

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

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

**CUENCA DEL RIO LLUTA**

**DICIEMBRE 2004**

**CADE-IDEPE**  
CONSULTORES EN INGENIERIA



**INDICE**

<b><u>ITEM</u></b>	<b><u>DESCRIPCION</u></b>	<b><u>PAGINA</u></b>
1.	ELECCIÓN DE LA CUENCA Y DEFINICIÓN DE CAUCES .....	1
2.	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA .....	2
2.1	Cartografía y Segmentación Preliminar .....	2
2.2	Sistema Físico Natural.....	4
2.2.1	Clima .....	4
2.2.2	Geología y volcanismo .....	5
2.2.3	Hidrogeología .....	6
2.2.4	Geomorfología.....	9
2.2.5	Suelos .....	10
2.3	Flora y Fauna de la Cuenca del río Lluta .....	11
2.3.1	Flora terrestre y acuática .....	11
2.3.2	Fauna acuática .....	14
2.4	Sistemas Humanos.....	14
2.4.1	Asentamientos humanos .....	14
2.4.2	Actividades económicas .....	15
2.5	Usos del Suelo .....	15
2.5.1	Uso agrícola.....	16
2.5.2	Uso forestal.....	16
2.5.3	Uso urbano.....	17
2.5.4	Áreas silvestres Protegidas y Conservación de la Biodiversidad.....	17
3.	ESTABLECIMIENTO DE LA BASE DE DATOS.....	19
3.1	Información Fluviométrica.....	19
3.2	Usos del Agua.....	20
3.2.1	Usos in – situ .....	20
3.2.2	Usos extractivos.....	21
3.2.3	Biodiversidad.....	22
3.2.4	Usos ancestrales.....	23
3.2.5	Conclusiones.....	23

**INDICE**

<b><u>ITEM</u></b>	<b><u>DESCRIPCION</u></b>	<b><u>PAGINA</u></b>
3.3	Descargas a Cursos de Agua .....	26
3.3.1	Descargas de tipo domiciliario .....	26
3.3.2	Residuos industriales líquidos.....	26
3.4	Datos de Calidad de Agua.....	27
3.4.1	Fuentes de información .....	27
3.4.2	Aceptabilidad de los programas de monitoreo .....	29
4.	ANALISIS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION .....	31
4.1	Análisis de Información Fluviométrica.....	31
4.1.1	Análisis por estación .....	31
4.1.2	Caracterización hidrológica de la cuenca.....	37
4.2	Análisis de la Calidad del Agua .....	38
4.2.1	Selección de parámetros.....	38
4.2.2	Análisis de tendencia central.....	42
4.2.3	Programa de Muestreo Puntual CADE - IDEPE.....	45
4.2.4	Base de datos integrada (BDI) .....	46
4.2.5	Procesamiento de datos por período estacional.....	47
4.3	Factores Incidentes en la Calidad del Agua .....	54
5.	CALIDAD ACTUAL Y NATURAL DE LOS CURSOS SUPERFICIALES .	58
5.1	Análisis Espacio Temporal en Cauce Principal .....	58
5.2	Caracterización de la Calidad de Agua .....	69
5.3	Asignación de Clases de Calidad Actual a Nivel de Cuenca .....	72
5.4	Calidad Natural y Factores Incidentes .....	77
5.4.1	Boro .....	79
5.4.2	Arsénico .....	79
5.4.3	Oxígeno disuelto .....	80
5.4.4	pH .....	80
5.4.5	Cobre .....	80
5.4.6	Aluminio.....	81
5.4.7	Hierro .....	81

**INDICE**

<b><u>ITEM</u></b>	<b><u>DESCRIPCION</u></b>	<b><u>PAGINA</u></b>
5.4.8	Cromo .....	81
5.4.9	Manganeso.....	82
5.4.10	Conductividad eléctrica .....	82
5.4.11	Sulfatos .....	83
5.4.12	Zinc.....	83
5.4.13	Cloruros .....	84
5.4.14	Fluoruros.....	84
5.4.15	Plomo.....	85
5.4.16	Estaño .....	85
5.4.17	Sólidos disueltos.....	85
5.4.18	Sólidos suspendidos.....	86
5.4.19	Falencias de información.....	86
5.4.20	Conclusiones.....	86
6.	PROPOSICIÓN DE CLASES OBJETIVOS .....	88
6.1	Establecimiento de Tramos .....	88
6.2	Requerimientos de Calidad según Usos del Agua.....	89
6.3	Grado de Cumplimiento de la Calidad Objetivo .....	93
7.	OTROS ASPECTOS RELEVANTES .....	94
7.1	Indice de Calidad de Agua Superficial .....	94
7.1.1	Antecedentes.....	94
7.1.2	Estimación del ICAS .....	94
7.1.3	Estimación del ICAS objetivo .....	95
7.2	Programa de Monitoreo Futuro .....	96
7.3	Sistema de Información Geográfico .....	99
7.4	Referencia Bibliográfica.....	99

Lluta

iv.

## **ANEXOS**

Anexo 3.1 : Estadísticas de Caudales Medios Mensuales Cuenca del Río Lluta

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 Lluta

Anexo 7.1: Índice de Calidad Actual Cuenca del Río Lluta

1. ELECCIÓN DE LA CUENCA Y DEFINICIÓN DE CAUCES

La cuenca hidrográfica del Río Lluta está ubicada en la I Región de Tarapacá, y se extiende entre los paralelos 18°- 18°30' latitud sur y meridianos 70°20'- 69°22' longitud oeste. Abarca una superficie de 3.378 km<sup>2</sup>. Cubre parcialmente el territorio de las Provincias de Parinacota y Arica, siendo el poblado más importante, la localidad de Putre.

El Río Lluta tiene una longitud de 147 km, siendo sus principales tributarios el Río Azufre y las Quebradas de Caracarani, Colpitas y Socoroma. El río presenta escurrimiento exorreico permanente y su cuenca se clasifica como preandina.

La cuenca se caracteriza por la escasez de precipitaciones y, por tanto, la totalidad de sus suelos están desprovistos de vegetación a excepción del sector bajo del valle donde el uso del suelo es agrícola.

Los cauces seleccionados para el estudio son:

- río Lluta
- quebrada Colpitas
- quebrada Caracarani

## Lluta

2.

### 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 Lluta incluye una amplia variedad de información vectorial la que procede de las siguientes fuentes:

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

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 Lluta es la indicada en la Tabla 2.1, la que se muestra en lámina 1940-LLU-02.



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

<b>CUENCA RIO LLUTA</b>					Límites de los segmentos	
SubCuenca	Cauce	REF	SubSeg	Código	Con inicio en:	Términa en:
0120	Quebrada Caracani	CA	1	0120 - CA - 10	Naciente quebrada Caracarani	Junta río Azufre
0120	Quebrada Colpitas	CO	1	0120 - CO - 10	Naciente quebrada Colpitas	Junta con río Lluta
0120	Río Lluta	LL	1	0120 - LL - 10	Junta río Azufre	Junta quebrada Colpitas
0120	Río Lluta	LL	2	0120 - LL - 20	Junta quebrada Colpitas	Junta quebrada Aroma
0121	Río Lluta	LL	1	0121 - LL - 10	Junta quebrada Aroma	Estación monitoreo DGA río Lluta en Chapizca
0121	Río Lluta	LL	2	0121 - LL - 20	Estación monitoreo DGA río Lluta en Chapizca	Estación monitoreo DGA río Lluta en Panamericana
0121	Río Lluta	LL	3	0121 - LL - 30	Estación monitoreo DGA río Lluta en Panamericana	Desembocadura

## Lluta

4.

### 2.2 Sistema Físico Natural

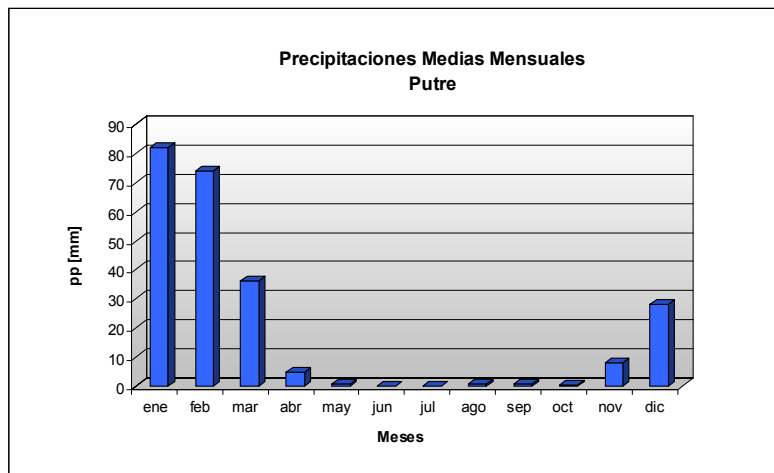
#### 2.2.1 Clima

El clima característico de la cuenca es de tipo desértico con todas sus variantes, es decir, desértico costero, desértico de interior o normal y desértico de altura. Este clima se caracteriza principalmente por escasez de precipitaciones, las cuales se limitan a las áreas superiores de la cuenca en el sector cordillerano.

La precipitación media anual en la cuenca, aumenta gradualmente desde 0,4 mm en el sector bajo (localidad de Poconchile), a 237,7 mm en el sector alto de la cuenca (ciudad de Putre). Estos montos de precipitación, como muestra la figura adjunta, se concentran en temporada estival producto del llamado invierno Boliviano.

La temperatura media anual registrada en el sector bajo de la cuenca, es de 19,1°C y, en el sector alto es de 8,4°C. La variabilidad que presenta la cuenca entre ambos sectores, es de 10,7°C.

Los antecedentes disponibles actualmente, corresponden únicamente a los montos de precipitación media mensual registrada por la estación Pluviométrica de Putre, los cuales se presentan en la siguiente figura:



[Ref. 2.1]

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

La escorrentía superficial media anual registrada en la cuenca, alcanza valores no superiores a 1 mm/año en el sector bajo del Valle del Río Lluta hasta el sector de la Quebrada Socoroma. Desde este último sector, hacia los sectores altos de la cuenca, los valores de escorrentía aumentan hasta llegar a los 50 mm/año (Quebradas Caracarani, Colpitas y Río Azufre).

Desde el punto de vista de disponibilidad de los recursos hídricos, las pérdidas de agua por evaporación son altas en comparación a otras cuencas. Estas pérdidas se registran en el sector Bajo del Valle del Río Lluta, en los Humedales del sector alto de la cuenca y en la Laguna Blanca. Los valores promedio de evaporación registrados anualmente en la cuenca, alcanzan los 2.081 mm. [Ref. 2.1]

### 2.2.2 Geología y volcanismo

La información geológica disponible para esta cuenca, actualmente se limita al sector del valle del Bajo Lluta. Dicha información presenta, en general, dos clasificaciones de rocas: rocas del basamento y rocas cuaternarias. [Ref.2.2]

Las rocas del basamento las componen la formación Azapa, formación Oxaya, formación El Diablo y sus bloques deslizados en este orden ascendente. Las fisuras y fracturas se encuentran bien desarrolladas en la capa superior, y menos desarrolladas en la capa inferior. Por consiguiente, se consideran impermeables.

Entre las formaciones presentes en la cuenca que influyen en la calidad de agua están:

- Rocas volcánicas, del cuaternario; estrato volcanes y complejos volcánicos; lavas basálticas a riolíticas, domos y depósitos piroclásticos andesíticos basálticos a dacíticos; principalmente calcoalcalinos en la parte alta de la cuenca.
- Rocas volcánicas del oligoceno-mioceno; secuencias piroclásticas dacíticas a riolíticas asociadas a calderas de colapso. Otras con secuencias y centros volcánicos intermedios a ácidos: lavas, brechas, domos y rocas piroclásticas andesíticas a riolíticas, ubicadas en la parte intermedia del cauce del río.

## Lluta

6.

- Rocas volcánicas del mioceno inferior-medio; complejos volcánicos parcialmente erosionados y secuencias volcánicas: lavas, brechas, domos y rocas piroclásticas andesítico-basáltica a dacíticas. Ubicadas principalmente en la parte superior del río Azufre.
- Rocas sedimentarias del jurásico-neocomiano; secuencias sedimentarias marinas carbonatadas y clásticas: calizas, lutitas, areniscas calcáreas, paraconglomerados, niveles de yeso, ubicadas en la parte baja de la cuenca del Lluta.

El río Azufre está principalmente influenciado por el volcán Tacora, el que confiere al Río Lluta, su característica de alto contenido de azufre, pH bajo y metales en suspensión. Además, la presencia de formaciones de andesita – de potencial de generación ácido - aguas abajo de la junta con la Quebrada Caracarani, disminuye aún más el pH. Posteriormente, la presencia de calcita tiende a amortiguar el pH. Aguas abajo de la Quebrada Colpitas, se encuentran rocas andesíticas y volcánicas que inciden nuevamente en la calidad de las aguas del río (aumentando su acidez). Su desembocadura, esta condicionada por la presencia de rocas carbonatadas, las que tienden a amortiguar el pH.

El volcán Tacora está catalogado como un volcán activo (se desconoce la fecha de su última erupción), del tipo fumarólico, con estructura de estratovolcán, ubicado 17°43'S; 69°46'W. [Ref. 2.3]

### 2.2.3 Hidrogeología

La hidrogeología de la cuenca se caracteriza por la presencia de formaciones cuaternarias que consisten en las siguientes unidades:

#### a) Depósitos fluviales

Los depósitos fluviales abarcan principalmente los tramos medios y superiores del Valle del Bajo Lluta. El espesor total de la formación se estima en 200 m aproximadamente.

Estos depósitos se dividen en tres unidades: superior, media e inferior. Las unidades superior e inferior se componen principalmente de capas de grava con un diámetro de 5 a 30 cm. Por otra parte, la unidad media consiste en capas impermeables de toba.

La matriz de los depósitos está rellena principalmente con limo y arena muy fina originada de las cenizas volcánicas. Esto disminuye la permeabilidad de los depósitos.

b) Formación concordia

La Formación Concordia de depósitos marinos se distribuye sobre Villa Frontera y las áreas de Concordia en los tramos inferiores del valle del Bajo Lluta. El espesor total de la formación alcanza aproximadamente 200 m.

Esta formación se divide en tres unidades: superior, media e inferior. Las unidades superior e inferior se componen principalmente de arena no consolidada. La unidad media consiste principalmente de cenizas volcánicas.

En el caso de las litofacies, las unidades superior e inferior se consideran permeables, aún cuando la unidad media se estima impermeable.

c) Depósitos detríticos

Los depósitos detríticos consisten en sedimentos de talud, sedimentos de ladera y sedimentos de abanico. Los sedimentos de talud y ladera se componen de clastos de diferente tamaño. Los sedimentos de abanico se componen principalmente de limo y arena. Estos depósitos se distribuyen en las faldas de la cordillera.

d) Toba pumícea

La toba pumícea, que consiste en ceniza volcánica y pumita, se distribuye en Gallinazos y Apacheta, en los tramos inferiores del valle del Bajo Lluta. La permeabilidad se considera reducida.

## Lluta

8.

e) Depósitos de playa recientes

Los depósitos de playa recientes se distribuyen a lo largo de la costa formando una playa. Los depósitos consisten en arena y grava. Existen menos materiales finos en la matriz. Por lo tanto la permeabilidad es alta.

f) Depósitos fluviales recientes

Los depósitos fluviales recientes, que consisten en arena, grava y limo, se distribuyen a través del cauce del río Lluta. Los depósitos son menos permeables debido a que la matriz está rellena con una gran cantidad de materiales finos.

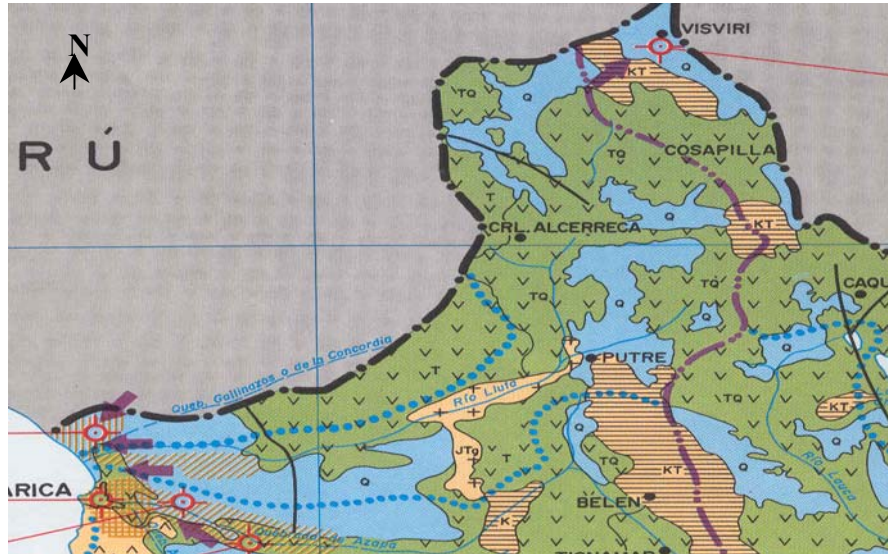
Otra característica importante de la hidrogeología, está dada por la presencia de los acuíferos ubicados en el valle del Bajo Lluta y aquellos que se encuentran en el sector alto del Río. La información disponible actualmente, se limita a aquellos situados en el valle.

Los acuíferos presentes en el valle son dos, uno de ellos poco profundo y el otro profundo. El primero, de tipo no confinado, está contenido en las unidades superiores de los depósitos fluviales y la formación Concordia, con profundidades del orden de 10m a 30m y ancho considerable (fluctuando entre 800 m y 4.000 m).

El segundo es básicamente del tipo confinado siendo en algunos lugares semi - confinado. Está contenido en las unidades inferiores de los depósitos fluviales y la formación Concordia, extendiéndose sobre todo el Valle del Bajo Lluta entre Rosario y la costa. Tanto el espesor como el ancho del acuífero aumentan gradualmente hacia aguas abajo.

De acuerdo a la información proporcionada por el Mapa Hidrogeológico respecto a los acuíferos ubicados en la parte superior de la cuenca, se puede decir, que este tipo de formación existe en la parte alta del río Caracarani, donde se ubica un acuífero poco explorado, formado por rocas permeables. La calidad química del agua de este tipo de acuífero es buena. En la parte alta del río Colpitas, se ubica un acuífero semiconfinado con calidad química del agua variable. [Ref. 2.4]

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



[Ref. 2.4]

**Figura 2.2: Características Hidrogeológicas de la Cuenca del río Lluta  
(Escala 1:1.000.000)**

#### 2.2.4 Geomorfología

En las partes altas de la cuenca (sobre 4.000 m) se pueden evidenciar cordones prealtiplánicos con aporte de materiales volcánicos del terciario y cuaternario, produciendo aterrazamiento. El anegamiento lacustre que experimentó esta zona, unido a la intensa meteorización de materiales superficiales, ha creado una cubierta detrítica sobre planos inclinados, con materiales de gravas y gravillas, es decir material grueso. Las cuencas intermontañas localizadas entre los cordones prealtiplánicos están anegadas por sedimento piroclástico y lávico

Entre los 3.000 y 1.500 m s.n.m. se encuentran pediplanos y sistemas de glaciares o pediments, que se dividen en dos sectores: entre los 2.500 m y 3.000 m. La sección superior corresponde a un plano inclinado sobre roca fundamental meteorizada. La sección inferior entre los 1.500 y 2.500 m está constituida por una cubierta de arenas gruesas y finas, en tránsito de escurrimiento hacia las pampas.

En zonas de pampa entre las cotas de 600 m. y 1.500 m. se genera una meseta basculada de norte a sur, descendiendo desde las proximidades de Arica hacia el sur. El drenaje superficial de aguas en el desierto se debe a la tectónica moderna y la morfología de acumulaciones finas y gruesas. Aportes desde las quebradas que entran a la pampa desde la precordillera, siguiendo la dirección del basculamiento de los bloques que comprenden el

## Lluta

10.

subsuelo de ella. Los rellenos de las zonas de pampa, corresponden a lenguas distales de los aluviones que descienden desde la zona andina y están representados por arenas y detritos gravosos depositados por mecanismos laminares generados por débiles películas de aguas.

Hacia la desembocadura existen zonas denominadas llanos de sedimentación continental, correspondientes a un efecto de llanura de acumulación detrítica producida por la coalescencia de materiales continentales con depositaciones marinas, organizando una playa de sedimentación aluvial antigua, erosionada en la actualidad por crecidas torrenciales que han excavado lechos de paredes verticales en dichas acumulaciones.

La morfología fluvial de la cuenca del río Lluta se caracteriza por ser preferentemente rectilínea, con excepción de la sección del valle donde es difluente [Ref. 2.5].

### 2.2.5 Suelos

Se distinguen cuatro secciones:

#### a) Sección superior de la cuenca (alta cordillera)

Zona de altiplano; suelos con desarrollo orgánico débil (esqueléticos), de material volcánico. Gran capacidad de retención de agua. Débiles condiciones de meteorización. Existen cuencas cerradas con drenaje restringido y suelos de alto contenido de materia orgánica conocidos como bofedales.

- Textura: gruesa (arenosa franca a muy arenosa)
- Permeabilidad: alta (suelos permeables)
- Escorrentía: lenta
- Riesgo de erosión: bajo

#### b) Sección media de la cuenca (precordillera)

Planos deposicionales o conos aluviales sobre los que se desarrollan suelos estratificados por lluvias torrenciales del invierno boliviano. El escurrimiento superficial se realiza de dos maneras: como erosión lineal en el curso superior y medio de las quebradas, y como erosión laminar en el curso inferior de dichas depresiones, dejando las laderas verticales.

- Textura: gruesa y masiva (arenosa franca a muy arenosa)



- Permeabilidad: alta
- Escorrentía: lenta
- Riesgo de erosión: bajo

c) Sección baja del valle de la cuenca

Suelos con alta salinidad, producto de su defectuoso drenaje. Asociado a alta evapotranspiración, lo que permite ascenso por capilaridad de las sales de la napa freática.

