4. En el río Desaguadero en Cotacotani esta asignado a la clase 3.</p>
Indicadores Microbiológicos (IM): CF, CT	
█	<p>CF: El valor del muestreo puntual en primavera, en los ríos Guallatire y Lauca en Japu esta asignado a la clase 1. En la estación en el río Lauca aguas arriba del estero Millune y Desaguadero en Cotacotani esta asignado a la clase 0.</p>
█	<p>CT: El valor del muestreo puntual en primavera, en los ríos Guallatire, Desaguadero y Lauca en todas las estaciones muestreadas esta asignado a la clase 0.</p>

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

El análisis realizado en los acápites anteriores permite elaborar la tabla 5.2, en la cual se clasifican los distintos parámetros de calidad según la clase del *Instructivo* a la que pertenecen en un segmento específico de los ríos seleccionados en la cuenca.

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

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

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

- Para aquellos parámetros que poseen información de nivel 1, se utiliza el valor correspondiente al percentil 66% para el período estacional más desfavorable.
- Para aquellos parámetros que poseen información de nivel 2 ó 3, se utiliza el valor promedio para el período estacional más desfavorable
- 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 Lauca, estos parámetros son: DBO₅, color aparente, 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).

Lauca

60.

Tabla 5.2: Asignación de Clases de Calidad Actual
Tabla.5.2a: Cauce Principal - Río Lauca

Estaciones de calidad	Código deSegmento	Clase del Instructivo					Parámetro con valor en limite de detección	Parámetros seleccionado sin información	Observación
		0	1	2	3	4			
Río Lauca aguas arriba del estero Millune	1020-LA-10	pH, DBO ₅ , SST, NH ₄ ⁺ , SD, F ⁻ , NO ₂ ⁻ , SST, S ²⁻ , CT, CF, CN ⁻ , Zn		Color aparente As, Cu, Fe, Mn			Sn	Pb	Información SAG información nivel 3: Cu, Fe, Mn, Zn, As, Pb Información nivel 4 muestreo puntual en primavera : DBO ₅ , color aparente, SD, SST, NH ₄ ⁺ , F ⁻ ,NO ₂ ⁻ , S ²⁻ , CT, CF, CN ⁻ , Sn
Río Lauca aguas abajo estero Millune	1020-LA-10	pH, B, Fe, Ni, Zn, As		Cu		Mn	Cd, Pb	Todos los demás parámetros seleccionados	Información SAG información nivel 3: B, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn, As, Cd, Pb
Río Lauca en Japu (o en el límite)	1021-LA-10	pH, Ni, Se, Zn, DBO ₅ ,color aparente, SD, SST, NH ₄ ⁺ , F ⁻ , NO ₂ ⁻ , S ²⁻ , CT	CE, RAS, Cl, SO ₄ ⁻² , CF	OD, Cu, Fe, Mn, Mo	Al, CN ⁻	B, As	Cr, Cd, Hg, Pb, Sn	Todos los demás parámetros seleccionados	Información DGA niveles 2 y 3. Información nivel 4 muestreo puntual en primavera : DBO ₅ ,color aparente, SD, SST, NH ₄ ⁺ , F ⁻ NO ₂ ⁻ , S ²⁻ , CT,CF, CN ⁻ , Sn

Parámetros seleccionados de la cuenca del río Lauca: Conductividad Eléctrica, DBO₅, Oxígeno Disuelto, pH, Sólidos Suspendedos, Coliformes Fecales, RAS, Cloruro, Sulfato, Boro, Cobre, Cromo total, Hierro, Manganeso, Molibdeno, Aluminio, Arsénico, Sólidos Disueltos, Cianuro, Estaño.

