

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 SALAR DE ATACAMA

DICIEMBRE 2004

CADE-IDEPE
CONSULTORES EN INGENIERIA

INDICE

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>PAGINA</u>
1.	ELECCION DE LA CUENCA Y DEFINICION DE CAUCES	1
2.	RECOPIACION DE INFORMACION Y CARACTERIZACION DE LA CUENCA.....	3
2.1	Cartografía y Segmentación Preliminar	3
2.2	Sistema Físico Natural.....	5
2.2.1	Clima	5
2.2.2	Geología y volcanismo	6
2.2.3	Hidrogeología.....	7
2.2.4	Geomorfología.....	9
2.2.5	Suelos	10
2.3	Flora y Fauna de la Cuenca del Salar de Atacama	11
2.3.1	Flora terrestre y acuática	11
2.3.2	Fauna acuática	12
2.4	Sistemas Humanos.....	12
2.4.1	Asentamientos humanos.....	12
2.4.2	Actividades económicas	13
2.5	Usos del Suelo	13
2.5.1	Uso agrícola.....	14
2.5.2	Uso forestal.....	14
2.5.3	Uso urbano.....	14
2.5.4	Áreas bajo Protección Oficial y Conservación de la Biodiversidad.....	15
3.	ESTABLECIMIENTO DE LA BASE DE DATOS.....	16
3.1	Información Fluviométrica.....	16
3.2	Usos del Agua.....	17
3.2.1	Usos in – situ	18
3.2.2	Usos extractivos.....	19
3.2.3	Biodiversidad.....	20
3.2.4	Usos ancestrales.....	20
3.2.5	Conclusiones.....	21

INDICE

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>PAGINA</u>
3.3	Descargas a Cursos de Agua	23
3.3.1	Descargas de tipo domiciliario	23
3.3.2	Residuos industriales líquidos	23
3.4	Datos de Calidad de Aguas	23
3.4.1	Fuentes de Información	23
3.4.2	Aceptabilidad de los programas de monitoreo	24
4.	ANALISIS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION	26
4.1	Análisis de Información Fluviométrica	26
4.1.1	Análisis por estación	26
4.1.2	Análisis por aforos	29
4.1.3	Conclusiones	33
4.2	Análisis de la Calidad de Agua	34
4.2.1	Selección de parámetros	35
4.2.2	Análisis de tendencia central	38
4.2.3	Programa de Muestreo Puntual CADE-IDEPE	41
4.2.4	Base de Datos Integrada (BDI)	41
4.2.5	Procesamiento de datos por período estacional	43
4.3	Factores Incidentes en la Calidad del Agua	49
5.	CALIDAD ACTUAL Y NATURAL DE LOS CURSOS SUPERFICIALES .	51
5.1	Análisis Espacio-Temporal en Cauce Principal	51
5.2	Caracterización de la Calidad de Agua a Nivel de la Cuenca	51
5.3	Asignación de Clases de Calidad Actual a Nivel de la Cuenca	54
5.4	Calidad Natural y Factores Incidentes	58
5.4.1	Conductividad eléctrica	60
5.4.2	Oxígeno Disuelto (OD)	61
5.4.3	RAS	61
5.4.4	Cloruro	61
5.4.5	Sulfatos	61
5.4.6	Boro	62

INDICE

<u>ITEM</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>PAGINA</u>
5.4.7	Cobre	62
5.4.8	Hierro.....	62
5.4.9	Manganeso.....	63
5.4.10	Molibdeno.....	63
5.4.11	Aluminio.....	64
5.4.12	Arsénico.....	64
5.4.13	Estaño	64
5.4.14	Sólidos disueltos.....	65
5.4.15	Falencias de información.....	65
5.4.16	Conclusiones.....	65
6.	PROPOSICION DE CLASES OBJETIVOS	67
6.1	Establecimiento de Tramos	67
6.2	Requerimientos de Calidad según Usos del Agua.....	68
6.3	Grado de Cumplimiento de la Calidad Objetivo	72
7.	OTROS ASPECTOS RELEVANTES	73
7.1	Indice de Calidad de Agua Superficial.....	73
7.1.1	Antecedentes.....	73
7.1.2	Estimación del ICAS	73
7.1.3	Estimación del ICAS objetivo	74
7.2	Programa de Monitoreo Futuro	75
7.3	Sistema de Información Geográfico.....	78
7.4	Referencias	78

Salar de Atacama

iv.

ANEXOS

Anexo 3.1 : Estadísticas de Caudales Medios Mensuales Cuenca del Salar de Atacama

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 Cuenca del Salar de Atacama

Anexo 7.1: Índice de Calidad Actual Cuenca del Salar de Atacama

1. ELECCION DE LA CUENCA Y DEFINICION DE CAUCES

La cuenca del Salar de Atacama se desarrolla al centro oriente de la II Región de Antofagasta y es, después de la del Loa y de la pampa del Tamarugal, la tercera en tamaño. Posee una superficie aproximada de 15.620 km², con su mayor longitud en sentido N-S de 210 km. y un ancho máximo de 110 km.

Mientras al norte del portezuelo del Cajón la línea divisoria oriental de la cuenca prácticamente coincide con las altas cumbres de la frontera con Bolivia, en 50 km. al sur de dicho portezuelo sigue en toda su extensión en territorio chileno coincidente con una línea de volcanes antepuestos de la Alta Puna, que la separa de cuencas endorreicas menores del altiplano chileno.

Al poniente, la cordillera de Domeyko que, en su sector norte recibe el nombre de cordón Barros Arana, la separa de las cuencas arreicas occidentales y de la hoya del río Loa.

La sierra Almeida constituye la divisoria con el salar de Punta Negra.

El fondo de la cuenca de Atacama está ocupado por el salar propiamente tal, en el cual subsisten algunas lagunas remanentes. La extensión húmeda alcanza aproximadamente a 1.500 km², lo que representa un 10% de la superficie total, con una altitud media de 2.400 m s.n.m. Constituye la base de equilibrio de una profusa red de drenaje, cuyas principales vías de escurrimiento desembocan en la cabecera norte del salar a través de los ríos San Pedro y Vilama. El río San Pedro es el principal aporte superficial al Salar de Atacama, ya que existen importantes aportes subterráneos por todo el límite oriental, un gran número de pequeños aportes generados en vertientes que caen desde el oriente y también por el extremo sur.

El río San Pedro o Atacama, como se llamaba antiguamente, se genera de la confluencia de los ríos Grande que viene del noreste y del Salado o Chuschul que proviene del NW. Esta junta se produce a unos 12 km aguas arriba del pueblo de San Pedro de Atacama. A su vez, el río Grande proviene de la reunión en la alta cordillera de los ríos Jauna y Putana. El río San Pedro es el principal aporte superficial al salar y el que sustenta la mayor área regada alrededor del pueblo principal.

El segundo río en importancia es el Vilama que, en cierto modo, tiene un cauce paralelo al anterior y desemboca unos 5 km al oriente de la desembocadura de aquél. Se

Salar de Atacama

2.

origina en Guatín, a unos 22 km al norte del pueblo de San Pedro de Atacama, de la confluencia de los ríos Purifica y Puritana, a 3.370 m de elevación.

Los afluentes generados en vertientes que descienden por el flanco oriental del salar, constituido por un plano inclinado de pendiente fuerte, genera pequeños escurrimientos como las quebradas Jerez, Talabre, Camar y Peine, que dan vida a algunos oasis, entre ellos los de Toconao, de Socaire y Peine. En el extremo sur del salar, la quebrada de Tarajne y Tulán, logran mantener el pequeño oasis de Tilomonte, donde más que cultivos prospera el algarrobo. Este árbol, junto al chañar, son los de mayor utilidad y crecen a lo largo de toda la margen oriental del salar, prestando beneficios a los naturales de la región.

Los cauces incluidos en el estudio son:

- Río San Pedro
- Río Vilama
- Quebrada Jeréz
- Quebrada Talabre
- Quebrada Camar
- Quebrada de Peine

2. RECOPIACION DE INFORMACION Y CARACTERIZACION DE LA CUENCA

2.1 Cartografía y Segmentación Preliminar

a) Cartografía

La cartografía utilizada en la cuenca del Salar de Atacama incluye una amplia variedad de información vectorial la que procede de las siguientes fuentes:

- Bases cartográficas del SIGIRH, del MOP-DGA. Escala 1:50.000 / 250.000
- Bases del Sistema de Información Ambiental Regional (SIAR) de CONAMA.
- Bases del Catastro de Bosque Nativo de la CONAF, reclasificado por CONAMA.
- Sistema de Información Integrado de Riego (SIIR), de la Comisión Nacional de Riego (CNR.)

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

b) Segmentación preliminar

La segmentación adoptada en la cuenca del Salar de Atacama es la indicada en la tabla 2.1, la que se muestra en la lámina 1940-ATA-02.

Salar de Atacama

4.

Tabla 2.1: Segmentación adoptada en los cauces seleccionados de la Cuenca del Salar de Atacama

CUENCA SALAR DE ATACAMA					Límites de los segmentos	
SubCuenca	Cauce	REF	SubSeg	Código	Inicia en:	Términa en:
0250	Río SAN PEDRO	SP	1	0250 - SP - 10	LIMITE DE SUBCUENCA	ENTRADA SALAR DE ATACAMA
0250	Río SAN PEDRO	SP	2	0250 - SP - 20	ENTRADA SALAR DE ATACAMA	SALAR DE ATACAMA
0250	Río VILAMA	VI	1	0250 - VI - 10	NACIENTE	EST. CALIDAD CANAL VILAMA EN VILAMA
0250	Río VILAMA	VI	2	0250 - VI - 20	EST. CALIDAD CANAL VILAMA EN VILAMA	ENTRADA SALAR DE ATACAMA
0250	QDA. DE JEREZ	JE	1	0250 - JE - 10	NACIENTE	ENTRADA SALAR DE ATACAMA
0250	QDA. DE TALABRE	TA	1	0250 - TA - 10	NACIENTE	ENTRADA SALAR DE ATACAMA
0250	QDA. DE CAMAR	CA	1	0250 - CA - 10	NACIENTE	ENTRADA SALAR DE ATACAMA
0250	QDA. DE PEINE	PE	1	0250 - PE - 10	NACIENTE	ENTRADA SALAR DE ATACAMA
0251	Río SAN PEDRO	SP	1	0251 - SP - 10	NACIENTE	EST. CALIDAD SAN PEDRO EN CUCHABRACHE
0251	Río SAN PEDRO	SP	2	0251 - SP - 20	EST. CALIDAD SAN PEDRO EN CUCHABRACHE	LIMITE DE SUBCUENCA

2.2 Sistema Físico Natural

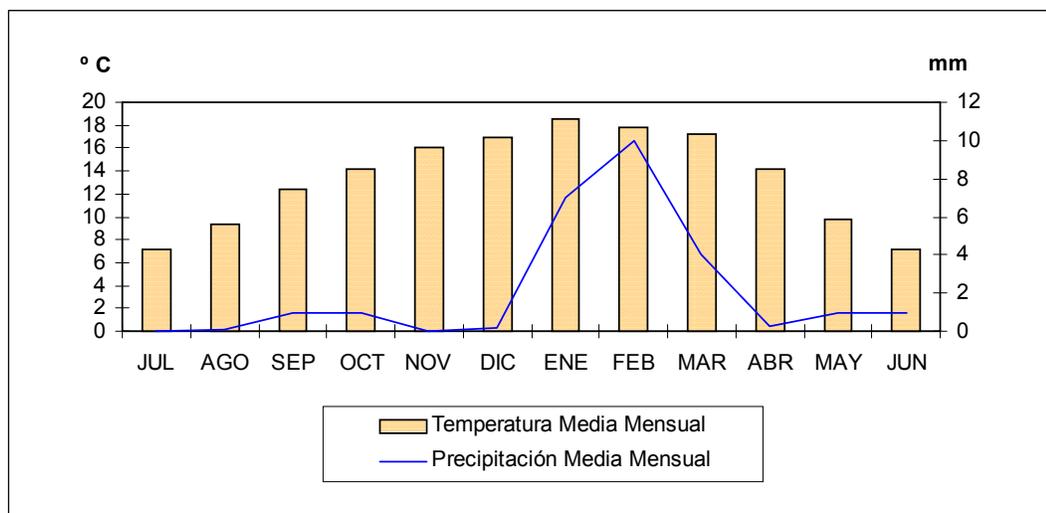
2.2.1 Clima

La cuenca del Salar de Atacama está bajo la influencia del tipo climático denominado Desértico Marginal de Altura.

Este subtipo climático, se localiza por sobre los 2.000 metros de altitud, debido a ello las temperaturas son más atenuadas presentando una media anual de 10°C. En este subtipo aparecen las primeras lluvias que fluctúan entre 50 y 100 mm anuales, ellas se presentan en los meses de verano producto del invierno boliviano.

En relación a los montos de precipitación, éstas son aquellas registradas por la estación de San Pedro de Atacama localizada en el sector norte de la cuenca a 2.450 metros de altitud (22° 55' latitud sur, 68° 12' longitud oeste). La precipitación media anual registrada es de 27,8 mm.

La temperatura media anual registrada por la estación anterior es de 13,4°C. En la Figura 2.1, se presentan los montos de precipitación y temperaturas medias mensuales del sector norte de la cuenca registrada por la estación San Pedro de Atacama.



[Ref 2.1]

Figura 2.1: Diagrama Ombrotérmico sector norte Salar de Atacama

2.2.2 Geología y volcanismo

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

- Salar de Atacama: Rocas MQs, del tipo sedimentaria del Mioceno-Cuaternario. Depósitos evaporíticos sulfatos, cloruros, carbonatos y niveles diestríticos finos, localmente borax y/o litio, salares I-II región.
- Zona poniente de la cuenca: Rocas MP1c, del tipo sedimentarias del Mioceno Superior- Pleioceno. Secuencias sedimentarias clásticas de piedemonte, aluviales, coluviales o fluviales; conglomerados, areniscas y limonitas.

Rocas OM1c, del tipo sedimentaria del Oligoceno-Mioceno. Secuencias sedimentaria continental parálicas o aluviales: conglomerados, areniscas, lutitas, calizas y mantos de carbón.

- Zona norte de la cuenca: Rocas Ms3t, del tipo volcánicas del Mioceno superior. Ignimbritas dacíticas a riolíticas y depósitos piroclásticos asociados a estratovolcanes.

Rocas P3t, del tipo volcánicas del Plioceno. Depósitos piroclásticos dacíticos a riolíticos parcialmente soldados

Rocas MP11, de sedimentarias del Mioceno superior-Plioceno. Secuencias sedimentarias lacustres, en partes fluviales y aluviales, limos, arenas, conglomerados, calizas y cenizas.