- Textura: moderadamente fina (franco arcillosa a franco arcillo arenosa)
- Permeabilidad: media
- Escorrentía: media
- Riesgo de erosión: moderado, dependiendo de precipitaciones.

d) Sección costera (cordillera de la Costa y plataforma de abrasión)

Influencia coluvial, suelos poco desarrollados. Ocupan terraza marina baja.

- Textura: franca (franco arcilloso a franco arenosa) y gruesa (arenosa franca a muy arenosa).
- Permeabilidad: media - alta
- Escorrentía: media - lenta
- Riesgo de erosión: moderado – bajo [Ref. 2.6]

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

### 2.3.1 Flora terrestre y acuática

En la cuenca del río Lluta se describen 4 formaciones vegetacionales con sus respectivas comunidades. Estas formaciones pertenecen a 2 regiones vegetacionales del país: la Región de la Estepa Altoandina y la Región del Desierto. Esta clasificación se muestra esquemáticamente en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2: Clasificación Vegetacional de la Cuenca del río Lluta**

Región	Sub región	Formación
Región de la estepa altoandina	Sub región del altiplano y de la puna	Estepa alto andina altiplánica.
		Estepa arbustiva pre-altiplánica
Región del Desierto	Sub región del Desierto Absoluto	Desierto Interior
	Subregión del desierto andino	Matorral desértico con suculentas columnaceas

[Ref. 2.7]

## a) Región de la estepa altoandina

Se encuentra en la Cordillera de los Andes árida y semiárida, extendiéndose desde el extremo norte, en el límite con Perú y Bolivia, hasta las montañas andinas de la VII Región. Comparte muchas de las características que el cordón andino presenta a través de toda su extensión, pero al mismo tiempo demuestra peculiaridades que le son propias. Los factores determinantes son la altitud y el relieve, como complejo modificador de todos los otros factores, siendo la aridez relativa y un corto período vegetativo, lo que determina una fisionomía particular de sus formaciones vegetales. A este respecto, como forma de vida de las plantas existe una gran homogeneidad, aunque puede resumirse la existencia de tres tipos biológicos fundamentales: plantas pulvinadas o en cojín, las gramíneas cespitosas, pastos duros o “coirones” y, los arbustos bajos de follaje lucido (“tolas”). El conjunto de las formaciones vegetales constituye un mosaico en que predomina una u otra de las formas biológicas mencionadas.

La Subregión Del Altiplano y de La Puna representa a aquel sector de la estepa alto andina que se distingue por encontrarse situado sobre un relieve de altiplanicies, generalmente con más de 4.000 m de altitud. Además, especialmente en el Altiplano, predomina un régimen climático de influencias tropicales con lluvias de verano, que más hacia el sur, en la Puna propiamente tal, sólo constituye una influencia marginal, lo que le concede un carácter de mayor aridez. Sin embargo, sus estrechas afinidades florísticas permiten reunir a ambos sectores en una sola subregión vegetacional.

## b) Región del desierto

Se extiende desde el extremo de la I Región, en la Línea de la Concordia, hasta el río Elqui, en la IV Región. Constituye la parte más austral del desierto de la costa del Pacífico de América del Sur. Aunque tiene como límite oeste la costa oceánica, es principalmente un desierto interior, con una altitud media aproximada de 1.500 m s.n.m.,

abarcando los abruptos acantilados costeros, las serranías de la Cordillera de la Costa, las grandes depresiones interiores y las laderas occidentales de la Cordillera de los Andes.

- Subregión del Desierto Absoluto: corresponde a aquella parte del desierto en que las precipitaciones son insignificantes y el aporte hídrico es de carácter local, proviniendo de la presencia de napas freáticas o de aluviones ocasionales que descienden de la Cordillera de Los Andes. Es calificado de desierto absoluto, pues la vida vegetal está prácticamente ausente en gran parte de su extensión, salvo en condiciones muy particulares.
- Subregión del Desierto Andino: representa el piso vegetacional superior del desierto y se encuentra ubicado en las laderas occidentales de la Cordillera de los Andes, entre altitudes aproximadas de 1.800 a 3.500 m s.n.m. y aún más en ciertos lugares. Presenta posibilidades de un mayor desarrollo de la vida vegetal, motivadas por las influencias marginales de las precipitaciones que ocurren en la alta cordillera andina. En toda su extensión presenta una fuerte penetración de las especies más xerófitas de la región de las estepas alto –andinas [Ref 2.7].

La flora acuática presente en la cuenca del río Lluta, se incluye en la siguiente tabla.

**Tabla 2.3: Flora acuática presente en la cuenca del río Lluta**

Especie	Estado de conservación
<i>Eleocharis sp.</i>	No listada
<i>Juncos sp.</i>	No listada
<i>Oxichloe andina</i>	No listada
<i>Distichia muscoides</i>	No listada
<i>Lilaeopsis lineada</i>	No listada
<i>Catabrosa verdermanni</i>	No listada
<i>Distichlis humilis</i>	No listada
<i>Carex sp.</i>	No listada
<i>Sarcocornia pulvinata</i>	No listada
<i>Scirpus atacamensis</i>	No listada
<i>Drabella sp.</i>	No listada
<i>Potamogeton strictum</i>	No listada
<i>Ranunculus sp.</i>	No listada

## Lluta

14.

### 2.3.2 Fauna acuática

El exceso de compuestos inorgánicos de esta cuenca, conjuntamente con irregularidad en la disponibilidad del recurso hídrico, habría influido en la casi total ausencia de flora acuática en ella. Las referencias principales para recopilar la flora y fauna acuática han sido obtenidas de estudios ambientales de ESSAT (ESSAT 2000 y 2001) y estudios de manejo de cuencas financiados por el Global Environmental Fund de Naciones Unidas. (GEF-PNUD, 2001).

En el río Lluta sólo ha sido posible pesquisar la presencia del camarón de río del norte (*Cryphiops caementarius*) desde la desembocadura hasta la zona de Poconchile. En la zona de desembocadura se han descrito los peces pejerreyes (*Basilichthys semotilus*) y lisas (*Mugil sp*).

La desembocadura del río Lluta es un sitio considerado como Área de Conservación de la Biodiversidad, por su alta diversidad de especies de plantas y animales particularmente aves [Ref. 2.8].

## 2.4 Sistemas Humanos

### 2.4.1 Asentamientos humanos

La cuenca cubre parcialmente el territorio de las Provincias de Parinacota y Arica, en la I Región de Tarapacá. A nivel comunal, se extiende en parte de las comunas de Arica, Provincia de Arica, Putre y General Lagos, Provincia de Parinacota.

Los asentamientos humanos que componen la cuenca son 33 y corresponden a localidades rurales. El poblado de mayor importancia en cuanto al número de habitantes, es Putre, el que se emplaza en la zona centro – oriente de la cuenca a una altitud de 3.600 m s.n.m. En la tabla siguiente, se incluye su población según datos censales del año 2002.

**Tabla 2.4: Población Total de la cuenca del río Lluta**

Nombre Asentamiento	Población Total 2002	Población Total Urbana 2002	Cauce asociado a Localidad
Putre	1.977	1.235	Río Lluta

[Ref 2.9]

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

El poblado de Putre, capital provincial de Parinacota, se ubica en la parte centro – oriente de la cuenca a una altitud de 3.600 m s.n.m. Tiene una población de 1.203 habitantes, de los cuales 841 son hombres y 362 mujeres (según censo de 1992). Este poblado se emplaza en las cercanías de la Quebrada Jurase.

#### 2.4.2 Actividades económicas

En la cuenca del río Lluta no existe mucha variedad de actividades económicas. Entre las que se llevan a cabo están: el turismo, servicios y comercio (Putre), agricultura en la parte baja de la cuenca y cierta actividad minera, principalmente por la Sociedad Legal Minera Macarena y Química e Industrial del Borax Ltda.

#### 2.5 Usos del Suelo

Los usos del suelo se ilustran en la lámina 1940-LLU-01 y se resumen en la siguiente tabla.

**Tabla 2.5: Clasificación Usos del suelo Cuenca del río Lluta**

Cuenca del río Lluta (Ha)	Usos del suelo	Superficie (Ha)	Superficie de la cuenca destinada para cada uso (%)
337.800	Praderas	51.841	15
	Terrenos agrícolas y agricultura de riego	7.606	2
	Plantaciones forestales	0	0
	Áreas urbanas e industriales	< 156,25	0
	Minería Industrial	0	0
	Bosque nativo y bosque mixto	0	0
	Otros Usos*	157.296	47
	Áreas sin vegetación	121.058	36

\* Referidos a los siguientes usos: matorrales, matorral – pradera, rotación cultivo - pradera, áreas no reconocidas, cuerpos de agua, nieves – glaciares y humedales. [Ref. 2.3]

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

#### 2.5.1 Uso agrícola

La superficie total agrícola de la cuenca (Valle del bajo Lluta) es de 7.606 Ha. Esta área se ubica a lo largo de un tramo de 65 Km entre Vilacollo y la desembocadura del río. Estas tierras agrícolas son abastecidas por el sistema de irrigación del río Lluta.

Sin embargo, el área cultivada se limita normalmente a 2.784 Ha que corresponden al 37 % del total de tierras agrícolas. La superficie restante está en permanente descanso debido a la carencia de agua de riego y a la escasa capacidad de drenaje del suelo.

Debido a la contaminación de origen natural con boro del río Lluta, los tipos de cultivo en el valle del Bajo Lluta, según superficie cultivada, corresponden al maíz (1.698 Ha), la alfalfa (684 Ha) y cierto tipo de verduras (402 Ha). [Ref. 2.10][Ref. 2.11].

#### 2.5.2 Uso forestal

Esta cuenca no presenta uso de tipo forestal. [Ref. 2.11]

### 2.5.3 Uso urbano

En la cuenca, este tipo de uso se limita únicamente a la entidad urbana de Putre [Ref. 2.11]. Una de las principales características que presenta esta localidad, es la dinámica demográfica que ha experimentado desde 1982 que obedece a razones político – administrativas, en la medida en que este centro pasó a convertirse en la capital provincial de Parinacota.

La localidad de Putre, según sus características económicas, destaca por presentar la mayor parte de su población ocupada, en el sector terciario de la economía (comercio, restaurantes, hoteles, transporte, establecimientos financieros entre otros). Esta localidad es la única que cuenta con servicio de agua potable y alcantarillado proveniente de la red pública. De un total de 284 viviendas el 64,08 % está conectada a la red pública.

Respecto al sistema de alcantarillado, del total de viviendas sólo un 33,08% cuenta con conexión a dicho servicio y desagua al sistema de red pública o en un sistema de pozo profundo. El resto de las viviendas desaguan en un pozo ciego sin descarga.

Actualmente las localidades de Ancocalani y Molinos, contemplan la implementación de servicio de alcantarillado para los próximos años. La localidad de Putre contempla un mejoramiento en la red actual de alcantarillado. [Ref. 2.12]

### 2.5.4 Áreas silvestres Protegidas y Conservación de la Biodiversidad

El Área bajo protección oficial perteneciente al Sistema Nacional de Areas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE) que se emplaza en la cuenca, corresponde al Parque Nacional del Lauca localizado en la provincia de Parinacota. El 27% de la superficie total del Parque se emplaza en la cuenca, lo que equivale a 37.015 Ha (11% de la superficie total de la cuenca).

Los sitios de conservación de la biodiversidad existentes en la cuenca, incluidos en el documento “Estrategia y Plan de Acción para la Conservación de la Biodiversidad en la Región de Tarapacá”, se incluyen en la siguiente tabla:

**Tabla 2.6: Áreas de Conservación de la Biodiversidad**

Nombre del sitio	Superficie (Ha)	Característica del ecosistema
Desembocadura río Lluta	213,8	El más importante (de los cuatro humedales costeros de la Región) desde el punto de vista de la biodiversidad. Constituye un hábitat fundamental para las aves acuáticas principalmente, tanto residentes como migratorias.
Valle del río Lluta	3.026,9	Presencia de avifauna. Corredor biológico.
Cerros de Poconchile	7.619,2	ND
Cuesta el Águila – Quebrada Cardon	5.906,4	ND

Ref [2.8]

ND: Información no disponible.

Pese a las características climáticas de la cuenca, en la zona costera gracias a la existencia de la “Camanchaca”, se desarrolla una serie de especies vegetales. Este ecosistema presente en el Estuario del Río Lluta, corresponde al más importante (de los cuatro humedales costeros de la Región) desde el punto de vista de la biodiversidad. La diversidad presente en esta zona, constituye un hábitat fundamental para las aves acuáticas principalmente, tanto residentes como migratorias. El Estuario del Río Lluta comprende una superficie de 171 Ha (0,05% de la superficie total de la cuenca) y está identificado como sitio prioritario para la conservación de la biodiversidad en la Región de Tarapacá.



### 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 Lluta es el siguiente:

**Tabla 3.1: Estaciones Fluviométricas de la Cuenca del río Lluta**

Estación	Período de Registro
QUEBRADA CARACARANI EN HUMAPALCA	1973 - 2001
QUEBRADA COLPITAS EN ALCÉRRECA	1961 - 2001
RÍO LLUTA EN ALCÉRRECA	1961 - 2001
RÍO LLUTA EN CHAPIZCA	1950 - 1985
RÍO LLUTA EN PANAMERICANA	1985 - 2001

Las estaciones correspondientes al río Lluta presentan un mismo régimen hidrológico con pequeñas variaciones. Los caudales del río Lluta dependen muy fuertemente de las lluvias estivales altiplánicas, siendo ésta la principal causa para los aumentos de caudal en los meses de verano. Los deshielos se manifiestan en el ligero aumento de caudal del mes de diciembre, presente en algunas estaciones. Se aprecia una ligera influencia de precipitaciones en invierno en la quebrada Colpitas.

En la siguiente tabla se presentan las estaciones consideradas para la cuenca. Su ubicación se ilustra en la lámina 1940-LLU-02.

**Tabla 3.2: Grupos de Estaciones Fluviométricas**

	Régimen	Nombre Estación
1	Pluvial	QUEBRADA CARACARANI EN HUMAPALCA
2		QUEBRADA COLPITAS EN ALCÉRRECA
3		RÍO LLUTA EN ALCÉRRECA
4		RÍO LLUTA EN CHAPIZCA
5		RÍO LLUTA EN PANAMERICANA

## Lluta

20.

Se ha seleccionado la estación de Caracarani en Humapalca como patrón de la cuenca.

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 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.

## Lluta

22.

La cuenca del río Lluta en 1991 contaba con una superficie regada de 1667,15 há a través de 47 canales, ubicados la mayoría de ellos a lo largo del río Lluta (Ref. 3.1). Los principales cultivos de esta cuenca son: maíz, hortalizas y alfalfa.

En la siguiente tabla se indican las demandas de agua de riego del año 1996 en la cuenca.

La demanda bruta de agua de riego, al año 1997 era de 46.047 m<sup>3</sup>/año, correspondiente a un consumo neto de 18.007 m<sup>3</sup>/año. [ref. 3.4]

### 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 río Lluta, en 1996 la localidad de Putre demandaba 0,46 l/s, considerando sólo el sector residencial. Estos recursos se obtienen en forma subterránea. [Ref. 3.2]

### c) Generación de energía eléctrica, actividad industrial

En la actualidad no existen bocatomas para estos tipos de usos en la cuenca del Lluta.

### d) Actividad minera

En la cuenca del río Lluta opera la Cia. Azufrera del Pacífico, que tiene derechos sobre aguas por 7,5 (l/s), que son extraídas de una vertiente. No se dispone de información para la ubicación de esta fuente de abastecimiento. El resto de las mineras, principalmente la Sociedad Legal Minera Macarena y Química e Industrial del Borax LTDA., obtienen sus recursos hídricos en forma subterránea [Ref. 3.2].

## 3.2.3 Biodiversidad

La protección y conservación de comunidades acuáticas, a la que hace referencia el Instructivo, son abordadas en el presente estudio desde el punto de vista del Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Estado (SNASPE), de la Estrategia de

Biodiversidad y algunos otros sitios de interés que pudieran sobresalir de la información recopilada (sitios CONAF, etc.).

En la cuenca del río Lluta existe un sitio que conforma el SNASPES:

- Parque Nacional Lauca: Es uno de los más altos del mundo con un promedio los 4.500 metros. 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.

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

#### 3.2.4 Usos ancestrales

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

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.

Para la localización de dichos derechos de agua, se ha tomado como referencia el estudio elaborado por AC Consultores mencionado al inicio de este capítulo.

#### 3.2.5 Conclusiones

En la lámina 1940-LLU-02: “Estaciones de Medición y Usos del Agua” se muestran los cauces seleccionados para el presente estudio, con su respectiva segmentación y

## Lluta

24.

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.

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

Cauce	Segmento	Usos in situ		Extractivos					Biodiversidad*	Ancestrales
		Acuicultura	Pesca Deportiva Y Recreativa	Riego	Captación A.P.	Hidroelectricidad	Actividad Industrial	Actividad Minera		
Qda. Caracarani	0120-CA-10	■	■	•	■	■	■	■	■	•
Qda. Colpitas	0120-CO-10	■	■	•	■	■	■	■	■	■
Río Lluta	0120-LL-10	■	■	•	■	■	■	■	■	•
	0120-LL-20	■	■	•	■	■	■	■	•	•
	0121-LL-10	■	■	•	■	■	■	■	■	■
	0121-LL-20	■	■	•	■	■	■	■	•	■
	0121-LL-30	■	■	•	■	■	■	■	•	■

[Ref. 3.3], [Ref. 3.1]

Nota: Si bien existe actividad minera en la cuenca, no es posible relacionarla con un segmento debido a que ésta obtiene sus recursos hídricos de cauces no seleccionados o de forma subterránea.

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

## Lluta

26.

### 3.3 Descargas a Cursos de Agua

#### 3.3.1 Descargas de tipo domiciliario

Eventuales fuentes contaminantes de los recursos hídricos en la cuenca del Río Lluta, corresponden a las aguas servidas de la localidad de Putre, Poconchile y a un efluente salino de la planta desalinizadora de la Empresa de Servicios Sanitarios de Tarapacá ESSAT S.A.

El poblado de Putre posee 96 viviendas con conexión al servicio higiénico a través del alcantarillado y 182 viviendas con abastecimiento de agua desde la red pública según información INE, 2002. La información respecto de la cobertura de tratamiento de aguas servidas en esta localidad, actualmente no está disponible.

Las aguas servidas de la localidad de Poconchile, no constituyen un efluente contaminante puesto que estas aguas son infiltradas privada o colectivamente en fosas sépticas.

#### 3.3.2 Residuos industriales líquidos

Las descargas contaminantes en el Valle del Río Lluta de la Planta desalinizadora de aguas de ESSAT S.A, constituye la única fuente contaminante. La información del efluente que se presenta en la tabla 3.4, corresponde a un promedio de los valores de cada parámetro físico químico de muestreos realizados en julio, octubre, diciembre (de 1998) y diciembre de 1999. Estos valores, corresponden a concentraciones del efluente 100 metros aguas abajo del punto de descarga.

**Tabla 3.4: Residuos Industriales Líquidos**

CUERPO RECEPTOR	SEGMENTO ASOCIADO	EMPRESA DE SERVICIO SANITARIOS	PARÁMETROS FISICO - QUÍMICOS					
			As (mg/L)	Mn (mg/L)	Fe (mg/L)	B (mg/L)	Cl- (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg/L)
RIO LLUTA	121LL20	ESSAT S.A.	0.1	0.1	0.7	39.6	2236.3	2197.0

[Ref. 3.2]



Eventuales fuentes contaminantes en el Valle del Río Lluta, corresponden a pequeñas lecherías y queserías las cuales no constituyen efluentes contaminantes.

### 3.4 Datos de Calidad de Agua

#### 3.4.1 Fuentes de información

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

- a) Monitoreo de Calidad de aguas de la DGA, periodo de registro desde 1980-2001.

REGISTRO DE PROGRAMA DE MONITOREO DGA					
Cuenca	Río Lluta				
Cuerpos de agua monitoreados	Medición de Caudal	Nº Parámetros Medidos	Nº Parámetros Medidos en Instructivo	Período de Registro	Nº de Registros
<b>Río Lluta</b>					
En Chapizca (*)	SI	32	21	1989-2001	19
En Panamericana (*)	SI	32	21	1983-2001	30
En Alcerreca (*)	SI	14	12	1980-1985	8
<b>Río Caracarani</b>					
Antes junta río Colpitas (Alcerreca) (*)	NO	32	21	1980-2001	33
<b>Río Colpitas</b>					
Antes junta río Caracarani. (Alcerreca) (*)	SI	32	21	1980-2001	31
<b>Parámetros medidos Instructivo</b>					
• Indicadores físico-químicos	SI	• Orgánicos plaguicidas		NO	
• Inorgánicos	SI	• Microbiológicos		NO	
• Metales esenciales	SI	• Orgánicos		NO	
• Metales no esenciales	SI	• Otros parámetros no normados		SI	

(\*): Estación de monitoreo suspendida

## Lluta

28.

- b) The Study on the Development of Water Resources in Northern Chile. Main Report, Supporting Report A: Surface Water March 1995. Japan International Cooperation Agency (JICA).

EL estudio JICA surgió como consecuencia del acuerdo suscrito en Noviembre de 1992 entre los gobiernos de Chile y Japón. Este estudio cubre las cuencas del Lluta, San José, Pampa del Tamarugal y Salar del Huasco, constituyendo un esfuerzo significativo para evaluar el potencial del recurso hídrico y formular un plan de desarrollo, principalmente relacionado con el suministro de agua subterránea para la ciudad de Arica.