Tabla 5.2b: Cauce Secundario: Río Desaguadero

Estaciones de calidad	Código de Segmento	Clase del Instructivo					Parámetro con valor en límites de detección	Parámetros seleccionados sin información	Observación
		0	1	2	3	4			
Río Desaguadero Cotacotani	1020-DE-10	pH, RAS, Cl, Fe, Ni, Se, Zn, CF, DBO ₅ , color aparente, SD, SST, NH ₄ ⁺ , F ⁻ , NO ₂ ⁻ , S ²⁻ , CT	Mn	CE, OD, SO ₄ ⁻² , Cr, Al, As	Sn, CN ⁻	B	Cu, Mo, Cd, Hg, Pb	Todos los demás parámetros seleccionados	Información DGA niveles 2 y 3. Información nivel 4 muestreo puntual en primavera : DBO ₅ , color aparente, SD, SST, NH ₄ ⁺ , F ⁻ , NO ₂ ⁻ , S ²⁻ , CT, CF, CN ⁻ , Sn.

Tabla 5.2c: Cauce Secundario: Río Guallatire

Estaciones de calidad	Código de Segmento	Clase del Instructivo					Parámetro con valor en límites de detección	Parámetros seleccionados sin información	Observación
		0	1	2	3	4			
Río Guallatire en Desembocadura	1021-GU-10	pH, RAS, Cl, Fe, As, Ni, Se, Zn, DBO ₅ , color aparente, SST, NH ₄ ⁺ , F ⁻ , NO ₂ ⁻ , S ²⁻ , CT	CE, SD, SO ₄ ⁻² , CF,	OD, Cu, Mn, Al	CN ⁻	B	Cr, Mo, Cd, Hg, Pb, Sn	Todos los demás parámetros seleccionados	Información DGA nivel 3. Información nivel 4 muestreo puntual en primavera : DBO ₅ , color aparente, SD, SST, NH ₄ ⁺ , F ⁻ , NO ₂ ⁻ , S ²⁻ , CT, CF, CN ⁻ , Sn

- Todos los cauces seleccionados en la cuenca poseen información.

Lauca

62.

5.4 Calidad Natural y Factores Incidentes

En la Tabla 5.3 se identifican los parámetros que exceden la clase 0 en los diferentes cursos de agua de la cuenca del río Lauca, basada en la información estadística por períodos estacionales que se presenta en la Tabla 4.9.

Tabla 5.3: Valores estacionales máximos de los parámetros en la cuenca del río Lauca

Estación	Segmento	CE ($\mu\text{S/cm}$)	OD (mg/L)	Color Aparente	RAS	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ⁻² (mg/L)	B (mg/L)	Cu ($\mu\text{g/L}$)	Cr ($\mu\text{g/L}$)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Mo (mg/L)	Sn ($\mu\text{g/L}$)	Al (mg/L)	SD (mg/L)	As (mg/L)
Río Desaguadero en Cotacotani	1020-DE-10	946,8	((6,1))				204	1,3	((<10))	(42)		((0,05))	((<0,01))	40	0,5		((0,095))
Río Guallatire en desembocadura	1021-GU-10	((624,3))	((6))				((149,2))	((1))	(82)	((<10))		((0,08))	((<0,01))	200	((0,53))		
Río Lauca aguas arriba del estero Millune*	1020-LA-10	s/i	s/i	25	s/i	s/i	s/i	s/i	76	s/i	1,7	0,09	s/i	70	s/i		0,053
Río Lauca aguas abajo estero Millune*	1020-LA-10	s/i	s/i		s/i	s/i	s/i		52	s/i		0,3	s/i		s/i		
Río Lauca en Japu (o en el límite)	1021-LA-10	(743,8)	((5,8))		2,9	93,8	135,2	((2,3))	(33)	((<10))	(1,31)	((0,16))	((0,02))	200	((1,45))		(0,238)

Fuente: Elaboración propia

*: Muestreo SAG

s/i: sin información

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

A continuación se analizarán las causas que originan la existencia de los parámetros que exceden la clase de excepción, considerando los factores particulares que inciden en la calidad de las aguas de la cuenca del río Lauca.

