

**“CARACTERIZACIÓN DE HUMEDALES ALTOANDINOS PARA UNA  
GESTIÓN SUSTENTABLE DE LAS ACTIVIDADES PRODUCTIVAS  
DEL SECTOR NORTE DEL PAÍS”**

**RECURSOS HÍDRICOS**

**Parte I**

**Hidrografía del Altiplano  
Información Fluviométrica  
Información de Calidad de Aguas**

**REGIÓN DE TARAPACÁ**

**Ana María Bustamante Valdés**  
**Ingeniero Civil en OO.CC.**  
[abustamante@ciren.cl](mailto:abustamante@ciren.cl)

**FEBRERO - 2013**

## **1 OBJETIVO Y ALCANCE DEL INFORME DE RECURSOS HÍDRICOS**

El objetivo del presente informe es mostrar las características hidrográficas, hidrológicas y de calidad de aguas del área de estudio, a partir de información que fue recopilada y sistematizada en la Biblioteca Digital del Sistema SITHA.

Como primera actividad se realizó una revisión bibliográfica de los estudios y proyectos de recursos hídricos realizados en el área de estudio, a fin de analizar y extraer información que pueda ser útil para los objetivos de este proyecto. En el Anexo I se incluye el resultado de dicha revisión bibliográfica.

## **2 ANTECEDENTES GENERALES**

El Altiplano del norte de Chile está conformado básicamente por cuencas endorreicas (cerradas) ubicadas en la parte nor-oriental del país, al interior del cordón montañoso de los Andes, a alturas superiores a los 3.500 msnm. Se trata de cuencas sedimentarias originadas en el tectonismo y volcanismo que se observa en la zona. Las características morfológicas de estas cuencas hidrográficas, y su ubicación en un clima de extrema aridez, han favorecido la formación de una serie de salares y lagunas en su interior.

Las precipitaciones en esta zona son de origen tropical y ocurren durante los meses de enero y febrero, son conocidas como Invierno Altiplánico o Invierno Boliviano. Se caracterizan por ser precipitaciones del tipo convectivas, de alta variabilidad espacial. En Chile este fenómeno afecta al sector altoandino de las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Atacama, teniendo una mínima influencia en esta última.

## **3 HIDROGRAFÍA EN CUENCAS DEL ALTIPLANO**

Las cuencas hidrográficas del área de estudio corresponden a unidades territoriales delimitadas por las divisorias de agua superficial, se emplazan en una franja cordillerana paralela a la línea de costa chilena, desde Visviri (cuenca de ríos Uchusuma y Caquena) hasta la altura de Copiapó (cuenca de la Laguna del Negro Francisco).

Las cuencas consideradas se encuentran ubicadas al oriente de la Cordillera Occidental (frente oeste de la Cordillera de los Andes) y varias de ellas son compartidas con países vecinos (Perú, Bolivia y Argentina). Algunas de estas cuencas tienen drenaje hacia el este, en particular en las Regiones XV y I, mientras que de ahí al sur son cuencas endorreicas cuya superficie definida por su drenaje natural está cruzada por la frontera. En el Cuadro N° 1 se incluye las principales características de estas cuencas ubicadas en la región de Tarapacá.

## Cuadro N° 1: Resumen de las características de las cuencas altiplánicas región de Tarapacá

Id	Id Nombre cuenca	H Mín (msnm)	H Máx (msnm)	H Med (msnm)	Compartida	Perímetro (km)	Área (km <sup>2</sup> )
105	Río Todosantos	4.103	5.616	4.550	SI	159	572
106	Río Isluga	3.651	5.869	4.187	SI	302	1.360
107	Río Cariquima	3.645	5.982	4.139	SI	267	1.486
108	Qda. Umo Khauo	3.662	4.431	3.877	SI	111	265
109	Río Cancosa	3.659	5.972	4.173	SI	419	2.048
110	Laguna Lagunilla	3.900	4.844	4.253	NO	98	191
111	Salar del Huasco	3.772	5.220	4.165	NO	282	1.471
112	Quebrada Carcas	3.725	5.099	4.165	SI	154	382
113	Salar de Coposa	3.713	5.220	4.087	NO	212	1.120
114	Salar de Michincha	4.118	5.407	4.382	NO	106	278

Fuente: LEVANTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE NUEVAS FUENTES DE AGUA EN ÁREAS PRIORITARIAS DE LA ZONA NORTE DE CHILE, REGIONES XV, I, II Y III. ETAPA 1. INFORME FINAL PARTE I. Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile. S.I.T. N° 157. Diciembre de 2008.

A continuación, se presenta una breve descripción de estas cuencas, su hidrografía y principales características de relieve.

### 3.1 Región I de Tarapacá

3.1.1 Río Todosantos: La cuenca del río Todosantos corresponde a una subcuenca cuyos cursos superficiales drenan hacia el este en Bolivia. El sistema al que pertenece es el de la cuenca del lago Coipasa, al igual que el río Lauca, su mayor tributario. Esta subcuenca se encuentra al norte de la cuenca del río Isluga y al sur de la cuenca del salar de Surire, donde el punto de salida para su trazado (donde convergen los flujos delimitados por la superficie definida) se encuentra a poco menos de tres kilómetros al sur de la estancia Carcanchuni en el río Todosantos. Una referencia que puede ayudar de mejor manera a orientarse con este punto, dada la cantidad de estancias en el sector, es la línea que une las cumbres de los cerros Tamachuma y Curamane o Curamaya, a unos pocos kilómetros de la frontera con Chile.

3.1.2 Río Isluga: Esta cuenca usualmente se representa unida a la del río Cariquima ubicada al sur de ésta, dado que ambas son subcuencas del lago Coipasa en Bolivia al igual que otras cuencas del altiplano de las Regiones XV y I. Las aguas de estos ríos se mezclan en la Laguna Mucalliri, donde desembocan

formando deltas que alimentan las vegas previas. El río nace al pie del cerro Alpajeres, donde convergen dos ramas de sus vertientes norte y sur, recibiendo el nombre de Arabilla. De ahí corre en dirección al este con una pequeña tendencia hacia el sur recibiendo algunas quebradas que tributan por el norte desde la ladera del volcán Isluga que da su nombre a la cuenca. Frente a este volcán el río aparece identificado (Cartografía IGM) con el nombre de Isluga y aguas abajo del cerro Perán, entre los volcanes Isluga y Cabarai, se señala con el nombre de río Sitani. Poco antes de cruzar la frontera y desembocar, el río corre cercano a los poblados de Sitani, Colchane y Pisiga. La Laguna Parinacota también es parte del sistema hidrográfico de la cuenca, y se encuentra en la cabecera de ésta, al sur del cerro Alpajeres, drenando el sector más occidental.

- 3.1.3 Río Cariquima: Morfológicamente, esta cuenca aparece como complementaria a la de Isluga, como dos tributarios del Lago Coipasa, aunque están separadas por pequeñas lomas que determinan la independencia de sus escurrimientos hasta su desembocadura. Casi en el centro de la cuenca se encuentra el cerro Cariquima, aguas abajo del cual tienden a juntarse, sin hacerlo, los dos cauces más importantes de la cuenca; por el norte el río Grande – río Cariquima y por el sur el estero Montecarbai – quebrada Seca. Aguas arriba del cerro que da el nombre a esta hoya hidrográfica, los mencionados cursos comparten el drenaje del área de cabecera de la cuenca tomando los aportes de numerosas quebradas. El primer tributario del curso principal nace en la vertiente Puljahua, al pie del cerro Sojalla, y corre hacia el sur hasta pasar el cerro Mesa donde después de rodearlo toma dirección este, al igual que las demás quebradas en esta zona. Después de la confluencia de estas quebradas, a la altura del cerro Cariquima por el norte, recibe otro grupo de afluentes por el norte y toma el nombre de río Grande. Más al este recibe otro afluente septentrional (cerro Saucana), a partir del cual se llama río Cariquima. Al oeste de esta cuenca se encuentra la Pampa del Tamarugal, cuya división corresponde a varios cerros, entre ellos el cordón Alto de Chuncara y los cerros de Quimsachata.
- 3.1.4 Oda. Umo Khauo: Esta cuenca se ubica al sureste de la cuenca de Cariquima, abarcando una pequeña área de drenaje hacia el lago de Coipasa. Una proporción menor de ésta se encuentra en territorio chileno, donde nace la quebrada que da el nombre que se ha puesto a esta subcuenca. En el sur de esta hoya hidrográfica se encuentra la laguna de Livis Khota, que recibe todos sus aportes desde territorio boliviano. Al este y norte de la laguna la pendiente es baja y la zona es húmeda, lo que sustenta algunas vegas que se forman antes de desembocar al Coipasa.
- 3.1.5 Río Cancosa: Es otra de las subcuencas que pertenecen al sistema del Coipasa y se ubica al sur de las cuencas de Cariquima y Umo Kahuo y al este de las

cuenclas de Lagunillas y Huasco. De manera similar a como ocurre a las subcuencas aportantes a este gran sistema, la superficie en territorio chileno es sólo una parte del área total dibujada. La proporción restante se desarrolla en territorio boliviano, donde fue ubicado el punto de salida, en la desembocadura del río Cancosa en el lago Coipasa. Es una subcuenca de gran extensión norte – sur (de unos 80 kilómetros aproximadamente), cuyo límite más septentrional es un ramal que desemboca en la ribera sur del salar de Coipasa. Hasta el límite sur de la cuenca de Cariquima, entre los cerros Picavilque y Alto Toroni, la cuenca se desarrolla al este de la frontera. Lo mismo ocurre a partir de la línea que une a los cerros Piga y Challacollo (Hitos XLV y XLVIII) al sur, donde la superficie de la cuenca se encuentra en Bolivia, definiendo la frontera. En el tramo central, al este de la cuenca de Laguna Lagunillas y de la parte norte de la del Salar de Huasco, la cuenca del río Cancosa se desarrolla en ambos países en proporciones similares. El río Cancosa se forma en las proximidades del pueblo del mismo nombre cerca de la frontera chileno – boliviana, a partir de la junta de los ríos Ocacucho, proveniente del noroeste, y del Sacaya, proveniente desde el sur con un mayor aporte de caudal. Aguas abajo del pueblo de Cancosa el río escurre entre bofedales y arenas, en los que va perdiendo parte de su caudal principalmente por efecto de la infiltración. Posteriormente corre encajonado para atravesar la frontera, donde paulatinamente comienza a abrirse nuevamente en una zona de menor pendiente, hasta su desembocadura.