El estudio incluye antecedentes y análisis respecto de aguas superficiales, geología y agua subterránea, usos del agua, desarrollo de sistemas de suministro de agua potable, medio ambiente, y temas económicos relacionados con posibles proyectos. El estudio considera los datos de la D.G.A. Sus características son las siguientes:

REGISTRO DE PROGRAMA DE MONITOREO JICA					
Cuenca	<b>Río Lluta</b>				
Cauces monitoreados	Medición de Caudal	Nº Parámetros Medidos	Nº Parámetros Medidos en Instructivo	Período de Registro	N ° de Registros
<b>Río Lluta</b>					
En Chapizca (Tocontasi)	SI	11	10	1984-1990	Solo se indica la medida
En Panamericana	SI	11	10	1980-2002	Solo se indica la medida
<b>Río Caracarani</b>					
En Alcerreca	SI	11	10	1946-1990	Solo se indica la medida
<b>Río Colpitas</b>					
En Alcerreca	SI	11	10	1993-1990	Solo se indica la medida
<b>Parámetros medidos Instructivo</b>					
• Indicadores fisico-químicos	SI	• Orgánicos plaguicidas			NO
• Inorgánicos	SI	• Microbiológicos			NO
• Metales esenciales	SI	• Orgánicos			NO
• Metales no esenciales	SI	• Otros parámetros no normados			SI

- c) Programa de Prevención y Contaminación de los Recursos Hídricos del SAG.1998-1999.

Este programa señala que las aguas servidas de Poconchile no constituyen riles por ser infiltradas, de igual manera los purines o lecherías que son de inferior tamaño, en consecuencia considera solo una fuente emisora de riles: Planta Desalinizadora de ESSAT S.A., para caracterizar su efecto han efectuado el seguimiento en dos puntos en el río Lluta en los meses de: julio, octubre y diciembre de 1998 y diciembre 1999, los parámetros medidos son: con conductividad, pH, As, Mn, B, Cl y SO<sub>4</sub>.

- d) Programa de Muestro 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 Lluta, 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.

## Lluta

30.

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

Debido a la escasa información proveniente del monitoreo del SAG, no se justifica la aplicación de algún método de aceptabilidad de los datos.

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



4. ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

4.1 Análisis de Información Fluviométrica

4.1.1 Análisis por estación

a) Caracarani en Humapalca

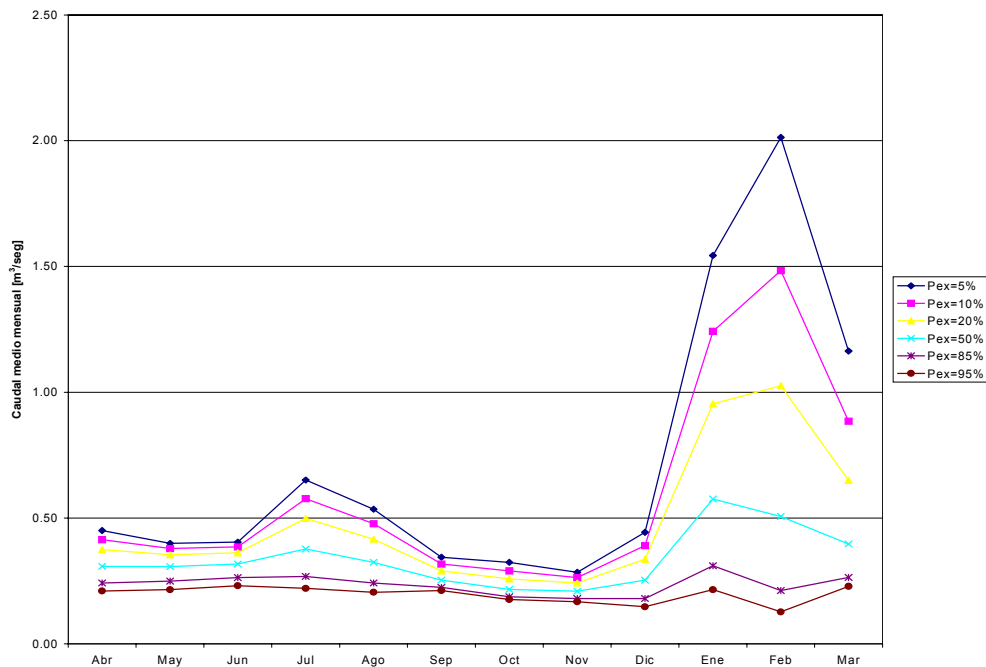
Se ubica en la parte alta de la cuenca, drenando un área de 141 km<sup>2</sup>. Su régimen es pluvial, con lluvias principalmente en los meses de enero a marzo. En estos meses, denominados como “Invierno Altiplánico”, los caudales aumentan notablemente, pudiendo para un año húmedo ser cuatro veces mayor que el caudal que escurre durante el resto del año. En la tabla 4.1 y figura 4.1, donde se presentan los caudales mensuales para distintas probabilidades de excedencia, se aprecia un ligero aumento de caudales en julio y agosto, debido a precipitaciones en estos meses, pero que para años normales o secos no tienen mayor significación.

**Tabla 4.1: Estación Caracarani en Humapalca.<sup>1</sup>**

Pex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	0.45	0.40	0.40	0.65	0.54	0.34	0.32	0.28	0.44	1.54	2.01	1.16
10	0.41	0.38	0.39	0.58	0.48	0.32	0.29	0.26	0.39	1.24	1.48	0.89
20	0.37	0.35	0.36	0.50	0.42	0.29	0.26	0.24	0.34	0.95	1.03	0.65
50	0.31	0.31	0.32	0.38	0.32	0.25	0.22	0.21	0.25	0.58	0.51	0.40
85	0.24	0.25	0.26	0.27	0.24	0.22	0.19	0.18	0.18	0.31	0.21	0.26
95	0.21	0.22	0.23	0.22	0.21	0.21	0.18	0.17	0.15	0.22	0.13	0.23
Dist	N	N	N	N	G	L3	L3	G	G	L2	L2	L3

<sup>1</sup> 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



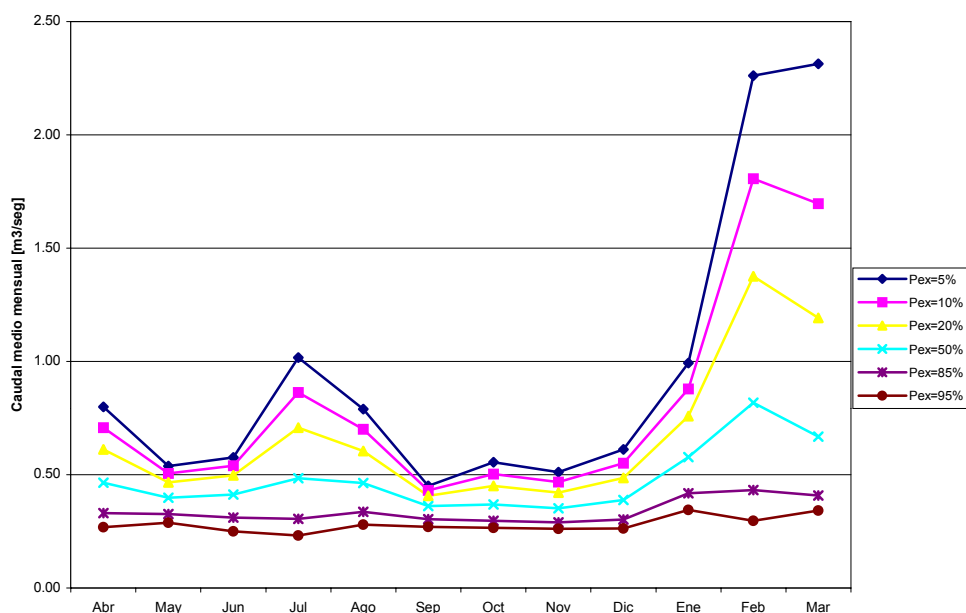
**Figura 4.1: Curva de Variación Estacional en Caracarani en Humapalca**

b) Colpitas en Alcérreca

La estación de la quebrada Colpitas en Alcérreca se ubica en el tercio superior del desarrollo del Lluta, antes de la junta con el mismo. Drena un área de 219 km<sup>2</sup>. Como se aprecia en la tabla 4.2 y figura 4.2, esta quebrada presenta el mismo régimen que la quebrada Caracarani, pero con caudales ligeramente mayores, debido a la mayor superficie de su cuenca, y con una mayor influencia de las pequeñas precipitaciones de julio en la escorrentía para los años húmedos. Presenta fuerte influencia del Invierno Altiplánico en los meses de febrero y marzo.

**Tabla 4.2: Estación: Colpitas en Alcérreca**

Pex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	0.80	0.54	0.58	1.02	0.79	0.45	0.56	0.51	0.61	0.99	2.26	2.31
10	0.71	0.51	0.54	0.86	0.70	0.43	0.50	0.47	0.55	0.88	1.81	1.70
20	0.61	0.47	0.50	0.71	0.61	0.41	0.45	0.42	0.49	0.76	1.38	1.19
50	0.46	0.40	0.41	0.49	0.46	0.36	0.37	0.35	0.39	0.58	0.82	0.67
85	0.33	0.33	0.31	0.31	0.34	0.30	0.30	0.29	0.30	0.42	0.43	0.41
95	0.27	0.29	0.25	0.23	0.28	0.27	0.27	0.26	0.26	0.35	0.30	0.34
Dist	P3	G2	N	N	G	N	G	G	G	G	L2	L3



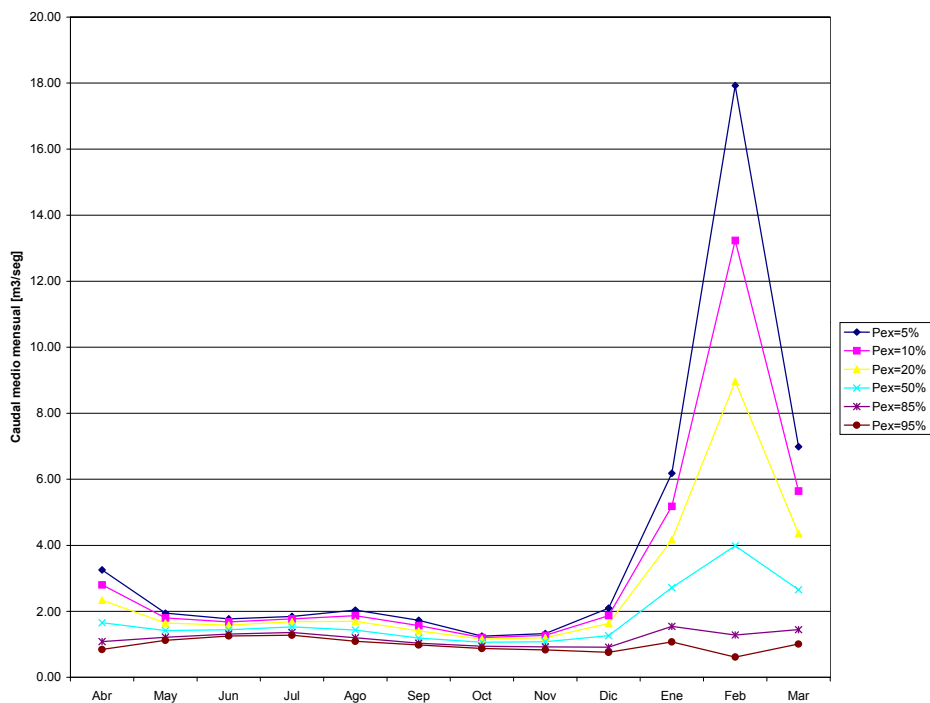
**Figura 4.2: Curva de Variación Estacional en Colpitas en Alcérreca**

c) Lluta en Alcérreca

Tal como se aprecia en la tabla 4.3 y figura 4.3, en esta cuenca se presenta un régimen controlado sólo por las precipitaciones estivales altiplánicas. La dispersión de los puntos para el mes de Febrero para caudales medios mensuales muestra que las crecidas provocadas por las precipitaciones antes mencionadas pueden producir grandes aumentos en el caudal del río, el que históricamente ha mostrado grandes crecidas en este mes. En años húmedos el aumento de caudal en el mes de febrero es proporcionalmente mucho mayor que el aumento para un año seco.

**Tabla 4.3: Estación: Lluta en Alcérreca**

Pex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	3.26	1.95	1.77	1.84	2.04	1.73	1.25	1.33	2.09	6.18	17.93	6.99
10	2.80	1.80	1.68	1.77	1.87	1.57	1.21	1.27	1.87	5.18	13.23	5.64
20	2.34	1.65	1.58	1.68	1.70	1.41	1.16	1.20	1.63	4.17	8.96	4.36
50	1.66	1.42	1.44	1.53	1.43	1.19	1.06	1.08	1.26	2.72	3.99	2.66
85	1.08	1.22	1.31	1.36	1.20	1.04	0.95	0.92	0.91	1.55	1.29	1.44
95	0.84	1.12	1.25	1.27	1.09	0.98	0.88	0.83	0.76	1.07	0.61	1.01
Dist	N	G	G	N	G	L3	N	N	L2	L3	P3	L2



**Figura 4.3: Curva de Variación Estacional en Lluta en Alcérreca**

d) Lluta en Chapizca

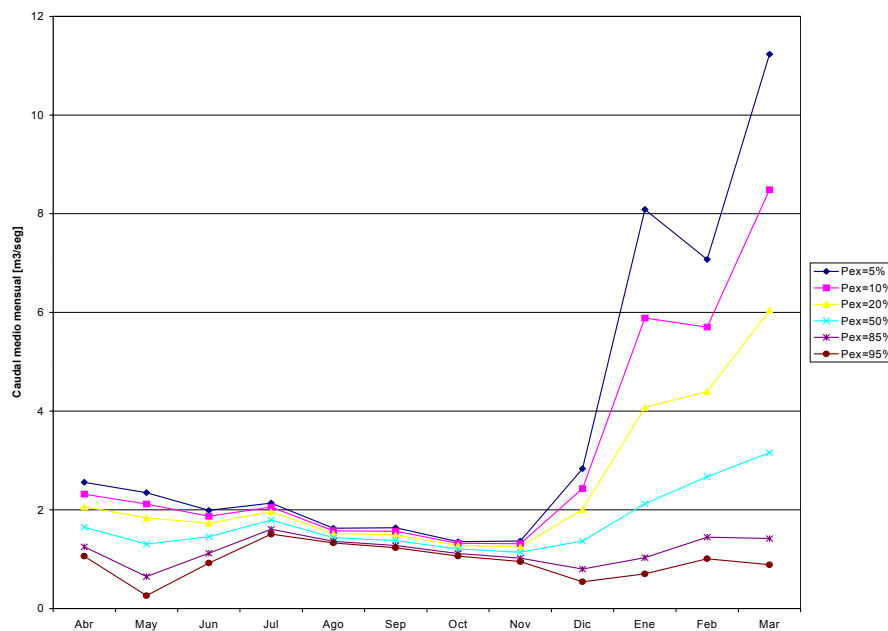
La estación de Lluta en Chapizca se ubica en la entrada del río Lluta al valle central. Drena un área de 2550 km<sup>2</sup> y se ubica a 1850 m s.n.m. Como se aprecia en la tabla 4.4 y figura 4.4, su régimen está fuertemente influenciado por las lluvias estivales en el altiplano, mostrando un comportamiento para años húmedos que puede ser explicado por dos efectos superpuestos, como son los deshielos en los meses de diciembre a enero y las lluvias estivales



del altiplano, que comienzan en diciembre y terminan en marzo. Existe una notable disminución de caudales entre las estaciones fluviométricas de Lluta en Alcérreca y Lluta en Chapizca, debida principalmente a la presencia de bocatomas inmediatamente aguas arriba de la estación fluviométrica destinadas al riego de cerca de 275 há de cultivos.

**Tabla 4.4: Estación: Lluta en Chapizca**

Pex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	2.56	2.35	1.99	2.14	1.63	1.64	1.35	1.37	2.83	8.09	7.07	11.23
10	2.32	2.12	1.87	2.06	1.58	1.56	1.32	1.31	2.43	5.89	5.70	8.49
20	2.06	1.84	1.73	1.96	1.52	1.49	1.28	1.25	2.01	4.07	4.40	6.04
50	1.65	1.30	1.46	1.79	1.44	1.38	1.21	1.14	1.37	2.12	2.67	3.16
85	1.25	0.65	1.12	1.61	1.36	1.28	1.12	1.02	0.80	1.03	1.45	1.42
95	1.06	0.26	0.92	1.51	1.33	1.23	1.06	0.95	0.54	0.70	1.01	0.89
Dist	N	N	N	N	G	G	P3	L2	G	P3	L2	L2



**Figura 4.4: Curva de Variación Estacional en Lluta en Chapizca**

## Lluta

36.

### e) Lluta en Panamericana

Esta estación se encuentra inmediatamente al norte de la ciudad de Arica, en el segmento final del río Lluta y drena un total de 3400 km<sup>2</sup>, correspondientes a prácticamente toda la cuenca.

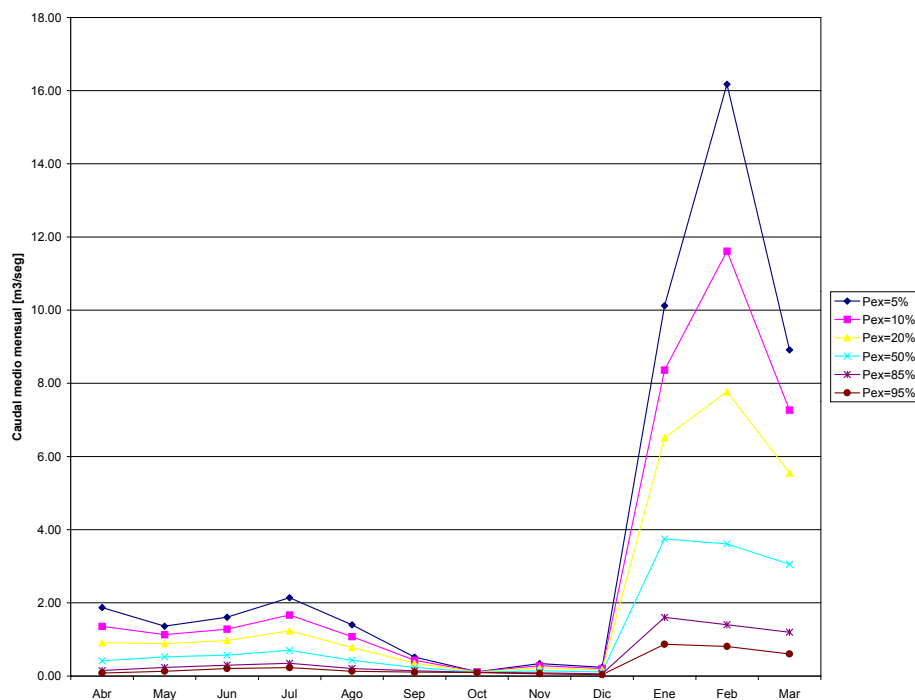
El régimen que se presenta en las curvas de variación estacional es pluvial, dado por las precipitaciones estivales altiplánicas, cuya manifestación alcanza su mayor magnitud en el mes de febrero, siendo de importancia para los meses de enero y marzo también.

En los meses de junio y julio se alcanza a apreciar un pequeño aumento del caudal de los ríos, provocado por las escasas precipitaciones producidas en los meses de invierno. Se aprecia un ligero aumento de caudales en los meses de diciembre a enero con respecto a estos mismos meses en la estación de Lluta en Tocontasi. Esto se debe al aporte del río Bocanegra y las quebradas El Tambo y Poconchile.

La influencia de la gran cantidad de bocatomas para riego se aprecia en los meses de verano y en los caudales de años normales y secos para todo el resto del año, dado que estos se ven disminuidos con respecto a la estación fluviométrica de Lluta en Tocontasi.

**Tabla 4.5: Estación: Lluta en Panamericana**

Pex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	1.87	1.36	1.61	2.14	1.40	0.52	0.12	0.34	0.24	10.12	16.17	8.92
10	1.36	1.13	1.28	1.67	1.08	0.43	0.11	0.28	0.21	8.36	11.61	7.27
20	0.91	0.89	0.97	1.24	0.78	0.35	0.11	0.22	0.17	6.50	7.77	5.55
50	0.42	0.52	0.57	0.70	0.43	0.23	0.10	0.14	0.11	3.74	3.61	3.05
85	0.15	0.23	0.30	0.35	0.20	0.14	0.10	0.09	0.06	1.60	1.40	1.20
95	0.08	0.13	0.20	0.23	0.13	0.11	0.10	0.06	0.04	0.87	0.81	0.60
Dist	P3	G2	L2	N	L2	L2	P3	L2	L3	G2	L2	G2



**Figura 4.5: Curva de Variación Estacional en Lluta en Panamericana**

#### 4.1.2 Caracterización hidrológica de la cuenca

A partir de las curvas de variación estacional de las estaciones fluviométricas de la cuenca del río Lluta presentadas en el capítulo anterior, se presenta una caracterización hidrológica de esta cuenca, señalando específicamente los períodos de estiaje para las distintas subcuencas.

Toda la cuenca del río Lluta presenta un régimen pluvial con crecidas importantes entre los meses de enero a marzo, producto de precipitaciones estivales debido al denominado “Invierno Altiplánico”. El período de estiaje en años secos para esta cuenca se prolonga por varios meses del año, desde abril hasta diciembre, debido a la escasez de precipitaciones, con algunas excepciones en ciertas estaciones fluviométricas, donde se aprecian pequeños aumentos de caudales en los meses de invierno, producto de precipitaciones esporádicas. Para la subcuenca alta, desde el nacimiento del río Lluta hasta la junta de la quebrada Aroma, y subcuenca media, desde la junta de la quebrada Aroma hasta la junta de la quebrada Cardones, se aprecia que estadísticamente el período de menores caudales ocurre en el trimestre septiembre, octubre, noviembre.

## Lluta

38.

En la subcuenca baja del río Lluta, desde la junta de la quebrada Cardones hasta la desembocadura del río Lluta en el océano Pacífico, se hace importante el riego debido a la zona agrícola existente, observándose que los caudales se hacen casi nulos en el trimestre octubre, noviembre, diciembre.