5.4.1 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica detectada presenta valores comprendidos entre 538 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Est. DGA Río Guallatire en desembocadura – verano) a 947 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (est. DGA Río Desaguadero en Cotacotani – primavera), la cual supera la clase de excepción en la parte baja de la cuenca en aproximadamente 57,8 %. Sin embargo esta agua puede ser utilizada para riego.

El aumento de este fenómeno se debe a la disolución y lixiviación de la gran cantidad de sales minerales y metales presentes en el suelo y la litología de la cuenca, la que se caracteriza por tener rocas de origen volcánicas fracturadas (ignimbritas). Adicionalmente los factores que a continuación se detallan contribuyen al aumento de la concentración de iones:

- La alta radiación solar que existe a esta latitud y la altura (sobre 4.000 m s.n.m.) permiten una elevada evaporación de agua, lo cual origina la concentración de varios parámetros de calidad.
- En la parte alta de la cuenca existe un gran aporte de agua rica en sales y metales debido a su recarga geotermal (existencia de termas).
- Las lagunas Cotacotani, son naturalmente de concentraciones salinas, debido a la litología y a elevada evaporación.

5.4.2 Oxígeno disuelto (OD)

Los valores de OD procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 5,8 mg/L (Est. DGA Río Lauca en Japu -primavera) a 9,8 mg/L (Est. DGA Río Desaguadero Cotacotani - otoño), estos infringen la clase de excepción en aproximadamente 31%.

En general el Lauca presenta valores aceptables de oxígeno disuelto, que permite el desarrollo de especies acuáticas andinas. Sin embargo, la atmósfera a esta altitud es pobre en oxígeno, por lo cual la capacidad de difusión al agua se reduce bastante.

5.4.3 RAS

Los valores de RAS procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 0,9 (Est. DGA Río Guallatire en desembocadura - invierno) a 2,9 (Est. DGA Río Lauca en Japu - verano), estos superan la clase de excepción en aproximadamente 21 %.

La presencia de iones Na, Ca y Mg se deben en gran medida a la salinidad base de las lagunas Cotacotani, las cuales presentan un aumento de concentración por la intensa evaporación y litología compuesta por rocas volcánicas de tipo fracturadas (ignimbritas y andesitas).

5.4.4 Cloruro

Los valores de cloruros procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 32 mg/L (Est. DGA Río Guallatire en Desembocadura -verano) a 93,8 mg/L (Est. DGA Río Lauca en Japu -verano), estos superan la clase de excepción en aproximadamente 17 %.

El aumento del cloruro se debe a los motivos indicados con mayor detalle en el punto 5.4.1.

5.4.5 Sulfatos

Los valores de sulfatos procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 101,8 mg/L (Est DGA Río Lauca en Japu - otoño) a 204 mg/L (Est DGA Río Desaguadero en Cotacotani - verano), estos superan la clase de excepción en aproximadamente 70%.

El origen de este parámetro se debe a la existencia de rocas sedimentarias constituidas por evaporitas (yesos y boratos), las cuales por procesos de disolución y lixiviación aportan constantemente sulfatos en la cuenca. En la parte alta el volcanismo es un factor importante en el aporte de sulfatos constituyente de las coladas, tobas y brechas fracturadas del maciso andino.

Lauca

66.

5.4.6 Boro

Los valores de boro procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 0,8 mg/L (Est DGA Río Guallatire en desembocadura - verano) a 2,3 mg/L (Est DGA Río Lauca en Japu - primavera).

En la parte alta de la cuenca se encuentran suelos salados que constituyen evaporitas con alto contenido de bórax y ácido bórico, los cuales hacen aportes importantes al río Lauca y sus tributarios. Por otra parte, la laguna Cotacotani, debido a la alta evaporación, es salina con contenido apreciable de boro que al desaguarse y formar el Lauca aporta una cantidad apreciable de boro.