- Zona sur de la cuenca: Rocas OM1c, del tipo sedimentarias del Oligoceno-Mioceno. Secuencias sedimentaria continental parálicas o aluviales: conglomerados, areniscas, lutitas, calizas y mantos de carbón.

Rocas P3t, del tipo volcánicas del Plioceno. Depósitos piroclásticos dacíticos a riolíticos parcialmente soldados

Rocas TrJ3, del tipo volcánicas del Triásico-Jurásico inferior. Secuencias volcánicas continentales y transicionales, lavas, domos, brechas, basálticas a riolíticas con intercalaciones de areniscas y conglomerados

Rocas Ksg, del tipo intrusivas del Cretácico superior. Monzodioritas, granodioritas, gabros y dioritas de piroxeno, biotita y hornblenda pórfidos andesíticas y dioríticas

Rocas OS3, del tipo volcánicas del Ordovícico-Silúrico. Secuencias volcánicas continentales y marinas: lavas basálticas y andesíticas con intercalaciones de lutitas y areniscas y tobas. Complejo Igneo y sedimento de Cordón de Lila.

- Zona oriente de la cuenca: Rocas Q3t, del tipo volcánica del Cuaternario. Depósitos de flujo piroclástico, localmente soldados. En la cordillera I a II región.

Rocas P3t, del tipo Volcánicas del Plioceno. Depósitos piroclásticos dacíticos a riolíticos parcialmente soldados

Rocas CP2, del tipo volcano-sedimentaria del Carbonífero-Pérmico. Secuencia volcánica continentales rocas epiclásticas con intercalaciones de lavas andesíticas y tobas riolíticas.

Existe influencia volcánica en esta cuenca por parte del volcán Tatio (Campo hidrotermal, pleitoceno-Geiser, erupción cuaternaria con probable actividad holocena de tipo hidrotermal), Licancabur (Estratovolcán del holoceno sin registro de su última erupción) que se ubican al interior de la cuenca y del volcán Lascar (Estratovolcán histórico cuya última erupción se registra posterior a 1964) y Simbad, que se ubican en los alrededores de la cuenca. [Ref. 2.3]

2.2.3 Hidrogeología

La cuenca hidrogeológica de la cuenca del Salar de Atacama se extiende desde la latitud 22°20' hasta la latitud 24°10' sur.

Salar de Atacama

8.

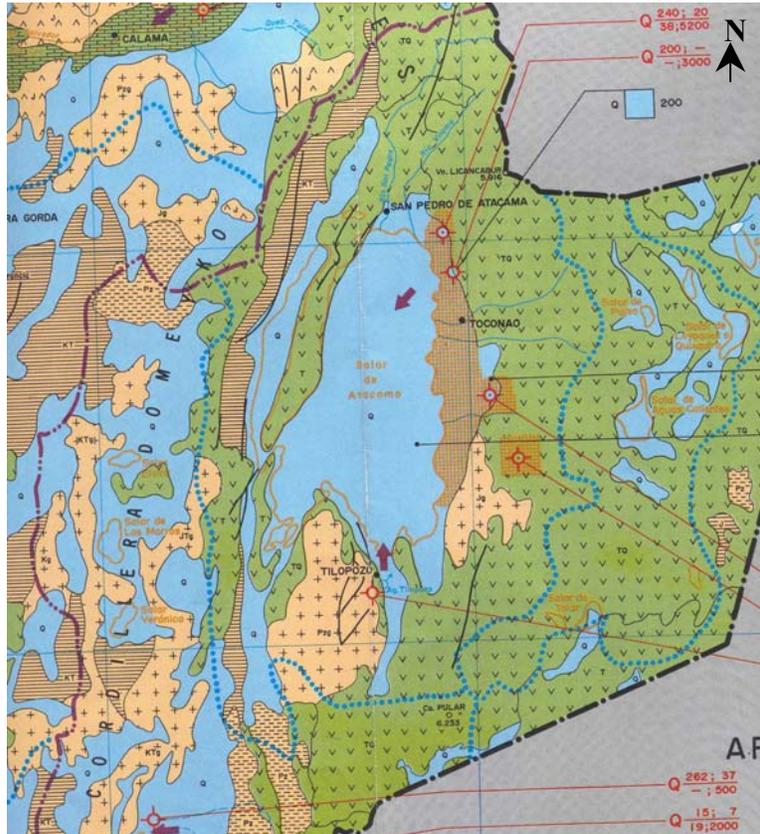
La litología asociada a la cuenca es principalmente de dos tipos, uno de ellos corresponde a rocas volcánicas, fracturadas, constituidas por coladas, tobas y brechas con intercambio de sedimentos clásticos continentales, de los períodos terciarios y cuaternarios caracterizados por una permeabilidad media. Otro tipo corresponde a aquellos depósitos no consolidados, rellenos, conformado por sedimentos fluviales, glaciales, aluviales y lacustres del período cuaternario de permeabilidad alta.

En el sector que ocupa actualmente el Salar de Atacama existe un vasto embalse de agua subterránea que es abastecido desde el norte por un acuífero procedente de un curso paralelo al río San Pedro, por el nororiente, que nace de las estribaciones occidentales del volcán Licancabur y por el sur de las faldas del cerro Pular.

En el sector oriente de este embalse existen pozos de la DGA con alta productividad ($>10\text{m}^3/\text{h/m}$) a niveles freáticos que varían desde los 18 a 71 metros.

Los principales aportes al acuífero del Salar de Atacama provienen del extremo este, específicamente, de la infiltración de la precipitación que se produce en el altiplano. Como la cuenca corresponde a un sistema cerrado la descarga se produce por evaporación en el área del salar y en lagunas ubicadas en sus márgenes.

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 de Salar de Atacama.



[Ref. 2.4]

Figura 2.2: Características Hidrogeológicas de la cuenca del Salar de Atacama (Escala 1:1.000.000)

2.2.4 Geomorfología

El Salar de Atacama se emplaza en una fosa prealtiplánica que en este sector, alcanza los 35 km de amplitud E – W y 90 km N – S. Esta gran fosa es uno de los rasgos morfológicos más interesantes del extremo norte de Chile, posee un exacto alineamiento N – S, marcado por el acento tectónico de su origen y carácter endorreico.

El Salar de Atacama, de edad pliocénica, es la cuenca salina más representativa de la Gran Fosa. Hacia ella concurren las aguas de sistemas hidrográficos prealtiplánicos, tales como el río San Pedro y el río Vilama que proceden del norte.

Dentro del Salar, en su borde occidental, se desarrolla el llano de la Paciencia, el que, hacia el norte, transige en los cerros de Purilactis a una orografía más accidentada. En

Salar de Atacama

10.

el límite sur del Salar de Atacama se desarrolla la unidad morfoestructural conocida como la Cordillera de Domeyko.

La precordillera de Domeyko se origina en el oligoceno como una serranía baja, pero su altura y envergadura actuales corresponden a las dislocaciones tectónicas pliocénicas, luego de las grandes efusiones de liparitas que sepultan las cordilleras altiplánicas. La falla del Bordo, en el flanco oriental, indica la línea sobre la cual subió esta precordillera empinándose sobre una flexura de gran curvatura. [Ref. 2.5]

2.2.5 Suelos

Los suelos que posee esta cuenca son muy escasos ya que está constituida prácticamente en su totalidad por el cuerpo salino del Salar de Atacama. Se ha identificado sólo una unidad taxonómica que corresponde al tipo Entisol ubicada en la zona adyacente al salar.

El tipo de suelo Entisol, se caracteriza por su carencia de horizontes bien desarrollados, poco evolucionados por la aridez de la zona, su alto contenido salino y pH elevado. Pueden ser suelos jóvenes que no han tenido tiempo de desarrollarse o bien viejos, en sentido geológico, pero que no han desarrollado horizontes por corresponder a materiales resistentes a la meteorización. Se presentan virtualmente en todos los climas sobre superficies fisiográficas recientes, ya se trate de empinadas pendientes sujetas a intensa erosión o sobre planos de sedimentación en donde se han depositado los materiales recién transportados. También pueden encontrarse sobre superficies fisiográficas antiguas, en donde por la intervención del hombre se ha destruido el perfil del suelo o bien cuando se trata de materiales resistentes que no han permitido su desarrollo. [Ref. 2.6]

2.3 Flora y Fauna de la Cuenca del Salar de Atacama

2.3.1 Flora terrestre y acuática

Para esta cuenca se han identificado cuatro formaciones vegetales:

- Estepa Alto-Andina: Formación vegetacional heterogénea, que se encuentra ubicada inmediatamente al sur del Altiplano, con el cual comparte muchos de sus elementos florísticos y parcialmente su geomorfología de extensas mesetas, aunque aquí son frecuentes las formas montañosas. La diferencia fundamental que permite delimitarla como unidad propia y diferente, está en la menor cantidad de precipitaciones que recibe, lo que provoca una fisonomía vegetal de carácter más árido, llegando a manifestar en ciertos lugares un aspecto de tipo desértico. Las asociaciones más características son: Llaretilla-ojo de agua (*Pycnophyllum molle* – *Oxalis exigua*), Tola – Lampayo (*Baccharis incarum* – *Lampaya medicinalis*); Paja Iro-Pata de Pizaca (*Festuca chrysophylla* – *Fabiana bryoides*).
- Estepa Arbustiva Pre-Puneña: Formación donde predominan los arbustos bajos de escasa cobertura. Comparte muchos elementos florísticos con el desierto y presenta una amplia distribución. En su avance hacia el sur, recibe gradualmente una menor cantidad de precipitación, lo que define en las plantas un conjunto de rasgos morfológicos propios de la adaptación a la aridez, lo cual es un carácter específico de las formaciones propiamente puneñas respecto de aquellas próximas al altiplano. Las asociaciones más características son: Checal-Lejía (*Fabiana densa*-*Baccharis boliviensis*).
- Desierto de la cuenca superior del río Loa: Formación vegetal que muestra características de composición que la relacionan con el piso inferior de la estepa alto-andina de la Puna. Está constituida por arbustos bajos xerófitos y en muchos lugares presenta extensas superficies sin vegetación alguna. Las asociaciones más características son: Rica Rica – Petaloxa (*Acantholippia punenis* – *Franseria meyeniana*).
- Desierto del Salar de Atacama: Abarca la gran cuenca del Salar de Atacama y sus alrededores, que tienen una gran homogeneidad en cuanto a paisaje.

Salar de Atacama

12.

Presenta grandes extensiones carentes completamente de vegetación, especialmente en el interior del salar. Pero en su borde este y hacia el sur se encuentran comunidades estepáreas desarrolladas. En algunos lugares hay lagunas cubiertas de vegetación que no han sido exploradas botánicamente. Las asociaciones más características son: Cachiyuyo – Brea (*Atriplex atacamensis* – *Tessaria absinthioides*) [Ref. 2.7]

Con respecto a la flora acuática, corresponde a aquella identificada en el río Salado, afluente del río San Pedro. Las especies acuáticas están representadas por dos tipos de algas, *Cladophora sp.* y *Ulothrix sp.* Las que destacan por ser indicadoras de altas concentraciones de nutrientes y porque prefieren las aguas menos salinas. [Ref. 2.8]

2.3.2 Fauna acuática

La fauna acuática identificada en la cuenca, corresponde a aquella del tipo bentónica e íctica. Dentro de la fauna bentónica destaca el reconocimiento de al menos 8 identidades taxonómicas en las muestras del río Salado y San Pedro de fauna bentónica: *Boetidae*, *Chironomidae*, *Simulidae*, *Littoridihna sp.*, *Elmidae*, *Empididae*, *Oligochaeta*, *Siphonuridae*

La fauna íctica está representadas por especies nativas como el karachi (*orestias agassizi*) y bagrecitos e introducidas por otro lado como truchas arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*) y café (*Salmo trutta*). [Ref. 2.8]

2.4 Sistemas Humanos

2.4.1 Asentamientos humanos

Desde el punto de vista político - administrativo, la cuenca del Salar de Atacama forma parte de la II Región de Antofagasta abarcando parcialmente la provincia de El Loa y la comuna de San Pedro de Atacama. La cuenca posee una superficie de 1.562.000 Ha, equivalentes al 12% de la Región.

En la cuenca se emplaza un total de 50 asentamientos humanos, clasificados como *Aldeas* o *Caseríos*. Entre ellos destacan las localidades de San Pedro de Atacama y Toconao por sus atractivos turísticos – culturales.

2.4.2 Actividades económicas

La principal actividad económica de la cuenca es la actividad minera no metálica constituida por la explotación de litio, sodio, bórax y potasio con faenas mineras emplazadas en el sector sur de la cuenca y próximas al poblado de Toconao, sector nororiente de la cuenca.

Otra de las actividades económicas importantes de la zona, es la actividad agrícola desarrollada en los oasis precordilleranos o ayllos principalmente en la localidad de San Pedro de Atacama, donde los principales cultivos son las plantas forrajeras y praderas artificiales. Estos oasis constituyen también un importante atractivo turístico para la zona por su riqueza arqueológica. [Ref. 2.8]

2.5 Usos del Suelo

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

Tabla 2.2: Clasificación Usos del suelo Cuenca del Salar de Atacama

Cuenca del Salar de Atacama (Ha)	Usos del Suelo	Superficie (Ha)	Superficie de la cuenca destinada para cada uso (%)
1.562.000	Praderas	100.311	6
	Terrenos agrícolas y agricultura de riego	264	0,02
	Plantaciones forestales	3.371	0,2
	Áreas urbanas e industriales	<156,25	0
	Minería Industrial	<156,25	0
	Bosque nativo y bosque mixto	0	0
	Otros Usos*	362.970	23,8
	Áreas sin vegetación	1.095.084	70

* Referidos a los siguientes usos: matorrales, matorral – pradera, rotación cultivo – pradera, áreas no reconocidas, cuerpos de agua, nieves – glaciares y humedales. [Ref. 2.9]

Salar de Atacama

14.

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

2.5.1 Uso agrícola

La superficie destinada a este tipo de uso en la cuenca es muy reducida, sólo alcanza las 264 Ha equivalentes al 0,02% del total de la superficie total de la cuenca. [Ref. 2.9]

Las zonas de la cuenca que poseen terrenos de uso agrícola, se emplazan próximos a la localidad de San Pedro de Atacama donde los principales cultivos son las plantas forrajeras y praderas artificiales. [Ref. 2.10]

2.5.2 Uso forestal

El uso del suelo de tipo forestal comprende 3.371 Ha equivalentes al 0,2% de la superficie total [Ref. 2.9].

Las plantaciones forestales se emplazan en el sector de la Reserva Nacional Los Flamencos, entre las localidades de San Pedro de Atacama y Toconao. Las especies forestales de esta zona corresponden a Tamarugos.