- 3.1.6 Laguna Lagunilla: Esta cuenca se ha considerado usualmente como parte de la cuenca del salar de Huasco, ubicada al sur, sin embargo, se ha delimitado de acuerdo a la revisión completa de los antecedentes expuestos como una cuenca endorreica independiente, al menos a nivel de superficie. Otros estudios indican que hay evidencia de conexión hidrogeológica entre ambas (S.I.T. N° 51, DGA). La laguna es pequeña, aunque de superficie variable, con una única vertiente superficial proveniente del norte y que la alimenta por su borde oriente (quebrada Talpiguano).
- 3.1.7 Salar del Huasco: Es una cuenca endorreica que se encuentra al este de la localidad de Pica y al oeste del salar de Empexa en Bolivia. En su interior alberga el valle de Collacagua, que tiene por base de equilibrio al salar de Huasco propiamente tal. En el punto denominado El Tojo se juntan los tributarios del río Collacagua, dando origen a este. Por el norte llega la quebrada Chaquina de bajo caudal y pendiente suave, que se asemeja a una larga ciénaga, mientras por el oriente llega el Piga, su principal alimentación, y que nace en los Ojos de Piga, en una zona cubierta de bofedales. A partir de El Tojo, el río Collacagua se desarrolla con baja pendiente en dirección recta al sur, formando en algunos sectores desplantes de aguas bajas cubiertas de algas. Después de recorrer un buen trayecto en esta dirección, unos 15 km,

las aguas se infiltran para alimentar subterráneamente al salar (Niemeyer & Cereceda, 1984). El lecho del río continúa seco y arenoso por otros 10 km hasta desembocar en el salar en época de crecidas. El salar y la laguna son el punto más bajo de la cuenca, donde se produce la acumulación y la evaporación de los recursos hídricos superficiales que descargan tanto el río Collacagua como numerosos manantiales adyacentes al salar. La mayor parte del área ocupada por el salar corresponde a limos y costra salina. Las lagunas superficiales son de un tamaño considerable, de variable extensión y poca profundidad. Algunos importantes estudios relacionados con los recursos hídricos se han realizado en este sector tales como los de JICA (1985), Grilli y Vidal (1986), Niemeyer, H. (1964) y el Convenio de Cooperación establecido entre DGA – UCN – IRD (1999). Una característica que hace particularmente interesante a esta cuenca es que fue declarada como sitio Ramsar (1996), que resguarda específicamente el ecosistema del salar (6.000 ha). La DGA también ha reconocido su importancia al incluirla dentro de los sitios protegidos que otorga el Código de Aguas en algunas áreas con presencia de vegas y bofedales.

- 3.1.8 Quebrada Carcas: Esta quebrada nace en el Cordón Carcanal, que separa las cuencas de los salares de Huasco y de Coposa, y se dirige hacia el este a Bolivia para descargar sus aportes en el sur del salar de Empexa, aportando a la quebrada Carcanal de Istma. De este mismo Cordón descienden numerosas quebradas en territorio chileno, que se activan durante las lluvias, y que son conducidas al mismo punto de la quebrada Carcas, a través de la quebrada de Napa. Esta subcuenca se desarrolla en su mayoría en territorio boliviano, entre el cerro Napa y los cerros Redondo y Huaylla Kahua. El primero de estos se encuentra en la frontera chileno – boliviana, mientras que los otros dos se encuentran en Bolivia. La parte chilena se encuentra en el sur de esta subunidad hidrográfica, al oeste de la línea que une los cerros Huaylla Oriental y Napa, también parte de la frontera entre ambos países.
- 3.1.9 Salar de Coposa: Esta cuenca se encuentra en el extremo sur del altiplano de la I Región, separada de su límite con la Región de Antofagasta por la cuenca del salar de Michincha. Al este se encuentra la cuenca del salar de Empexa (centro - norte) y la de La Laguna (centro – sur), ambas en territorio boliviano. La cuenca tiene una forma alargada en la dirección norte – sur, con una cuña que rompe la simetría hacia el este, tomando los escurrimientos de los cerros Ocaña y Copa. Todo el límite este de la cuenca define también la separación con el país vecino. A la misma latitud de estos cerros se encuentra, en la zona baja de la cuenca, el salar de Coposa propiamente tal, compuesto en gran parte por limos salinos y arenosos. El salar recibe numerosos pequeños tributarios en todo su perímetro, siendo el más importante el llamado quebrada del Pabellón, que nace en la ladera norte del cerro Pabellón

del Inca, dirigiéndose sensiblemente al NNW, hasta desembocar en el extremo sur del salar tras un recorrido poco mayor a 20 km. La laguna principal (Jachucoposa) se encuentra al surponiente del área del salar, sustentando varios bofedales y actividad ganadera desde la época prehispánica.

3.1.10 Salar de Michincha: Esta cuenca es la más meridional de las altiplánicas de la I Región y colinda al sur con la parte alta de la cuenca del río Loa. De la misma manera que la cuenca del salar de Coposa, su límite oriental define la frontera entre Chile y Bolivia. La cuenca es relativamente pequeña en comparación con las de esta Región, ocurriendo de manera proporcional lo mismo con su salar. Debido a estas características, su vulnerabilidad a la explotación resulta ser mayor. De acuerdo a Risacher et al. (1999), la laguna del salar se ha visto afectada por las explotaciones que se han hecho desde el acuífero. Los principales aportes al salar y a la laguna provienen de las quebradas que caen a la Pampa Pabellón y a los Carcanales de Ujina y de Michincha, las que se activan en la estación húmeda. Los cerros de Michincha, Alconcha y Yarbicoyita son las laderas que ofrecen mayor despliegue para los aportes a estos sectores.

## 4 INFORMACIÓN FLUVIOMÉTRICA EN CUENCAS DEL ALTIPLANO

Para una adecuada descripción de los escurrimientos en las cuencas altiplánicas chilenas es necesario contar con un número suficiente de series de caudales a nivel mensual y anual. Sin embargo en algunas cuencas altiplánicas no se cuentan con estaciones fluviométricas provocando que la información disponible en esa zona sea escasa.

Los datos de escurrimientos que se utilizan en los estudios Hidrológicos e Hidrogeológicos son obtenidos a través de la Dirección General de Aguas (DGA). En el Departamento de Hidrología de la DGA está la información histórica a nivel mensual existente en el Banco Nacional de Aguas (BNA).

En el Cuadro N° 2 se incluye el código, nombre, coordenadas de ubicación, altura sobre el nivel del mar y vigencia de las estaciones fluviométricas identificadas al interior del área de estudio e incluidas en las bases de datos del proyecto SITHA. Se observa que en general la información de escurrimientos dentro de las cuencas altiplánicas es escasa.

**Cuadro N° 2:** Estaciones fluviométricas identificadas al interior del área de estudio e incluidas en las bases de datos del proyecto SITHA. Región de Tarapacá.

COD_BNA	NOMBRE	ESTE_84	NORTE_84	ALTITUD	VIGENCIA	SEDIMENTO	REGIMEN HID	ESTUDIO
01610004-8	Q. CAMIÑA 3 KM. A. ARRIBA DE TARCAVIRE	479868	7885897	3694	VIGENTE	NO		I Region
01610001-3	QUEBRADA CAMIÑA EN UMIÑA	464752	7876623	2580	SUSPENDIDA	NO		I Region
01041001-0	RIO CARIQUIMA EN CARIQUIMA	537443	7849026	4000	SUSPENDIDA	NO	Nivo-Pluvial	I Region
01041002-9	RIO ISLUGA EN BOCATOMA	533335	7869011	3744	VIGENTE	NO	Pluvial	I Region
01730009-1	QUEBRADA AROMA EN PALCA	509401	7821327	-99	SUSPENDIDA	NO		I Region
01730004-0	QUEBRADA TARAPACA EN MULLI-MULLI	497145	7818501	-99	SUSPENDIDA	NO		I Region
01044001-7	RIO CANCOSA EN EL TAMBO	543152	7804320	3893	VIGENTE	NO		I Region
01730003-2	RIO COSCAYA EN SAITOCO	507123	7803181	3970	VIGENTE	NO		I Region
01730001-6	RIO COSCAYA EN PAMPA LIRIMA	504068	7801811	3540	SUSPENDIDA	NO		I Region
01050001-K	QUEBRADA PIGA EN OJOS DE AGUA	517225	7784435	-99	SUSPENDIDA	NO		I Region
01050003-6	RIO BATEA EN CONFLUENCIA	517225	7784435	-99	VIGENTE	NO		I Region
01050002-8	RIO PIGA EN COLLACAGUA	517458	7784315	3903	VIGENTE	NO	Pluvial	I Region
01050004-4	RIO COLLACAGUA EN PENABLANCA	516363	7777131	3856	VIGENTE	NO		I Region
01051002-3	VERTIENTE HUASCO NORTE LAG.HUASCO	511976	7756774	3790	VIGENTE	NO		I Region
01051001-5	VERTIENTE EL ERMITANO EN LAG.HUASCO	511541	7756406	3790	VIGENTE	NO		I Region
02113001-K	RIO HUATACONDO EN COPAQUIRE	511691	7685700	3526	VIGENTE	NO		I Region

Fuente: LEVANTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE NUEVAS FUENTES DE AGUA EN ÁREAS PRIORITARIAS DE LA ZONA NORTE DE CHILE, REGIONES XV, I, II Y III. ETAPA 1. INFORME FINAL PARTE I. Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile. S.I.T. N° 157. Diciembre de 2008.

La información recopilada y sistematizada durante el estudio permitió generar bases de datos de caudales medios mensuales y las curvas de variación estacional para distintas probabilidades de excedencia, los cuales se incluyen en el Cuadro N° 3 siguiente y Figura N° 1.