Adicionalmente existen surgencias de aguas geotermales, que aportan compuestos de boro al cauce.

5.4.7 Cobre

Los valores de cobre procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los <10 µg/L (Est. DGA Río Desaguadero en Cotacotani - verano) a 82 µg/L (Est. DGA Río Guallatire en desembocadura - otoño).

El origen de este parámetro es la lixiviación superficial y volumétrica de metales presentes en la litología – rocas volcánicas fracturadas de coladas, tobas y brechas. Adicionalmente, existe un contacto napa río con intercambio de aguas subterráneas y superficiales.

5.4.8 Cromo

Los valores de cromo procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los <10 µg/L (Est. DGA Río Lauca en Japu - invierno) a 42 µg/L (Est. DGA Río Desaguadero en Cotacotani - primavera).

La aparición de cromo es atribuible esencialmente a la litología de la corteza terrestre la cual por procesos de lixiviación de los minerales adicionan cromo a las corrientes de agua. Esta lixiviación se manifiesta tanto en las aguas subterráneas como en las

superficiales, lo cual queda ratificado por la existencia de cromo disuelto en todos los tributarios y curso principal.

5.4.9 Hierro

Los valores de hierro procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 0,04 mg/L (Est. DGA Río Guallatire en desembocadura - primavera) a 1,31 mg/L (Est. DGA Río Lauca en Japu - verano), estos superan la clase de excepción en aproximadamente 64%.

El origen de este parámetro es la lixiviación natural de gran cantidad de sales y metales presentes en la litología de la cuenca, la que se caracteriza por tener rocas de origen volcánico fracturadas.

5.4.10 Manganeso

Los valores de manganeso procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los <0,01 mg/L (Est. DGA Río Guallatire en desembocadura - primavera) a 0,16 mg/L (Est DGA río Lauca en Japu - verano).

La aparición del manganeso se debe a tres fenómenos independientes: la lixiviación de las rocas volcánicas de la alta cordillera, las actividades mineras desarrolladas en la cuenca y el afloramiento de napas subterráneas en distintas secciones de la cuenca, en las cuales los acuíferos asociados a las secciones recargan los cursos superficiales.

5.4.11 Molibdeno

Los valores de molibdeno procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los <0,01 mg/L (Est. DGA Río Desaguadero en Cotacotani - primavera) a 0,02 mg/L (Est DGA río Lauca en Japu - otoño).

La aparición de molibdeno en los cursos de agua es atribuible esencialmente a la lixiviación de minerales del depósito porfírico cuprífero, del cual el molibdeno es parte. Esta lixiviación se manifiesta tanto en las aguas subterráneas como en las superficiales, lo cual queda ratificado por la existencia de molibdeno disuelto en todos los tributarios y curso principal.

Adicionalmente los depósitos de material de descarte procedentes de la minería constituyen fuentes potenciales de contaminación de las aguas superficiales, las cuales toman su mayor relevancia cuando ocurren precipitaciones. La minería asociada a la cuenca (Mina Choquelimpie (oro)) presenta características irreversible, dadas por los drenajes de aguas de minas y el depósito de los materiales de descarte los cuales en su mayor parte no cuentan con un diseño de un sistema de disposición que permita la contención o tratamiento de la escorrentía de éstos.

5.4.12 Aluminio

Los valores de aluminio procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 0,37 mg/L (Est. DGA Río Guallatire en desembocadura -otoño) a 1,45 mg/L (Est. DGA Río Lauca en Japu - verano).

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

5.4.13 Arsénico

Los valores de arsénico procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 0,015 mg/L (Est. DGA Río Guallatire en desembocadura - invierno) a 0,238 mg/L (Est. DGA Río Lauca en Japu -primavera).