2.5.3 Uso urbano

El uso del suelo de tipo urbano, comprende una superficie menor a 156,25 Ha. [Ref. 2.9]. El único asentamiento humano que posee población urbana en la cuenca, corresponde al ayllu de San Pedro de Atacama. Esta localidad posee un total de 4.969 habitantes y el 39% de ella es urbana (938 habitantes) [Ref. 2.11].

La localidad de Toconao es un asentamiento clasificado como Aldea, es decir, corresponde a una entidad rural. [Ref. 2.12].

La actividad minera de esta cuenca se caracteriza por las explotaciones de litio, sodio, bórax y potasio por las empresas mineras Sociedad Chilena del Litio y Minsal. Sus faenas mineras se emplazan próximas al poblado de Toconao (sector nororiente de la cuenca) y al poblado de Peine (sector sur). [Ref. 13].

2.5.4 Áreas bajo Protección Oficial y Conservación de la Biodiversidad

La cuenca del Salar de Atacama posee sólo un Area bajo Protección Oficial perteneciente al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado (SNASPE), correspondiente a la Reserva Nacional los Flamencos. Este sitio posee una superficie de 20.806 Ha equivalentes al 1,3% de la superficie total de la cuenca [Ref. 2.12].

La cuenca del Salar de Atacama no posee sitios de Conservación de la Biodiversidad [Ref. 2.13].

Salar de Atacama

16.

3. ESTABLECIMIENTO DE LA BASE DE DATOS

3.1 Información Fluviométrica

La información utilizada para la realización del presente estudio hidrológico corresponde a estadísticas de caudales medios mensuales y aforos. Esta información ha sido proporcionada por el Centro de Información de Recursos Hídricos (CIRH) de la Dirección General de Aguas. En la siguiente tabla se detallan las estaciones fluviométricas con información de caudales medios mensuales utilizadas para el estudio de la cuenca del Salar de Atacama.

Tabla 3.1: Estaciones Fluviométricas de la Cuenca del Salar de Atacama

Nombre	Período de Registro
RÍO SAN PEDRO EN CUCHABRACHI	1947 – 2002
RÍO VILAMA EN VILAMA	1976 – 2002

A continuación se muestran las estaciones con información de aforos utilizados para describir el comportamiento hidrológico de la cuenca.

Tabla 3.2: Aforos considerados en el Salar de Atacama

Nombre	Período de Registro
QUEBRADA DE JEREZ	1993 – 2003
QUEBRADA DE TALABRE EN TUMBRE	1993 – 2003
QUEBRADA DE CAMAR – VERTIENTE 1	1993 – 2003
QUEBRADA DE CAMAR – VERTIENTE 2	1993 – 2003
QUEBRADA PEINE EN PEINE	1993 – 2003

Estos aforos consisten en información del caudal instantáneo, los que se realizan una vez al mes entre los períodos de registro mostrados anteriormente. Esta información sólo interesa para tener una idea general del comportamiento de cada cauce, y no se utiliza para realizar los análisis hidrológicos que se realizan sobre las estadísticas de caudales medios mensuales. Se presentan los caudales medios, mínimos y máximos para cada mes.

Con respecto a la información de caudales medios mensuales de las estaciones mostradas en la tabla 3.1, para el análisis hidrológico se ha utilizado un solo grupo, el cual tiene régimen pluvial, producto de lluvias estivales y en menor medida de lluvias invernales.

- Grupo1; Régimen Pluvial: Este grupo está compuesto por las dos estaciones fluviométricas con información de caudales medios mensuales, San Pedro en Cuchabrachi y Vilama en Vilama.

Tabla 3.3: Grupos de Estaciones Fluviométricas

	Régimen	Nombre Estación
1	Pluvial	RÍO SAN PEDRO EN CUCHABRACHI
2		RÍO VILAMA EN VILAMA

Para poder completar y extender las estadísticas de estas estaciones se utilizaron correlaciones lineales entre San Pedro en Cuchabrachi y una estación ubicada en la cuenca del río Loa, Loa en salida embalse Conchi. Luego la estación Vilama en Vilama se completó con la estación ubicada en el río San Pedro.

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 II Región de Antofagasta”, CONAMA-CONAF-SAG-INIA-DGA-SERNAP.

Salar de Atacama

18.

- “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.

En esta cuenca no existen extracciones constituidas de aguas superficiales para uso agrícola. Sin embargo, es conocido el uso de las aguas del río San Pedro y del río Vilama por los distintos ayllos del sector de San Pedro de Atacama, siendo los principales cultivos la alfalfa, papas, maíz y el peral, único árbol frutal que prospera en la región.

b) Captación para agua potable

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

Las localidades de San Pedro de Atacama, Toconao y Socaire se abastecen de agua potable a través de captaciones superficiales del río Vilama, quebrada de Silapeti y de un canal localizado cerca de Socaire. Cabe mencionar que el abastecimiento de agua potable para la ciudad de San Pedro comúnmente se realiza a través de una captación de agua subterránea. Sin embargo ante eventualidades se hace uso de la captación en el río Vilama (Ref 3.1).

No se dispone de información acerca de la localización exacta de la quebrada de Silapeti, razón por la cual no es posible asignar a un segmento específico. Socaire tampoco se asigna a un segmento específico.

Salar de Atacama

20.

La demanda neta de agua potable, para el año 1992, de San Pedro de Atacama, Toconao y Socaire es de 1,16 l/s, 0,40 l/s y 0,32 l/s, respectivamente. [Ref 3.1].

c) Generación de energía eléctrica, actividad industrial

No se han detectado bocatomas para estos tipos de usos en la cuenca del Salar de Atacama.

d) Actividad minera

En esta cuenca si bien existe actividad minera, los recursos hídricos se obtiene de forma subterránea.

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 Salar de Atacama existe un área contemplada por el SNASPE:

- Reserva Nacional Los Flamencos: que cuenta con siete sectores para el visitante, de los cuales solo cuatro pertenecen a la cuenca del Salar de Atacama. En esta reserva nacional se encuentra el flamenco andino, chileno y de james, además del playero de baird, el caití y la gaviota andina.

En cuanto a la “Estrategia Regional y Plan de Acción de la Biodiversidad II Región de Antofagasta”, cabe mencionar que en esta cuenca no existen áreas incluidas.

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 segunda 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 reestablecimiento de los derechos ancestrales de agua.

En este informe se ha supuesto la localización de dichos derechos de agua, debido a que no se dispone de la información correspondiente. Para ellos se ha tomado como referencia el estudio elaborado por AC Consultores.

3.2.5 Conclusiones

En la lámina 1940-ATA-02: “Estaciones de Medición y Usos del Agua” se muestran los cauces seleccionados para el presente estudio, con su respectiva segmentación y los distintos usos asociados a cada cauce. Esta misma información se presenta en la tabla 3.4, la cual contiene el tipo de uso del agua por segmento.

La tabla 3.4 ha sido concebida como una matriz, ubicando los segmentos en las filas y los usos de agua en las columnas. Para definir las columnas se han considerado los usos prioritarios establecidos en el Instructivo, complementándolos con otros usos (hidroelectricidad, actividad industrial, etc.) que si bien no aparecen en él, permiten tener una visión más global de la cuenca.

Salar de Atacama

22.

Tabla 3.4: Usos de agua por Segmento en la Cuenca del Salar de Atacama

Cauce	Segmento	Usos in situ			Extractivos				Biodiversidad*	Ancestrales
		Acuicultura	Pesca Deportiva Y Recreativa	Riego	Captación A.P.	Hidroelectricidad	Actividad Industrial	Actividad Minera		
Río San Pedro	0251-SP-10	█	█	**	█	█	█	█	█	•
	0251-SP-20	█	█	•	█	█	█	█	•	•
	0250-SP-10	█	█		█	█	█	█	•	
	0250-SP-20	█	█		█	█	█	█	█	█
Río Vilama	0250-VI-10	█	█	•	+	█	█	█	█	•
	0250-VI-20	█	█			█	█	█		•
Qda Jerez	0250-JE-10	█	█	•	█	█	█	█		•
Qda Talabre	0250-TA-10	█	█	•	█	█	█	█	•	•
Qda Camar	0250-CA-10	█	█		█	█	█	█	•	
Qda. de Peine	0250-PE-10	█	█		█	█	█	█		

[Ref 3.1]

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

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

** Los usos asignados a este segmento, se ubican en sus afluentes.

3.3 Descargas a Cursos de Agua

3.3.1 Descargas de tipo domiciliario

La cuenca del Salar de Atacama, posee un total de 50 asentamientos humanos clasificados como *Aldeas o Caseríos* que no cuentan con sistema de alcantarillado ni agua potable.

Las localidades de San Pedro de Atacama, Toconao y Socaire, cuentan con servicios de agua potable. Estas localidades se abastecen a través de captaciones superficiales del río Vilama, quebrada de Silapeti y de un canal proveniente del Salar de Atacama, respectivamente. [Ref. 3.1]

3.3.2 Residuos industriales líquidos

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

3.4 Datos de Calidad de Aguas

3.4.1 Fuentes de Información

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

Salar de Atacama

24.

- a) Monitoreo de calidad de aguas de la DGA, período de registro desde 1983-2002.

REGISTRO DE PROGRAMA DE MONITOREO DGA					
Cuenca	Salar de Atacama				
Cuerpos de Agua Monitoreados	Medición de Caudal	N° Parámetros Medidos	N° Parámetros Instructivo	Período de Registro	N° Registros
San Pedro					
Río San Pedro (*)	NO	19	11	1984	1
Río San Pedro en Cuchabrache	NO	32	21	1983-2002	35
Río Vilama					
Río Vilama en Vilama	NO	32	21	1983-2002	37
Parámetros medidos Instructivo					
• Indicadores físico-químicos	SI	• Orgánicos plaguicidas	NO		
• Inorgánicos	SI	• Microbiológicos	NO		
• Metales esenciales	SI	• Orgánicos	NO		
• Metales no esenciales	SI	• Otros parámetros no normados	SI		

(*) Estaciones de monitoreo suspendidas

- b) Programa de Muestreo 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 monitoreo 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 Salar de Atacama, se llegó a eliminar un porcentaje inferior al 0,05 % de los datos. Todo esto permite confirmar la validez de los datos contenidos en la red de monitoreo de la DGA para esta cuenca.

- Análisis de límites físicos

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

- Análisis de límites de detección (LD)

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

En la cuenca del Salar de Atacama se encontró que la información de los siguientes parámetros es equivalente al límite de detección por repetirse constantemente en los registros existentes: cromo (<10 µg/l), níquel (<10 µg/l), selenio (<1 µg/l), zinc (<0.01 mg/l), cadmio (<10 µg/l), mercurio (<1 µg/l) y plomo (<0.01 mg/l). Por lo tanto, estos parámetros no son posibles de considerar en posteriores análisis de la calidad del agua de la cuenca.

La Base de Datos Depurada que contiene la información disponible para análisis de la cuenca del Salar de Atacama, se presenta en la forma de 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) Subcuenca del San Pedro

- San Pedro en Cuchabrachi

Se ubica en el río San Pedro a 2585 m s.n.m.

En la tabla 4.1 y figura 4.1, donde se muestran los caudales mensuales para distintas probabilidades de excedencia, se puede observar que esta estación presenta un régimen pluvial, con sus mayores caudales producto de lluvias estivales e invernales. En años húmedos los mayores caudales ocurren entre enero y febrero, y en menor medida en agosto.

En años secos los caudales son más uniformes, presentando leves aumentos en los meses de invierno, entre mayo y julio, y bajos caudales entre octubre y abril.

Tabla 4.1: Río San Pedro en Cuchabrachi (m³/s)¹

Pex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	0.822	0.822	0.856	0.938	1.025	0.822	0.711	0.828	0.752	1.380	1.019	0.793
10	0.773	0.799	0.828	0.893	0.952	0.788	0.689	0.757	0.718	1.147	0.900	0.750
20	0.723	0.771	0.795	0.842	0.870	0.749	0.662	0.687	0.680	0.943	0.789	0.705
50	0.646	0.718	0.735	0.753	0.733	0.680	0.611	0.594	0.612	0.708	0.649	0.637
85	0.578	0.653	0.668	0.655	0.593	0.604	0.548	0.527	0.538	0.571	0.555	0.577
95	0.547	0.615	0.632	0.604	0.524	0.563	0.511	0.502	0.498	0.531	0.523	0.550
Dist	G	N	L2	L2	L2	L2	N	L3	L2	L3	L3	G

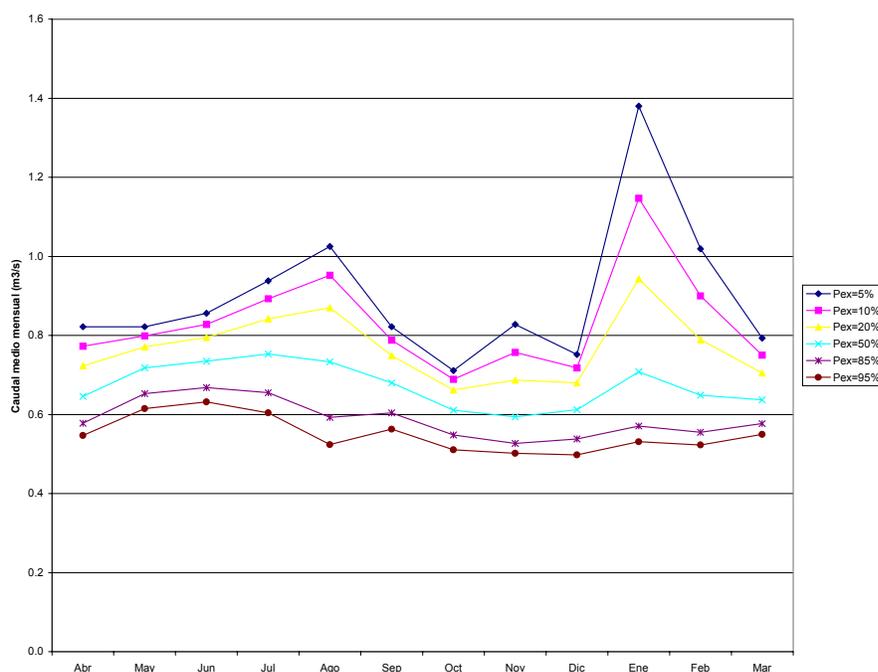


Figura 4.1: Curva de Variación Estacional Río San Pedro en Cuchabrachi

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

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

- Río Vilama en Vilama

Esta estación se ubica en la canalización del río Vilama, a 2550 m s.n.m.