**Cuadro N° 3:** Caudales Medios Mensuales (m<sup>3</sup>/s) en las estaciones fluviométricas de la región de Tarapacá.

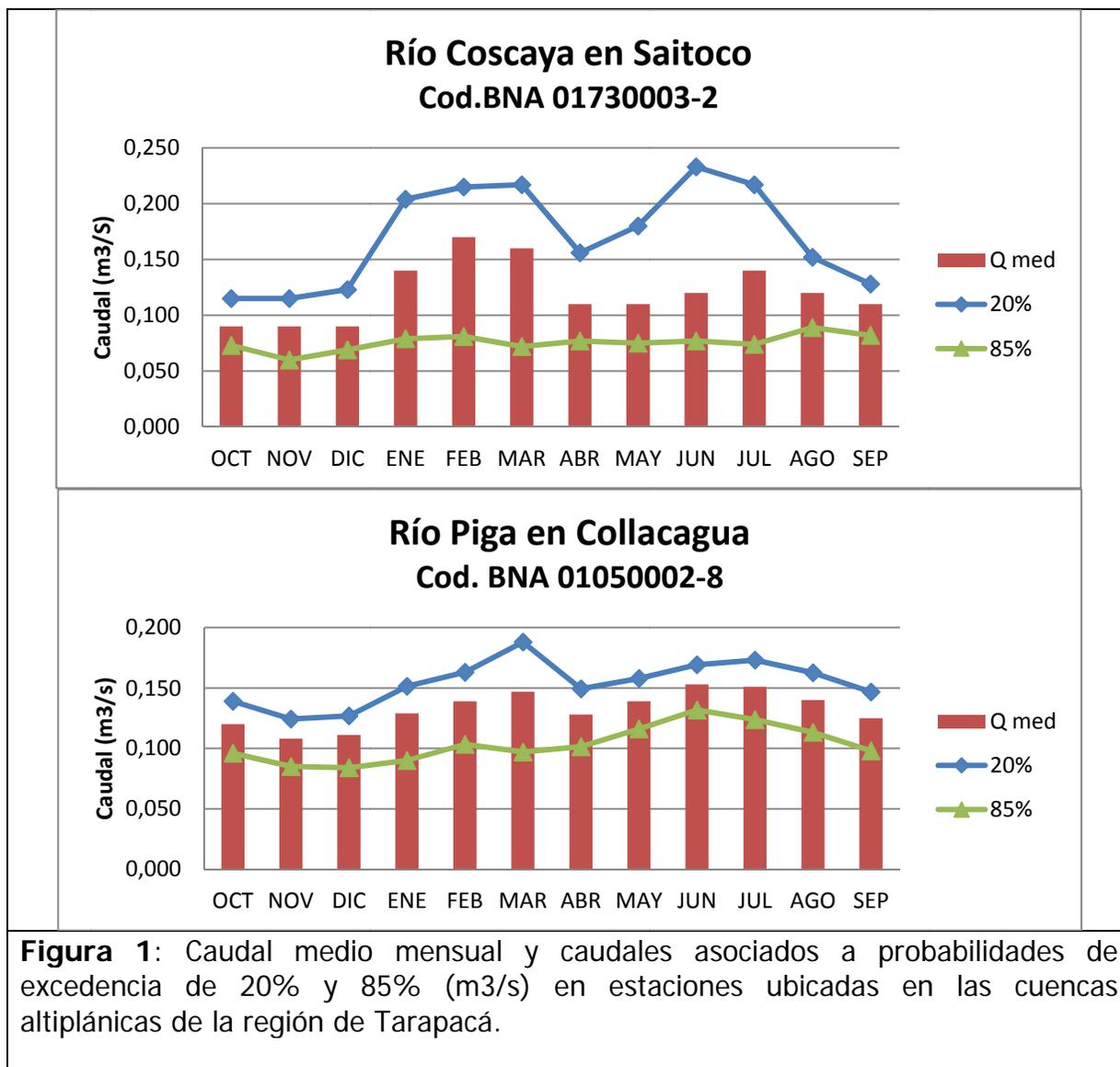
COD_BNA	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
01610004-8													
01610001-3													
01041001-0	0,070	0,070	0,060	0,100	0,080	0,090	0,120	0,140	0,110	0,110	0,120	0,110	0,098
01041002-9	0,480	0,490	0,470	0,500	0,560	0,500	0,470	0,480	0,530	0,560	0,510	0,480	0,503
01730009-1													
01730004-0	0,090	0,060	0,110	0,340	0,330	0,180	0,240	0,270	0,350	0,360	0,280	0,280	0,241
01044001-7	0,160	0,150	0,160	0,230	0,320	0,280	0,170	0,220	0,260	0,280	0,290	0,210	0,228
01730003-2	0,090	0,090	0,090	0,140	0,170	0,160	0,110	0,110	0,120	0,140	0,120	0,110	0,121
01730001-6	0,130	0,120	0,110	0,190	0,240	0,200	0,170	0,170	0,170	0,170	0,150	0,150	0,164
01050001-K													
01050003-6	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
01050002-8	0,120	0,108	0,111	0,129	0,139	0,147	0,128	0,139	0,153	0,151	0,140	0,125	0,132
01050004-4	0,200	0,150	0,200	0,160	0,170	0,180	0,160	0,210	0,250	0,220	0,210	0,210	0,193
01051002-3													
01051001-5													
02113001-K	0,020	0,020	0,010	0,020	0,030	0,070	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,024

Fuente: LEVANTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE NUEVAS FUENTES DE AGUA EN ÁREAS PRIORITARIAS DE LA ZONA NORTE DE CHILE, REGIONES XV, I, II Y III. ETAPA 1. INFORME FINAL PARTE I. Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile. S.I.T. N° 157. Diciembre de 2008.

Análisis Estadístico de Caudales en los Ríos de Chile. DGA - Departamento de Hidrología. Volumen I, Bf Ingenieros Civiles, DGA, 1992.

En la Figura N° 1, se presenta los caudales medios mensuales junto con las probabilidades de excedencia del 20% y 85% para algunas estaciones ubicadas al interior de las cuencas altiplánicas. En el Anexo II se presenta la información de caudales para distintas probabilidades de excedencia, la cual fue asociada en forma de fichas pdf a la cobertura de estaciones fluviométricas incluida en el visualizador de mapas del SITHA.

De esta información se tiene que los caudales medios anuales de escurrimientos al interior de las cuencas altiplánicas varían entre 0,02 y 2,93 m<sup>3</sup>/s mostrando gran estabilidad interanual. Sin embargo algunas series muestran la presencia de crecidas esporádicas, en las cuales se observan dos o tres meses con valores de caudal que superan el promedio anual. Generalmente, estos meses corresponden a febrero y marzo.



## 5 INFORMACIÓN DE CALIDAD DE AGUAS EN CUENCAS DEL ALTIPLANO

Dado que la calidad de las aguas es tan importante como la cantidad de ésta, tanto para el riego como para el consumo humano y animal, la DGA tiene una red de calidad de aguas cuyo fin es poder caracterizar las aguas superficiales desde el punto de vista físico-químico. Debido a que esta red de medición de calidad está orientada a proveer información de carácter general, esta no permite la completa detección y vigilancia de problemas de contaminación existentes. En el Cuadro N° 4 siguiente se incluye el listado de las estaciones de calidad de aguas de la Dirección General Agua que están dentro del área de estudio.

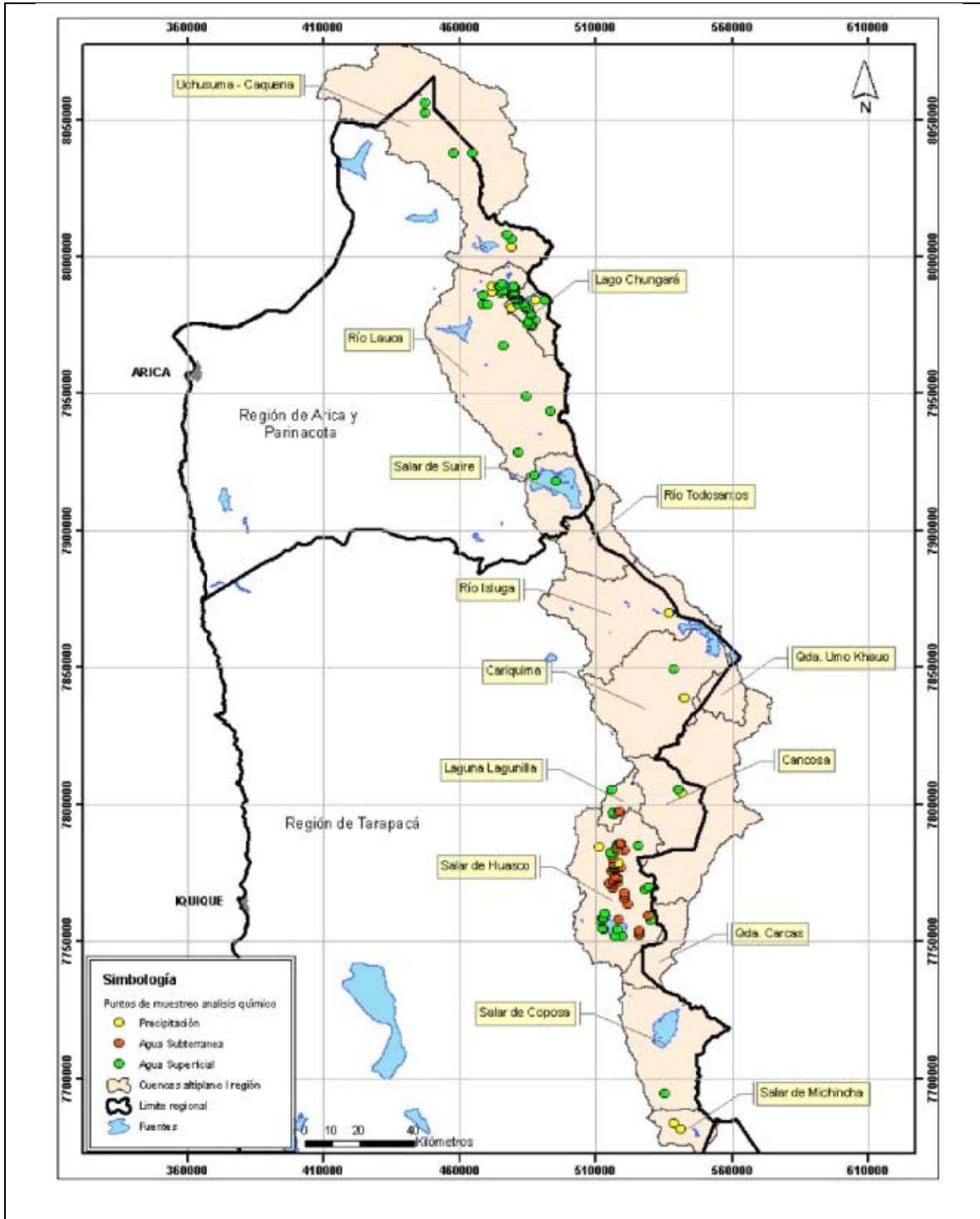
**Cuadro N° 4:** Estaciones de calidad de aguas identificadas al interior del área de estudio, en la región de Tarapacá, e incluidas en las bases de datos del proyecto SITHA.