La litología asociada a esta cuenca es de roca volcánica fracturadas, con ignimbritas andesitas de período cuaternario, la cual origina filones mineralizados con contenido de arsénico típico de depósitos porfiricos. Por otra parte, las lagunas Cotacotani debido a la alta evaporación tienden a concentrar el arsénico que al desaguarse y formar el Lauca aportan una cantidad apreciable de arsénico, la cual se ve acrecentada por el grado de fraccionamiento de las rocas volcánicas.

5.4.14 Falencias de información

En el muestreo realizado en la cuenca del río Lauca (Octubre 2003) se encontró la presencia de coliformes fecales y totales que exceden la clase de excepción en el sector Japu y río Guallatire en desembocadura. Si bien estos valores son mediciones puntuales indican la presencia de bofedales los cuales son pastoreados por auquénidos de comunidades Aymaras. Estos parámetros requieren de estudios más específicos.

Por otra parte se encontró Cianuro en el río en varios sectores, el cual pese a ser de origen antrópico (minería del oro), puede sin embargo encontrarse en las pilas de estériles que se encuentran en las inmediaciones de la mina de Choquelimpie, por lo que sería importante mantener un seguimiento de este parámetro en el programa de monitoreo futuro.

5.4.15 Conclusiones

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

- La calidad natural de la cuenca del Lauca y sus tributarios varía de buena a regular, observándose principalmente gran concentración de metales y iones.
- La composición química de las aguas del río Lauca proviene de la mezcla de tres tipos de aporte: 1) El rebalse de las Lagunas Cotacotani, que son aguas de salinidad elevada, 2) Las aguas subterráneas provenientes de las lixiviaciones de las rocas volcánicas de la formación Oxaya (ignimbritas) y 3) aguas provenientes de la lixiviación de traquitas y andesitas del cuaternario.
- La alta radiación solar contribuye de manera activa a los fenómenos de concentración.
- Los parámetros más relevantes en esta cuenca serían el: boro, arsénico y cianuro (origen antrópico principalmente).

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 Lauca 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 en la Cuenca del Lauca

Río	Código Segmento	Tramo	Límites de Tramos
Río Desaguadero	1020DE10	DE-TR-10	Desde: Naciente río Desaguadero Hasta: Est. fluviométrica río Lauca en Estancia el Lago
Río Lauca	1020LA10	LA -TR-10	Desde: Est. fluviométrica río Lauca en Estancia el Lago Hasta: Límite Internacional con Bolivia
	1021LA10		
Río Guallatire	1021GU10	GU-TR-10	Desde: Naciente río Guallatire Hasta: Confluencia del río Lauca
	1021GU20		

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

6.2 Requerimientos de Calidad según Usos del Agua

En la tabla 6.2 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 Lauca

Cauce	Tramo	Acuicultura y pesca deportiva	Biodiversidad	Riego	Clase actual más característica	Clase de uso a preservar	Clase objetivo del tramo	Excepciones en el tramo		Parámetros seleccionados que requieren más estudios
								Clase Excep.	Parámetros que difieren de la clase Objetivo	
Río Lauca	LA-TR-10	--	(*)	Clase 1 a 3	2	2	2	0	pH, DBO ₅ , CF, CT, SST, NH ₄ ⁺ , SD, F ⁻ , NO ₂ ⁻ , S ²⁻ , Zn, Ni, Se	Otros parámetros seleccionados
								1	CE, RAS, Cl, SO ₄ ²⁻	
								3	Al, CN-	
								4	B, As, Mn, Sn	
Río Desaguadero	DE-TR-10	--	(*)	--	2	No hay	2	0	pH, RAS, Cl, Fe, Ni, Se, Zn, CF, DBO ₅ , color aparente, SD, SST, NH ₄ ⁺ , F ⁻ , NO ₂ ⁻ , S ²⁻ , CT, CF	Otros parámetros seleccionados
								1	Mn	
								3	Sn, CN-	
								4	B	
Río Guallatire	GU-TR-10	--	(*)	Clase 1 a 3	1	1	1	0	pH, RAS, Cl, Fe, As, Ni, Se, Zn, DBO ₅ , color aparente, SST, NH ₄ ⁺ , F ⁻ , NO ₂ ⁻ , S ²⁻ , CT	Otros parámetros seleccionados
								2	OD, Cu, Mn, Al	
								3	CN-	
								4	B	

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

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 éste punto, para la cuenca del río Lauca se presentan en el anexo 6.1.