**Tabla 4.6: Períodos de Estiaje para la Cuenca del Lluta**

Nº	Cuenca	Subcuenca	Período Estiaje
1	LLUTA	ALTA y MEDIA	Septiembre – Octubre – Noviembre
2		BAJA	Octubre – Noviembre – Diciembre

### 4.2 Análisis de la Calidad del 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 eléctrica, DBO<sub>5</sub>, oxígeno disuelto, pH, sólidos suspendidos y coliformes fecales.

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

## b) Parámetros principales

Para seleccionar los parámetros principales se compara el valor 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 4.7 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 4.7: Selección y Rango de los Parámetros de Calidad en la Cuenca del Río Lluta**

PARÁMETROS	UNIDAD	MÍNIMO	MÁXIMO	CLASE 0	SELECCIÓN
<b>FISICOQUÍMICOS</b>					
Conduc. Eléctrica	μS/cm	850	7440	<600	Obligatorio
DBO5	mg/L	s/i	s/i	<2	Obligatorio
Color Aparente	Pt-Co	s/i	s/i	<16	No
Oxígeno Disuelto	mg/L	5.23	10.55	>7.5	Obligatorio
pH	unidad	2.61	8.91	6.5 - 8.5	Obligatorio
RAS	-	2.5	20.8	<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

**Tabla 4.7 (Continuación): Selección y Rango de los Parámetros de Calidad en la Cuenca del Río Lluta**

PARÁMETROS	UNIDAD	MÍNIMO	MÁXIMO	CLASE 0	SELECCIÓN
<b>INORGANICOS</b>					
Amonio	mg/L	s/i	s/i	<0.5	No
Cianuro	µg/L	s/i	s/i	<4	No
Cloruro	mg/L	125	1390	<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	134	1450	<120	Si
Sulfuro	mg/L	s/i	s/i	<0.04	No
<b>ORGANICOS</b>	-	s/i	s/i	-	No
<b>ORGANICOS PLAGUICIDAS</b>	-	s/i	s/i	-	No
<b>METALES ESENCIALES</b>					
Boro	mg/l	<1	90	<0.4	Si
Cobre	µg/L	<10	50	<7,2	Si
Cromo total	µg/L	<10	20	<8	Si
Hierro	mg/L	0.01	22.4	<0.8	Si
Manganeso	mg/L	0.01	2.61	<0.04	Si
Molibdeno	mg/L	0.01	0.04	<0.008	Si
Níquel	µg/L	<10	<10	<4,2	No
Selenio	µg/L	<1	<1	<4	No
Zinc	mg/L	0.01	3	<0.096	Si
<b>METALES NO ESENCIALES</b>					
Aluminio	mg/L	0.01	41	<0.07	Si
Arsénico	mg/L	0.007	2.5	<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	0.60	<0.002	Si
<b>MICROBIOLOGICOS</b>					
Coliformes Fecales (NMP)	gérmenes/100 ml	s/i	s/i	<10	Obligatorio
Coliformes Totales (NMP)	gérmenes/100 ml	s/i	s/i	<200	No

s/i: sin información

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
  - DBO<sub>5</sub>
  - Oxígeno Disuelto
  - pH
  - Sólidos Suspendidos
  - Coliformes Fecales
  
- Parámetros Principales
  - RAS
  - Cloruro
  - Sulfato
  - Boro
  - Cobre
  - Cromo total
  - Hierro
  - Manganeso
  - Molibdeno
  - Zinc
  - Aluminio
  - Arsénico
  - Plomo

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

- Sólidos Disueltos
- Cianuro
- Fluoruro
- Estaño
- Coliformes Totales

## Lluta

42.

Los parámetros cuyo valor máximo registrado en la BDD no excede el límite de la clase 0 se considera que siempre pertenecen a dicha clase. Estos parámetros son: color aparente, amonio, nitrito y sulfuro. 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 siguientes parámetros: cadmio y mercurio, 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 periodo de tiempo expresado en años y en la ordenada el valor del parámetro.

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

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

Las observaciones que se derivan de las figuras de tendencia central se incluyen en la tabla 4.8.



**Tabla 4.8: Tendencia Central de Parámetros de Calidad de Agua**

<b>RIO LLUTA</b>
<b>pH:</b>
<p><u>Río Caracarani</u>: Se observa un primer periodo, hasta 1990, con valores de pH entre 6-7, que a partir de ese año comienza a disminuir hasta alcanzar un valor cercano a 5. Esta situación se atribuye a la desviación del río Azufre, tal como se comentó anteriormente.</p> <p><u>Río Colpitas</u>: Presenta una gran constancia de la tendencia central, con un ligero nivel alcalino.</p> <p><u>Río Lluta</u>: En Chapizca muestra la influencia del Caracarani, amortiguada por el Colpitas, con una tendencia central decreciente hacia valores cercanos a pH 5. En la estación panamericana, del río muestra una tendencia casi constante hacia pH entre 7-8.</p>
<b>Conductividad Eléctrica:</b>
<p><u>Río Caracarani</u>: La tendencia central de la conductividad eléctrica va en aumento, consecuencia del pH. El valor final alcanza una cifra cercana a 2000 <math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>, extraordinariamente alto.</p> <p><u>Río Colpitas</u>: La conductividad eléctrica es notablemente alta con una tendencia a disminuir.</p> <p><u>Río Lluta</u>: Este parámetro muestra en Chapizca el efecto de la unión de los ríos Colpitas y Caracarani, mientras que en Panamericana existe gran variación, lo que se atribuye a condiciones marinas.</p>
<b>Oxígeno Disuelto:</b>
<p><u>Río Caracarani</u>: presenta un perfil muy alterado, con una tendencia fuertemente decreciente, que podría ser atribuible a efectos similares al pH.</p> <p><u>Río Colpitas</u>: Los valores son constantes, con valores alrededor de 8 mg/L.</p> <p><u>Río Lluta</u>: Los valores muestran alteraciones en el periodo 1998-1999, pero se tienden a normalizar hacia un valor inferior a 8 mg/L, que se considera de buena calidad.</p>
<b>RAS:</b>
<p>Los valores son constantes en los tres ríos incluidos en el análisis, con diferencias atribuibles a las características propias de cada uno.</p>

**Tabla 4.8 (Continuación): Tendencia Central de Parámetros de Calidad de Agua**

<b>RIO LLUTA</b>
<b>Concentración de Cloruro:</b>
<p><u>Río Caracarani:</u> Valores relativamente constantes, con cierta tendencia aumentar.</p> <p><u>Río Colpitas:</u> Presenta una curva descendente en los años 1983-1987 que no se ha podido relacionar con actividades en este cauce.</p> <p><u>Río Lluta:</u> El perfil en Chapizca es constante, que refleja bien la situación aguas arriba, y en Panamericana se observa fluctuaciones presumiblemente atribuibles a la influencia marina (los valores son más altos).</p>
<b>Concentración de Sulfato:</b>
<p><u>Río Caracarani:</u> La tendencia es creciente, lo que es atribuible al cambio de pH, ya que al pasar este de una basicidad a una mayor acidez, se solubilizan sales metálicas que pueden tener sulfatos, además de cobre y hierro.</p> <p><u>Río Colpitas:</u> Presenta una tendencia semejante al cloruro, que puede representar una correlación debido a un mismo fenómeno, cuya causa no ha sido precisada.</p> <p><u>Río Lluta:</u> En Chapizca existe cierta fluctuación, no así en Panamericana.</p>
<b>Concentración de Boro:</b>
<p><u>Río Caracarani:</u> Presenta una tendencia constatable, lo que indica que las causas que originan la presencia del Boro en el río Caracarani han sido constantes en el tiempo.</p> <p><u>Río Colpitas:</u> Presenta una tendencia creciente en el tiempo, lo que podría ser atribuible a la explotación de depósitos de boratos.</p> <p><u>Río Lluta:</u> El comportamiento del Boro presenta una tendencia creciente a lo largo del río, lo que es atribuible a la presencia de depósitos salinos como boratos, abundantes en el norte de Chile, la concentración presente en el río Lluta (16-25 mg/L) clasifica en clase 4 del Instructivo Presidencial.</p>
<b>Concentración de Cobre:</b>
<p><u>Río Caracarani:</u> Presenta una tendencia decreciente desde 1997 en adelante, es el mismo comportamiento que se observa en el río Lluta, y Colpitas.</p> <p><u>Río Colpitas:</u> El comportamiento del cobre es decreciente disminuyendo entre 10 y 15 µg/L en los registros.</p> <p><u>Río Lluta:</u> El comportamiento del cobre es decreciente en el último periodo disminuyendo de 40 a 30 ppb, clase 3 del Instructivo, cuya causa no ha sido precisada sin embargo en la gran composición salina de esta agua el rango de disminución (<math>10 \cdot 10^{-6}</math> g/L) incluso puede ser atribuible al método de análisis.</p>
<b>Concentración de Hierro :</b>
<p><u>Río Caracarani:</u> Presenta una tendencia constante, para luego aumentar lo que indica que las causas que originan la presencia en el río Caracarani han cambiado en el tiempo. La presencia del hierro en los sistemas naturales proviene de los</p>

**Tabla 4.8 (Continuación): Tendencia Central de Parámetros de Calidad de Agua**

<b>RIO LLUTA</b>
<p>minerales el que es soluble bajo condiciones reductoras (<math>\text{Fe}^{2+}</math>) o como <math>\text{Fe}^{3+}</math>, <math>(\text{Fe}(\text{OH})_3)</math> el que a pH neutro debería estar presente como material particulado sin embargo aumenta su solubilidad con la disminución del pH, lo que se corrobora en este caso el pH decrece aproximadamente de 6 a 4,5.</p> <p><b>Río Colpitas:</b> Presenta una tendencia constante, igual que el pH, lo que demuestra que la presencia del hierro esta ligada a la variación del pH.</p> <p><b>Río Lluta:</b> El comportamiento en Panamericana el pH aumenta su basicidad (cerca a 8 ), lo que es compatible con el decrecimiento de la tendencia del hierro.</p>
<p><b>Concentración de Arsénico:</b></p> <p><b>Río Caracarani :</b> Presenta una tendencia constante , el arsénico se encuentra en la corteza terrestre y muchas reacciones con el agua lo introducen al ambiente en forma de compuestos inorgánicos como: arsenitos, y arseniats. 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 <math>\mu\text{g/L}</math>.</p> <p><b>Río Colpitas:</b> Presenta una tendencia constante</p> <p><b>Río Lluta:</b> El comportamiento en Panamericana.</p>
<p><b>Concentración de Cromo-Manganeso-Molibdeno-Zinc:</b></p> <p><b>Río Caracarani:</b> No es posible el análisis de tendencia a largo plazo.</p> <p><b>Río Colpitas:</b> No es posible el análisis de tendencia a largo plazo.</p> <p><b>Río Lluta:</b> No es posible el análisis de tendencia a largo plazo.</p>

#### 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 cinco puntos, con el fin de caracterizar lo más ampliamente posible el río Lluta y sus tributarios principales. Se muestrearon en lugares antes de confluencia, o donde existen estaciones de calidad de la DGA. Para el caso de la Quebrada Aroma, se optó por este punto para tener una aproximación de los efectos del poblado de Putre.

## Lluta

46.

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 2003 se llevó a cabo el siguiente programa de muestreo:

**Tabla 4.9: Programa de Muestreo Puntual de CADE-IDEPE**

Segmento	Puntos de Muestreo	Situación	Parámetros a medir en todos los puntos
0120-LL-10	Río Lluta en Alcérreca	Estación de monitoreo DGA	DBO <sub>5</sub> , Color, SD, SST, NH <sub>4</sub> , CN <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , S <sub>2</sub> <sup>-</sup> , Sn, CF, CT
0121-LL-20	Río Lluta aguas abajo de la Quebrada Aromo	Sin información	
0121-LL-10	Río Lluta en Chapizca	Estación de monitoreo DGA	
0121-LL-20	Río Lluta en Panamericana	Estación de monitoreo 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 DBO<sub>5</sub>, sólidos suspendidos y coliformes fecales, en caso de carecer de información de nivel superior. El método de cálculo de estos parámetros se presenta en 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 Lluta 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

Para la cuenca del río Lluta, 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 éste acápite se realiza el análisis de los parámetros de calidad de agua por periodo estacional: verano, otoño, invierno y primavera.

## Lluta

48.

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

**Tabla 4.10: Calidad de Agua por Períodos Estacionales en la Cuenca del Lluta.  
Información DGA**

ESTACIÓN DE MONITOREO	Conductividad Eléctrica (µS/cm)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO CARACARANI ANTES COLPITAS	(2435)	4	(1979)	3	(1733)	3	(1885)	3
RIO COLPITAS ANTES CARACARANI	(2043)	3	2375	4	(2634)	4	(2466)	4
RIO LLUTA EN CHAPIZCA	(2456)	4	(2224)	3	((2556))	4	((2376))	4
RIO LLUTA EN PANAMERICANA	(3573)	4	3377	4	(5263)	4	(4170)	4

ESTACIÓN DE MONITOREO	Oxígeno Disuelto (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO CARACARANI ANTES COLPITAS	((8,9))	0	((7,5))	1	((9,3))	0	((6,8))	2
RIO COLPITAS ANTES CARACARANI	((7,1))	2	((7,2))	2	((7,6))	0	((8,4))	0
RIO LLUTA EN CHAPIZCA	((7,6))	0	((8,1))	0	((6,2))	2	((7,6))	0
RIO LLUTA EN PANAMERICANA	((8,1))	0	(8,2)	0	((7,5))	1	((7,5))	1

ESTACIÓN DE MONITOREO	pH							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO CARACARANI ANTES COLPITAS	(7,6)	0	(4,7)	4	(6,0)	0	(4,4)	4
RIO COLPITAS ANTES CARACARANI	(3,4)	4	7,5	0	(7,5)	0	(8,0)	0
RIO LLUTA EN CHAPIZCA	((4,8))	4	(5,1)	4	(5,1)	4	((4,7))	4
RIO LLUTA EN PANAMERICANA	(7,5)	0	7,4	0	(8,1)	0	(7,8)	0

ESTACIÓN DE MONITOREO	RAS							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO CARACARANI ANTES COLPITAS	(9,5)	4	(2,8)	1	(3,0)	1	(3,0)	1
RIO COLPITAS ANTES CARACARANI	(3,7)	2	(10,3)	4	(9,4)	4	(9,5)	4
RIO LLUTA EN CHAPIZCA	((14,9))	4	(4,6)	2	((5,3))	2	((5,4))	2
RIO LLUTA EN PANAMERICANA	(6,8)	3	(5,8)	2	(7,4)	3	(6,6)	3

ESTACIÓN DE MONITOREO	Cloruro (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO CARACARANI ANTES COLPITAS	(533)	4	(253)	4	(220)	4	(225)	4
RIO COLPITAS ANTES CARACARANI	(267)	4	(465)	4	(593)	4	(586)	4
RIO LLUTA EN CHAPIZCA	((394))	4	(361)	4	((442))	4	((475))	4
RIO LLUTA EN PANAMERICANA	(736)	4	594	4	(1046)	4	(877)	4

ESTACIÓN DE MONITOREO	Sulfato (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO CARACARANI ANTES COLPITAS	(244)	2	(393)	2	(363)	2	(503)	3
RIO COLPITAS ANTES CARACARANI	(504)	3	(242)	2	(255)	2	(241)	2
RIO LLUTA EN CHAPIZCA	((446))	2	(399)	2	((454))	2	((578))	3
RIO LLUTA EN PANAMERICANA	(674)	3	(632)	3	(1276)	4	(877)	3

ESTACIÓN DE MONITOREO	Boro (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO CARACARANI ANTES COLPITAS	((25))	4	((6))	4	(4)	4	(4)	4
RIO COLPITAS ANTES CARACARANI	((6))	4	(17)	4	(16)	4	(20)	4
RIO LLUTA EN CHAPIZCA	((16))	4	((17))	4	((16))	4	((17))	4
RIO LLUTA EN PANAMERICANA	((23))	4	(27)	4	(23)	4	(23)	4

ESTACIÓN DE MONITOREO	Cobre (µg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO CARACARANI ANTES COLPITAS	(10)	2	(40)	2	(19)	2	(23)	2
RIO COLPITAS ANTES CARACARANI	(20)	2	(70)	2	(13)	2	(10)	2
RIO LLUTA EN CHAPIZCA	((20))	2	(30)	2	((34))	2	((40))	2
RIO LLUTA EN PANAMERICANA	((10))	2	(30)	2	32	2	(42)	2

**Tabla 4.10 (Continuación): Calidad de Agua por Períodos Estacionales en la Cuenca del Lluta. Información DGA**

ESTACIÓN DE MONITOREO	Cromo (µg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO CARACARANI ANTES COLPITAS	((<10))	<1	((<10))	<1	((<10))	<1	((15))	2
RIO COLPITAS ANTES CARACARANI	((<10))	<1	((<10))	<1	((<10))	<1	((15))	2
RIO LLUTA EN CHAPIZCA	((<10))	<1	((<10))	<1	((<10))	<1	((15))	2
RIO LLUTA EN PANAMERICANA	((<10))	<1	((<10))	<1	((20))	2	((<10))	<1

ESTACIÓN DE MONITOREO	Hierro (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO CARACARANI ANTES COLPITAS	(0,7)	0	(11,4)	4	(7,7)	4	(15,0)	4
RIO COLPITAS ANTES CARACARANI	(9,7)	4	(1,0)	1	(0,4)	0	(0,9)	1
RIO LLUTA EN CHAPIZCA	((8,8))	4	(5,8)	4	((10,0))	4	((8,5))	4
RIO LLUTA EN PANAMERICANA	((1,7))	2	(2,0)	2	(0,9)	1	(1,2)	2

ESTACIÓN DE MONITOREO	Manganeso (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO CARACARANI ANTES COLPITAS	((0,3))	4	((1,8))	4	((2,3))	4	((1,3))	4
RIO COLPITAS ANTES CARACARANI	((1,4))	4	((0,3))	4	((0,2))	3	((0,3))	4
RIO LLUTA EN CHAPIZCA	((0,7))	4	((1,3))	4	((1,4))	4	((0,9))	4
RIO LLUTA EN PANAMERICANA	((0,4))	4	((1,3))	4	((0,3))	4	((0,1))	2

ESTACIÓN DE MONITOREO	Molibdeno (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO CARACARANI ANTES COLPITAS	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1	((0,02))	2
RIO COLPITAS ANTES CARACARANI	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1	((0,02))	2
RIO LLUTA EN CHAPIZCA	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1	((0,02))	2
RIO LLUTA EN PANAMERICANA	((<0,01))	<1	((0,02))	2	((<0,01))	<1	((0,03))	2

ESTACIÓN DE MONITOREO	Zinc (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO CARACARANI ANTES COLPITAS	(0,03)	0	((1,90))	3	((2,50))	3	((1,31))	3
RIO COLPITAS ANTES CARACARANI	((2,50))	3	((0,01))	0	((0,02))	0	((0,02))	0
RIO LLUTA EN CHAPIZCA	((0,80))	2	((0,70))	2	((1,06))	3	((1,00))	2
RIO LLUTA EN PANAMERICANA	((0,10))	1	((0,30))	2	((0,04))	0	((0,01))	0

ESTACIÓN DE MONITOREO	Aluminio (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO CARACARANI ANTES COLPITAS	((0,1))	3	((27,6))	4	((26,0))	4	((20,8))	4
RIO COLPITAS ANTES CARACARANI	((23,3))	4	((0,5))	3	((0,8))	3	((0,5))	3
RIO LLUTA EN CHAPIZCA	((13,0))	4	((13,7))	4	((13,4))	4	((15,1))	4
RIO LLUTA EN PANAMERICANA	((2,1))	3	((3,7))	3	((0,9))	3	((0,5))	3

ESTACIÓN DE MONITOREO	Arsénico (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO CARACARANI ANTES COLPITAS	(0,5)	4	(0,3)	4	(0,2)	4	(0,2)	4
RIO COLPITAS ANTES CARACARANI	(0,2)	4	0,6	4	(0,4)	4	(0,5)	4
RIO LLUTA EN CHAPIZCA	((0,6))	4	(0,4)	4	((0,6))	4	((0,6))	4
RIO LLUTA EN PANAMERICANA	(0,1)	3	0,2	4	(0,1)	3	(0,2)	4

ESTACIÓN DE MONITOREO	Plomo (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO CARACARANI ANTES COLPITAS	((0,01))	2	((0,20))	2	((0,24))	3	((0,17))	2
RIO COLPITAS ANTES CARACARANI	((0,20))	2	((0,01))	2	((0,01))	2	((0,01))	2
RIO LLUTA EN CHAPIZCA	((0,04))	2	((0,20))	2	((0,14))	2	((0,07))	2
RIO LLUTA EN PANAMERICANA	((0,02))	2	((0,08))	2	((0,05))	2	((0,01))	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 Lluta.