COBNA	NOMBRE	ESTE_84	NORTE_84	VIGENCIA	TIPO	ESTUDIO
02113001-K	Río Guatacondo En Copaquire	511691	7685700	Vigente	Superficial	I Region
01070001-9	Vertiente Coposa	531041	7714327	Suspendida	Superficial	I Region
01051001-5	Vertiente El Ermitaño En Laguna Huas	511541	7756406	Suspendida	Superficial	I Region
01051002-3	Vertiente Huasco Norte Laguna Huasco	511976	7756774	Suspendida	Superficial	I Region
01050004-4	Río Collacagua En Peñablanca	516363	7777131	Vigente	Superficial	I Region
01050002-8	Río Piga En Collagua	517458	7784315	Vigente	Superficial	I Region
01050006-0	Vertiente Lagunilla	513747	7795504	Suspendida	Superficial	I Region
01730001-6	Río Coscaya En Pampa Lirima	504068	7801811	Suspendida	Superficial	I Region
01730003-2	Río Coscaya En Saitoco	507123	7803181	Vigente	Superficial	I Region
01044001-7	Río Cancosa En El Tambo	543152	7804320	Vigente	Superficial	I Region
01730010-5	Río Coscaya En Mosquito De Oro	495868	7804513	Suspendida	Superficial	I Region
01730013-K	Vertiente Chaiviri N 1	510265	7806573	Suspendida	Superficial	I Region
01730014-8	Vertiente Chaiviri N 2	510265	7806573	Suspendida	Superficial	I Region
01041001-0	Río Cariquima En Cariquima	537443	7849026	Vigente	Superficial	I Region
01041002-9	Río Isluga En Bocatoma	533335	7869011	Vigente	Superficial	I Region

Fuente: DGA

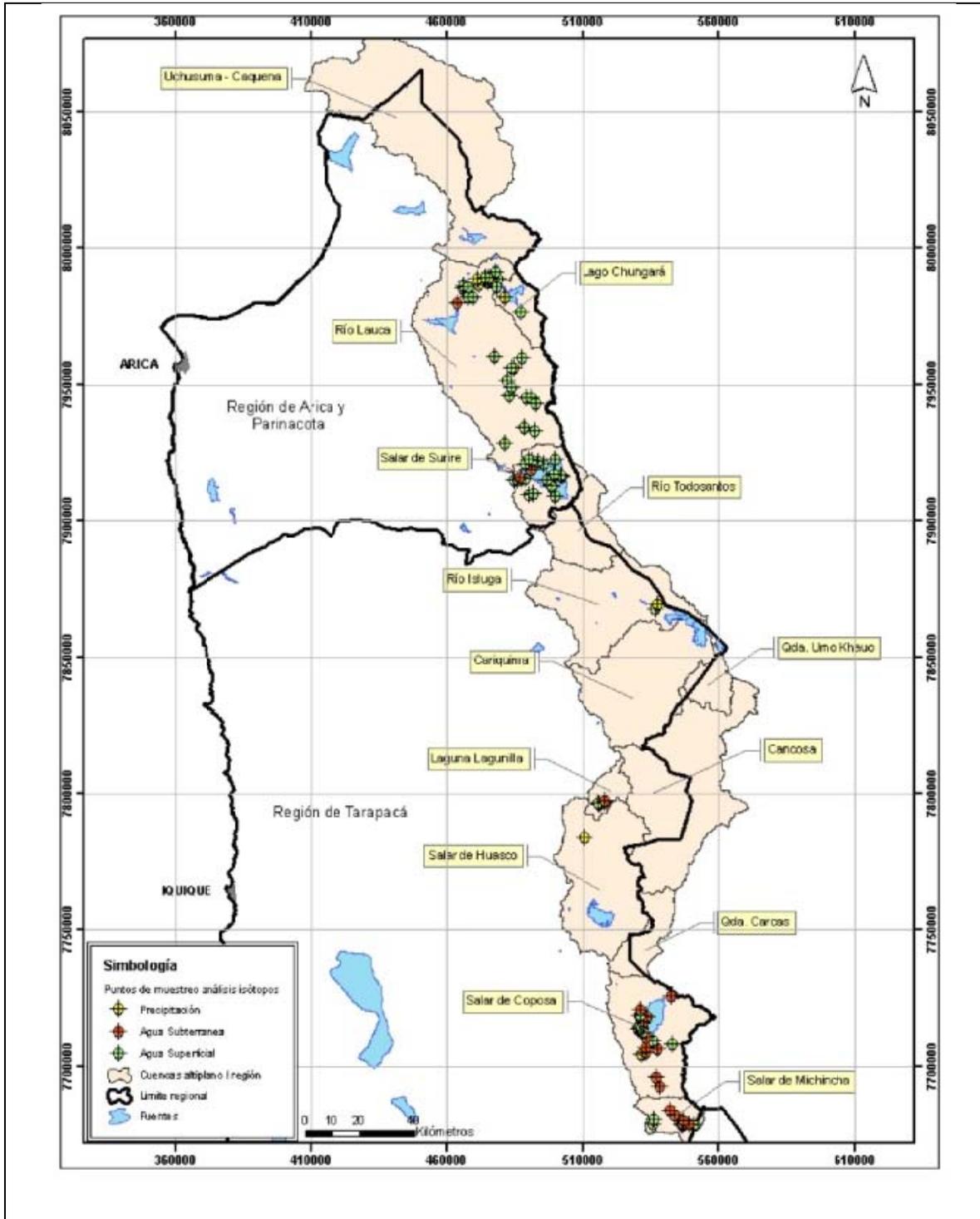
De acuerdo a lo anterior, durante el desarrollo de este estudio se recopiló y sistematizó en la biblioteca digital del SITHA, la información de calidad de aguas generada en diferentes proyectos de instituciones públicas o que se encuentra documentada en informes técnicos sobre el altiplano del área de estudio. La información recopilada se analizó e ingresó a base de datos a fin de poder efectuar una caracterización físico-química de las aguas, tanto subterráneas como superficiales. En las Figura N° 4 y Figura N° 5 siguiente se incluye los puntos que cuentan con información química e isotópica en el área de estudio de la región de Arica y Parinacota.

En las bases de datos de calidad de aguas se tiene información de las composiciones químicas presentes en las aguas, los elementos con mayor presencia, su variabilidad temporal y la calidad de las mismas de acuerdo a las normas chilenas de calidad de aguas vigentes (NCh 409/1, NCh 1333). En la Figura N° 6 y Figura N° 7 se incluyen los puntos de muestreo de aguas que cumplen con la calidad de las mismas, de acuerdo a las normas chilenas de agua potable (Nch409/1.Of.2005) y para el uso de riego (Nch1333.Of78).



**Figura N° 4:** Puntos que cuentan con información química. Regiones de Arica y Parinacota y Tarapacá.

Fuente: LEVANTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE NUEVAS FUENTES DE AGUA EN ÁREAS PRIORITARIAS DE LA ZONA NORTE DE CHILE, REGIONES XV, I, II Y III. ETAPA 1. INFORME FINAL Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile. DGA S.I.T. N° 195. Diciembre de 2009.



**Figura N° 5:** Puntos que cuentan con información isotópica. Regiones de Arica y Parinacota y Tarapacá.

Fuente: LEVANTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE NUEVAS FUENTES DE AGUA EN ÁREAS PRIORITARIAS DE LA ZONA NORTE DE CHILE, REGIONES XV, I, II Y III. ETAPA 1. INFORME FINAL Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopia Regional del Altiplano de Chile. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile. DGA S.I.T. N° 195. Diciembre de 2009.