7. OTROS ASPECTOS RELEVANTES

7.1 Índice de Calidad de Agua Superficial

7.1.1 Antecedentes

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

El ICAS de la cuenca del río Lauca, estará compuesto por 6 parámetros obligatorios (Conductividad Eléctrica, DBO₅, Oxígeno Disuelto, pH, Sólidos Suspendidos y Coliformes Fecales) y 11 parámetros que han sido seleccionados para esta cuenca.

Consecuentemente, los parámetros relevantes son:

- RAS
- Cloruro
- Sulfato
- Boro
- Cobre
- Cromo
- Hierro
- Manganeso
- Molibdeno
- Aluminio
- Arsénico

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 este documento. Para aquellos parámetros obligatorios de los cuales no se dispone de información se utiliza para ciertas estaciones críticas de la cuenca información nivel 4 (muestreo descrito en el punto 4.2.3) y para las restantes, información nivel 5 (estimaciones realizadas por el consultor).

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

Estación de Muestreo	ICAS
Río Desaguadero en Cotacotani	93
Río Guallatire en desembocadura	94
Río Lauca en Japu (o en el límite)	92

De los resultados de ésta, se puede observar que el agua del río Lauca posee tributarios de buena a regular calidad. La memoria de cálculo de la tabla se encuentra en anexo 7.1

7.1.3 Estimación del ICAS objetivo

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

Tabla 7.2: Clases Objetivos para cada Estación de Muestreo

Estación de Muestreo	Clase Objetivo
Río Desaguadero en Cotacotani	2
Río Guallatire en desembocadura	1
Río Lauca en Japu (o en el límite)	2

El cumplimiento de los valores de la clase objetivo por todos los parámetros permite el cálculo de un nuevo ICAS. Sin embargo, en función del análisis de esta cuenca, se ha concluido que todos los parámetros que difieren de la clase asignada son de origen natural, de modo que los valores de ICAS serían iguales a los de calidad actual.

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 periodos 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 Suspendedos; Coliformes Fecales
- Parámetros Principales: Color Aparente, RAS, Sólidos Disueltos, Cianuro, Cloruro, Sulfato, Boro, Cobre, Cromo Total, Hierro, Manganeso, Molibdeno, Aluminio, Arsénico, Estaño
- Parámetros con Límite de Detección: Cadmio, Mercurio, Plomo
- Parámetros Sin Información: Amonio, Fluoruro, Nitrito, Sulfuro, Coliformes Totales
- 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 7.3: Programa de Monitoreo Futuro

	Punto de Muestreo COD_SEG	Río Desaguadero en Cotacotani 1020DE10	Río Lauca aguas arriba del Estero Millune 1020LA10	Río Lauca en Japu 1021LA10	Río Guallatire en Desembocadura 1021GU10
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		PPL	PPL	PPL	PPL
Sól disueltos	mg/l	PPL	PPL	PPL	PPL
Sól Suspendidos	mg/l	O	O	O	O
INÓRGANICOS					
Amonio	mg/l	S/I	S/I	S/I	S/I
Cianuro	µg/l	PPL	PPL	PPL	PPL
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	PPL	PPL	PPL	PPL
Cobre	µg/l	PPL	PPL	PPL	PPL
Cromo total	µg/l	PPL	PPL	PPL	PPL
Hierro	mg/l	PPL	PPL	PPL	PPL
Manganeso	mg/l	PPL	PPL	PPL	PPL
Molibdeno	mg/l	PPL	PPL	PPL	PPL
Níquel	µg/l				
Selenio	µg/l				
Zinc	mg/l				
METALES NO ESCENCIALES					
Aluminio	mg/l	PPL	PPL	PPL	PPL
Arsénico	mg/l	PPL	PPL	PPL	PPL
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	S/I	S/I	S/I	S/I