En la figura 4.2 y tabla 4.2 se observa que esta estación muestra un régimen pluvial, con sus mayores caudales en verano e invierno, producto de lluvias estivales e invernales. En años húmedos los mayores caudales se observan entre enero y marzo, y entre abril y julio, mientras que los menores lo hacen entre septiembre y noviembre.

En años secos los caudales son muy uniformes, sin mostrar variaciones de consideración.

Tabla 4.2: Río Vilama en Vilama (m³/s)

Pex (%)	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
5	0.262	0.264	0.266	0.258	0.248	0.191	0.199	0.214	0.232	0.269	0.275	0.291
10	0.244	0.246	0.246	0.240	0.231	0.175	0.188	0.202	0.214	0.242	0.248	0.261
20	0.222	0.224	0.222	0.219	0.211	0.157	0.174	0.187	0.193	0.212	0.217	0.228
50	0.180	0.182	0.176	0.177	0.173	0.127	0.148	0.158	0.158	0.166	0.166	0.173
85	0.129	0.131	0.118	0.126	0.126	0.098	0.116	0.122	0.124	0.122	0.113	0.119
95	0.099	0.101	0.085	0.097	0.099	0.085	0.097	0.102	0.108	0.102	0.087	0.092
Dist	N	N	N	N	N	L2	N	N	L2	L2	L3	L3

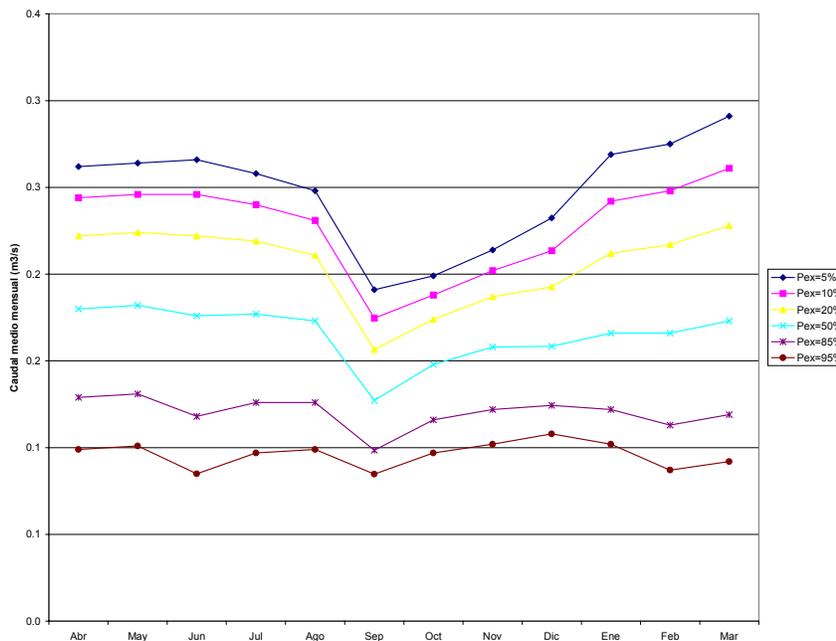


Figura 4.2: Curva de Variación Estacional Río Vilama en Vilama

4.1.2 Análisis por aforos

Esta información consiste en datos puntuales de caudales instantáneos, los que se realizan una vez al mes, de manera que sólo entregan información muy general del comportamiento de estos cauces.

a) Subcuenca Este del Salar de Atacama

- Quebrada de Jerez

Esta estación contiene aforos mensuales entre los años 1993 y 2003. Se obtienen valores medios mensuales de los caudales instantáneos de cada mes para poder obtener una idea general del comportamiento de este cauce.

En la figura 4.3 se presentan los caudales medios, mínimos y máximos de esta quebrada. Se observa que los caudales son bastante uniformes a lo largo del año, con leves aumentos en los meses de verano e invierno, producto de lluvias estivales e invernales.

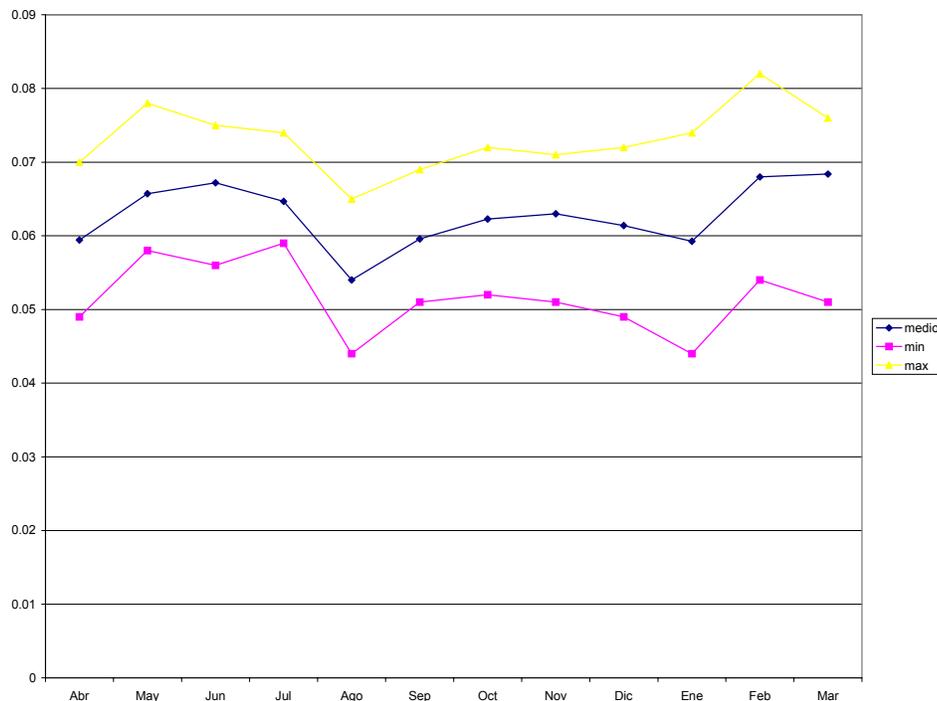


Figura 4.3: Caudales medios, mínimos y máximos de Quebrada de Jerez

- Quebrada de Talabre en Tumbre

Esta estación contiene aforos mensuales entre los años 1993 y 2003.

En la figura 4.4 se muestran los valores de los caudales medios, mínimos y máximos de éstos aforos de manera de tener una idea general del comportamiento de este cauce. Se observa que los caudales son bastante uniformes, con leves aumentos entre los meses de agosto y octubre.

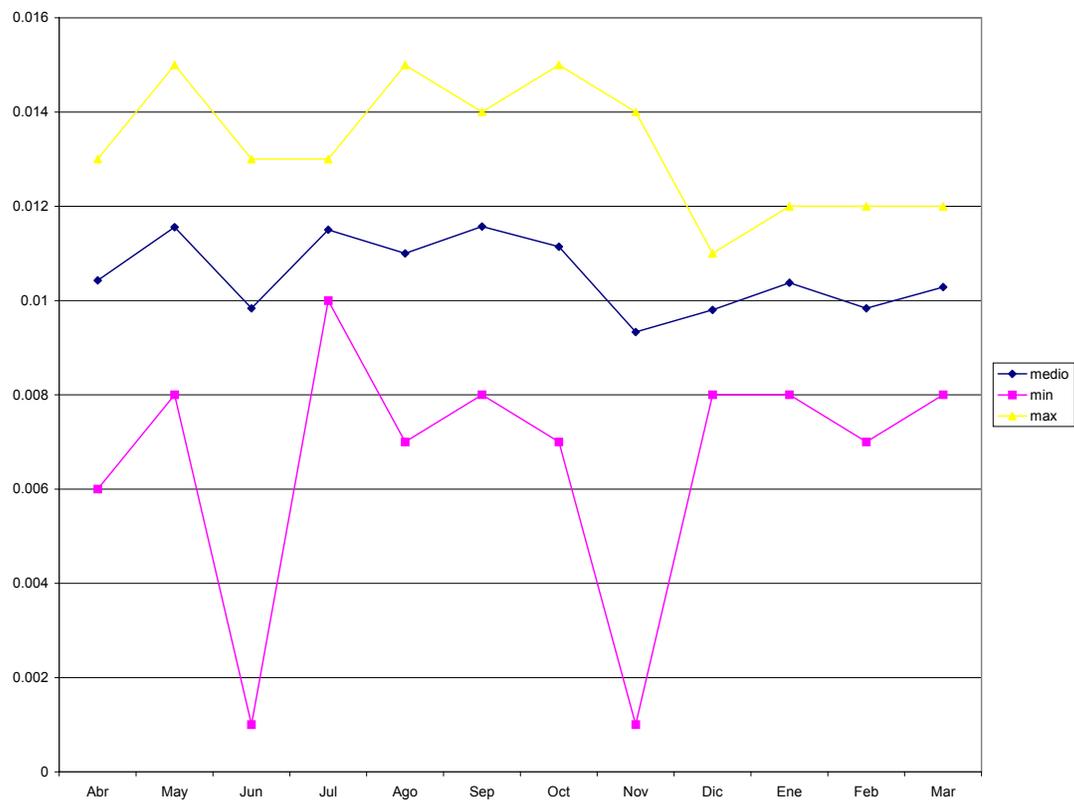


Figura 4.4: Caudales medios, mínimos y máximos de Quebrada de Talabre en Tumbre

- Quebrada de Camar – vertiente 1

Esta estación contiene aforos mensuales entre los años 1993 y 2003.

La figura 4.5 muestra los caudales medios, mínimos y máximos de los aforos, de manera de obtener una idea general del comportamiento de este cauce. Se observa que los caudales son bastante bajos durante todo el año, del orden de 5 l/s.

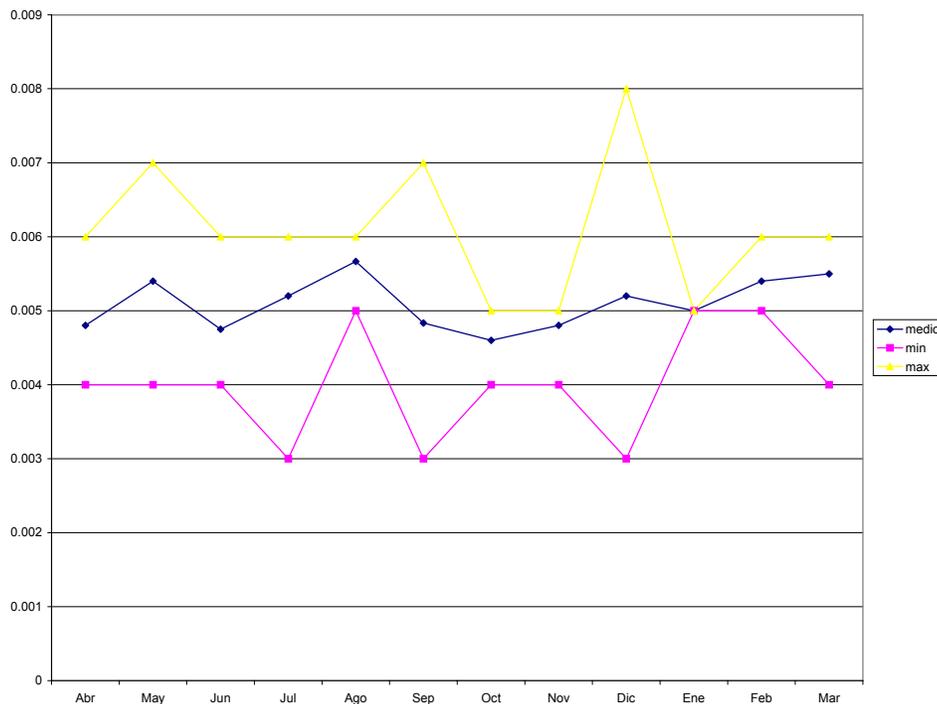


Figura 4.5: Caudales medios, mínimos y máximos de Quebrada de Camar – vert 1

- Quebrada de Camar – vertiente 2

Esta estación contiene aforos mensuales entre los años 1993 y 2003.

La figura 4.6 muestra los caudales medios, mínimos y máximos de los aforos, de manera de obtener una idea general del comportamiento de este cauce. Se observa que los caudales son bastante uniformes a lo largo del año, salvo leves aumentos entre junio y julio.

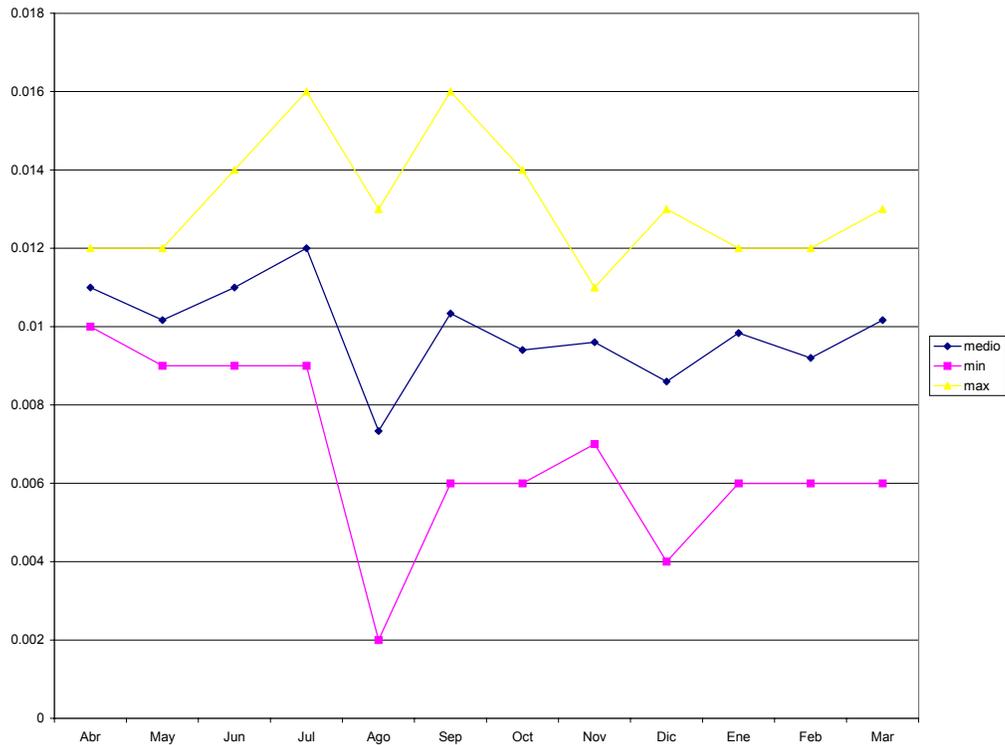


Figura 4.6: Caudales medios, mínimos y máximos de Quebrada de Camar – vert 2

- Quebrada Peine en Peine

Esta estación contiene aforos mensuales entre los años 1993 y 2003.