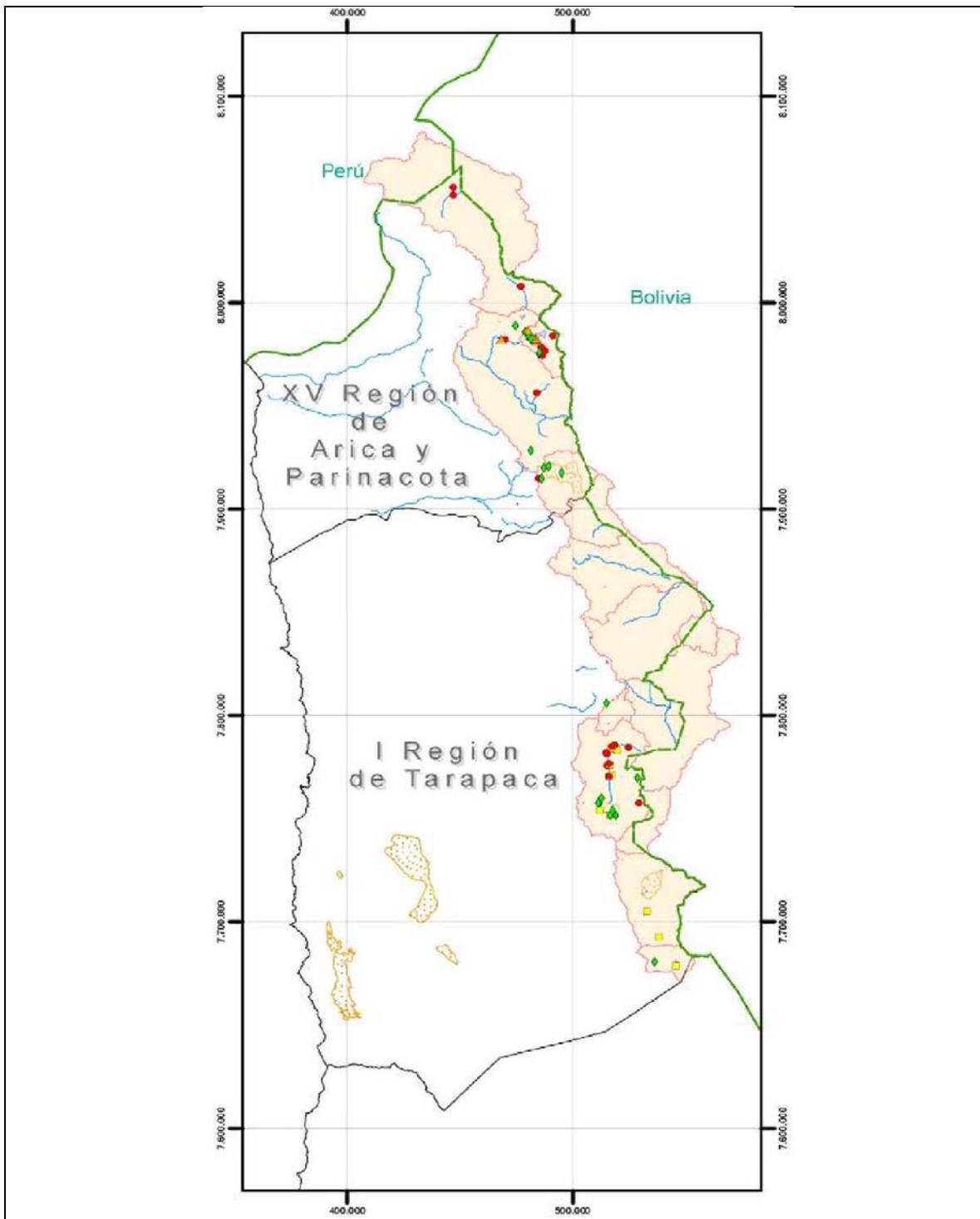


Figura N° 6: Puntos de muestreo de aguas que cumplen con la NCh 409. Regiones de Arica y Parinacota y Tarapacá.

Fuente: LEVANTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE NUEVAS FUENTES DE AGUA EN ÁREAS PRIORITARIAS DE LA ZONA NORTE DE CHILE, REGIONES XV, I, II Y III. ETAPA 1. INFORME FINAL Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopia Regional del Altiplano de Chile. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile. DGA S.I.T. N° 195. Diciembre de 2009.

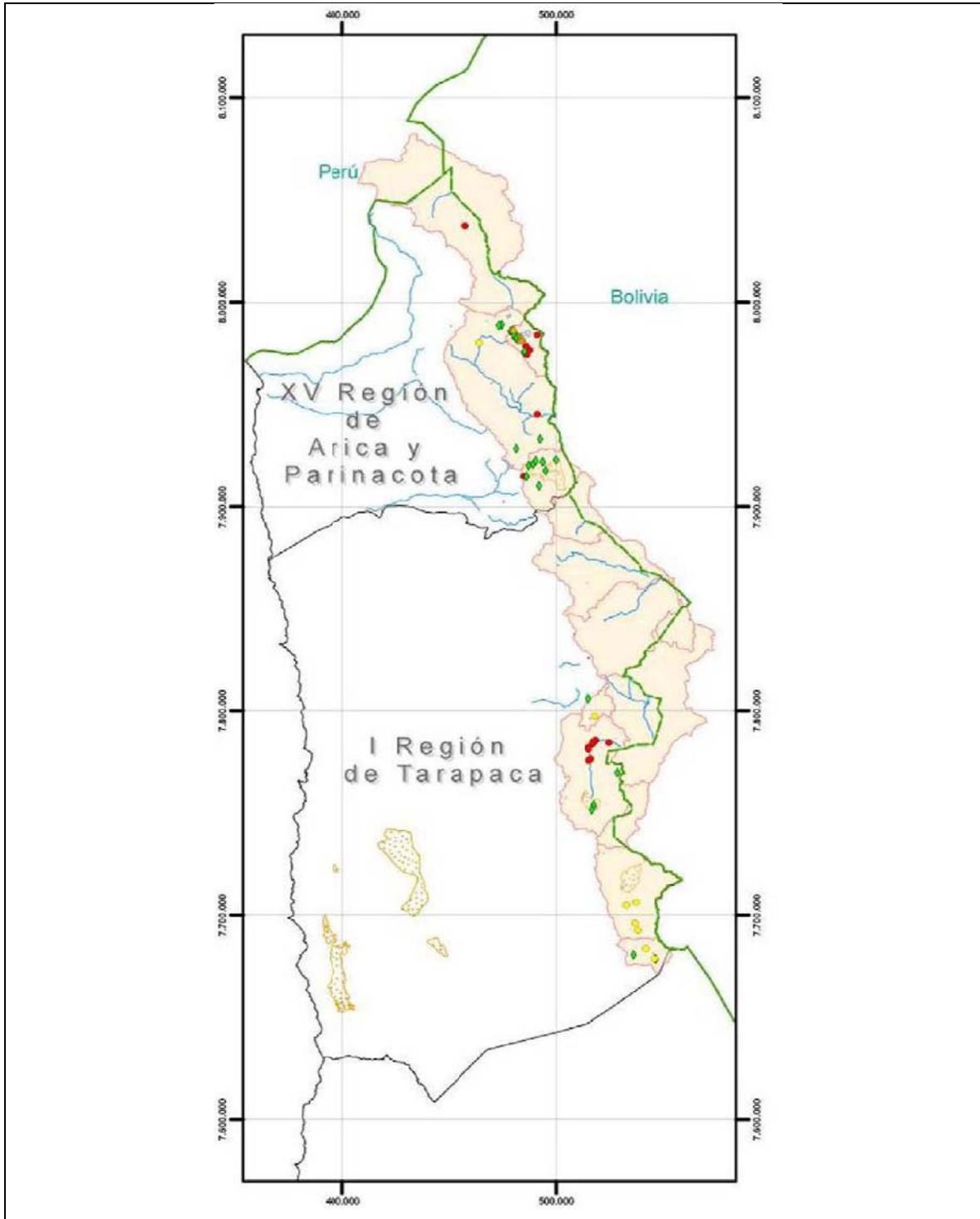


Figura N° 7: Puntos de muestreo de aguas que cumplen con la NCh 1333. Regiones de Arica y Parinacota y Tarapacá.

Fuente: LEVANTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO PARA EL DESARROLLO DE NUEVAS FUENTES DE AGUA EN ÁREAS PRIORITARIAS DE LA ZONA NORTE DE CHILE, REGIONES XV, I, II Y III. ETAPA 1. INFORME FINAL Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopia Regional del Altiplano de Chile. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile. DGA S.I.T. N° 195. Diciembre de 2009.

Es importante señalar que este análisis no busca comprobar la aptitud de las aguas para esos usos, sino solamente evaluar las calidades naturales de las aguas con criterios conocidos por el público en general.

**Anexo I**  
**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**  
**VARIABLE TEMÁTICA DE RECURSOS**  
**HÍDRICOS**

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA RECURSOS HÍDRICOS ABSTRACTS

En este documento se presenta un resumen de algunos documentos, en el tema de Recursos Hídricos” del área de estudio, que fueron analizados y sistematizados en la Colección Digital de Humedales y que no estaban incluidos y/o analizados, en las otras colecciones de la biblioteca digital de CIREN, como por ejemplo de la DGA, CNR o la propia de Humedales realizada para la II Región de Antofagasta. Los documentos que se resumen a continuación, se pueden encontrar en el siguiente link: <http://bibliotecadigital.ciren.cl/gsdlexterna/cgi-bin/library.exe?site=localhost&a=p&p=about&c=humedale&w=utf-8>

1. **Análisis Estadístico de Caudales en los Ríos de Chile. DGA - Departamento de Hidrología.** Volumen I, Bf Ingenieros Civiles, DGA, 1992.

El estudio se orientó al establecimiento de series homogéneas y consistentes de caudales medios mensuales en estaciones fluviométricas localizadas a lo largo del país, y al procesamiento de dichas series, con el fin de determinar para cada una, sus indicadores estadísticos (valores medios, desviación estándar, coeficiente de variación, coeficiente de asimetría y valores extremos), sus curvas de duración general y las curvas de variación estacional asociadas a los caudales medios mensuales. Sobre la base de estos resultados, se efectuó una clasificación de los cauces analizados de acuerdo a los regímenes hidrológicos. El Volumen I incluye las estaciones fluviométricas seleccionadas por la DGA en la I región. El análisis estadístico es de 30 años entre los años hidrológicos 1960/1961 a 1989/1990.

2. **Análisis Estadístico de Caudales en los Ríos de Chile. DGA - Departamento de Hidrología.** Volumen II, Bf Ingenieros Civiles, DGA, 1992.

El estudio se orientó al establecimiento de series homogéneas y consistentes de caudales medios mensuales en estaciones fluviométricas localizadas a lo largo del país, y al procesamiento de dichas series, con el fin de determinar para cada una, sus indicadores estadísticos (valores medios, desviación estándar, coeficiente de variación, coeficiente de asimetría y valores extremos), sus curvas de duración general y las curvas de variación estacional asociadas a los caudales medios mensuales. Sobre la base de estos resultados, se efectuó una clasificación de los cauces analizados de acuerdo a los regímenes hidrológicos. El Volumen II incluye las estaciones pluviométricas seleccionadas por la DGA en las II, III y IV regiones. El análisis estadístico es de 40 años entre los años hidrológicos 1950/1951 a 1989/1990.

3. **Análisis Redes de Vigilancia Calidad Aguas Terrestres Estadística Hidroquímica Nacional. Etapa I. Primera Región. Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos – DGA.** Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. 1994.

Dado que la calidad de las aguas es tan importante como la cantidad de ésta, tanto para el riego como para el consumo humano y animal, la DGA tiene una red de calidad de aguas con el fin de caracterizar las aguas superficiales en todo el país desde el punto de vista físico-químico. Debido a que la red de calidad de aguas está orientada a proveer información de carácter general, es que no permite la completa detección y vigilancia de problemas de contaminación existentes. El estudio efectuó el ordenamiento y procesamiento de toda la información de calidad de aguas, disponible en el Banco Nacional de Aguas y en el

Laboratorio Ambiental de la DGA, desde 1980 hasta 1994. Representó gráficamente la estadística hidroquímica nacional, con el objeto de apreciar en forma rápida y clara las características físico-químicas de las aguas superficiales.