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 en las siguientes láminas:

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

7.4 Referencias

Referencia	Título del Informe
2.1	MOP. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. Balance Hídrico de Chile. 1987.
2.2	SERNAGEOMIN, Servicio Nacional de Geología y Minería. Mapa Geológico de Chile. Escala 1:1.000.000. 2002.
2.3	VOLCANES Activos de Chile http://povi.org/chile.htm
2.4	MOP. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. Mapa Hidrogeológico de Chile.
2.5	IGM, Instituto Geográfico Militar. Levantamiento Aerofotogramétrico en base a carta regular 1 : 50.000. Hoja Arica, escala 1: 250.000. 1986.
2.6	IGM, Instituto Geográfico Militar. Geografía de Chile. Tomo V: Geografía de los Suelos. Primera Edición. 1984.
2.7	GAJARDO, Rodolfo. La Vegetación Natural de Chile, Clasificación y Distribución Geográfica. CONAF. Editorial Universitaria. 1994.
2.8	ARRATIA G. ROJAS G & A. CHANG. Géneros de peces de aguas continentales de Chile. Publicación Ocasional Museo Nacional Historia Natural, Santiago de Chile 34:3-108. 1981
2.9	ARRATIA G. Peces del Altiplano de Chile. En el Hombre y los ecosistemas de montaña. MAB-6. El ambiente natural y las poblaciones humanas de Los Andes del Norte Grande de Chile (Anca, Lat. 18° 28'S). Volumen I. La vegetación y los vertebrados inferiores de los pisos latitudinales entre Arica y el Lago Chungará, pp 93-133. 1982.
2.10	ARRATIA G. Preferencias de hábitat de peces Siluriformes de aguas continentales de Chile (Fam. Diplomystidae y Trichomycteridae Studies on Neotropical Fauna and Environment 18(4):217-237. 1983.
2.11	CONAF. Libro Rojo de los Vertebrados Terrestres de Chile. Ministerio de Agricultura. CONAF. 1993.
2.12	CONAF. Plan de Manejo del Parque Nacional Lauca. Doc. de trabajo N° 82. 1986.
2.13	PEQUEÑO G. Peces de Chile, Lista sistemática revisada y comentada: addendum. Revista de Biología Marina y Oceanografía 32(2):77-94. 1997.
2.14	CONAF - CONAMA. Catastro de Bosque Nativo.
2.15	INE, Instituto Nacional de Estadísticas. Ciudades, Pueblos y Aldeas. Censo 1992.
2.16	INE, Instituto Nacional de Estadísticas. VI Censo Nacional Agropecuario. 1997.
2.17	INE, Instituto Nacional de Estadísticas http://www.censo2002.cl
2.18	EDITEC Ltda. Compendio de Minería Chilena. 2003.
2.19	SONAMI. Sociedad Nacional de Minería, octubre 1999. http://www.sonami.cl/boletín/bol1126/art7.html

Lauca

80.

Referencia	Título del Informe
2.20	MINISTERIO de Minería. Mapa Minero de Chile. 2002
2.21	SINIA. Sistema Nacional de Información Ambiental http://www.sinia.cl
2.22	CONAMA. Comisión Nacional del Medio Ambiente http://www.conama.cl
3.1	RICARDO EDWARDS – INGENIEROS LTDA., Estudio de Síntesis de Catastros de Usuarios de Agua e Infraestructuras de Aprovechamiento, Octubre 1991.
3.2	IPLA Ltda, Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile, 1996.
3.3	ARRAU Carominas, Fernando. Distribución y Comercialización de las Aguas de Chile. Enero 1998 http://www.bcn.cl