En la figura 4.7 se muestran los caudales medios, mínimos y máximos de los aforos, de manera de poder obtener una idea general del comportamiento de esta quebrada. Se observa que los caudales se presentan bastantes uniformes a lo largo del año, con leves aumentos en junio y julio.

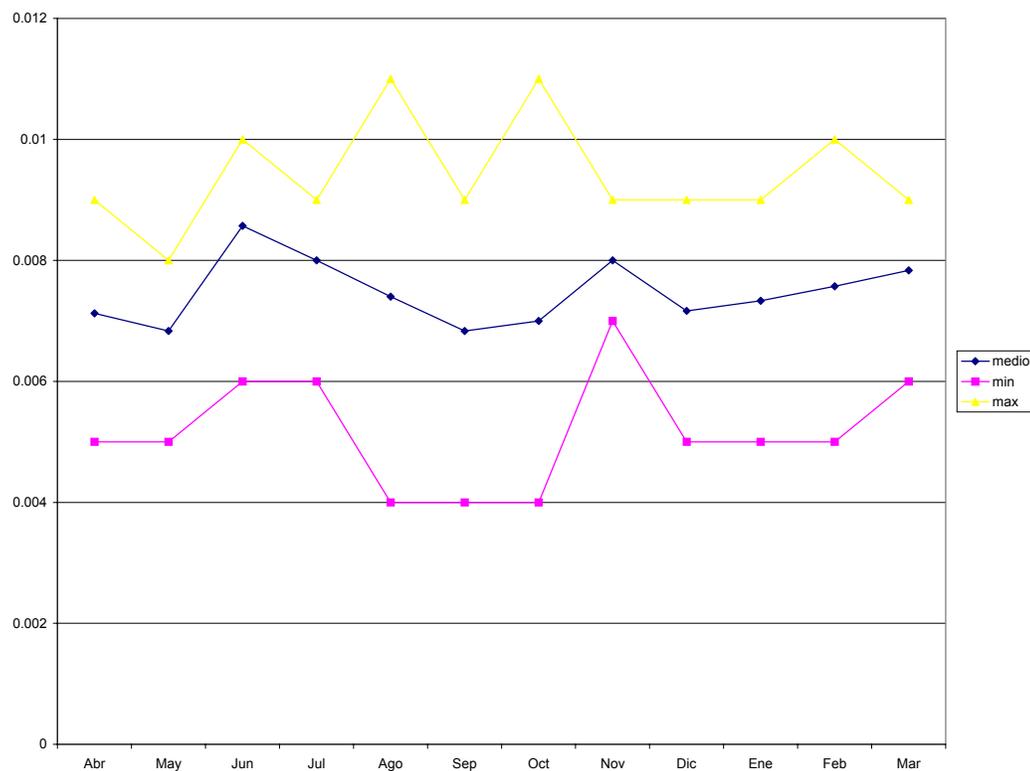


Figura 4.7: Caudales medios, mínimos y máximos de Quebrada Peine en Peine

4.1.3 Conclusiones

De acuerdo a las curvas de variación estacional presentadas en el capítulo anterior se caracterizará hidrológicamente la cuenca del Salar de Atacama, especificando el período de estiaje de cada subcuenca. También se utilizará la información de los aforos de la subcuenca Este del salar, de manera de poder determinar de manera general el comportamiento de ésta.

a) Subcuenca del San Pedro

Corresponde a la hoya hidrográfica del río San Pedro, incluyendo el río Vilama. Se observa un régimen pluvial, producto de lluvias estivales y en menor medida de lluvias invernales. En años húmedos los mayores caudales ocurren en verano, entre enero y febrero, y en invierno, entre julio y agosto. En años secos los mayores caudales ocurren entre junio y julio.

Salar de Atacama

34.

El período de menores caudales se observa en el trimestre dado por los meses de septiembre, octubre y noviembre.

b) Subcuenca Este del Salar de Atacama

Corresponde a la hoya hidrográfica compuesta por todos los cauces que desembocan en la parte oriental del salar de Atacama. Estos cauces tienen estaciones fluviométricas que sólo cuentan con aforos con información de caudales puntuales, con un registro mensual. Con esta información se puede determinar de manera general el comportamiento de esta subcuenca, de manera de establecer a grandes rasgos el régimen de ésta.

Se observan caudales muy parejos a lo largo de todo el año, con leves aumentos en los meses de invierno y verano.

Debido a la poca información no es posible determinar de buena forma el período de estiaje de esta subcuenca.

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

Tabla 4.3: Períodos de Estiaje para Subcuencas de la Cuenca del Salar de Atacama

Nº	Subcuenca	Período Estiaje
1	San Pedro	Septiembre – Octubre – Noviembre

4.2 Análisis de la Calidad de Agua

De acuerdo a la metodología corresponde realizar los siguientes análisis:

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

4.2.1 Selección de parámetros

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

a) Parámetros obligatorios

Los parámetros obligatorios definidos son: conductividad, DBO₅, oxígeno disuelto, pH, sólidos suspendidos y coliformes fecales.

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

b) Parámetros principales

Para seleccionar los parámetros principales se compara el valor que aparece, en el *Instructivo* como límite de la clase 0, con el valor máximo que alcanza el parámetro, incluyendo todos los registros de la Base de Datos Depurada (BDD).

En la tabla 4.4 se indica el rango máximo y mínimo de todos los parámetros del *Instructivo* que poseen datos registrados en la BDD. Aquellos sin datos se señalan como “s/i”. Todos los parámetros que tienen valores sobre el límite de la clase 0, señalados con “Si”, son seleccionados como parámetros principales para el análisis de la calidad de agua en esta cuenca.

**Tabla 4.4: Selección y Rango de los Parámetros de Calidad en la
Cuenca del Salar de Atacama**

PARAMETROS	UNIDAD	MINIMO	MAXIMO	CLASE 0	SELECCIÓN
FISICO-QUÍMICOS					
Conductividad Eléctrica	μS/cm	1869	3430	<600	Obligatorio
DBO ₅	mg/L	s/i	s/i	<2	Obligatorio
Color Aparente	Pt-Co	s/i	s/i	<16	No
Oxígeno Disuelto	mg/L	4,5	9,4	>7,5	Obligatorio
pH	unidad	7,1	8,8	6,5 - 8,5	Obligatorio
RAS	-	6,3	11,8	<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
INORGANICOS					
Amonio	mg/L	s/i	s/i	<0,5	No
Cianuro	μg/L	s/i	s/i	<4	No
Cloruro	mg/L	511,0	756,9	<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	250,0	437,6	<120	Si
Sulfuro	mg/L	s/i	s/i	<0,04	No
ORGANICOS	-	s/i	s/i	-	No
ORGANICOS PLAGUICIDAS	-	s/i	s/i	-	No
METALES ESENCIALES					
Boro	mg/l	<1	22	<0,4	Si
Cobre	μg/L	<10	80	<7,2	Si
Cromo total	μg/L	<10	<10	<8	No
Hierro	mg/L	<0,01	3,25	<0,8	Si
Manganeso	mg/L	<0,01	0,94	<0,04	Si
Molibdeno	mg/L	<0,01	0,02	<0,008	Si
Níquel	μg/L	<10	<10	<42	No
Selenio	μg/L	<1	<1	<4	No
Zinc	mg/L	<0,01	<0,01	<0,096	No
METALES NO ESENCIALES					
Aluminio	mg/L	<0,01	4,40	<0,07	Si
Arsénico	mg/L	0,04	0,89	<0,04	Si
Cadmio	μg/L	<10	<10	<1,8	No
Estaño	μg/L	s/i	s/i	<4	No
Mercurio	μg/L	<1	<1	<0,04	No
Plomo	mg/L	<0,01	<0,01	<0,002	No
MiCROBIOLOGICOS					
Coliformes Fecales (NMP)	Gérmenes/100 ml	s/i	s/i	<10	Obligatorio
Coliformes Totales (NMP)	Gérmenes/100 ml	s/i	s/i	<200	No

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

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

- Parámetros Principales
 - RAS
 - Cloruro
 - Sulfato
 - Boro
 - Cobre
 - Hierro
 - Manganeso
 - Molibdeno
 - Aluminio
 - Arsénico

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

- Sólidos Disueltos
- Cianuro
- Fluoruro

Los parámetros cuyo valor máximo registrado en la BDD no exceden el límite de la clase 0 se consideran que siempre pertenecen a dicha clase. Estos parámetros son: color aparente, sólidos suspendidos totales, amonio, nitrito, sulfuro, coliformes totales. Los parámetros níquel, selenio y zinc también se clasifican en clase 0, aunque su valor corresponde al límite de detección.

Salar de Atacama

38.

No es posible realizar un análisis para los parámetros: cromo, cadmio, mercurio y plomo ya que su valor corresponde al límite de detección (LD) y es superior al valor de la clase 0.

4.2.2 Análisis de tendencia central

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

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

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

Las observaciones que se derivan de las figuras de tendencia central se incluyen en la tabla 4.5.

Tabla 4.5: Tendencia Central de Parámetros de Calidad de Agua

CUENCA DEL SALAR DE ATACAMA	
Conductividad Eléctrica:	
Río San Pedro:	En la estación Cuchabrache la tendencia central es plana en un valor de 2700 $\mu\text{S}/\text{cm}$, en una serie de tiempo de quince años.
Río Vilama:	El comportamiento de la serie de tiempo es igual al río San Pedro
Oxígeno Disuelto:	
Río San Pedro:	En la estación Cuchabrache la tendencia central es plana en un valor de 7.5 mg/L en una serie de tiempo de quince años.
Río Vilama:	En la estación Vilama el comportamiento hasta 1996 es constante en un mismo valor para tender a disminuir hasta el término de la serie de catorce años con una tendencia central decreciente en un valor de 6.5 mg/L.

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

CUENCA DEL SALAR DE ATACAMA	
pH:	
	<p><u>Río San Pedro</u>: En las estaciones Cuchabrache el comportamiento es constante en un mismo valor a lo largo de la serie de tiempo de catorce años, con una tendencia central plana en un valor de 8.2.</p> <p><u>Río Vilama</u>: El comportamiento también es constante en un mismo valor en la serie de catorce años en un valor de 8.01.</p>
RAS:	
	<p><u>Río San Pedro</u>: En la estación Cuchabrache el comportamiento es constante en un mismo valor a lo largo de las serie de tiempo de quince años, con una tendencia central plana en un valor de 9.0.</p> <p><u>Río Vilama</u>: El comportamiento es idéntico en la serie de quince años con un valor de 7.</p>
Cloruro:	
	<p><u>Río San Pedro</u>: En la estación Cuchabrache se observa una tendencia central plana en una serie de tiempo de dieciocho años con valores de 650 mg/L.</p> <p><u>Río Vilama</u>: En Vilama también se observa una tendencia central plana en la serie de dieciocho años con un valor de 550 mg/L.</p>
Sulfato:	
	<p><u>Río San Pedro</u>: En la estación Cuchabrache se observa una tendencia central plana en una serie de tiempo de quince años con valores de 300.</p> <p><u>Río Vilama</u>: En Vilama también se observa una tendencia central plana en la serie de quince años con un valor de 350 mg/L.</p>
Boro:	
	<p><u>Río San Pedro</u>: En la estación Cuchabrache se observa una tendencia central plana en una serie de tiempo de quince años con un valor de 2.5 mg/L.</p> <p><u>Río Vilama</u>: En la estación Vilama el comportamiento es disímil para presentar una tendencia central creciente en un valor de 17,0 mg/L en una serie de tiempo de quince años.</p>
Cobre:	
	<p><u>Río San Pedro</u>: En la estación Cuchabrache se observa una tendencia central decreciente en un valor de 25 µg/L en una serie de tiempo de diez años.</p> <p><u>Río Vilama</u>: En la estación Vilama el comportamiento es disímil, se observa entre los años 1994 y 1995 una reducción del valor en 8,0 µg/L con una tendencia central plana en un valor de 10 µg/L en la serie de tiempo de quince años.</p>

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

CUENCA DEL SALAR DE ATACAMA	
Hierro:	
	<p><u>Río San Pedro</u>: En la estación Cuchabrache se observa una tendencia central creciente en un valor de 0.78 mg/L en una serie de tiempo de quince años.</p> <p><u>Río Vilama</u>: En la estación Vilama el comportamiento es disímil para observar un valor constante hasta 1999 y hasta el término de la serie de tiempo se presenta una disminución con una tendencia central decreciente en un valor de 0,1 mg/L en una serie de tiempo de quince años.</p>
Manganeso:	
	<p><u>Río San Pedro</u>: En la estación Cuchabrache se observa una tendencia central decreciente en un valor de 0.23 mg/L en una serie de tiempo de cuatro años.</p> <p><u>Río Vilama</u>: En la estación Vilama en la serie de tiempo de once años se presentan dos comportamientos, hasta el año 1997 un comportamiento constante en un valor y en ese mismo año se observa un comportamiento disímil hasta el 2000 para recuperar el comportamiento inicial hasta el término de la serie de tiempo con una tendencia central plana en un valor de 0.01 mg/L.</p>
Molibdeno:	
	<p><u>Río San Pedro</u>: En la estación Cuchabrache se observa una tendencia central plana con un valor de 0.013 mg/L en una serie de tiempo seis años.</p> <p><u>Río Vilama</u>: En la estación Vilama en la serie de tiempo de dieciocho años se observa una tendencia central plana en un valor de 0.015 mg/L.</p>
Aluminio:	
	<p><u>Río San Pedro</u>: En la estación Cuchabrache se observa una tendencia central fuertemente creciente con un valor de 1.7 mg/L en una serie de tiempo de seis años.</p> <p><u>Río Vilama</u>: En la estación Vilama el comportamiento es constante con una tendencia central plana en un valor de 0,4 mg/L en una serie de tiempo de dieciocho años.</p>
Arsénico:	
	<p><u>Río San Pedro</u>: En la estación Cuchabrache se observa una tendencia central plana con un valor de 0.135 mg/L en una serie de tiempo de seis años.</p> <p><u>Río Vilama</u>: En la estación Vilama el comportamiento es constante con una tendencia central plana en un valor de 0,625 mg/L en una serie de tiempo de dieciocho años.</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 ha privilegiado las mediciones en aquellos puntos donde existen factores incidentes relevantes donde podrían ocurrir cambios importantes en la calidad del cuerpo de agua superficial, como por ejemplo, la ciudad de Vallenar, compañías mineras, embalse Santa Juana, o afloramiento de aguas subterráneas.