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

Punto de Muestreo	DBO <sub>5</sub> (mg/L)	
	Valor	Clase
Río Lluta en Coronel Alcérreca	<1.5	0
Río Lluta aguas abajo Qda.Aromo	2.2	1
Río Lluta en Chapizca	1.9	0
Río Lluta en Poconchile	<1.5	0
Río Lluta en Panamericana	<1.5	0

Punto de Muestreo	Color Aparente (Pt-Co)	
	Valor	Clase
Río Lluta en Coronel Alcérreca	5	0
Río Lluta aguas abajo Qda.Aromo	5	0
Río Lluta en Chapizca	5	0
Río Lluta en Poconchile	5	0
Río Lluta en Panamericana	10	0

Punto de Muestreo	Sólidos Disueltos (mg/L)	
	Valor	Clase
Río Lluta en Coronel Alcérreca	1490	3
Río Lluta aguas abajo Qda.Aromo	1640	4
Río Lluta en Chapizca	1550	4
Río Lluta en Poconchile	1920	4
Río Lluta en Panamericana	4000	4

Punto de Muestreo	Sólidos Suspendedos Totales (mg/L)	
	Valor	Clase
Río Lluta en Coronel Alcérreca	21	0
Río Lluta aguas abajo Qda.Aromo	42	2
Río Lluta en Chapizca	50	2
Río Lluta en Poconchile	68	3
Río Lluta en Panamericana	16	0

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

Punto de Muestreo	Amonio (mg/L)	
	Valor	Clase
Río Lluta en Coronel Alcérreca	0.11	0
Río Lluta aguas abajo Qda.Aromo	0.09	0
Río Lluta en Chapizca	0.08	0
Río Lluta en Poconchile	0.04	0
Río Lluta en Panamericana	0.06	0

Punto de Muestreo	Cianuro ( $\mu\text{g/L}$ )	
	Valor	Clase
Río Lluta en Coronel Alcérreca	<3	0
Río Lluta aguas abajo Qda.Aromo	3	0
Río Lluta en Chapizca	18	3
Río Lluta en Poconchile	<3	0
Río Lluta en Panamericana	<3	0

Punto de Muestreo	Fluoruro (mg/L)	
	Valor	Clase
Río Lluta en Coronel Alcérreca	0.5	0
Río Lluta aguas abajo Qda.Aromo	0.5	0
Río Lluta en Chapizca	0.8	1
Río Lluta en Poconchile	0.4	0
Río Lluta en Panamericana	0.8	1

Punto de Muestreo	Nitrito (mg/L)	
	Valor	Clase
Río Lluta en Coronel Alcérreca	<0.01	0
Río Lluta aguas abajo Qda.Aromo	<0.01	0
Río Lluta en Chapizca	<0.01	0
Río Lluta en Poconchile	<0.01	0
Río Lluta en Panamericana	<0.01	0

Punto de Muestreo	Sulfuro (mg/L)	
	Valor	Clase
Río Lluta en Coronel Alcérreca	<0.01	0
Río Lluta aguas abajo Qda.Aromo	<0.01	0
Río Lluta en Chapizca	<0.01	0
Río Lluta en Poconchile	<0.01	0
Río Lluta en Panamericana	<0.01	0

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

Punto de Muestreo	Estaño ( $\mu\text{g/L}$ )	
	Valor	Clase
Río Lluta en Coronel Alcérreca	<10	<2
Río Lluta aguas abajo Qda.Aromo	70	4
Río Lluta en Chapizca	<10	<2
Río Lluta en Poconchile	20	2
Río Lluta en Panamericana	20	2

Punto de Muestreo	Coliformes Fecales (NMP/100ml)	
	Valor	Clase
Río Lluta en Coronel Alcérreca	<2	0
Río Lluta aguas abajo Qda.Aromo	<2	0
Río Lluta en Chapizca	<2	0
Río Lluta en Poconchile	900	1
Río Lluta en Panamericana	500	1

Punto de Muestreo	Coliformes Totales (NMP/100ml)	
	Valor	Clase
Río Lluta en Coronel Alcérreca	<2	0
Río Lluta aguas abajo Qda.Aromo	<2	0
Río Lluta en Chapizca	<2	0
Río Lluta en Poconchile	>1.6e3	>1
Río Lluta en Panamericana	1.6e2	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.

En la Tabla 4.12 se explica los factores incidentes en la cuenca del río Lluta.

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

ESTACION DE CALIDAD / SEGMENTO	FACTORES INCIDENTES		PARÁMETROS QUE PUEDEN VERSE AFECTADOS	CARACTERIZACIÓN DEL FACTOR
	NATURALES	ANTROPOGENICOS		
Río Caracarani en Coronel Alcérreca 0120-LL-10	<p>Lixiviación superficial y volumétrica de litología del sector asociado a esta parte de la cuenca.</p> <p>Solubilización de sales al paso por salar.</p> <p>Concentración de compuestos debido a la evaporación.</p> <p>Lixiviación de compuestos de origen volcánicos</p>	Pastoreo de camélidos	B, Mn, As, Cl <sup>-</sup> , pH, ΔT, SD Posiblemente CF, CT, DBO <sub>5</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Litología: Formaciones volcánicas fracturadas consistentes en coladas, brechas, tubas de tipo andesítico e ignimbritas del período terciario y cuaternario</li> <li>• Suelos: El río Caracarani atraviesa por el medio de un salar (quebrada Caracarani) en aproximadamente 15 km.</li> <li>• Volcanismo: Volcán Tacora se ubica a 8 km al poniente del río Caracarani</li> <li>• Minería: Minas de azufre al pie del Volcán Tacora: Azufreras Ancara, Tacora, Chapiquiña, y Vilque.</li> <li>• Volcanismo: La presencia del volcán Tacora con sulfatos y minas de sulfatos que drenan por la ladera este del volcán adicionan acidez al río Caracarani.</li> <li>• Ganadería: Parte de la zona contiene bofedales que son utilizado para pastoreo (Quebrada Caracarani).</li> <li>• Clima: Predomina el clima altiplánico con bajas precipitaciones. Precipitaciones aproximadas de 0,43 mm/año y en el verano de aproximadamente 55 mm/año (invierno altiplánico). Alta radiaciónSolar. Altitud favorece que el agua se encuentre en estado gaseoso</li> </ul>

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

ESTACION DE CALIDAD / SEGMENTO	FACTORES INCIDENTES		PARÁMETROS QUE PUEDEN VERSE AFECTADOS	CARACTERIZACIÓN DEL FACTOR
	NATURALES	ANTROPOGENICOS		
Río Colpitas en Coronel Alcérreca 0120-CO-10	Lixiviación superficial y volumétrica de litología del sector asociado a esta parte de la cuenca Solubilización de inorgánicos al paso por salar Concentración de compuestos debido a la evaporación Lixiviación de compuestos de origen inorgánicos y volcánicos	Pastoreo de camélidos Contaminación difusa por aguas servidas	CE, RAS, Cl-, B, Mn, As, SD Posiblemente CF, CT, DBO <sub>5</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Litología: El área de la cuenca se encuentra constituida mayormente por rocas volcánicas fracturadas y en los sectores bajos por depósitos no consolidados</li> <li>• Suelos: Salar ubicado en el villorrio de Colpitas.</li> <li>• Ganadería: Pampa Guañavinto, Churicagua.</li> <li>• Clima: Predomina el clima altiplánico con bajas precipitaciones. Alta radiaciónSolar. Altitud favorece que el agua se encuentre en estado gaseoso</li> <li>• Centro urbano: Caserío de Colpitas</li> </ul>
Río Lluta en Chapizca 0121-LL-10	El aporte de inorgánicos se debe a la travesía por suelos con nitratos y sales. Los metales existentes se deben a la lixiviación de las formaciones rocosas y escasa dilución debido al déficit de precipitaciones	Pastoreo de camélidos Actividad agrícola Contaminación difusa por aguas servidas	CE, RAS, Cl, B, Mn, As, pH, SD Posiblemente CF, CT, DBO <sub>5</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Litología: Formaciones geológicas correspondientes a rocas volcánicas fracturadas de los periodos terciario y cuaternario.</li> <li>• Geomorfología: El río baja encajonado por una fuerte pendiente desde los 4000 hasta los 1000 m s.n.m.</li> <li>• Clima: Cambio del clima desde uno altiplánico a uno de desierto. Alta radiación.</li> <li>• Suelos: Existencia de suelos salinos</li> <li>• Centro Urbano: Poblado de Putre sin planta de tratamiento</li> </ul>

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

ESTACION DE CALIDAD / SEGMENTO	FACTORES INCIDENTES		PARÁMETROS QUE PUEDEN VERSE AFECTADOS	CARACTERIZACIÓN DEL FACTOR
	NATURALES	ANTROPOGENICOS		
Río Lluta en Panamericana 0121-LL-20	<p>Solubilización de inorgánicos al paso por salar.</p> <p>Concentración de compuestos debido a la evaporación.</p> <p>El abastecimiento del río a la napa subterránea hace que disminuyan el caudal del río, lo cual hace que río abajo se vayan concentrando contaminantes que se van adicionando a medida que escurre.</p>	<p>Actividad agrícola.</p> <p>Incorporación de salmueras efluentes de la Planta desalinizadora de ESSAT.</p> <p>Contaminación difusa por aguas servidas.</p>	<p>B, Mn, As, Cl<sup>-</sup>, CE, RAS, SD</p> <p>Posiblemente CF, CT, DBO<sub>5</sub></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Litología: Depósitos no consolidados o de relleno de origen aluvial.</li> <li>• Hidrogeología: El río abastece al acuífero</li> <li>• Centros urbanos: Poblados de Molinos, Taipimarca, Churina, el Tambo, Poconchile, Guancarane.</li> <li>• Clima: Cambio del clima desde uno altiplánico a uno de desierto. Alta radiación.</li> <li>• Suelos: Existencia de suelos salinos, suelos ricos en nitrato de sodio.</li> <li>• Agricultura: El cultivo agrícola de maíz. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Planta desalinizadora de ESSAT</li> </ul> </li> </ul>

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

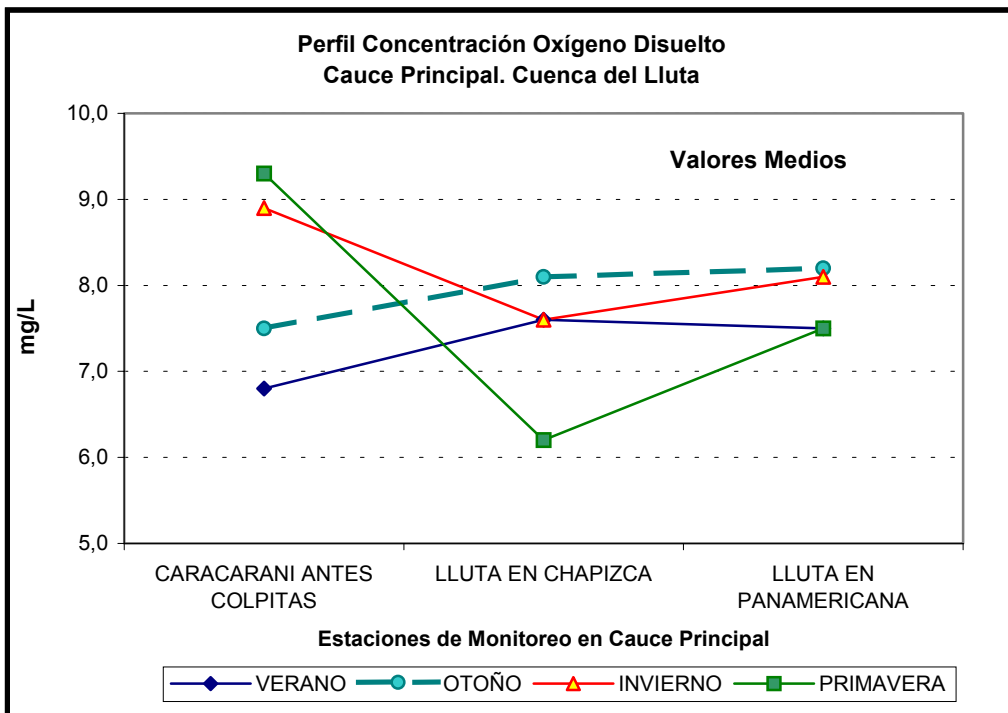
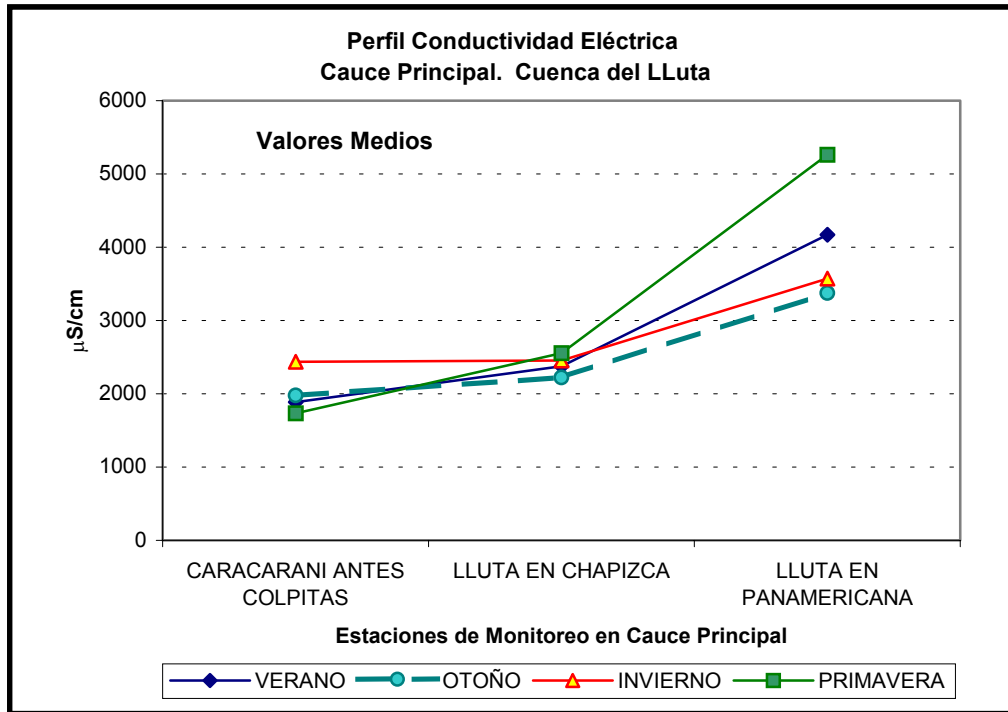
### 5.1 Análisis Espacio Temporal en Cauce Principal

Para el análisis del cauce principal, río Lluta, se cuenta con dos estaciones de monitoreo. Por las características propias de la cuenca se considera como afluente principal el Caracarani, de éste modo, se cuenta con tres estaciones de monitoreo en la cuenca, que son:

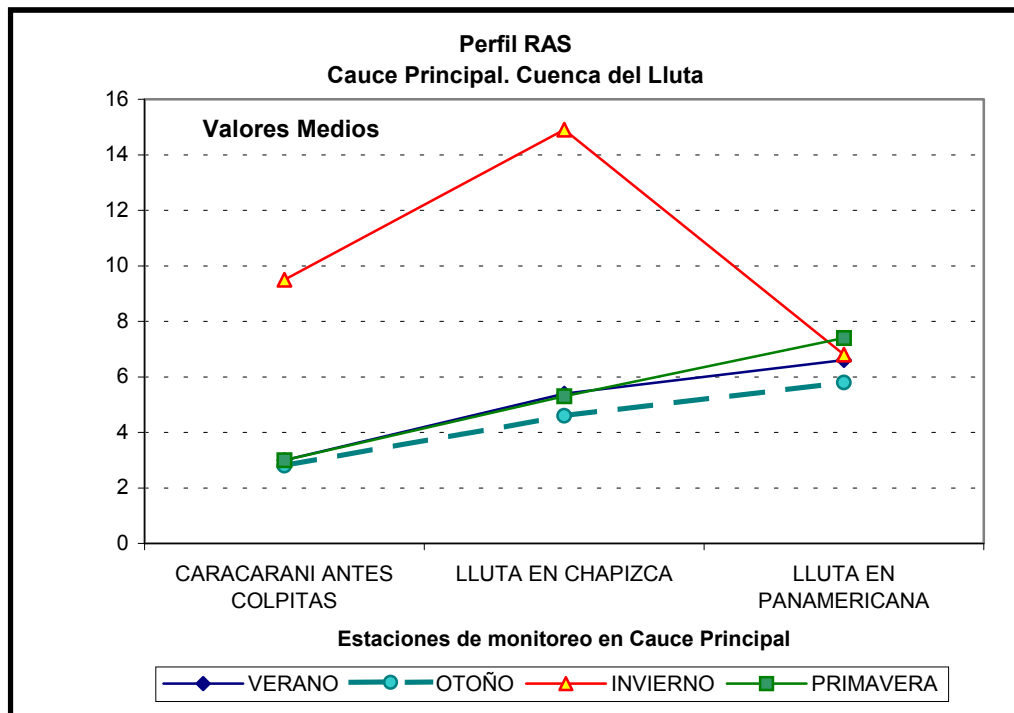
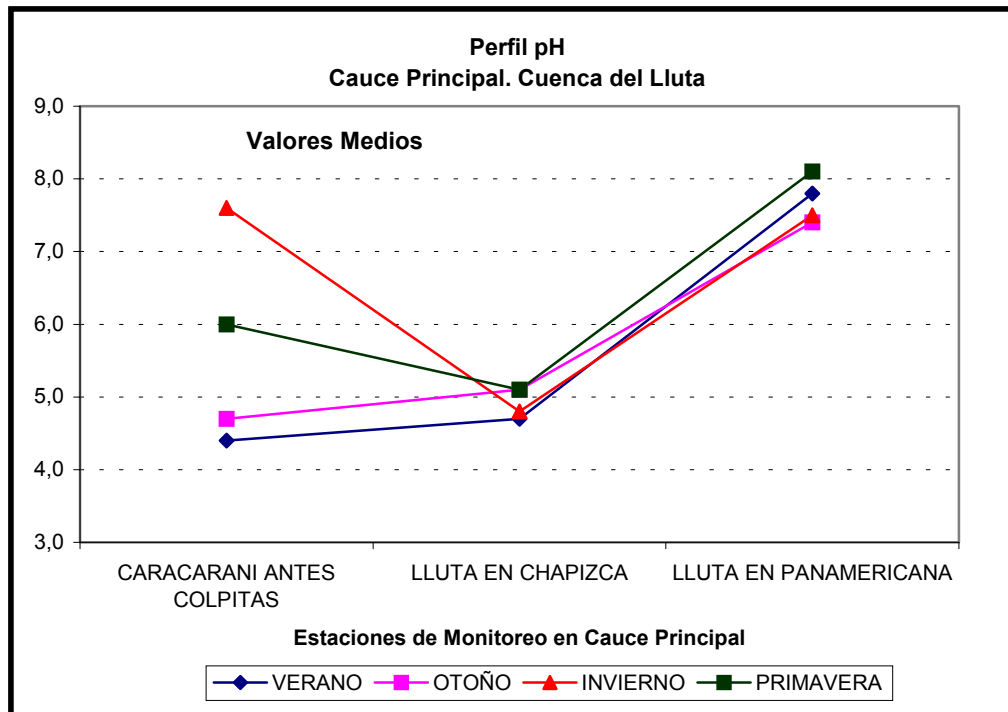
- Caracarani en Colpitas
- Lluta en Chapizca
- Lluta en Panamericana

En la Figura 5.1, con información de la DGA, se incluye el perfil longitudinal de aquellos parámetros seleccionados que exceden, al menos una vez, la clase 0 en los cuatro períodos estacionales. Dichos parámetros son los siguientes: conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH, RAS, cloruro, sulfato, boro, cobre, hierro, manganeso, zinc, aluminio, arsénico y plomo. Debido al reducido número de registros con que se cuenta por período estacional, en esta cuenca se grafican valores medios de cada uno de los parámetros antes mencionados. No se incluyen las representaciones gráficas de los parámetros: molibdeno y cromo, por contar en su mayoría con registros en el límite de detección.