4. **Análisis Redes de Vigilancia Calidad Aguas Terrestres Estadística Hidroquímica Nacional. Etapa I. Segunda Región. Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos – DGA. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. 1994.**

Dado que la calidad de las aguas es tan importante como la cantidad de ésta, tanto para el riego como para el consumo humano y animal, la DGA tiene una red de calidad de aguas con el fin de caracterizar las aguas superficiales en todo el país desde el punto de vista físico-químico. Debido a que la red de calidad de aguas está orientada a proveer información de carácter general, es que no permite la completa detección y vigilancia de problemas de contaminación existentes. El estudio efectuó el ordenamiento y procesamiento de toda la información de calidad de aguas, disponible en el Banco Nacional de Aguas y en el Laboratorio Ambiental de la DGA, desde 1980 hasta 1994. Representó gráficamente la estadística hidroquímica nacional, con el objeto de apreciar en forma rápida y clara las características físico-químicas de las aguas superficiales.

5. **Análisis Redes de Vigilancia Calidad Aguas Terrestres Estadística Hidroquímica Nacional. Etapa I. Tercera Región. Departamento de Conservación y Protección de Recursos Hídricos – DGA. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. 1994.**

Dado que la calidad de las aguas es tan importante como la cantidad de ésta, tanto para el riego como para el consumo humano y animal, la DGA tiene una red de calidad de aguas con el fin de caracterizar las aguas superficiales en todo el país desde el punto de vista físico-químico. Debido a que la red de calidad de aguas está orientada a proveer información de carácter general, es que no permite la completa detección y vigilancia de problemas de contaminación existentes. El estudio efectuó el ordenamiento y procesamiento de toda la información de calidad de aguas, disponible en el Banco Nacional de Aguas y en el Laboratorio Ambiental de la DGA, desde 1980 hasta 1994. Representó gráficamente la estadística hidroquímica nacional, con el objeto de apreciar en forma rápida y clara las características físico-químicas de las aguas superficiales.

6. **Análisis de Eventos Hidrometeorológicos Extremos en el País. Caudales Máximos y Mínimos. Volumen I, Volumen II, Volumen III y Volumen IV. Departamento de Estudios y Planificación. DGA. AC Ingenieros Consultores Ltda. 1995.**

El objetivo de este estudio es mejorar la estimación de caudales extremos del país en cuencas que poseen escasa o nula información pluviométrica mediante el empleo de fórmulas o procedimientos sencillos pero confiables que puedan ser aplicadas con facilidad en el diseño de obras hidráulicas de pequeña a mediana envergadura.

7. **Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile. Volumen I: Regiones I, II, III y IV. DGA. IPLA Ltda., 1996.**

El estudio consiste en una evaluación de las demandas actuales y futuras de los recursos hídricos en todas las cuencas del país y subcuencas principales.

8. **Delimitación de Acuíferos de Vegas y Bofedales de las Regiones de Tarapacá y Antofagasta, DGA 1996. Vol. 1: Estudio y Vol.2: Cartografía.**

Estudio con fines de protección y conservación de estos humedales, mediante la prohibición de explorar o explotar los recursos subterráneos que los sostienen, en consideración a que

tales humedales representan por si mismos ecosistemas únicos que además sustentan especies altamente frágiles tanto en aves como en otras especies.

De acuerdo al Código de Aguas. Artículos Nros. 58 y 63. Art. N° 58, inciso 3: “No se podrán efectuar exploraciones en terrenos públicos o privados de zonas que alimenten áreas de vegas y de los llamados bofedales, en las Regiones de Tarapacá y de Antofagasta, sino con autorización fundada de la Dirección General de Aguas, la que previamente deberá identificar y delimitar dichas zonas”. Art. N° 63, inciso 2: “Las zonas que correspondan a acuíferos que alimenten vegas y bofedales de las Regiones de Tarapacá y Antofagasta se entenderán prohibidas para mayores extracciones que las autorizadas, así como para nuevas explotaciones, sin necesidad de declaración expresa. La Dirección General de Aguas deberá previamente identificar y delimitar dichas zonas”.

Delimitación de los acuíferos que alimentan las áreas de vegas y bofedales de las regiones de Tarapacá y Antofagasta, sobre la base de un fuerte trabajo de terreno a partir del cual se identifican los límites de las unidades hidrogeológicas que sustentan los humedales referidos.

La delimitación se desarrolla sobre la base de la información recopilada y a partir de inspecciones oculares de terreno.

Como resultado se obtiene un conjunto de mapas donde se ubican las áreas delimitadas e información digital de utilidad para el análisis de solicitudes relativas a aguas subterráneas por parte de la DGA.

**9. Resolución DGA N° 909, del 28 de Noviembre de 1996.**

Identifica y delimita las zonas que corresponden a los acuíferos que alimentan áreas de vegas y de los llamados bofedales en las regiones de Tarapacá y de Antofagasta, con el propósito de resolver fundadamente solicitudes de autorización de exploraciones de aguas subterráneas en dichas zonas, como de entender dichas áreas como zonas de prohibición para mayores extracciones que las ya autorizadas o para la constitución de nuevos derechos de aprovechamiento respecto de ellas.

**10. Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas I, II y III Regiones, Chile. Síntesis. Convenio Cooperación DGA-UCN-ORSTOM. 1998.**

Se estudia la química de aguas de 53 cuencas cerradas de la Cordillera. Se inventariaron todos los manantiales que se vierten en las cuencas cerradas para tener una idea preliminar de la calidad química de las aguas subterráneas en las partes más altas de la cuenca de drenaje.

**11. Estimación de Requerimientos Hídricos de Humedales del Norte de Chile. DGA, 2001.**

El objetivo es avanzar en la estimación de los requerimientos hídricos de los sistemas de humedales en la zona altiplánica chilena. Bofedal de Isluga y Bofedal de Chungará.

**12. Actualización y delimitación de acuíferos que alimentan vegas y bofedales, cuenca del río Caquena, región de Tarapacá. DGA, 2003.**

Este estudio se refiere a una actualización de la delimitación de acuíferos que alimentan vegas y bofedales en la I región, en el sentido de proteger el sector del Bofedal de Caquena el cual se ubica en la zona altiplánica de dicha región, que no fue incluido en la lista de acuíferos protegidos que alimentan vegas y bofedales en la I y II regiones, resolución DGA N° 909 del año 1996.

**13. Protección de Vegas II Región, Identificación Preliminar. DGA, 2004.**

Análisis preliminar, consistente básicamente en identificar las nuevas vegas propuestas por Conadi, en el sentido de verificar si éstas ya fueron en alguna forma vistas en el estudio del

año 2001 o están protegidas por la Resolución DGA N° 529 del 2003, y de ubicarlas geográficamente para ver su factibilidad de acceso y tiempos necesarios para visitarlas.

- 14. Recursos Hídricos y Desarrollo socioeconómico en zonas áridas: Importancia y Perspectivas de Nuevas Tecnologías Aplicadas al Tratamiento de Aguas Naturales y/o Residuales.** Dra. Lorena Cornejo Ponce Departamento de Química - Facultad de Ciencias Convenio de Desempeño UTA – MINEDUC Universidad de Tarapacá Arica, Chilelorenacp@uta.cl. 2009.

Desarrollo de una tecnología innovadora que provea de manera eficiente agua segura y desinfectada a escala domiciliaria perfectamente operable por los miembros de la familia rural. Se demostró que es posible usar la energía solar para desinfectar y descontaminar aguas naturales y habilitarlas para el consumo humano. La irradiación ultravioleta presente en el espectro solar permite un método muy sencillo para neutralizar patógenos del agua en sistemas cerrados, tales como el uso de botellas de polietileno, dado que se ha demostrado que es capaz de destruir el ADN de los patógenos y evitar su reproducción.

- 15. Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua Según Objetivos de Calidad, Cuenca Quebrada de Tarapacá.** Cade Idepe - Diciembre 2004. DGA.

La quebrada de Tarapacá, ubicada en la I Región de Tarapacá, nace en la altacordillera en la confluencia de dos quebradas, y corresponde al curso de agua superficial más importante de la pampa del Tamarugal. En su larga trayectoria recibe tributarios habitualmente secos o efímeros. El más importante por la ribera derecha es la quebrada de Chusmisa, donde se encuentran los baños termales y se ha industrializado el agua de vertiente que es de consumo habitual en todo el extremo norte de Chile. Por el lado izquierdo, el afluente principal es la quebrada de Coscaya, que tiene cabeceras enraizadas en la alta cordillera y drena la pampa Lirima. Los cauces incluidos en el estudio son los siguientes:

- Quebrada de Tarapacá
- Quebrada de Coscaya

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

- La calidad natural de la cuenca de las quebradas que componen la Qda. Tarapacá varía de buena a mala, observándose principalmente gran concentración de metales e iones.
- La calidad natural de los tributarios de la parte alta de la cuenca, presentan gran cantidad de metales, los que son de origen natural (litología, edafología, etc.)
- La existencia de franja metalogénicas F-6 es una gran modificadora de la calidad natural en la cuenca, en lo referente a metales.
- La edafología interviene de manera considerable en las características de salinidad de las aguas.
- La alta radiación solar contribuye de manera activa a los fenómenos de concentración
- El régimen de esta cuenca es discontinuo, por lo que los resultados de calidad son muy dependientes de la época en que se realicen.

En el estudio se tiene: Análisis de Información Fluviométrica, Análisis de la Calidad de Agua y Caracterización de la Calidad de Agua a Nivel de la Cuenca.

- 16. Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua Según Objetivos de Calidad, Cuenca del Río Lluta.** Cade Idepe - Diciembre 2004. DGA.