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 4.6: Programa de Muestreo

Segmento	Puntos de muestreo	Situación	Parámetros a medir en todos los puntos
0251SP20	Río San Pedro en Cuchabrache	Estación Vigente	DBO ₅ , Color, SD, SST, NH ₄ , CN ⁻ , F ⁻ , NO ₂ ⁻ , S ₂ ⁻ , Sn, CF, CT
0250VI10	Río Vilama en Vilama	Estación Vigente	
0250JE10	Qda. Jerez	Sin medición actual	
0250TA10	Qda. Talabre	Sin medición actual	
0250CA10	Qda. Camar	Sin medición actual	
0250PE10	Qda. Peine	Sin medición actual	

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

Salar de Atacama

42.

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_5 , 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)))

La información que contiene la Base de Datos Integrada BDI para la cuenca del Salar de Atacama 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 Salar de Atacama, la Base de Datos Integrada (BDI) se presenta en la forma de un archivo digital en el anexo 4.2.

4.2.5 Procesamiento de datos por período estacional

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

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

Para la información proveniente de la DGA, en la tabla 4.7 se presentan los valores característicos por período estacional de los parámetros seleccionados en la cuenca del Salar de Atacama, incluyendo la clase correspondiente para cada uno de ellos de acuerdo al Instructivo.

Tabla 4.7: Calidad de Agua por Períodos Estacionales en la Cuenca del Salar de Atacama. Información DGA

ESTACIÓN DE MONITOREO	Conductividad Eléctrica (µS/cm)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHE	((2751,7))	4	2673,6	4	2846,1	4	((3111,3))	4
CANAL VILAMA EN VILAMA	((2768,7))	4	2719,4	4	2755,9	4	(2801,0)	4

ESTACIÓN DE MONITOREO	Oxígeno Disuelto (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHE	((7,4))	2	(7,7)	0	7,4	2	((7,0))	2
CANAL VILAMA EN VILAMA	((7,5))	1	(7,9)	0	7,5	1	((7,3))	2

ESTACIÓN DE MONITOREO	pH							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHE	((8,0))	0	8,1	0	8,3	0	((8,4))	0
CANAL VILAMA EN VILAMA	((8,0))	0	8,3	0	7,9	0	(7,8)	0

ESTACIÓN DE MONITOREO	RAS							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHE	((9,0))	3	(9,2)	4	9,3	4	((8,4))	3
CANAL VILAMA EN VILAMA	((7,3))	3	7,8	3	7,7	3	(8,3)	3

ESTACIÓN DE MONITOREO	Cloruro (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHE	((618,7))	4	(583,9)	4	626,1	4	((629,2))	4
CANAL VILAMA EN VILAMA	((548,3))	4	563,1	4	565,2	4	(576,0))	4

ESTACIÓN DE MONITOREO	Sulfato (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHE	((281,2))	2	(296,7)	2	330,1	2	((312,5))	2
CANAL VILAMA EN VILAMA	((332,3))	2	382,7	2	375,0	2	(349,3)	2

ESTACIÓN DE MONITOREO	Boro (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHE	((2))	4	(2)	4	4	4	((2))	4
CANAL VILAMA EN VILAMA	((18))	4	11	4	15	4	((12))	4

ESTACIÓN DE MONITOREO	Cobre (µg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHE	((28))	2	(31)	2	20	2	<10	<2
CANAL VILAMA EN VILAMA	((20))	2	(13)	2	19	2	<10	<2

Tabla 4.7 (Continuación): Calidad de Agua por Períodos Estacionales en la Cuenca del Salar de Atacama. Información DGA

ESTACIÓN DE MONITOREO	Hierro (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHE	((1,34))	2	(0,77)	0	0,31	0	((0,69))	0
CANAL VILAMA EN VILAMA	((0,24))	0	(0,08)	0	0,08	0	((0,05))	0

ESTACIÓN DE MONITOREO	Manganeso (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHE	((0,20))	3	0,94	4	0,13	2	0,08	2
CANAL VILAMA EN VILAMA	((<0,01))	0	0,02	0	0,02	0	<0,01	0

ESTACIÓN DE MONITOREO	Molibdeno (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHE	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1
CANAL VILAMA EN VILAMA	((0,02))	2	((<0,01))	<1	((<0,01))	<1	((0,02))	2

ESTACIÓN DE MONITOREO	Aluminio (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHE	((3,06))	3	((0,60))	2	((1,73))	3	((1,26))	3
CANAL VILAMA EN VILAMA	((0,30))	2	((0,50))	2	((0,35))	2	((0,23))	2

ESTACIÓN DE MONITOREO	Arsénico (mg/l)							
	INVIERNO		OTOÑO		PRIMAVERA		VERANO	
	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE	VALOR	CLASE
RIO SAN PEDRO EN CUCHABRACHE	((0,19))	4	0,16	4	0,18	4	((0,56))	4
CANAL VILAMA EN VILAMA	((0,40))	4	0,65	4	0,67	4	(0,55)	4

Durante el mes de octubre del presente año (primavera 2003), con el fin de completar la información existente de la cuenca y corroborar la asignación de clase propuesta, se llevó a cabo el Programa de Muestreo 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 Salar de Atacama.

Tabla 4.8: Calidad de Agua Cuenca del Salar de Atacama Muestreo Puntual CADE-IDEPE Primavera 2003

Punto de Muestreo	DBO ₅ (mg/L)	
	Valor	Clase
Río San Pedro en Cuchabrache	8	2
Río Vilama en Vilama	9	2
Quebrada Jeréz	6	2
Quebrada Talabre	7	2
Quebrada Camar	17	3
Quebrada de Peine	9	2

**Tabla 4.8 (Continuación): Calidad de Agua Cuenca del Salar de Atacama
Muestreo Puntual CADE-IDEPE Primavera 2003**

Punto de Muestreo	Color Aparente (Pt-Co)	
	Valor	Clase
Río San Pedro en Cuchabrache	5	0
Río Vilama en Vilama	10	0
Quebrada Jeréz	15	0
Quebrada Talabre	5	0
Quebrada Camar	15	0
Quebrada de Peine	5	0

Punto de Muestreo	Sólidos Disueltos (mg/L)	
	Valor	Clase
Río San Pedro en Cuchabrache	832	2
Río Vilama en Vilama	1690	4
Quebrada Jeréz	187	0
Quebrada Talabre	299	0
Quebrada Camar	2020	4
Quebrada de Peine	2710	4

Punto de Muestreo	Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	
	Valor	Clase
Río San Pedro en Cuchabrache	<10	0
Río Vilama en Vilama	<10	0
Quebrada Jeréz	<10	0
Quebrada Talabre	<10	0
Quebrada Camar	<10	0
Quebrada de Peine	<10	0

Punto de Muestreo	Amonio (mg/L)	
	Valor	Clase
Río San Pedro en Cuchabrache	0.06	0
Río Vilama en Vilama	0.02	0
Quebrada Jeréz	0.03	0
Quebrada Talabre	0.02	0
Quebrada Camar	0.07	0
Quebrada de Peine	0.03	0

Punto de Muestreo	Cianuro ($\mu\text{g/L}$)	
	Valor	Clase
Río San Pedro en Cuchabrache	<3	0
Río Vilama en Vilama	<3	0
Quebrada Jeréz	<3	0
Quebrada Talabre	<3	0
Quebrada Camar	<3	0
Quebrada de Peine	54	4

**Tabla 4.8 (Continuación): Calidad de Agua Cuenca del Salar de Atacama
Muestreo Puntual CADE-IDEPE Primavera 2003**

Punto de Muestreo	Fluoruro (mg/L)	
	Valor	Clase
Río San Pedro en Cuchabrache	0.5	0
Río Vilama en Vilama	0.3	0
Quebrada Jeréz	0.2	0
Quebrada Talabre	0.7	0
Quebrada Camar	0.9	1
Quebrada de Peine	0.6	0

Punto de Muestreo	Nitrito (mg/L)	
	Valor	Clase
Río San Pedro en Cuchabrache	<0.01	0
Río Vilama en Vilama	<0.01	0
Quebrada Jeréz	<0.01	0
Quebrada Talabre	<0.01	0
Quebrada Camar	<0.01	0
Quebrada de Peine	<0.01	0

Punto de Muestreo	Sulfuro (mg/L)	
	Valor	Clase
Río San Pedro en Cuchabrache	<0.01	0
Río Vilama en Vilama	<0.01	0
Quebrada Jeréz	<0.01	0
Quebrada Talabre	<0.01	0
Quebrada Camar	<0.01	0
Quebrada de Peine	<0.01	0

Punto de Muestreo	Estaño ($\mu\text{g/L}$)	
	Valor	Clase
Río San Pedro en Cuchabrache	<10	<2
Río Vilama en Vilama	<10	<2
Quebrada Jeréz	<10	<2
Quebrada Talabre	<10	<2
Quebrada Camar	<10	<2
Quebrada de Peine	<10	<2

Punto de Muestreo	Coliformes Fecales (NMP/100ml)	
	Valor	Clase
Río San Pedro en Cuchabrache	50	1
Río Vilama en Vilama	17	1
Quebrada Jeréz	2	0
Quebrada Talabre	17	1
Quebrada Camar	4	0
Quebrada de Peine	<2	0

**Tabla 4.8 (Continuación): Calidad de Agua Cuenca del Salar de Atacama
Muestreo Puntual CADE-IDEPE Primavera 2003**

Punto de Muestreo	Coliformes Totales (NMP/100ml)	
	Valor	Clase
Río San Pedro en Cuchabrache	50	0
Río Vilama en Vilama	17	0
Quebrada Jeréz	2	0
Quebrada Talabre	33	0
Quebrada Camar	13	0
Quebrada de Peine	<2	0

Parámetro	Unidad	Quebrada Camar	
		Valor	Clase
Arsénico	mg/L	0.32	4
Aluminio	mg/L	0.07	1
Cadmio	µg/L	<1	0
Boro	mg/L	4.62	4
Cromo total	µg/L	<10	<1
Hierro	mg/L	0.09	0
Manganeso	mg/L	0.12	2
Molibdeno	mg/L	<0.003	0
Níquel	µg/L	<1	0
Oxígeno Disuelto	mg/L	8.0	0
Plomo	mg/L	<0.005	<2
Selenio	µg/L	3	0
Zinc	mg/L	0.04	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 4.9 se explica los factores incidentes en la cuenca del Salar de Atacama.

Salar de Atacama

50.

Tabla 4.9: Factores Incidentes en la Calidad del Agua en la Cuenca del Salar de Atacama

ESTACION DE CALIDAD / SEGMENTO	FACTORES INCIDENTES		PARÁMETROS QUE PUEDEN VERSE AFECTADOS	CARACTERIZACIÓN DEL FACTOR
	NATURALES	ANTROPOGENICOS		
Río San Pedro en Cuchabrache 0251-SP-10	Solubilización de suelos salinos Lixiviación volumétrica y superficial de la litología asociada Existencia de Franja salina. Rocas ricas en carbonatos Litología rica en metales y sales Influencia volcánica	Contaminación difusa por aguas servidas Turismo	CE, OD, RAS, Cl ⁻ , SO ₄ ⁻² , B, Cu, Fe, Mn, Al, As Posiblemente CF, CT, DBO ₅	<ul style="list-style-type: none"> • Litología: Formaciones rocosas volcánicas fracturadas del período terciario y cuaternario constituida por coladas, tobas y brechas • Geomorfología: Formación orográfica constitutiva de la Cordillera de la Sal • Centros urbanos: Poblado de San Pedro de Atacama • Volcanismo: Volcán Tatio • Clima: Alta radiación Solar. Altitud favorece que el agua se encuentre en estado gaseoso • Reserva Nacional Los Flamencos
Canal Vilama en Vilama 0250-VI-10	Lixiviación volumétrica y superficial de la litología asociada Surgencia de aguas termales. Solubilización de suelos salinos Incidencia volcánica	Turismo	CE, OD, RAS, Cl ⁻ , SO ₄ ⁻² , B, Cu, Mo, Al, As Posiblemente CF, CT, DBO ₅	<ul style="list-style-type: none"> • Litología: Formaciones rocosas volcánicas fracturadas del período terciario y cuaternario constituida por coladas, tobas y brechas • Reserva Nacional Los Flamencos • Hidrogeología: Geiser del Tatio en la parte norte. • Volcanismo: Volcán Tatio y Licancabur • Clima: Alta radiación Solar. Altitud favorece que el agua se encuentre en estado gaseoso • Hidrogeología: Baños de Puritama , Termas de Vilama

5. CALIDAD ACTUAL Y NATURAL DE LOS CURSOS SUPERFICIALES

5.1 Análisis Espacio-Temporal en Cauce Principal

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

- Río San Pedro en Cuchabrache

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

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

En la tabla 5.1 se comentan las características principales de la calidad actual en los ríos seleccionados en la cuenca del Salar de Atacama 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 SALAR DE ATACAMA
Parámetros físico- Químicos (FQ): Conductividad Eléctrica , DBO₅, Color, OD, pH, RAS, SDT, SST.
<p><u>CE</u>: En el río San Pedro y en el río Vilama no se observa variación estacional con todos los valores en clase 4.</p> <p><u>DBO₅</u>: El valor del muestreo puntual en primavera está asignado a la clase 2 en el río San Pedro , río Vilama, vertiente Peine y quebradas Jeréz, Talabre. En la quebrada Camar el valor obtenido del muestreo se asigna a clase 3.</p> <p><u>Color Aparente</u>: El valor del muestreo puntual en primavera está asignado a la clase 0 en el río San Pedro, Río Vilama, vertiente Peine y quebradas Jeréz, Talabre, Camar.</p> <p><u>SDT</u>: El valor del muestreo puntual en primavera está asignado a la clase 4 en el río Vilama, vertiente Peine y quebrada Camar. En las quebradas Jeréz y Talabre el valor se asigna a la clase 0 y en el río San Pedro en la estación Cuchabrache está asignada a la clase 2.</p> <p><u>SST</u>: El valor del muestreo puntual en primavera está asignado a la clase 0 en el río San Pedro, río Vilama, vertiente Peine y quebradas Jeréz, Talabre, Camar.</p>