**Figura 5.1: Perfil Longitudinal de Calidad de Agua en el Río Lluta**



**Figura 5.1 (Continuación): Perfil Longitudinal de Calidad de Agua en el Río Lluta**

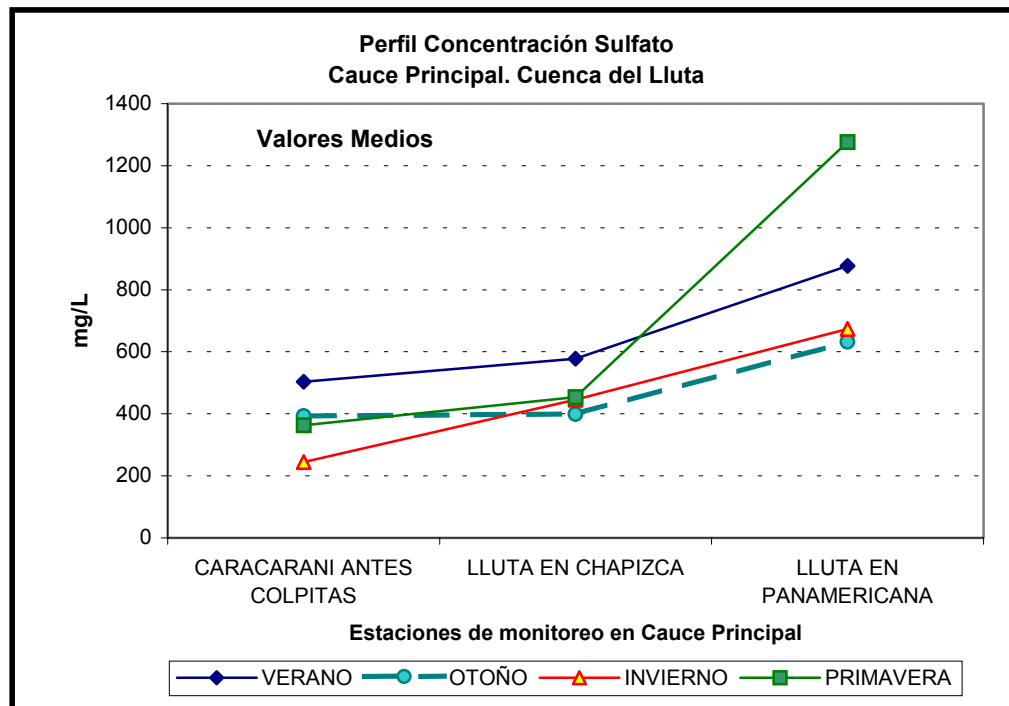
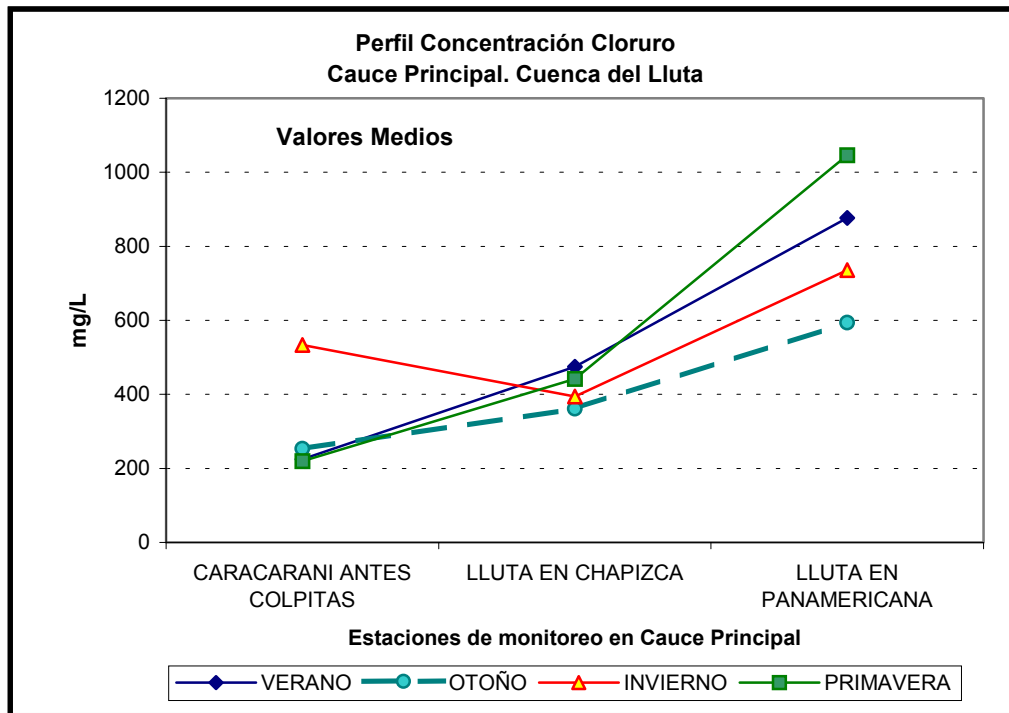


Figura 5.1 (Continuación): Perfil Longitudinal de Calidad de Agua en el Río Lluta

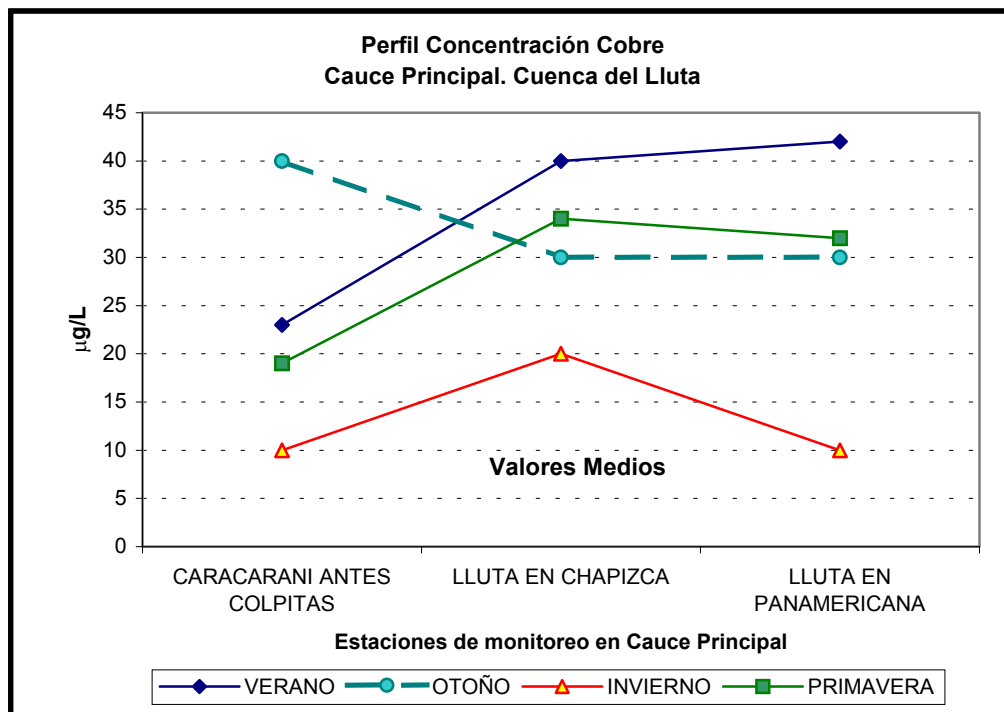
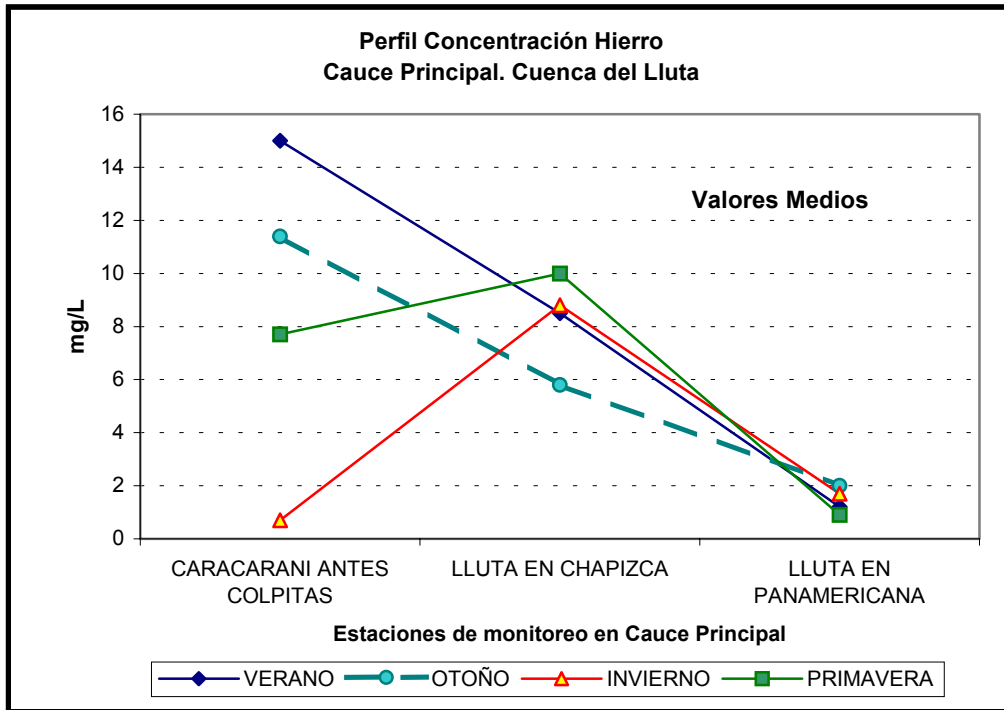


Figura 5.1 (Continuación): Perfil Longitudinal de Calidad de Agua en el Río Lluta

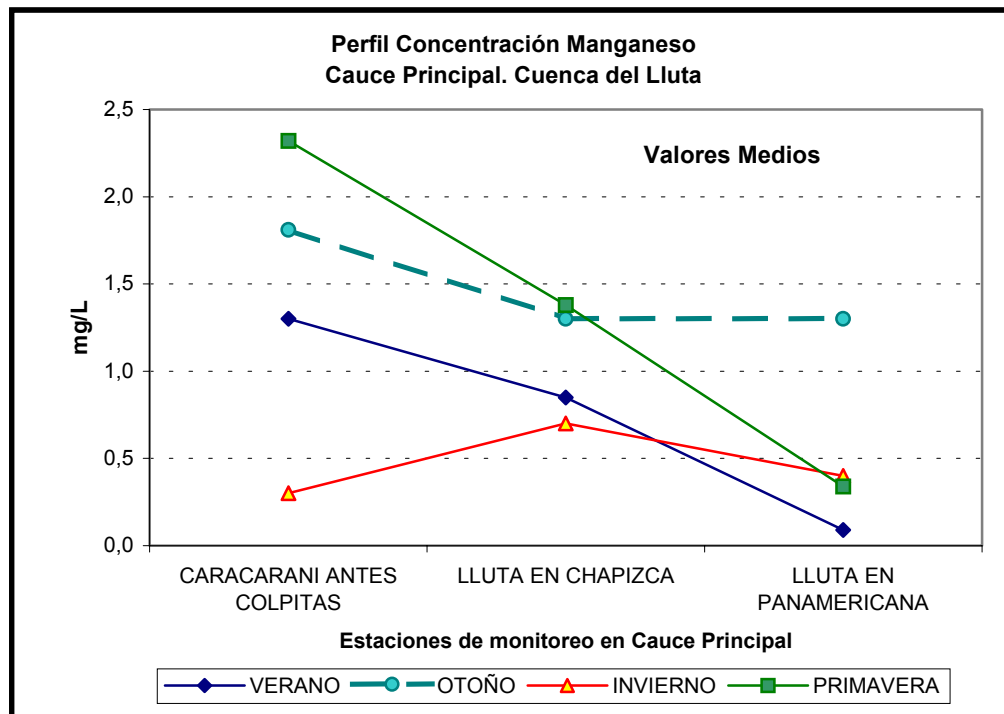
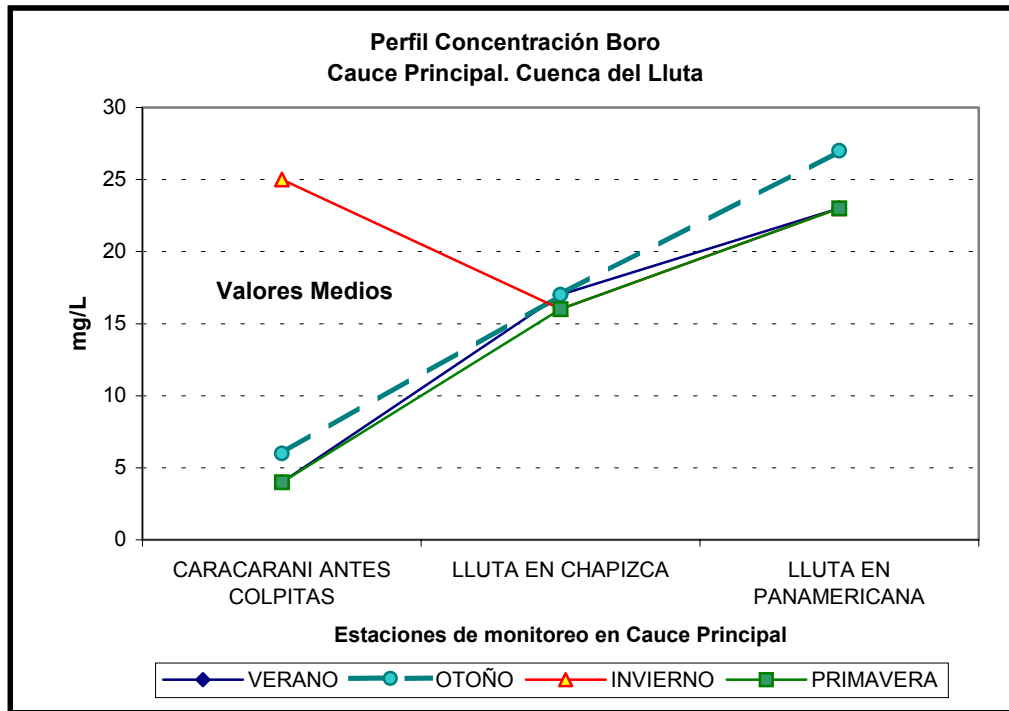


Figura 5.1 (Continuación): Perfil Longitudinal de Calidad de Agua en el Río Lluta

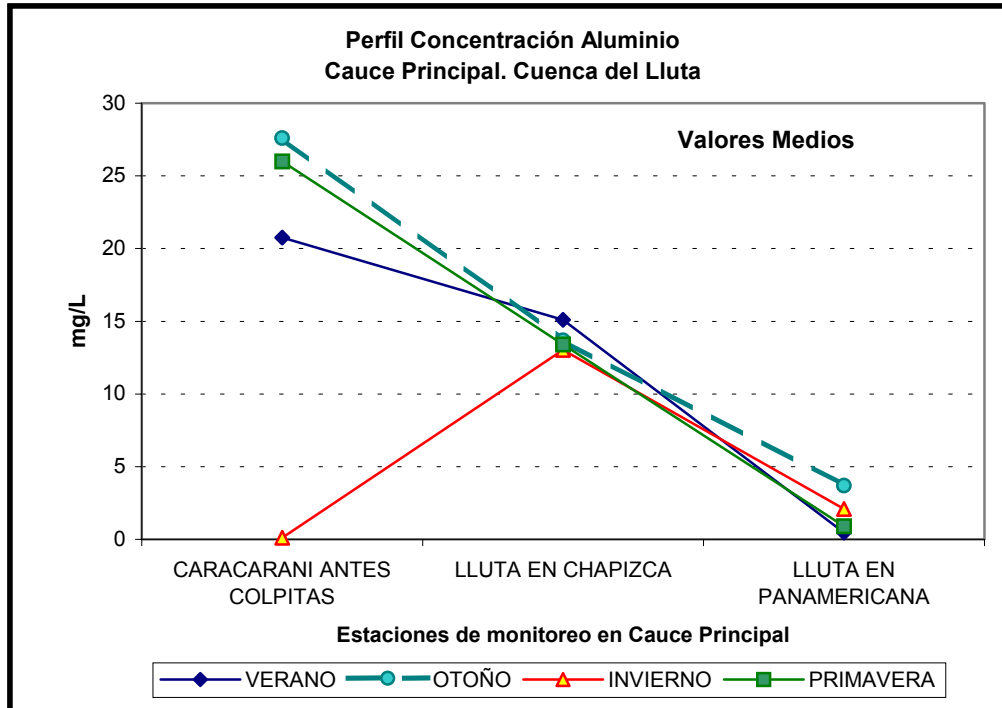
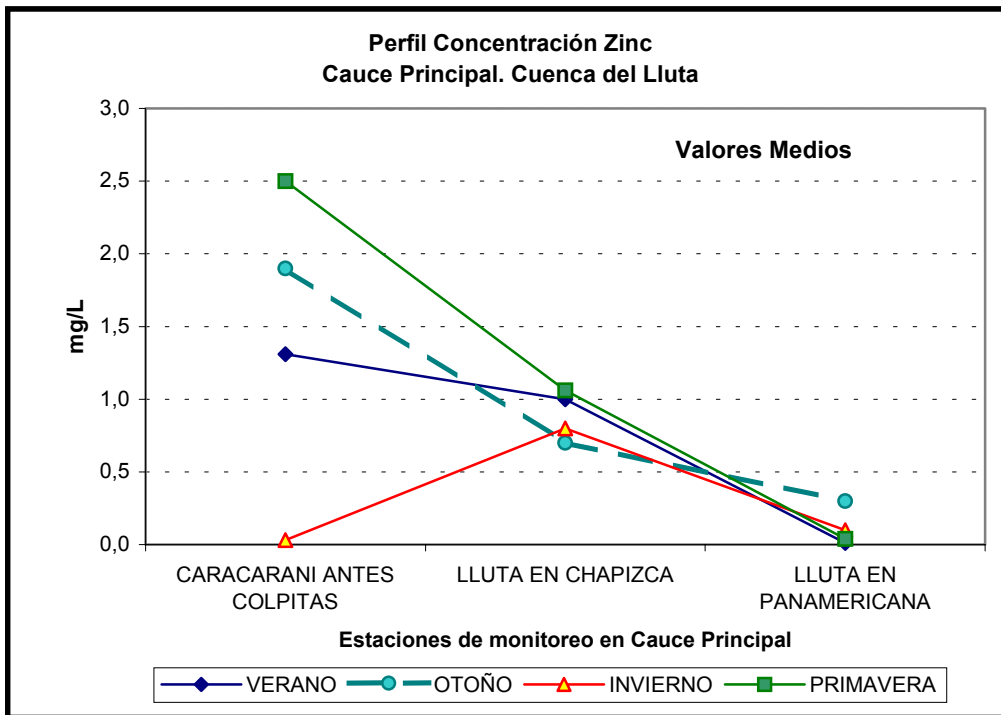


Figura 5.1 (Continuación): Perfil Longitudinal de Calidad de Agua en el Río Lluta

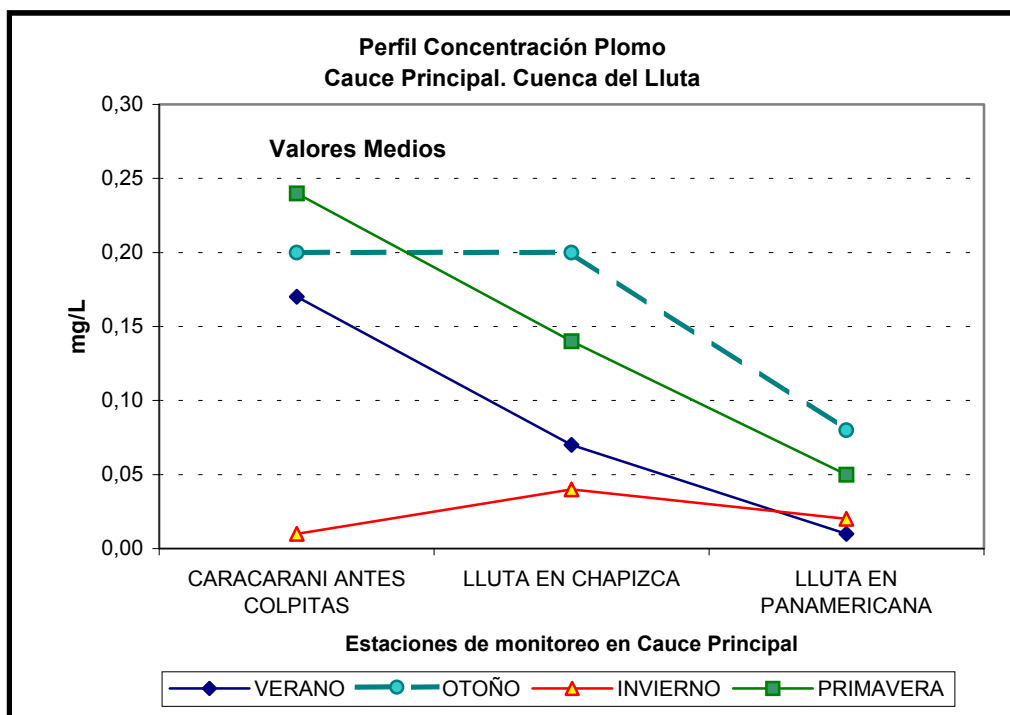
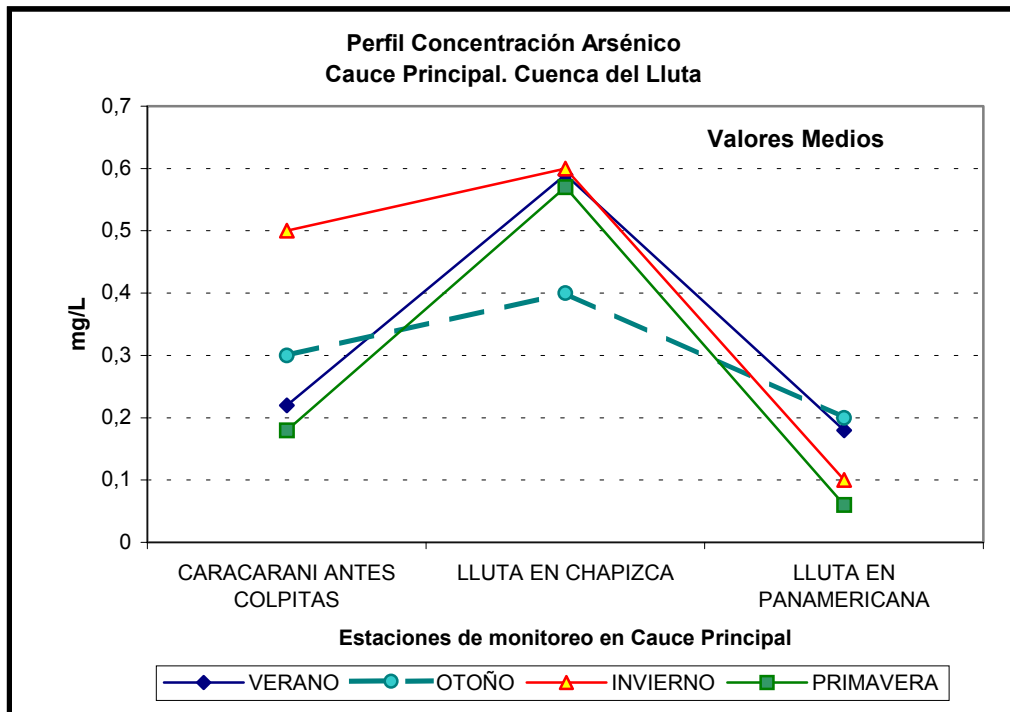


Figura 5.1 (Continuación): Perfil Longitudinal de Calidad de Agua en el Río Lluta

Respecto de cada parámetro y considerando los perfiles mostrados en las figuras 5.1, se comenta lo siguiente:

- CE: Los perfiles longitudinales permiten observar que los valores más altos de los parámetros (envolvente superior) se presentan en primavera y en invierno con valores crecientes desde Chapizca a Panamericana, el valor más alto se encuentra en Panamericana en clase 4. La envolvente inferior tiene un comportamiento similar a la envolvente superior, observándose en otoño y primavera el mínimo valor se presenta en la parte alta de la cuenca en quebrada Caracarani en clase 3.
- OD: Los perfiles longitudinales permiten observar que los valores más altos del parámetro (envolvente superior) se presentan con valores clasificados en clase 0 en los períodos estacionales de primavera y otoño en la quebrada Caracarani y río Lluta, respectivamente. El valor más alto en la cuenca se presenta en primavera en Caracarani. La envolvente inferior se observa en los periodos estacionales de verano en Caracarani y primavera en Lluta, con valores clasificados en la clase 2. El mínimo valor se encuentra en Lluta en Chapizca en clase 0.
- pH: Los perfiles longitudinales permiten observar que los valores más altos se encuentran en invierno en Caracarani en el periodo de otoño-primavera en el río Lluta en Chapizca (sin variación estacional), con valores en clase 4 y primavera en el río Lluta en Panamericana, con valores en clase 0. La envolvente inferior se observa en los periodos de otoño y verano con un comportamiento creciente a lo largo del perfil longitudinal del río Lluta con valores clasificados en clase 0.
- RAS: Los perfiles longitudinales permiten observar que la envolvente superior se observa en invierno en Caracarani y Lluta en Chapizca donde se presentan valores asignados a la clase 4 y en primavera en Lluta en Panamericana en clase 3. La envolvente inferior se presenta en otoño con valores en clase 1 en Caracarani y en clase 2 en el río Lluta. La particularidad observada es el alto valor del RAS del río Lluta en Chapizca con un valor cercano a 15.
- Cloruro: Los perfiles longitudinales permiten observar que los valores más altos del parámetro (envolvente superior) se presentan en primavera,



invierno y verano, con valores muy altos a lo largo del río, en especial en estación Panamericana, cuyo valor aumenta considerablemente, con todos los valores en clase 4. La envolvente inferior se observa en primavera en Caracarani y otoño en el río Lluta, manteniéndose la clase 4. La comparación de los valores de la parte alta con aquellos cercanos a la estación Panamericana, muestra que este parámetro tiende a crecer, lo que podría explicarse por factores antrópicos y en especial por el efecto marino. Tanto la envolvente inferior y superior se encuentra en clase 4.