La cuenca hidrográfica del Río Lluta está ubicada en la I Región de Tarapacá, y se extiende entre los paralelos 18°- 18°30' latitud sur y meridianos 70°20' - 69°22' longitud oeste. Abarca una superficie de 3.378 km<sup>2</sup>. Cubre parcialmente el territorio de las Provincias de Parinacota y Arica, siendo el poblado más importante, la localidad de Putre. El Río Lluta tiene una longitud de 147 km, siendo sus principales tributarios el Río Azufre y las Quebradas de Caracarani, Colpitas y Socoroma. El río presenta escurrimiento exorreico permanente y su cuenca se clasifica como preandina. La cuenca se caracteriza por la escasez de precipitaciones y, por tanto, la totalidad de sus suelos están desprovistos de vegetación a excepción del sector bajo del valle donde el uso del suelo es agrícola. Los cauces seleccionados para el estudio son:

- Río Lluta
- Quebrada Colpitas
- Quebrada Caracarani

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

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

La parte alta de la cuenca está influenciada fuertemente por los factores volcánicos y los salares que adicionan contenido de metales e inorgánicos. • La parte media y baja está influenciada por los efectos del suelo salino dado por la alta concentración de nitrato de sodio y otros compuestos en la cuenca.

- Como conclusión general puede afirmarse que el río Lluta y sus tributarios principales tiene una contaminación predominantemente de origen natural en que predominan altos valores de Boro, Arsénico, compuestos inorgánicos y metales debido a la presencia de salares, suelos salinos y bajas precipitaciones que no le permiten una dilución de los contaminantes aguas abajo concentrándose debido a la alta evaporación sufrida en el segmento.

En el estudio se tiene: Análisis de Información Fluviométrica, Análisis de la Calidad de Agua y Caracterización de la Calidad de Agua a Nivel de la Cuenca.

17. **Actualización Recursos Hídricos para Reestablecimiento de Derechos Ancestrales Indígenas I y II Regiones.** DGA Septiembre 2001. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. Ingenieros Consultores.

Recopilación de información primaria y secundaria relativos a la situación del uso del agua en las comunidades Aymaras y Atacameñas de la I y II regiones, tales como: situación de los pueblos aymaras y atacameños y su relación con el agua; antecedentes hidrológicos (pluviometría y pluviometría en los sectores de interés); aguas subterráneas (geología, geofísica, hidrogeología y catastro de captaciones de agua subterránea); antecedentes geográficos, demográficos, productivos y socioeconómicos disponibles; uso del suelo; derechos de aguas; catastro de usuarios en zonas de interés; obras de aprovechamiento de aguas y recursos hídricos; y cartografía de los distintos temas.

18. **Metodología para la Estimación de Recarga de Cuencas Altiplánicas y Precordilleranas de Vertiente Pacífica en el Norte de Chile, XV, I, II y III Regiones.** DGA Diciembre de 2010. GCF INGENIEROS LIMITADA.

El objetivo de este estudio fue desarrollar una metodología que permita la estimación de recargas en cuencas con influencia altiplánica de la zona norte de Chile, comprendidas entre las Regiones XV y III.

El método elaborado se basa en un balance hídrico, que considera, además de la recarga, la variable precipitación líquida y sólida, almacenamiento de nieves y derretimiento de ésta, evaporación desde cada cuenca, acumulación en acuíferos y afloramientos, y caudales superficiales. Para estos efectos se hace depender el balance hídrico de ciertos coeficientes de evaporación y de permeabilidad o recarga, característicos de cada cuenca, los cuales varían espacialmente, habiéndose calibrado éstos al aplicar la metodología a un total de 25 cuencas a lo largo de la zona de estudio.

Un objetivos secundarios de este estudio fue realizar un análisis de la información hidrometeorológica e hidrogeológica disponible para la zona de estudio, además de la sectorización espacial de ésta de acuerdo con la variación de sus características, para definir zonas homogéneas con distinto comportamiento en cuanto a recargas. En cuanto a lo primero, se trabajó con un período de 40 años entre 1970 y 2009.

Dado que entre las variables que forman parte del sistema hídrico en la zona de interés, la precipitación es de la mayor importancia para la estimación de recargas, se efectuó el análisis de esta variable aplicando métodos que se prestan para representar el comportamiento de variables en que la componente aleatoria es relevante. En efecto, se aplicó un método estocástico multivariado, el cual permitió rellenar y extender las estadísticas mensuales de precipitaciones en 102 estaciones pluviométricas, manteniendo la correlación espacial entre las lluvias en las distintas estaciones, así como las características históricas de las precipitaciones en cada estación. Dada las dificultades que presenta el manejo de precipitaciones en cuencas con influencia altiplánica, se considera que las estadísticas obtenidas son confiables y representativos de la precipitación real en la zona.

A partir de los resultados del análisis pluviométrico, se sectorizó el área de estudio en cuatro zonas homogéneas, caracterizadas por la cantidad de precipitación promedio anual sobre cada una de ellas y por su cota media sobre el nivel medio del mar. Los límites de esta sectorización resultaron ser los siguientes:

- Zona 1: Entre el extremo norte de Chile y hasta antes del extremo norte de la cuenca del Río San José.
- Zona 2: Entre la cuenca del Río San José y la cuenca del Río san Pedro de Atacama.
- Zona 3: Entre el Salar de Atacama y el Salar de Maricunga.
- Zona 4: Entre la cuenca del Río Jorquera y el extremo sur de la III Región.
- 

#### **19. Estimación de Recargas en Cuencas Altiplánicas y Precordilleranas de Vertiente Pacífica.** DGA Septiembre 2011. SIT N° 251. Aquaterra Ingenieros Limitada.

Este estudio tiene por objetivo principal estimar la recarga de agua de las principales cuencas que cumplan con la condición de altiplánicas o de vertiente pacífica. Los objetivos específicos son realizar un análisis crítico de la metodología propuesta, desarrollar un análisis sistemático de la información física disponible (hidrología, geomorfología, hidrogeología, geología y usos) de las cuencas consideradas en el estudio, desarrollar actividades de análisis y de terreno para el ajuste y mejora de la metodología, aplicar la metodología propuesta sobre la base de los antecedentes sistematizados, efectuar balances hídricos de carácter preliminar sobre la base de los antecedentes de derechos y usos que se encuentren disponibles y efectuar un

análisis de validación que considere la coherencia regional y a nivel de cuenca de los resultados obtenidos.

Las cuencas donde se aplicó la metodología son: Río Lluta Alto, Río Lluta Bajo Río Azufre, Río Caquena, Río San José Alto, Río Codpa hasta Cala Cala, Río Camarones Hasta Conanoxa, Quebrada Camiña hasta Altusa, Quebrada de Tarapacá hasta Sibaya, Río Collacagua Hasta Peñablanca (Huasco), Río Piga Hasta Collacagua (Huasco), Río Guatacondo Hasta Copaquire, Río Loa Hasta Lequena, Río Salado y Río Salado Hasta Curti.

Las cuencas en que se determinó balance hídrico son las siguientes: Lauca, Caquena, Isluga, Cariquima, Codpa Alto, Salar del Huasco, Cancosa, Camiña Alto, Maricunga, Pedernales y Negro Francisco.

20. **Propuesta Metodológica para Estimación de Recarga en Cuencas Altiplánicas y de Vertiente Pacífico.** Minuta Técnica DGA 2010. Luis Rojas Badilla, Carlos Salazar Méndez.

En el año 2010 la DGA desarrolló este estudio para estimación de la recarga en la zona altiplánica y cuencas de vertiente pacífico, con el cual se buscó avanzar en la formulación metodológica y en la preparación y sistematización de la información base, hidrológica e hidrogeológica. Este trabajo correspondió a una versión preliminar cuya versión final fue publicada con modificación en el SDT N° 317 de Agosto del 2011.

El modelo conceptual desarrollado tiene una formulación simple, pero su aplicación requirió de antecedentes con un nivel de detalle superior al disponible, en particular, la regionalización de los parámetros no tuvo resultados adecuados para lograr su extensión generalizada.

Debido a la necesidad de contar con una herramienta de aplicación simple y con una precisión razonable, se desarrolló una formulación metodológica que se basó en un modelo simplificado del comportamiento de la escorrentía a nivel regional, orientado a la estimación de la recarga neta en las cuencas del Norte de Chile. El origen de la propuesta metodológica fue el estudio “The Study on The Development of Water Resources in Northern Chile”, JICA, 1995. En dicho trabajo, se intentó relacionar el coeficiente de escorrentía de la cuenca con la precipitación media anual de largo plazo de la cuenca respectiva. Así, la relación que se llegó a establecer fue:

$$Q_s = f \times P \times A \quad P = m \times f + C$$

Donde:  $Q_s$  = Caudal medio superficial de salida o escorrentía total (largo plazo)

$P$  = Precipitación media anual de la cuenca = Recarga

$A$  = Área de la cuenca

$f$  = coeficiente de escorrentía de la cuenca

$m$  y  $C$  = coeficientes de ajuste lineal

La principal dificultad que presenta desarrollar una metodología de aplicación regional para la determinación de la recarga de cuencas altiplánicas consiste básicamente en la poca información disponible. Este trabajo desarrollado por la DGA se dividió en 2 etapas, a saber:

a) Búsqueda de una relación de largo plazo entre la escorrentía total de salida de una cuenca y la precipitación media sobre ésta.

b) Determinación de la recarga neta o efectiva, estimada a partir del comportamiento de los caudales superficiales estacionales de salida de las cuencas, donde los conceptos de caudal base interanual, demandas estacionales máximas y mínimas, períodos interanuales húmedos o secos, flujo pasante subterráneo, etc., son elementos básicos para la fundamentación de la estimación.

21. **Estimación de Recarga en Cuencas Altiplánicas Seleccionadas.** Informe Técnico. División de Estudios y Planificación DGA. SDT N° 317. Agosto de 2011. Luis Rojas Badilla, Carlos Salazar Méndez.

De acuerdo a este estudio, la escasa información disponible ha sido la principal dificultad para desarrollar una metodología que sea de aplicación regional y que determine la recarga de cuencas altiplánicas. Una metodología para estimar recarga puede estar basada en un modelo conceptual muy coherente, sin embargo, si su calibración requiere información no disponible, implícitamente se produce una distorsión de los coeficientes de ajustes, limitando la validez del método al ámbito local.

Consecuentemente, una metodología de trabajo robusta debe incorporar las simplificaciones temporales y espaciales de las variables hidrológicas e hidrogeológicas de mayor importancia, en consistencia con la información disponible, de manera que toda particularidad no cubierta se propague aleatoriamente sobre los resultados. En este sentido, la línea de trabajo fue dirigida desde un principio a nivel regional.

Este trabajo se desarrolló en dos etapas, la primera, enfocada a la búsqueda de una relación de largo plazo entre la escurrentía total de salida y la precipitación media sobre la cuenca, utilizando para ello los datos y cuencas seleccionadas en el estudio del 2010, y del **Balance Hídrico Nacional de 1987**.