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

CUENCA SALAR DE ATACAMA	
	<p><u>OD</u>: En el río San Pedro no hay variación entre invierno, primavera y verano con valores en clase 2. En el río Vilama los niveles de concentración son similares entre invierno y primavera en clase 1. El valor máximo se observa en verano en clase 2. El valor del muestreo puntual en primavera esta asignado a la clase 0 en la quebrada Camar.</p> <p><u>pH</u>: Todos los valores están asignados a la clase 0.</p> <p><u>RAS</u>: En el río San Pedro no se observa variación estacional entre invierno-verano y otoño-primavera con valores en clase 3 y 4 respectivamente. El río Vilama no presenta variación durante todo el año con valores en clase 3.</p>
Inorgánicos (IN): NH_4^+, CN^-, Cl^-, F^-, NO_2^-, SO_4^{2-}, S^{2-}	
	<p><u>Cl⁻</u>: Todos los valores en clase 4 sin variación estacional.</p> <p><u>SO₄²⁻</u>: Todos los valores en clase 2 sin variación estacional.</p> <p><u>NH₄⁺</u>: El valor del muestreo puntual en primavera esta asignado a la clase 0 en el río San Pedro, río Vilama, vertiente Peine y quebradas Jeréz, Talabre, Camar.</p> <p><u>CN⁻</u>: El valor del muestreo puntual en primavera esta asignado a la clase 0 en el río San Pedro, río Vilama, y quebradas Jeréz, Talabre, Camar. En la vertiente Peine el valor esta asignado a la clase 4.</p> <p><u>F⁻</u>: El valor del muestreo puntual en primavera esta asignado a la clase 0 en el río San Pedro, río Vilama, vertiente Peine y quebradas Jeréz, Talabre. En la quebrada Camar el valor esta asignado a la clase 1.</p> <p><u>NO₂⁻</u>: El valor del muestreo puntual en primavera esta asignado a la clase 0 en el río San Pedro, río Vilama, vertiente Peine y quebradas Jeréz, Talabre, Camar.</p> <p><u>S²⁻</u>: El valor del muestreo puntual en primavera esta asignado a la clase 0 en el río San Pedro, río Vilama, vertiente Peine y quebradas Jeréz, Talabre, Camar.</p>
Orgánicos (OR): Aceites y grasas, PCBs, SAAM, fenol, HCAP, HC, tetracloroetano, tolueno	
	<p>No se dispone de información para los parámetros orgánicos.</p>
Orgánicos Plaguicidas (OP): Ácido 2,4-D, aldicarb, aldrín, atrazina, captán, carbofurano, clordano, clorotalonil, Cyanazina, demetón, DDT, diclofop-metil, dieldrín, dimetoato, heptaclor, lindano, paratión, pentaclorofenol, siazina, trifluralina.	
	<p>No se dispone de información para los parámetros orgánicos plaguicidas.</p>

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

CUENCA SALAR DE ATACAMA	
Metales Esenciales (ME): B, Cu, Cr_{total}, Fe, Mn, Mo, Ni, Se, Zn	
■	<u>B</u> : En el río San Pedro y en el río Vilama se observan todos los valores en clase 4. El valor del muestreo puntual en primavera esta asignado a la clase 4 en la quebrada Camar.
■	<u>Cu</u> : El río San Pedro y el río Vilama presentan sus valores en clase 2, excepto en verano, donde los valores están en límite de detección.
■	<u>Cr_{total}</u> : Los valores están en límite de detección superior al de la clase 0, lo cual no permite análisis. El valor del muestreo puntual en primavera esta asignado a la clase 0 en la quebrada Camar.
■	<u>Fe</u> : Todos los valores están en clase 0, a excepción del río San Pedro en invierno en clase 2. El valor del muestreo puntual en primavera esta asignado a la clase 0 en la quebrada Camar.
■	<u>Mn</u> : En el río San Pedro no hay variación estacional entre primavera y verano con valores en clase 2. El máximo se observa en otoño en clase 4. El río Vilama no presenta variación durante el año con valores en clase 0. El valor del muestreo puntual en primavera esta asignado a la clase 2 en la quebrada Camar.
■	<u>Mo</u> : Los valores están en límite de detección superior al de la clase 0, lo cual no permite análisis. Sin embargo en río Vilama en invierno y verano los valores se asignan a la clase 2. El valor del muestreo puntual en primavera esta asignado a la clase 0 en la quebrada Camar.
■	<u>Ni</u> : Los registros históricos permiten calificar sus valores siempre en clase 0. El valor del muestreo puntual en primavera esta asignado a la clase 0 en la quebrada Camar.
■	<u>Se</u> : Los registros históricos permiten calificar sus valores siempre en clase 0. El valor del muestreo puntual en primavera esta asignado a la clase 0 en la quebrada Camar.
■	<u>Zn</u> : Los registros históricos permiten calificar sus valores siempre en clase 0. El valor del muestreo puntual en primavera esta asignado a la clase 0 en la quebrada Camar.
Metales no Esenciales (MN) : Al, As, Cd, Sn, Hg, Pb	
■	<u>Al</u> : En el río San Pedro no se observa variación estacional entre invierno-primavera-verano con valores en clase 3. El río Vilama no presenta variación durante todo el año con valores en clase 2. El valor del muestreo puntual en primavera esta asignado a la clase 1 en la quebrada Camar.
■	<u>As</u> : Todos los valores se asignan a la clase 4. El valor del muestreo puntual en primavera esta asignado a la clase 4 en la quebrada Camar.
■	<u>Cd</u> : De los registros existentes no es posible clasificarlo en alguna clase establecida en el Instructivo, por corresponder el dato al límite de detección superior a la clase 0. El valor del muestreo puntual en primavera esta asignado a la clase 0 en la quebrada Camar.
■	<u>Hg</u> : De los registros existentes no es posible clasificarlo en alguna clase establecida en el Instructivo, por corresponder el dato al límite de detección superior a la clase 0.

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

CUENCA SALAR DE ATACAMA
<p><u>Pb</u>: No es posible clasificarlo en alguna clase establecida en el Instructivo, por corresponder el dato al límite de detección superior a la clase 0. El valor del muestreo puntual en primavera solo permite señalar que esta asignado a una clase inferior a la clase 2 en la quebrada Camar.</p>
<p><u>Sn</u>: Del valor del muestreo puntual en primavera podemos afirmar solamente que el valor esta asignado a una clase inferior a la clase 2.</p>
<p>Indicadores Microbiológicos (IM) : CF, CT</p>
<p><u>CF</u>: El valor del muestreo puntual en primavera esta asignado a la clase 1 en el río San Pedro, río Vilama y, quebrada Talabre. En la vertiente Peine y quebradas Jeréz y Camar el valor esta asignado a la clase 0.</p>
<p><u>CT</u>: El valor del muestreo puntual en primavera esta asignado a la clase 0 en el río San Pedro, río Vilama, vertiente Peine y quebradas Jeréz, Talabre, Camar.</p>

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

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

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

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

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

- Para aquellos parámetros que poseen información de nivel 1, se utiliza el valor correspondiente al percentil 66% para el período estacional más desfavorable.

- Para aquellos parámetros que poseen información de nivel 2 ó 3, se utiliza el valor promedio para el período estacional más desfavorable
- Respecto a aquellos parámetros que fueron incluidos en el programa de muestreo de CADE-IDEPE y que no cuentan con información de nivel superior (niveles 1 a 3), se utilizan los datos puntuales obtenidos (información nivel 4). Para la cuenca del Salar de Atacama, estos parámetros son: DBO₅, Color, SD, SST, NH₄⁺, CN⁻, F⁻, S₂⁻, NO₂⁻, Sn, CF y CT.
- En el caso de los parámetros DBO₅, sólidos suspendidos y coliformes fecales, si no se dispone de ninguna información de nivel superior, se emplea como valor de referencia la estimación del consultor (información nivel 5). El método de estimación de dichos parámetros se presenta en el capítulo 4 de la Sección II del Informe Final, destinada a describir la Metodología empleada.
- Cuando se disponer de información de distintas fuentes para un mismo parámetro, se le asigna a éste en la tabla 5.2 la clase correspondiente a la fuente de información que contenga un mayor número de registros (mejor nivel de información de acuerdo a la metodología).

Salar de Atacama

56.

Tabla 5.2: Asignación de Clases de Calidad Actual

Tabla.5.2a: Cauce Principal: Río San Pedro

Estaciones de calidad DGA	Código Segmento	Clase del Instructivo					Parámetro con valor en límite de detección	Parámetros seleccionados sin información	Observación
		0	1	2	3	4			
Río San Pedro en Cuchabrache	0251-SP-10	pH, Ni, Se, Zn, color aparente, SST, NH ₄ ⁺ , CN ⁻ , F ⁻ , NO ₂ ⁻ , S ²⁻ , CT	CF	DBO ₅ , OD, SO ₄ ⁻² , Cu, Fe, SD	Al	CE, RAS, Cl, B, Mn, As	Mo, Sn, Cr, Cd, Hg, Pb	Todos los demás parámetros seleccionados	Información DGA nivel 3. Información nivel 4 muestreo puntual en primavera: DBO ₅ , color aparente, SD, SST, NH ₄ ⁺ , CN ⁻ , F ⁻ , NO ₂ ⁻ , S ²⁻ , CF, CT, Sn.

Parámetros seleccionados de la cuenca del Salar de Atacama: Conductividad Eléctrica, DBO₅, Oxígeno Disuelto, pH, Sólidos Suspendidos, Coliformes Fecales, RAS, Cloruro, Sulfato, Boro, Cobre, Hierro, Manganeso, Molibdeno, Aluminio, Arsénico, Sólidos Disueltos, Cianuro, Fluoruro.

Tabla 5.2b: Cauce Secundario: Río Vilama

Estaciones de calidad DGA	Código Segmento	Clase del Instructivo					Parámetro con valor en límite de detección	Parámetros seleccionados sin información	Observación
		0	1	2	3	4			
Río Vilama en Vilama	0250-VI-10	pH, Fe, Mn, Ni, Se, Zn, color aparente, SST, NH ₄ ⁺ , CN ⁻ , F ⁻ , NO ₂ ⁻ , S ²⁻ , CT	CF	DBO ₅ , OD, SO ₄ ⁻² , Cu, Mo, Al	RAS	CE, Cl, B, As, SD	Cr, Cd, Hg, Pb, Sn	Todos los demás parámetros seleccionados	Información DGA nivel 3. Información nivel 4 muestreo puntual en primavera: DBO ₅ , color aparente, SD, SST, NH ₄ ⁺ , CN ⁻ , F ⁻ , NO ₂ ⁻ , S ²⁻ , CF, CT, Sn.

Tabla 5.2c: Quebradas: Jerez, Talabre, Camar y Vertiente Peine

Estaciones de calidad DGA	Código Segmento	Clase del Instructivo					Parámetro con valor en límite de detección	Parámetros seleccionados sin información	Observación
		0	1	2	3	4			
Quebrada Jerez	0250JE10	color aparente, SD, SST, NH ₄ ⁺ , CN ⁻ , F ⁻ , NO ₂ ⁻ , S ²⁻ , CF, CT		DBO ₅			Sn	Todos los demás parámetros seleccionados	Información nivel 4 muestreo puntual en primavera: DBO ₅ , color aparente, SD, SST, NH ₄ ⁺ , CN ⁻ , F ⁻ , NO ₂ ⁻ , S ²⁻ , CF, CT, Sn.
Quebrada Talabre	0250TA10	color aparente, SD, SST, NH ₄ ⁺ , CN ⁻ , F ⁻ , NO ₂ ⁻ , S ²⁻ , CT	CF	DBO ₅			Sn	Todos los demás parámetros seleccionados	Información nivel 4 muestreo puntual en primavera: DBO ₅ , color aparente, SD, SST, NH ₄ ⁺ , CN ⁻ , F ⁻ , NO ₂ ⁻ , S ²⁻ , CF, CT, Sn.
Quebrada Camar	0250CA10	color aparente, SST, NH ₄ ⁺ , CN ⁻ , NO ₂ ⁻ , S ²⁻ , CF, CT, Cd, Cr _{total} , Fe, Mo, Ni, OD, Se, Zn	F ⁻ , Al	Mn	DBO ₅	SD, As, B	Sn, Pb,	Todos los demás parámetros seleccionados	Información nivel 4 muestreo puntual en primavera: DBO ₅ , color aparente, SD, SST, NH ₄ ⁺ , CN ⁻ , F ⁻ , NO ₂ ⁻ , S ²⁻ , CF, CT, Sn, As, Al, Cd, B, Cr _{total} , Fe, Mn, Mo, Ni, OD, Pb, Se, Zn.
Quebrada de Peine	0250PE10	color aparente, SST, NH ₄ ⁺ , F ⁻ , NO ₂ ⁻ , S ²⁻ , CF, CT		DBO ₅		SD, CN ⁻	Sn.	Todos los demás parámetros seleccionados	Información nivel 4 muestreo puntual en primavera: DBO ₅ , color aparente, SD, SST, NH ₄ ⁺ , CN ⁻ , F ⁻ , NO ₂ ⁻ , S ²⁻ , CF, CT, Sn.

Salar de Atacama

58.

5.4 Calidad Natural y Factores Incidentes

En la Tabla 5.3 se identifican los parámetros que exceden la clase 0 en los diferentes cursos de agua de la cuenca del Salar de Atacama, basada en la información estadística por períodos estacionales que se presenta en la Tabla 4.7.

Tabla 5.3: Valores estacionales máximos de los parámetros en la cuenca del Salar de Atacama

Estación	Segmento	CE ($\mu\text{S/cm}$)	OD (mg/L)	RAS	Cl (mg/L)	SO ₄ ⁻² (mg/L)	B (mg/L)	Cu ($\mu\text{g/L}$)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Mo (mg/L)	SD (mg/L)	Sn (mg/L)	Al (mg/L)	As (mg/L)
Canal Vilama en Vilama	0250-VI-10	(2801)	((7,3))	(8,3)	(576)	382,7	((18))	((20))			((0,02))	1690	10	((0,5))	0,67
Río San Pedro en Cuchabrache	0251-SP-10	((3111,3))	((7))	9,3	((629,2))	330,1	4	(31)	((1,34))	0,94		832	10	((3,06))	((0,56))

Fuente: Elaboración propia

s/i: sin información

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

De la inspección de la tabla, se infiere que:

- El boro, cobre, arsénico y aluminio están presentes en todas las estaciones de calidad.
- La Conductividad eléctrica (CE), el RAS, el Sulfato, boro, cobre, aluminio y arsénico exceden la clase de excepción en ambas estaciones.

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

5.4.1 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica detectada presenta valores comprendidos entre 2674 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Est. DGA Río San Pedro en Cuchabrache – otoño) a 3111 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Est. DGA Río San Pedro en Cuchabrache – verano). Estos valores sin embargo no presentan problemas para que el agua sea utilizada en riego.

El origen de este fenómeno se debe a la disolución y lixiviación de la gran cantidad de sales minerales y metales presentes en el suelo, la litología y volcanismo de la cuenca, la que se caracteriza por tener rocas de origen volcánicas fracturadas y formaciones sedimentarias que alguna vez formaron parte del fondo marino. Adicionalmente a los factores que a continuación se detallan contribuyen al aumento de la concentración de iones:

La alta radiación solar que existe a esta latitud, permite una elevada evaporación de agua, lo cual origina una alta concentración de varios parámetros de calidad.

En la zona geomorfológica de desierto, se encuentran capas de sales minerales conocidas como caliches, las cuales son fuentes permanentes de aporte de iones a las aguas de la cuenca del Salar de Atacama.