- Pb: La envolvente superior se observa en primavera y otoño con valores en clase 2 excepto en Caracarani donde se presentan el máximo valor en clase 3. La envolvente inferior se observa en invierno y verano con todos los valores en Clase 2.
- $\text{SO}_4^{2-}$ : Los perfiles longitudinales permiten observar que los valores más altos del parámetro (envolvente superior) se presentan en distintos periodos estacionales, con máximo en la estación Panamericana en primavera y un mínimo en la quebrada Caracarani en verano. La envolvente inferior ocurre en invierno y otoño en Caracarani y río Lluta respectivamente. Los valores están en clase 2 ó 3.
- Fe: Los perfiles longitudinales permiten observar que la envolvente superior se presenta en verano, otoño y primavera, con valores en clase 4 y clase 2. La envolvente inferior se observa en invierno, primavera y otoño con valores en clase 0, 4 y 1. La comparación de los valores de la parte alta con aquellos cercanos a la desembocadura, muestra que este parámetro tiende a disminuir. Los valores más bajos se encuentran en Panamericana y el valor máximo se ubica en Caracarani excepto en invierno.
- Cu: Los perfiles longitudinales permiten observar que la envolvente superior en el río Lluta se encuentran en verano con los valores en clase 2, y la envolvente inferior en invierno. En la quebrada Caracarani el máximo se observa en otoño y el mínimo en invierno con los valores en clase 2.
- B: Los perfiles longitudinales permiten observar que el río Lluta tiene valores de clase 4 en toda la cuenca, observándose los valores más altos en otoño y los más bajos en primavera e invierno. Existe una tendencia a crecer en dirección al mar, posiblemente debido al progresivo efecto de

solubilización de este componente. El valor mínimo se encuentran en Caracarani en primavera-verano y el máximo en Lluta en Panamericana en otoño.

- Mn: Los perfiles longitudinales muestran que la envolvente superior se presentan en el periodo estacional, de primavera y otoño con valores muy altos asignados a la clase 4. El máximo valor se observa en primavera en Caracarani. La envolvente inferior se observa en invierno y verano con todos los valores en clase 4, excepto en Panamericana en clase 2.
- Zn: Los perfiles longitudinales muestran que la envolvente superior se presenta en los periodos estacionales de primavera-otoño con valores en clase 3. La envolvente inferior se observa en invierno, otoño y verano con valores en clase 2.
- Al: Los perfiles longitudinales muestran un comportamiento con una envolvente superior en los períodos estacionales de otoño y verano, con valores en clase 3 y clase 4. El máximo valor se observa en otoño en Caracarani. La envolvente inferior se presenta en invierno y verano con valores 3 y 4.
- As: Los perfiles longitudinales muestran que la envolvente superior se presenta constante en todos los períodos estacionales en el río Lluta en Chapizca, excepto en otoño con valores en clase 4. En el resto de las estaciones los máximos valores se observan un invierno y verano también en clase 4. La envolvente inferior se observa en primavera y verano en la quebrada Caracarani, otoño en Lluta en Chapizca, invierno y primavera en Lluta en Panamericana.

Cabe destacar que los periodos con cambios importantes de caudales en la cuenca del Lluta, dependen del invierno boliviano, situación climática que se produce entre los meses de enero, febrero y marzo. El río Colpitas se caracteriza por tener caudales bajos  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  (5% de excedencia), gran parte del año. El río Caracarani presenta un comportamiento similar, de tal modo que en los meses de abril a diciembre, el caudal (5% de excedencia) no supera los  $0.65 \text{ m}^3/\text{s}$ . El río Lluta sigue la misma tendencia, con valores límites para el periodo marzo-diciembre característicos de cada estación fluviométrica, en un rango que va desde  $3.26 \text{ m}^3/\text{s}$  hasta  $2.14 \text{ m}^3/\text{s}$ . Los valores correspondientes al invierno boliviano son considerablemente superiores. Es importante destacar que durante los meses de marzo a diciembre, el caudal en el

río Lluta es relativamente constante, con escasas variaciones de la calidad del agua en cada punto de monitoreo.

## 5.2 Caracterización de la Calidad de Agua

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

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

CUENCA RIO LLUTA
<b>Parámetros físico- Químicos (FQ): Conductividad Eléctrica, DBO<sub>5</sub>, Color Aparente, OD, pH, RAS, SD, SST.</b>
<p><u>CE</u>: En la quebrada Caracarani no hay variación estacional a lo largo del año con los valores clasificados en clase 3, a excepción del periodo de invierno en clase 4. En la quebrada Colpitas no hay variación estacional con valores en clase 4, excepto en invierno en clase 3. En el río Lluta todos los valores están en el rango de la clase 4 a excepción de Chapizca en otoño clasificado en clase 3.</p>
<p><u>DBO<sub>5</sub></u>: El valor del muestreo puntual en primavera corresponde a clase 0 en el río Lluta, excepto aguas abajo de la quebrada Aromo en clase 1.</p>
<p><u>Color Aparente</u>: Todos los valores del muestreo puntual en primavera corresponden a clase 0 en el río Lluta.</p>
<p><u>OD</u>: La quebrada Caracarani no presenta variación estacional entre invierno y primavera clasificada en clase 0. En otoño y verano en clase 1 y 2 respectivamente. La quebrada Colpitas clasificada en clase 2 con variación estacional. En el río Lluta se observa variación estacional entre primavera y verano con valores en clase 2 y 1.</p>
<p><u>pH</u>: En la quebrada Caracarani no hay variación estacional entre invierno-primavera y otoño-verano con valores en clase 0 y 4 respectivamente. En la quebrada Colpitas no existe variación estacional clasificada en clase 0, excepto en invierno con valores en clase 4.</p>
<p><u>RAS</u>: En la quebrada Caracarani no existe variación estacional clasificada en clase 1, excepto en invierno con valores en clase 4. En Colpitas no existe variación estacional en clase 4, excepto en invierno con valores en clase 2. En el río Lluta se observa un comportamiento disímil a lo largo del río. En la estación Chapizca no existe variación estacional en el rango de la clase 2, excepto en invierno en clase 4, en el río Lluta en Panamericana no existe variación estacional clasificado en clase 3, excepto en otoño en clase 2.</p>
<p><u>SD</u>: El valor obtenido del muestreo puntual en primavera en el río Lluta clasifica en el rango de la clase 4, excepto Lluta aguas abajo de la quebrada Aromo en clase 3.</p>

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

<b>CUENCA RIO LLUTA</b>
<u>SST</u> : El valor obtenido del muestreo puntual en primavera en el río Lluta clasifica en el rango de la clase 2 en Lluta aguas abajo de la quebrada Aromo y Chapizca; clase 0 en Coronel Alcérreca y Panamericana, y clase 3 en Chapizca.
<b>Inorgánicos (IN):</b> $\text{NH}_4^+$ , $\text{CN}^-$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{F}^-$ , $\text{NO}_2^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{S}^{2-}$
<p><u>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></u>: Todos los valores del muestreo puntual en primavera corresponden a clase 0 en el río Lluta.</p> <p><u>CN<sup>-</sup></u>: Todos los valores del muestreo puntual en primavera corresponden a clase 0 en el río Lluta, excepto en Chapizca es clase 3.</p> <p><u>Cl</u>: En las quebradas Caracarani y Colpitas, y río Lluta no existe variación estacional. Todos los valores clasificados en clase 4.</p> <p><u>F</u>: Todos los valores del muestreo puntual en primavera corresponden a clase 0 en el río Lluta, excepto en Chapizca y Panamericana son clase 1.</p> <p><u>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></u>: Todos los valores del muestreo puntual en primavera corresponden a clase 0 en el río Lluta.</p> <p><u>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></u>: En la quebrada Caracarani no existe variación estacional, valores en clase 2, excepto en verano valores en clase 3. En la quebrada Colpitas no existe variación estacional, valores en clase 2, excepto en invierno valores en clase 3. En el río Lluta se observa un aumento desde la parte alta a la parte baja del río. Existe una variación estacional con valores que van desde la clase 2 a la 4.</p> <p><u>S<sup>2-</sup></u>: Todos los valores del muestreo puntual en primavera corresponden a clase 0 en el río Lluta.</p>
<b>Orgánicos (OR): Aceites y grasas, PCBs, SAAM, fenol, HCAP, HC, tretracloroetano, tolueno</b>
No se dispone de información para los parámetros orgánicos
<b>Orgánicos Plaguicidas (OP): Ácido 2,4-D, aldicarb, aldrín, atrazina, captán, carbofurano, clordano, clortalonil, Cyanazina, demeton, DDT, diclofop-metil, dieldrin, dimetoato, heptaclor, lindano, paratión, pentaclorofenol, siazina, trifluralina.</b>
No se dispone de información para los parámetros orgánico plaguicidas
<b>Metales Esenciales (ME): B, Cu, Cr<sub>total</sub>, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Zn</b>
<p><u>B</u>: En las quebradas Caracarani y Colpitas, y río Lluta todos los valores en clase 4 sin variación estacional.</p> <p><u>Cu</u>: En las quebradas Caracarani y Colpitas, y río Lluta todos los valores en clase 2 sin variación estacional.</p> <p><u>Cr<sub>total</sub></u>: En todos los periodos estacionales los valores están en el rango de la clase 0, excepto en verano y en primavera en Panamericana en clase 2.</p> <p><u>Fe</u>: En la quebrada Caracarani no hay variación estacional clasificada en clase 4, excepto en invierno en clase 0. En la quebrada Colpitas se observa una variación estacional con valores en rangos que van desde la clase 0 a la clase 4. En el río</p>

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

<b>CUENCA RIO LLUTA</b>
<p>Lluta en Chapizca y Panamericana no hay variación estacional con todos los valores en clase 4 y clase 2 respectivamente. Excepto en Panamericana en primavera en clase 1.</p> <p><u>Mn</u>: En las quebradas Caracarani, Colpitas y río Lluta todos los valores en clase 4. Excepto en la quebrada Colpitas en primavera en clase 3 y en verano en el río Lluta en Panamericana en clase 2.</p> <p><u>Mo</u>: En las quebradas Caracarani y Colpitas, y río Lluta la mayoría de los datos corresponden a un límite de detección superior a la clase 0, sin embargo existen datos en verano clasificados en clase 2.</p> <p><u>Ni</u>: Sin información</p> <p><u>Se</u>: Sin información</p> <p><u>Zn</u>: En las quebradas Caracarani y Colpitas no hay variación estacional con valores en clase 3 y clase 0 respectivamente, excepto en Caracarani en invierno en clase 0 y Colpitas en clase 4. En Lluta en Chapizca no se observa variación estacional con todos los valores en clase 2, excepto en primavera en clase 3. En Panamericana se observa una variación estacional con valores que van desde la clase 0 a la clase 2.</p>
<p><b>Metales no Esenciales (MN) : Al, As, Cd, Sn, Hg, Pb</b></p> <p><u>Al</u>: En la quebrada Caracarani no hay variación estacional con los valores en clase 4, excepto en invierno en clase 3. Al igual que la anterior la quebrada Colpitas no hay variación estacional con valores en clase 3, excepto en invierno en clase 4. El río Lluta no presenta variación estacional aumentando desde la parte alta hacia la baja en rangos que van desde la clase 4 a clase 3.</p> <p><u>As</u>: En las quebradas Caracarani, Colpitas y río Lluta todos los valores en clase 4. Excepto en el río Lluta en Panamericana en invierno y primavera en clase 3.</p> <p><u>Cd</u>: Sin información</p> <p><u>Sn</u>: En el muestreo puntual en primavera el valor en río Lluta aguas debajo de quebrada Aromo en clase 4.</p> <p><u>Hg</u>: Sin información</p> <p><u>Pb</u>: En las quebradas Caracarani, Colpitas y río Lluta todos los valores en clase 2. Excepto en Caracarani en primavera en clase 3.</p>
<p><b>Indicadores Microbiológicos (IM): CF, CT</b></p> <p><u>CE</u>: El valor del muestreo puntual en primavera esta clasificado en clase 0 en el río Lluta en Coronel Alcérreca, Chapizca y Aguas abajo de quebrada Aromo, en Poconchile y Panamericana en clase 1.</p> <p><u>CT</u>: El valor del muestreo puntual en primavera en el río Lluta esta clasificado en clase 0.</p>

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

El análisis realizado en los acápites anteriores permite elaborar la tabla 5.2, en la cual se clasifican los distintos parámetros según la clase a la que pertenecen en un segmento específico.

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

Para la asignación de clases 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 periodo 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 Lluta, estos parámetros son: DBO<sub>5</sub>, color aparente, SD, SST, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, CN<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, S<sup>2-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, Sn, CF y CT.
- En el caso de los parámetros DBO<sub>5</sub>, sólidos suspendidos y coliformes fecales, si no se dispone de ninguna información de nivel superior, se emplea como valor de referencia la estimación del consultor (información nivel 5). El método de estimación de dichos parámetros se presenta en el 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).

Lluta

74.

**Tabla 5.2: Asignación de Clases de Calidad Actual**

**Tabla 5.2a: Cauce Principal - Río Lluta**

Estación de Calidad	Código de Segmento	Clase del Instructivo					Parámetro con valor en límite de detección	Parámetros seleccionados sin información	Observación
		0	1	2	3	4			
Río Lluta en Coronel Alcerreca	0120-LL-10	DBO <sub>5</sub> color aparente SST, F <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , CN <sup>-</sup> , S <sup>2-</sup> , CF, CT				SD	Sn	Todos los demás parámetros seleccionados	Muestreo puntual en primavera: DBO <sub>5</sub> , color aparente, SD, SST, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , CN <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , S <sup>2-</sup> , Sn, CF, CT
Río Caracarani a/j río Colpitas (Alcerreca)	0120-LL-10	DBO <sub>5</sub> , CF	SST	Cu, Cr <sub>total</sub> , Mo, OD	Zn, Pb, SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	CE, pH, RAS, Fe, Mn, Al, As, Cl, Cd, B		Todos los demás parámetros seleccionados	Información DGA niveles 2 y 3. Información nivel 5 estimada por CADE-IDEPE para DBO <sub>5</sub> , SST y CF
Río Lluta Aguas abajo de Quebrada Aromo	0120-LL-20	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , S <sup>2-</sup> , CF, CN <sup>-</sup> , CT <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , color aparente	DBO <sub>5</sub>	SST		Sn, SD		Todos los demás parámetros seleccionados	Muestreo puntual en primavera: DBO <sub>5</sub> , color aparente, SD, SST, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , CN <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , S <sup>2-</sup> , Sn, CF, CT

Parámetros seleccionados de la cuenca del río Lluta: Conductividad Eléctrica, DBO<sub>5</sub>, Oxígeno Disuelto, pH, Sólidos Suspendidos, Coliformes Fecales, RAS, Cloruro, Sulfato, Boro, Cobre, Cromo total, Hierro, Manganeso, Molibdeno, Zinc, Aluminio, Arsénico, Plomo, Sólidos Disueltos, Cianuro, Fluoruro, Estaño, Coliformes Totales.



Tabla 5.2a (Continuación): Cauce Principal - Río Lluta

Estación de Calidad	Código de Segmento	Clase del Instructivo					Parámetro con valor en límite de detección	Parámetros seleccionados sin información	Observación
		0	1	2	3	4			
Río Lluta en Chapizca	0121-LL-10	DBO <sub>5</sub> color aparente NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , CF, CT, S <sup>2-</sup>	F <sup>-</sup>	SST, Pb, OD, Cu, Mo, Cr total, S <sup>2-</sup>	CN <sup>-</sup> , Zn, SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	CE, SD, Cl, Mn, B, Al, Fe, As, pH, RAS	Sn	Todos los demás parámetros seleccionados	Muestreo puntual en primavera: DBO <sub>5</sub> , color aparente, SD, SST, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , CN <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , S <sup>2-</sup> , Sn, CF, CT  Información DGA nivel 2 y 3: CE, OD, pH, RAS, Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , B, Cu, Cr total, Fe, Mn, Mo, Zn, Al, As, Pb
Río Lluta en Poconchile	0121-LL-20	DBO <sub>5</sub> color aparente, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , CN <sup>-</sup> , FNO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , S <sup>2-</sup> , CT	CF	Sn	SST	SD		Todos los demás parámetros seleccionados	Muestreo puntual en primavera: DBO <sub>5</sub> , color aparente, SD, SST, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , CN <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , S <sup>2-</sup> , Sn, CF, CT
Río Lluta en Panamericana	0121-LL-20	DBO <sub>5</sub> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , pH, color aparente, SST, CN <sup>-</sup> , S <sup>2-</sup> , CT	CF, F <sup>-</sup> , OD	Sn, Cr total, Pb, Cu, Fe, Zn, Mo	RAS, Al,	B, Mn, As, CE, Cl <sub>2</sub> , SD, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Todos los demás parámetros seleccionados	Muestreo puntual en primavera: DBO <sub>5</sub> , color aparente, SD, SST, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , CN <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , S <sup>2-</sup> , Sn, CF, CT.  Información DGA nivel 2 y 3: CE, OD, pH, RAS, Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , B, Cu, Cr total, Fe, Mn, Mo, Zn, Al, As, Pb.

Lluta

76.

**Tabla 5.2b: Cauce Secundario - Quebrada Colpitas**

Estación de Calidad	Código de Segmento	Clase del Instructivo					Parámetro con valor en límite de detección	Parámetros seleccionados sin información	Observación
		0	1	2	3	4			
Río Colpitas a/j río Caracarani	0120-CO-10	Zn, DBO <sub>5</sub> , CF	SST	Pb, OD, Mo, Cu, Cr <sub>total</sub> ,	Cd, Zn, SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	CE, RAS, Cl, B, Mn, As, Al, pH , Fe.		Todos los demás parámetros seleccionados	Información DGA niveles 2 y 3.  Información nivel 5 estimada por CADE- IDEPE para DBO <sub>5</sub> , SST y CF

Cauces sin información:

- Quebrada Caracarani

#### 5.4 Calidad Natural y Factores Incidentes

La calidad del agua del Lluta se ve alterada de la clase de excepción debido al alto contenido de compuestos existentes en la litología y los suelos, los cuales se incorporan al agua por los siguientes mecanismos:

- Acidificación del agua meteórica por CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> atmosférico.
- Meteorización de las formaciones rocosas por intemperización, lo que lleva a un aumento de la superficie específica y por tanto mayor intensidad de la reacción de lixiviación.
- Lixiviación superficial de rocas meteorizadas por escorrentía o derretimiento de nieve ácida.
- Lixiviación volumétrica de rocas subterráneas por contacto roca – agua infiltrada ácida.
- Solifluxión – deslizamiento de laderas por sobrehumedad – y posterior lixiviación y dilución del material deslizado.
- Solubilización de compuestos presentes en los suelos.
- Solubilización de depósitos de evaporitas.
- Concentración de solutos por evaporación de agua.
- Rocas de origen volcánicas: piroclásticas, brechas, tobas, calizas y azufre adicionan parámetros fisicoquímicos y metálicos al agua superficial.
- Arrastre de sólidos por escorrentías y pérdida de cobertura vegetal.

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 Lluta, basada en la información estadística por períodos estacionales que se presenta en la Tabla 4.10.

## Lluta

78.

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

Estación	Segmento	CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	OD (mg/L)	pH	RAS	F <sup>-</sup> (mg/L)	Cl <sup>-</sup> (mg/L)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/L)	B (mg/L)	Cu ( $\mu\text{g/L}$ )	Cr ( $\mu\text{g/L}$ )	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Mo (mg/L)	Zn (mg/L)	Al (mg/L)	SS (mg/L)	Sn (mg/L)	SD (mg/L)	As (mg/L)	Pb (mg/L)
Río Caracarani antes del Colpitas	0120LL10	(2435)	((6,8))	(4,4)	(9,5)		(533)	(503)	((25))	(40)	((15))	(15)	((2,3))	((0,02))	((2,5))	((27,6))				(0,5)	((0,24))
Río Colpitas antes del Caracarani	0120CO10	(2634)	((7,1))	(3,4)	(10,3)		(593)	(504)	(20)	(70)	((15))	(9,7)	((1,4))	((0,02))	((2,5))	((23,3))				0,6	((0,2))
Río Lluta en Chapizca	0121LL10	((2556))	((6,2))	((4,7))	((14,9))	0,8	((475))	((578))	((17))	((40))	((15))	((10))	((1,4))	((0,02))	((1,06))	((15,1))	50	50	1550	((0,06))	((0,2))
Río Lluta en Panamericana	0121LL20	(5263)	((7,5))		(7,4)	0,8	(1046)	(1276)	(27)	(42)	((20))	(2)	((1,3))	((0,03))	((0,3))	((3,7))			4000	0,2	((0,08))

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

Fuente: Elaboración propia

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

- Todos los parámetros de la tabla excepto el pH en Panamericana se encuentran presentes en el Lluta y tributarios.
- Los parámetros inorgánicos y metales en su totalidad superan la clase de excepción.