La cordillera de la Sal adiciona una gran cantidad de iones disueltos al río Salado el cual es tributario del río San Pedro de Atacama.

El río San Pedro en su recorrido hacia el Salar de Atacama, es recargado en varios puntos por aguas subterráneas las cuales contienen lixiviados de iones y metales.

5.4.2 Oxígeno Disuelto (OD)

Los valores de OD procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 7 mg/L (Est. DGA Río San Pedro en Cuchabrache - verano) a 7,9 mg/L (Est. DGA Canal Vilama en Vilama -otoño), estos infringen la Clase de excepción en aproximadamente 7 %.

Los valores bajos de oxígeno disuelto son atribuibles a la baja difusión del oxígeno en el agua debido a la altura.

5.4.3 RAS

Los valores de RAS procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 7,3 (Est Canal Vilama en Vilama - invierno) a 9,3 (Est DGA Río San Pedro en Cuchabrache - primavera).

5.4.4 Cloruro

Los valores de cloruros procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 548,3 mg/L (Est. DGA Canal Vilama en Vilama - invierno) a 629,2 mg/L (Est. DGA Río San Pedro en Cuchabrache - verano).

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

5.4.5 Sulfatos

Los valores de sulfatos procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 281,2 mg/L (Est. DGA Río San Pedro en Cuchabrache - invierno) a 382,7 mg/L (Est Canal Vilama en Vilama - otoño).

El origen de este parámetro se debe a la existencia de rocas sedimentarias constituidas por evaporitas (yesos y boratos), las cuales por procesos de disolución y lixiviación aportan constantemente sulfatos en la cuenca. En la parte alta el volcanismo es un

Salar de Atacama

62.

factor importante en el aporte de sulfatos constituyente de las coladas, tobas y brechas fracturadas del maciso andino.

5.4.6 Boro

Los valores de boro procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 2 mg/L (Est DGA Canal Vilama en Vilama - invierno) a 18 mg/L (Est. DGA Río San Pedro en Cuchabrache - invierno).

En la zona geomorfológica de desierto, la existencia de extensos mantos de caliche – Cordillera de la Sal - , adiciona lixiviados de boro junto a otros compuestos salinos hasta la desembocadura misma.

Finalmente las recargas al río por aguas subterráneas aportan los lixiviados del subsuelo que se agregan en ciertos puntos desde donde emergen como vertientes.

5.4.7 Cobre

Los valores de cobre procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los <10 µg/L (Est. DGA Río San Pedro en Cuchabrache - invierno) a 31 µg/l (Est. DGA Río San Pedro en Cuchabrache - verano).

El origen de este parámetro se debe a la lixiviación de gran cantidad de metales presentes en la litología de la cuenca, la que se caracteriza por depósitos porfiricos, subyacente en las rocas volcánicas fracturadas.

5.4.8 Hierro

Los valores de hierro procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 0,05 mg/L (Est. DGA Canal Vilama en Vilama - verano) a 1,34 mg/L (Est. DGA Río San Pedro en Cuchabrache - invierno), estos superan la Clase de excepción en aproximadamente 68%.

El origen probable de este fenómeno es la lixiviación natural de gran cantidad de sales y metales presentes en la litología de la cuenca, la que se caracteriza por tener rocas de distinta naturaleza y edad.

5.4.9 Manganeseo

Los valores de manganeseo procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los <0,01 mg/L (Est. DGA Canal Vilama en Vilama - invierno) a 0,94 mg/L (Est DGA río San Pedro en Cuchabrache - otoño).

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

5.4.10 Molibdeno

Los valores de molibdeno procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los <0,01 mg/L (Est DGA Río San Pedro en Cuchabrache - invierno) a 0,02 mg/L (Est. DGA Canal Vilama en Vilama - invierno).

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

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

5.4.11 Aluminio

Los valores de aluminio procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 0,23 mg/L (Est. DGA Canal Vilama en Vilama - verano) a 3,06 mg/L (Est. DGA Río San Pedro en Cuchabrache - invierno).

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

5.4.12 Arsénico

Los valores de arsénico procedentes de la campaña de monitoreo de la DGA presentan valores comprendidos entre los 0,16 mg/L (Est DGA Río San Pedro en Cuchabrache - otoño) a 0,67 mg/L (Est. DGA Canal Vilama en Vilama - primavera).

El origen de este parámetro de calidad es la lixiviación superficial y volumétrica de sales y metales presentes en la litología de esta cuenca, la cual se ve acrecentada por el grado de fraccionamiento de las rocas volcánicas.

5.4.13 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.

5.4.14 Sólidos disueltos

Los valores de sólidos disueltos procedentes del muestreo realizado en los ríos principales de la cuenca del Salar de Atacama, se encuentran entre 832 (San Pedro en Cuchabrache) y 1690 (Canal Vilama en Vilama) mg/L.

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

5.4.15 Falencias de información

En el muestreo realizado en Octubre del 2003 se realizaron mediciones en los siguientes cursos de agua: Quebrada Jeréz, Quebrada Talabre, Quebrada Camar y Quebrada Paine. Los resultados demostraron que exceden la clase de excepción los siguientes parámetros: Sólidos disueltos, fluoruro, estaño, arsénico, aluminio, boro, manganeso y plomo.

De ellos, especialmente los sólidos disueltos, arsénico y boro presentan mala calidad (clase 4).

5.4.16 Conclusiones

La calidad natural del agua superficial de la cuenca está influenciada fuertemente por las siguientes características que explican la calidad actual del Salar de Atacama:

- La calidad natural de los principales afluentes de la cuenca del Salar de Atacama, los ríos San Pedro y Vilama, varía de regular a mala. Los tributarios del borde este, quebrada de Paine, Camar, Talabre y Jerez, muestran una buena calidad natural.
- La calidad natural del salar está fuertemente influenciada por la litología que es rica en sales y metales.
- La edafología interviene de manera considerable en las características de salinidad de las aguas.

Salar de Atacama

66.

- En la cuenca se encuentran yacimientos de bórax, litio, sodio y potasio, lo que muestra que es muy rica en sales que intervienen en el aumento de CE, RAS, cloruros, sulfatos, etc.

6. PROPOSICION DE CLASES OBJETIVOS

6.1 Establecimiento de Tramos

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

La segmentación preliminar de la cuenca del Salar de Atacama 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 presenta los tramos utilizados en la caracterización de los ríos y quebradas seleccionadas de la cuenca.

Tabla 6.1: Tramos de la Cuenca del Salar de Atacama

Cuerpos de agua	Código Segmento	Código Tramo	Límites de Tramos
Río San Pedro	0251SP10	SP-TR-10	Desde: Naciente río San Pedro Hasta: Salar de Atacama.
	0251SP20		
	0250SP10		
	0250SP20		
Río Vilama	0250VI10	VI-TR-10	Desde: Naciente río Vilama Hasta: Entrada del Salar de Atacama
	0250VI20		
Quebrada Jeréz	0250JE10	JE-TR-10	Desde: Naciente Quebrada Jeréz Hasta: Entrada del Salar de Atacama
Quebrada Talabre	0250TA10	TA-TR-10	Desde: Naciente Quebrada Talabre Hasta: Entrada del Salar de Atacama
Quebrada Camar	0250CA10	CA-TR-10	Desde: Naciente Quebrada de Camar Hasta: Entrada del Salar de Atacama
Quebrada de Peine	0250PE10	PE-TR-10	Desde: Naciente Quebrada Peine Hasta: Entrada del Salar de Atacama

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

6.2 Requerimientos de Calidad según Usos del Agua

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

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.

Salar de Atacama

70.

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

Cauce	Tramo	Acuicultura y pesca deportiva	Biodiversidad	Riego	Clase actual más característica	Clase de uso a preservar	Clase objetivo del tramo	Excepciones en el tramo		Parámetros seleccionados que requieren más estudios
								Clase Excep.	Parámetros que difieren de la clase Objetivo	
Río San Pedro	SP-TR-10	--	(*)	Clase 1 a 3	2	2	2	0	DBO ₅ , pH, Ni, Se, Zn, color aparente, SST, NH ₄ ⁺ , CN ⁻ , F ⁻ , NO ₂ ⁻ , S ²⁻ , CT, CF	Otros parámetros seleccionados
								1	--	
								3	Al	
								4	CE, RAS, Cl, B, Mn, As	
Río Vilama	VI-TR-10	--	--	Clase 1 a 3	2	2	2	0	DBO ₅ , pH, Fe, Mn, Ni, Se, Zn, color aparente, SST, NH ₄ ⁺ , CN ⁻ , F ⁻ , NO ₂ ⁻ , S ²⁻ , CT.	Otros parámetros seleccionados
								1	--	
								3	RAS	
								4	CE, Cl, B, As, SD	
Quebrada Jeréz	JE-TR-10	--	--	Clase 1 a 3	0	1	0	1	--	Todos los parámetros seleccionados
								2	--	
								3	--	
								4	--	

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

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

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 Talabre	TA-TR-10	--	(*)	Clase 1 a 3	0	1	0	1	--	Todos los parámetros seleccionados
								2	--	
								3	--	
								4	--	
Quebrada Camar	CA-TR-10	--	(*)	--	0	No hay	0	1	F ⁻ , Al	Todos los parámetros seleccionados
								2	Mn	
								3	--	
								4	SD, As, B	
Quebrada de Peine	PE-TR-10	--	--	--	0	No hay	0	1	--	Todos los parámetros seleccionados
								2	--	
								3	--	
								4	SD, CN ⁻	

Parámetros seleccionados de la cuenca del Salar de Atacama: Conductividad Eléctrica, DBO₅, Oxígeno Disuelto, pH, Sólidos Suspendedos, Coliformes Fecales, RAS, Cloruro, Sulfato, Boro, Cobre, Hierro, Manganeseo, Molibdeno, Aluminio, Arsénico, Sólidos Disueltos, Cianuro, Fluoruro.

6.3 Grado de Cumplimiento de la Calidad Objetivo

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

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

Las tablas generadas en éste punto, para la cuenca del Salar de Atacama 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 Salar de Atacama, estará compuesto por 6 parámetros obligatorios (Conductividad Eléctrica, DBO₅, Oxígeno Disuelto, pH, Sólidos Suspendidos y Coliformes Fecales) y 10 parámetros que han sido seleccionados para esta cuenca.

Consecuentemente, los parámetros relevantes son:

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

7.1.2 Estimación del ICAS

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

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

Estación de Muestreo	ICAS
Río San Pedro en Cuchabrache	77
Canal Vilama en Vilama	79

De los resultados de ésta, se puede observar que el agua del Salar de Atacama posee tributarios de buena calidad desde el punto de orgánicos y regular desde la perspectiva de inorgánicos. La memoria de cálculo de la tabla se encuentra en anexo 7.1

7.1.3 Estimación del ICAS objetivo

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

Tabla 7.2: Clases Objetivos para cada Estación de Muestreo

Estación de Muestreo	Clase Objetivo
Río San Pedro en Cuchabrache	2
Canal Vilama en Vilama	2

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

7.2 Programa de Monitoreo Futuro

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

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

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

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

- Parámetros Obligatorios: Conductividad Eléctrica, DBO₅, Oxígeno Disuelto, pH, Sólidos Suspendidos; Coliformes Fecales
- Parámetros Principales: RAS, Sólidos Disueltos, Cianuro, Cloruro, Fluoruro, Sulfato, Boro, Cobre, Hierro, Manganeso, Molibdeno, Aluminio, Arsénico
- Parámetros con Límite de Detección: Cromo Total, Cadmio, Mercurio, Plomo

Salar de Atacama

76.

- Parámetros Sin Información: Color Aparente, Amonio, Nitrito, Sulfuro, Estaño, Coliformes Totales
- Parámetros Orgánicos: Grasas y Aceites, Detergentes, Hidrocarburos
- Parámetros Orgánico Plaguicidas: No se incluyen

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

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

Tabla 7.3: Programa de Monitoreo Futuro

	Punto de Muestreo	Río San Pedro en Cuchabache	Río Vilama en Vilama	Qda. Jeréz	Qda. Talabre	Qda. Camar	Qda. de Peine
	COD_SEG	0251SP10	0250VI10	0250JE10	0250TA10	0250CA10	0250PE10
INDICADOR	UNIDAD	Frecuencia Mínima	Frecuencia Mínima	Frecuencia Anual	Frecuencia Anual	Frecuencia Anual	Frecuencia Anual
INDICADORES FÍSICO QUÍMICOS							
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
INORGANICOS							
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
METALES ESCENCIALES							
Boro	mg/l	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL
Cobre	µg/l	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL	PPL
Cromo total	µg/l	LD	LD	LD	LD	LD	LD
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
Niquel	µg/l						
Selenio	µg/l						
Zinc	mg/l						
METALES NO ESCENCIALES							
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	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I
Mercurio	µg/l	LD	LD	LD	LD	LD	LD
Plomo	mg/l	LD	LD	LD	LD	LD	LD
INDICADORES MICROBIOLÓGICOS							
C Fecales (NMP)	gérmenes/100 ml	O	O	O	O	O	O
C Totales (NMP)	gérmenes/100 ml	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I	S/I

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

Salar de Atacama

78.

7.3 Sistema de Información Geográfico

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

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

7.4 Referencias

Referencia	Título del Informe
2.1	MOP, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. Balance Hídrico de Chile. 1987.
2.2	SERNAGEOMIN, Servicio Nacional de Geología y Minería. Mapa Geológico de Chile. Escala 1:1.000.000. 2002.
2.3	VOLCANES Activos de Chile http://povi.org/chile.htm
2.4	MOP, Ministerio de Obras Públicas. Dirección General de Aguas. Mapa Hidrogeológico de Chile.
2.5	IGM, Instituto Geográfico Militar. Geografía de Chile. Tomo II: Geomorfología. 1983.
2.6	GAJARDO, Rodolfo. La Vegetación Natural de Chile, Clasificación y Distribución Geográfica. CONAF. Editorial Universitaria. 1994.
2.7	CADE – IDEPE. 2001. Estudio de Análisis Ambiental, Túnel San Bartolo II Región. Informe Final. 2001.
2.8	CONAF – CONAMA. Catastro de Bosque Nativo.
2.9	INE, Instituto Nacional de Estadísticas. VI Censo Nacional Agropecuario. 1997.
2.10	INE, Instituto Nacional de Estadísticas 2002, http://www.censo2002.cl .
2.11	INE, Instituto Nacional de Estadísticas. Ciudades, Pueblos y Aldeas: Censo 1992.
2.12	CONAMA; Comisión Nacional del Medio Ambiente http://www.conama.cl
3.1	IPLA Ltda, Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile, 1996.