#### 5.4.1 Boro

Los valores de boro procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 4µgr/L (Est. DGA en Caracarani- primavera verano) a 27 µg/L (Est. DGA Río Lluta en Panamericana - otoño).

Los altos valores de boro en el agua superficial son atribuibles esencialmente a la existencia de depósitos de evaporitas de boratos existentes en los salares altiplánicos y en el suelo, donde los boratos forman parte de la costra salina de estos.

Es posible, destacar que en depósitos de nitratos (caliches) existen concentraciones de boro de interés.

#### 5.4.2 Arsénico

Los valores de arsénico procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 0,1 mg/L (Est. DGA Lluta en Panamericana - invierno) a 0,6 mg/l (Est. DGA Río Lluta en Chapizca - invierno).

Los altos valores de arsénico en el agua superficial es atribuible esencialmente a su presencia en la litología de las formaciones rocosas del altiplano, que está compuesta por rocas volcánicas fracturadas del periodo terciario cuaternario, compuestas por coladas, tobas y brechas andesíticas con intercalaciones de sedimentos clásticos.

Otra fuente de arsénico presente en el agua superficial es la actividad geotérmica, desde la cual emergen compuestos de arseniats y arsenitos.

## Lluta

80.

### 5.4.3 Oxígeno disuelto

Los valores de oxígeno disuelto procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 6,2 mg/L (Est. DGA en Caracarani – primavera) a 9,3 mg/L (Est. DGA Río Lluta en Chapizca - Primavera), estos infringen la clase excepción en aproximadamente 17 %.

Los bajos valores de oxígeno en el agua superficial se deberían esencialmente al régimen léntico del río en el sector de Chapizca.

### 5.4.4 pH

Los valores de pH procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 3,4 (Est. DGA en Colpitas - invierno) a 8,1 (Est. DGA Río Lluta en Panamericana - primavera), estos infringen la clase excepción en aproximadamente 48 %.

Los bajos valores de pH en el agua superficial son atribuibles esencialmente a la existencia de sulfuros, asociados a la actividad volcánica del Tacora, los que al reaccionar con agua y aire forman ácido sulfúrico que baja el pH. A modo de ejemplo el río Azufre, presenta un pH muy bajo que drena por la falda oriental del Tacora hasta el río Caracarani.

### 5.4.5 Cobre

Los valores de cobre procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 10µg/l (Est. DGA Lluta en Panamericana - invierno) a 70 µg/l (Est. DGA Río Colpitas - otoño).

Los valores de cobre en el agua superficial se deberían esencialmente a la lixiviación superficial y volumétrica de filones mineralizados de cobre los cuales se solubilizan por el bajo pH de los tributarios del Lluta.

#### 5.4.6 Aluminio

El aluminio detectado presenta valores comprendidos entre 0,1 (Est. DGA Caracarani - Invierno) a 27,6 mg/L (Est. DGA Caracarani - otoño).

La aparición del aluminio disuelto en el agua superficial se debe a la interacción de dos factores: las escorrentías de sedimentos - producto del fenómeno climático conocido como invierno boliviano - compuestos principalmente de aluminio silicatos (arcillas) y el pH (4,5 a 10,1), los cuales forman naturalmente complejos de aluminio en solución.

Por otra parte existe una gran cantidad de arcillas ricas en aluminio silicatos que se encuentran como depósitos constitutivos de los suelos, en donde, cambios muy pequeños en las condiciones del suelo (lluvias levemente ácidas o derretimiento de nieves ácidas) pueden llevar a incrementos relativamente grandes de concentración de aluminio en las aguas naturales.

#### 5.4.7 Hierro

Los valores de hierro procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 0,4 (Est. DGA Colpitas - primavera) a 15 mg/L (Est. DGA Caracarani - verano).

La aparición de hierro es atribuible esencialmente a la presencia en la litología de las formaciones rocosas de la cordillera de los Andes las cuales por procesos de lixiviación de los minerales – pirita principalmente del volcán Tacora - adicionan hierro 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 hierro disuelto en todos los tributarios y curso principal.

#### 5.4.8 Cromo

Los valores de cromo procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 10 (Est. DGA Caracarani, Colpitas y Lluta en Chapizca) a 20 µg/L (Est. DGA Lluta en Panamericana).

La aparición de cromo es atribuible esencialmente a su presencia en la litología de las formaciones rocosas, las cuales 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 Manganeseo

El manganeseo detectado presenta valores comprendidos entre 0,1 (Est. DGA LLuta en Panamericana - verano) a 2,3 mg/L (Estación DGA Caracarani – primavera).

La aparición del manganeseo se debe a dos fenómenos independientes: la lixiviación de las rocas sedimentario – volcánicas de la cordillera altiplánicas y la que ocurre en los suelos.

La presencia de rocas de origen volcánicas fracturadas mixtas del período Terciario - Cuaternario adicionan el contenido de manganeseo existente en la litología de las formaciones rocosas, las cuales por procesos de lixiviación superficial y percolación de las aguas subterráneas adicionan manganeseo a las aguas superficiales, del Lluta.

El manganeseo presente naturalmente en los suelos – suelos oscuros - y en rocas sedimentarias forma parte de la cubierta edáfica, la cual al variar el pH se incorpora a los cursos de agua.

#### 5.4.10 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica detectada presenta valores comprendidos entre 1733  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Est. DGA Río Caracarani – primavera) a 2556  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Est. DGA Río Lluta en Chapizca – primavera), los que superan la clase excepción en aproximadamente 27 %.

La aparición de sales se debe a los depósitos de sal (salares) proveniente de evaporitas, las cuales aportan una cantidad alta de iones a los cursos de agua del Caracarani y Colpitas.



Adicionalmente, la alta radiación solar existente en esta latitud, y el casi nulo porcentaje de nubosidad, hace que la cuenca presente alta evaporación y por tanto de concentración de sales en los cursos de agua.

Los terrenos ubicados en la parte media y baja – desértica está constituida por suelos salinos, que permanecieron en otros tiempos geológicos como fondo marino, de los cuales subsisten depósitos de nitratos y cloruros denominados “*caliches*”.

No se han considerado los valores altos en la Panamericana, debido a la existencia de una planta desalinizadora de aguas subterráneas que bota sus efluentes al Lluta, por considerarse una actividad antrópica reversible.

#### 5.4.11 Sulfatos

Los valores de sulfatos procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 241 a 1276 mg/L.

Los sulfatos presentes en los tributarios y cursos principales se deben a la influencia del volcán Tacora, el cual contiene una cantidad apreciable de azufre en sus laderas, que por efecto del derretimiento de las nieves provoca escorrentías e infiltraciones que drenan sus aguas a través del río azufre hacia el Caracarani.

#### 5.4.12 Zinc

Los valores de zinc procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 0,01 a 2,50 mg/L (Est. DGA Río Caracarani-invierno).

El alto valor de zinc en los ríos Caracarani y Colpitas se debe a sulfuros de zinc asociados a minerales de azufre como piritas que se encuentran allí debido a efectos volcánicos.

#### 5.4.13 Cloruros

Los valores de cloruros procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 220 a 1046 mg/L (Est. DGA Río Lluta en Panamericana - otoño).

La aparición de cloruros se debe a los depósitos de sal (salares) provenientes de evaporitas, las cuales aportan una cantidad alta de Cl<sup>-</sup> a los cursos de agua del Caracarani y Colpitas.

Adicionalmente, la alta radiación solar existente en esta latitud, y el casi nulo porcentaje de nubosidad, hace que la cuenca presente alta evaporación y por tanto de concentración de sales en los cursos de agua.

Los terrenos ubicados en la parte media y baja – desértica está constituida por suelos salinos, que permanecieron en otros tiempos geológicos como fondo marino, de los cuales subsisten depósitos de nitratos y cloruros denominados “*caliches*”.

No se han considerado los valores altos en la Panamericana, debido a la existencia de una planta desalinizadora de aguas subterráneas que bota sus efluentes al Lluta, por considerarse una actividad antrópica reversible.

#### 5.4.14 Fluoruros

Los valores de fluoruros procedentes del muestreo (Octubre 2003) indicaron valores por sobre la clase de excepción en los dos puntos muestreados que son mayores de 0,8 mg/L (Río Lluta en Chapizca y en Panamericana).

Si bien estos valores no son representativos de comportamientos del fluoruro en la cuenca, indican indicios de la existencia de este elemento en el Lluta, que posiblemente se deba a la incorporación de las diluciones de los suelos salinos o calicheros.

#### 5.4.15 Plomo

Los valores de plomo procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 0,01 a 0,20 mg/L (Est. DGA Río Colpitas - invierno).

El plomo se encuentra principalmente en minerales de galena (PbS) y esta en sulfuros como la pirita, calcopirita, bournitita y pirrotita, que se encuentran asociadas a formaciones rocosas de Andesitas de origen volcánico ampliamente distribuidas en la altiplanicie de la cuenca del Lluta.

#### 5.4.16 Estaño

Los valores de estaño procedentes del muestreo (Octubre 2003) indicaron valores por sobre la clase de excepción en los cinco puntos muestreados que son mayores de 10 µg/L.

Si bien estos valores no son representativos del comportamiento del estaño en la cuenca, dan indicios de la existencia de este elemento en los cursos de agua, dichos valores tendrían origen natural por lixiviación de las rocas volcánicas fracturadas existentes en la geología de la cuenca.

#### 5.4.17 Sólidos disueltos

Los valores de sólidos disueltos procedentes del muestreo realizado en el río Lluta se encuentran, entre 1490 a 4000 mg/L.

La presencia está ligada muy fuertemente a la conductividad eléctrica explicada con anterioridad en el punto 5.4.1.

## Lluta

86.

### 5.4.18 Sólidos suspendidos

Los valores de sólidos suspendidos procedentes del muestreo realizado en el río Lluta se encuentran, entre 42 mg/L (Aguas abajo de Qda. Aroma) y 68 mg/L (Lluta en Poconchile).

La presencia de sólidos suspendidos se debe al fuerte descenso del torrente cordillerano desde los 4.000 a los 1.000 m s.n.m.

### 5.4.19 Falencias de información

Para realizar un estudio más detallado de la calidad natural de la cuenca del Lluta se hace imprescindible continuar con el programa de monitoreo de la Dirección General de Aguas, así como con los que posee el Servicio Agrícola y Ganadero, los cuales se deben complementar con los que tenga o tenga proyectados la Empresa Sanitaria de Tarapacá ESSAT.

El muestreo realizado demostró que el estaño se encuentra presente en los cinco cursos muestreados. Para poder valorar su presencia en todos los cursos se deberá agregar en el programa de monitoreo futuro.

El muestreo de cianuro en Chapizca dio valores de 18 µg/L, lo cual indica una actividad minera en el sector, o bien de depósitos de descartes de minerales de oro, lo cual se debe confirmar.

### 5.4.20 Conclusiones

La calidad natural del agua superficial de la cuenca está influenciada fuertemente por los siguientes características que explican la calidad actual del río Lluta y sus tributarios.

- En general, la calidad natural del río es clasificada como de regular a mala calidad, donde exceden la clase de excepción los metales como el Boro, arsénico, oxígeno disuelto, pH, cobre, aluminio, hierro, cromo, manganeso, conductividad eléctrica, sulfatos, zinc, cloruros y plomo.

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

6. PROPOSICIÓN DE CLASES OBJETIVOS6.1 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 Lluta fue presentada en el capítulo 2. En éste capítulo se presentan los tramos, los cuales se forman por la sumatoria de segmentos adyacentes de calidad similar. El tramo se caracteriza por tener una misma clase de calidad objetivo a lo largo de toda su extensión.

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

**Tabla 6.1: Tramos de la Cuenca del Lluta**

Cauce	Código Segmento	Tramo	Límites de Tramos
Quebrada Caracarani	0120-CA-10	CA-TR-10	Desde: Naciente quebrada Caracarani Hasta : Junta quebrada Colpitas
Río LLuta	0120-LL-10		
Río LLuta	0120-LL-20	LL-TR-10	Desde: Junta quebrada Colpitas Hasta: Est. DGA río Lluta en Chapizca
	0121-LL-10		
	0121-LL-20	LL-TR-20	Desde: Est. DGA río Lluta en Chapizca Hasta: Est. DGA río Lluta en Panamericana
	0121-LL-30	LL-TR-30	Desde: Est. DGA río Lluta en Panamericana Hasta: Desembocadura
Quebrada Colpitas	0120-CO-10	CO-TR-10	Desde: Naciente quebrada Colpitas Hasta: Junta río Lluta

En la lámina 1940-LLU-02 se ilustra la ubicación de los segmentos que dan origen a los tramos y en la lámina 1940-LLU-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 río Lluta**

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	
Quebrada Caracarani – Río Lluta	CA-TR-10	--	(*)	Clase 1 a 3	4	3	3	0	DBO <sub>5</sub> , color aparente, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , S <sup>2-</sup> , CN <sup>-</sup> , CF, CT	Otros parámetros seleccionados
								1	SST	
								2	Cu, Cr, Mo, OD	
								4	CE, pH, RAS, Cl <sup>-</sup> , B, Fe, Mn, Al, As	
Río Lluta	LL-TR-10	--	(*)	Clase 1 a 3	4	3	3	0	DBO <sub>5</sub> , color aparente, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , S <sup>2-</sup> , CF, CT	Otros parámetros seleccionados
								1	F <sup>-</sup>	
								2	SST, Pb, Cu, Mo, Cr	
								4	CE, pH, RAS, Cl <sup>-</sup> , B, Fe, Mn, Al, As	
	LL-TR-20	--	(*)	Clase 1 a 3	3	3	3	0	DBO <sub>5</sub> , pH, color aparente, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , S <sup>2-</sup> , CN <sup>-</sup> , SST, CT	Otros parámetros seleccionados
								1	CF, F <sup>-</sup>	
								2	Pb, Cu, Mo, Sn, Cr, Zn, Fe	
								4	CE, Mn, B, As, SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	
	LL-TR-30	--	(*)	Clase 1 a 3	s/i	3	3 (**)	Otras Clases	s/i	Todos los parámetros seleccionados

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

(\*\*) Se le asigna clase 3 debido a que los tramos aguas arriba tienen clase 3

Lluta

92.

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

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	
Qda. Colpitas	CO-TR-10	--	--	Clase 1 a 3	4	3	3	0	DBO <sub>5</sub> , CF, CT	Otros parámetros seleccionados
								1	Pb, SST	
								2	Cu, Cr, Pb, Mo, OD	
								4	CE, pH, RAS, Cl <sup>-</sup> , B, Fe, Mn, Al, As	

Parámetros seleccionados de la cuenca del río Lluta: Conductividad Eléctrica, DBO<sub>5</sub>, Oxígeno Disuelto, pH, Sólidos Suspendidos, Coliformes Fecales, RAS, Cloruro, Sulfato, Boro, Cobre, Cromo total, Hierro, Manganeso, Molibdeno, Zinc, Aluminio, Arsénico, Plomo, Sólidos Disueltos, Cianuro, Fluoruro, Estaño, Coliformes Totales.

### 6.3 Grado de Cumplimiento de la Calidad Objetivo

Con el fin de presentar el Grado de cumplimiento de la Calidad Objetivo, se elabora para todos los parámetros obligatorios y para aquellos parámetros principales que poseen información que permite hacer un 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 Lluta se presentan en el anexo 6.1.

7. OTROS ASPECTOS RELEVANTES

7.1 Indice de Calidad de Agua Superficial

7.1.1 Antecedentes

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

El ICAS de la cuenca del Lluta, estará compuesto por 6 parámetros obligatorios (Conductividad Eléctrica, DBO<sub>5</sub>, Oxígeno Disuelto, pH, Sólidos Suspendidos y Coliformes Fecales) y 13 parámetros que han sido seleccionados para esta cuenca.

Consecuentemente, los parámetros relevantes son:

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

7.1.2 Estimación del ICAS

Los resultados que se muestran en la tabla adjunta, son una estimación basada en la información de calidad de agua que se presenta en éste documento. Para aquellos parámetros obligatorios de los cuales no se dispone de información se utiliza para ciertas

estaciones críticas de la cuenca información nivel 4 (muestreo descrito en el punto 4.2.3) y para las restantes, información nivel 5 (estimaciones realizadas por el consultor).

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

Estación de Muestreo	ICAS
Qda Caracarani a/j Colpitas	71
Qda Colpitas a/j Caracarani	80
Río Lluta en Chapizca	69
Río Lluta en Panamericana	79

La memoria de cálculo de esta tabla se encuentra en el anexo 7.1

La tabla 7.1 muestra que la calidad del agua en la cuenca del Lluta es de regular a mala. Es importante destacar que la mayor incidencia en estos bajos índices la tienen los parámetros inorgánicos de origen natural.

### 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
Caracarani a/j Colpitas	3
Colpitas a/j Caracarani	3
Lluta en Chapizca	3
Lluta en Panamericana	3

El cumplimiento de las clases objetivos por todos los parámetros permite recalcular el 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 Suspendidos; Coliformes Fecales
- Parámetros Principales: RAS, Sólidos Disueltos, Cianuro, Cloruro, Fluoruro, Sulfato, Boro, Cobre, Cromo Total, Hierro, Manganeso, Molibdeno, Zinc, Aluminio, Arsénico, Estaño, Plomo, Coliformes Totales
- Parámetros con Límite de Detección: Cadmio, Mercurio
- Parámetros Sin Información: Color Aparente, Amonio, Nitrito, Sulfuro

- Parámetros Orgánicos: Grasas y Aceites, Detergentes, Hidrocarburos
- Parámetros Orgánico Plaguicidas: No se incluyen

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

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

Tabla 7.3: Programa de Monitoreo Futuro

	Punto de Muestreo	Caracarani a/ río Azufre	Colpitas a/ río Lluta	Lluta a/ quebrada Colpitas	Lluta a/ quebrada Aromo	Lluta en Chapizca	Lluta en Panamericana
	COD_SEG	0120CA10	0120CO10	0120LL10	0120LL20	0121LL10	0121LL20
INDICADOR	UNIDAD	Frecuencia Mínima	Frecuencia Mínima	Frecuencia Mínima	Frecuencia Mínima	Frecuencia Mínima	Frecuencia Mínima
<b>INDICADORES FÍSICO QUÍMICOS</b>							
Conductividad Eléctrica	µS/cm	O	O	O	O	O	O
DBO5	mg/l	O	O	O	O	O	O
Color Aparente	Pt-Co	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
Oxígeno Disuelto	mg/l	O	O	O	O	O	O
pH	unidad	O	O	O	O	O	O
RAS		PPL	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL
Sól disueltos	mg/l	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL
Sól Suspendidos	mg/l	O	O	O	O	O	O
<b>INORGANICOS</b>							
Amonio	mg/l	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
Cianuro	µg/l	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL
Cloruro	mg/l	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL
Fluoruro	mg/l	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL
Nitrito	mg/l	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
Sulfato	mg/l	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL
Sulfuro	mg/l	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
<b>METALES ESCENCIALES</b>							
Boro	mg/l	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL
Cobre	µg/l	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL
Cromo total	µg/l	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL
Hierro	mg/l	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL
Manganeso	mg/l	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL
Molibdeno	mg/l	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL
Níquel	µg/l						
Selenio	µg/l						
Zinc	mg/l	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL
<b>METALES NO ESCENCIALES</b>							
Aluminio	mg/l	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL
Arsénico	mg/l	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL
Cadmio	µg/l	LD	LD	LD	LD	LD	LD
Estaño	µg/l	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL
Mercurio	µg/l	LD	LD	LD	LD	LD	LD
Plomo	mg/l	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL
<b>INDICADORES MICROBIOLÓGICOS</b>							
C Fecales (NMP)	gérmenes/100 ml	O	O	O	O	O	O
C Totales (NMP)	gérmenes/100 ml	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL

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



En la eventualidad que las mediciones en Quebrada Aroma muestren que el impacto de la zona de Putre es significativo, deberá considerarse una estación de medición adicional en esta zona.

### 7.3 Sistema de Información Geográfico

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

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

### 7.4 Referencia Bibliográfica

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, <a href="http://povi.org/chile.htm">http://povi.org/chile.htm</a>
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	CNR, Comisión Nacional de Recursos Naturales. Series de Suelo I Región de Tarapacá.
2.7	GAJARDO, Rodolfo. La Vegetación Natural de Chile, Clasificación y Distribución Geográfica. CONAF. Editorial Universitaria. 1994.
2.8	CONAMA, Comisión Nacional del Medio Ambiente. Estrategia y Plan de Acción para la Conservación de la Biodiversidad en la Región de Tarapacá. 2002.
2.9	INE. Instituto Nacional de Estadísticas 2002 <a href="http://www.censo2002.cl">http://www.censo2002.cl</a>
2.10	JICA, Agencia de Cooperación Internacional del Japón. Marzo 1995. Estudio sobre el Desarrollo de los Recursos de Agua en la Parte Norte de Chile. Informe Principal.
2.11	CONAF - CONAMA. Catastro de Bosque Nativo.
2.12	INE, Instituto Nacional de Estadísticas. 1995. Ciudades, Pueblos y Aldeas: Censo 1992.
3.1	DGA. Dirección General de Aguas. Análisis uso actual y futuro de los recursos hídricos de Chile, 1996.
3.2	SAG. Servicio Agrícola Ganadero. Informe de Calidad de Agua.
3.3	RICARDO EDWARDS – INGENIEROS LTDA. Estudio de Síntesis de Catastros de Usuarios de Agua e Infraestructura de Aprovechamiento, Octubre 1991.
3.4	BCN, Biblioteca del Congreso Nacional <a href="http://www.bcn.cl">http://www.bcn.cl</a>