La segunda etapa, enfocada a la determinación de una recarga neta o efectiva, estimada a partir del comportamiento de los caudales superficiales estacionales controlados a la salida de las cuencas estudiadas, en donde conceptos como caudal base interanual, demandas estacionales máximas y mínimas, períodos interanuales húmedos o secos, flujo pasante subterráneo, etc., son elementos básicos para la fundamentación de la estimación propuesta.

El trabajo adopta como base el modelo conceptual JICA, complejizándolo con la incorporación de dos nuevas variables, de orden hidrológico e hidrogeológico, analizando su efecto en forma individual e independiente. Estas variables, escogidas entre las de mayor peso sobre la escurrentía total de una cuenca, corresponden a la zonificación de la cuenca de drenaje en función de la geología superficial, y a la desagregación de la relación única P-Et en dos relaciones estacionales (verano e invierno). Cambios con los cuales se pretende mejorar su representatividad y extender el dominio de aplicación, haciéndolo extensivo a todas las cuencas entre la XV y III región del país, localizadas sobre los 1500 msnm.

De acuerdo a lo anterior, la relación entre la precipitación media y la escurrentía total fue formulada en dos relaciones paralelas, es decir, una relación entre la precipitación media anual de invierno y la escurrentía generada por ella, y otra entre la precipitación media anual de verano y su propia escurrentía. Lo anterior basado en que:

- Para un mismo volumen de agua caída en invierno o verano, las condiciones meteorológicas de temperatura, humedad relativa, evaporación y de evapotranspiración, presentan grandes diferencias, determinando diferentes condiciones de infiltración y de escurrimiento.
- El caudal medio de salida de la cuenca (escurrentía total), corresponde a la suma de escurrentía de invierno y verano.

Fundamentos bajo los cuales el modelo de escurrimiento JICA se puede plantear en los siguientes términos:

$$Q_{INV} = f_{inv} * P_{inv} * A$$

$$Q_{VNO} = f_{vno} * P_{vno} * A$$

$$P_{inv} = m1 f1 + C1$$

$$Pvno = m2 f2 + C2$$

$$Qs = QINV + QVNO$$

PINV = Precipitación media anual de invierno

Pvano = Precipitación media anual de verano

QINV = Escorrentía media anual de invierno

QVNO= Escorrentía media anual de verano

finv = Coeficiente de escorrentía de invierno

fvno = Coeficiente de escorrentía de verano

Qs = Caudal medio anual de salida de la cuenca ó escorrentía total (largo plazo)

A = Área de la cuenca

mi y Ci = Coeficientes de ajuste lineal.

El ajuste obtenido entre el caudal medio observado y la escorrentía total estimada resulta ser de muy buena calidad, con una recta del tipo  $y=x$  y un  $r^2=0,92$ .

Por otra parte, la recarga neta o caudal base interanual de salida de la cuenca puede ser estimada, en términos de caudal medio mensual, como el promedio de los mínimos decadales observados entre los meses de junio, julio y agosto. Lo anterior sobre la base que:

- Las precipitaciones de invierno sobre las cuencas seleccionadas de la zona norte son escasas y de bajo monto, y hacia el sur son mayoritariamente sólidas. Por lo que los aportes al escurrimiento durante el invierno son significativamente menores que en verano. Las bajas temperaturas limitan el deshielo de las nieves y la escorrentía de salida se aproxima al caudal base de la cuenca, y períodos de sequía interanual, puede llegar a estar muy cerca de este valor.
- Durante el verano, el caudal base persiste pero es difícil de ser medido, debido a las mayores pérdidas de evaporación y evapotranspiración, que incluso pueden llegar a consumir la totalidad del flujo base en años secos, y/o períodos de sequía interanual.
- Por otra parte, existe consenso en interpretar las series hidrológicas del norte bajo la perspectiva de ciclos hidrológicos decadales, a partir de lo cual resulta razonable estimar el flujo base como el promedio del conjunto de los 4 mínimos decadales observados históricamente.

Conforme a los resultados de este estudio se puede asumir con propiedad que aproximadamente un **40% de la escorrentía total de salida de una cuenca altiplánica corresponde a flujo base o recarga neta de ésta.**

## 22. **Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas Otorgados en la Cuenca del río Copiapó.** DARH-DGA. SDT N° 327. Marzo 2012.

Este estudio tuvo como principal objetivo identificar en forma oficial los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas de tipo consuntivo otorgados en cada sector acuífero de la cuenca del río Copiapó.

Asimismo, se determinó la cantidad de constituciones de derechos de aprovechamiento por año, los caudales otorgados y el volumen total anual otorgado, para cada sector y para el total de la cuenca.

En la parte alta de la cuenca, aguas arriba del embalse Lautaro, 2.187 l/s y 68.967.655 m<sup>3</sup>/año.

## 23. **Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. Etapa 1 Informe Final**

Parte I. Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. DGA S.I.T. N° 157. Diciembre de 2008. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile. Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. • Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Parte VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

El objetivo general del estudio es la implementación de un programa de investigación que permita establecer el estado actual del conocimiento sobre el funcionamiento hidrogeológico de los sistemas altoandinos. La información levantada y analizada fue complementada con trabajos de terreno y gabinete. El estudio considera un análisis a escala regional y otro a nivel local o sistemas pilotos. En ambas escalas de trabajo se abordan, fundamentalmente, aspectos geológicos, hidrológicos, hidrogeoquímicos e hidrogeológicos.

En el marco de este proyecto, en esta primera Etapa Parte I, se trabajó en la definición de las cuencas hidrográficas que se encuentran en la zona del Altiplano y la Puna. Las cuencas hidrográficas delimitadas se emplazan en una franja cordillerana paralela a la línea de costa chilena, desde Visviri (cuenca de ríos Uchusuma y Caquena) hasta la altura de Copiapó (cuenca de la Laguna del Negro Francisco). Las cuencas se trazaron usando Modelos de Elevación Digital (DEM), con el apoyo de coberturas digitales SIG, imágenes satelitales y otros estudios realizados en la zona. En total se delimitaron 87 hoyas hidrográficas en las cuatro Regiones que abarca el estudio. De estas unidades se obtuvo algunas características como área, perímetro, pendiente media y alturas máxima, media y mínima, entre otra. La escala de trabajo es 1:250.000.

- 24. Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. Etapa 1 Informe Final Parte II. Geología Regional del Altiplano de Chile. DGA S.I.T. N° 157. Diciembre de 2008. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile.**

Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. • Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Parte VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

El objetivo general del estudio es la implementación de un programa de investigación que permita establecer el estado actual del conocimiento sobre el funcionamiento hidrogeológico de los sistemas altoandinos. La información levantada y analizada fue complementada con trabajos de terreno y gabinete. El estudio considera un análisis a escala regional y otro a nivel local o sistemas pilotos. En ambas escalas de trabajo se abordan, fundamentalmente, aspectos geológicos, hidrológicos, hidrogeoquímicos e hidrogeológicos.

En las conclusiones de esta parte del proyecto, Etapa I - Parte II, se dice que el Altiplano - Puna configura una gran unidad morfotectónica que representa una cuenca intramontañosa de más de 200 km de largo con una altitud de entre 3.800 (~4.000) a 4.500 m. Esta región de América del Sur se encuentra en el norte de Chile, el centro y sur de Perú, la parte occidental de Bolivia y el noroeste de Argentina. El relleno sedimentario tiene una edad Mesozoica a Cenozoica y alcanza localmente un espesor de 10.000 m. Se encuentra limitada al este y al oeste por enormes cadenas montañosas: Cordilleras Oriental y Occidental, respectivamente. La primera alcanza altitudes de hasta 7.000 m mientras que la segunda alcanza altitudes entre 5.000 y 6.000 m. Se distinguen dos importantes diferencias entre el Altiplano y la Puna (ubicada más al sur). La primera es que la Puna tiene una altura promedio de casi 4.400 m.s.n.m. y es rugosa, mientras que el Altiplano tiene una altura promedio de 3.800 m.s.n.m. y es plano. La segunda diferencia corresponde al límite este de ambas zonas; en el caso del Altiplano, tiene a las Sierras Subandinas, en cambio la Puna tiene las Sierras Pampeanas y el Sistema Santa Bárbara. Estos grupos o unidades difieren por el tipo de cabalgamiento con que se encuentran dispuestas, generado por el tipo de deformación y el volcanismo existente. Más del 90% de las rocas que están expuestas en superficie en el Altiplano-Puna fueron formadas durante la Tercera Etapa del ciclo tectónico Andino y por lo tanto corresponde a una de las

zonas más jóvenes del territorio descrito. Los afloramientos en ambas zonas están compuestos en su mayoría por depósitos volcánicos y en segundo orden por depósitos sedimentarios. El volcanismo Cenozoico del Altiplano y la Puna presentan tres asociaciones temporales y espaciales, las cuales son: (1) Estratovolcanes andesíticos-dacíticos del arco volcánico principal formados en el Mioceno Inferior – Pleistoceno; (2) Depósitos ignimbrítico silicios y lavas que ocurren en el arco volcánico principal y en el trasarco durante el Mioceno Inferior – Plioceno y (3) Pequeños centros volcánicos basálticos formados en el trasarco en el Plioceno – Pleistoceno. El abundante magmatismo silicio es una de las características más importantes de la actividad volcánica Neógena de la zona volcánica de Los Andes Centrales. La concentración Miocena a Pliocena de las calderas que componen el Complejo Volcánico Altiplano-Puna es por lejos una de las más grandes provincias ignimbríticas eruptivas en el mundo. Las grandes ignimbritas del Complejo Volcánico Altiplano-Puna están compuestas por volúmenes eruptivos de varios miles de metros cúbicos y presentan evidencias geoquímicas de poseer una fuente predominantemente cortical. Existen también importantes evidencias dadas por anomalías de velocidades sísmicas y conductividad eléctrica que delimitan una amplia zona de alta temperatura y fusión parcial emplazada hoy en día en la corteza media, bajo la región del plateau Altiplano-Puna. Por ello las ignimbritas son expresiones geológicas de la enorme anomalía termal que existe en la corteza media.

25. **Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. Etapa 1** Informe Final Parte III. Hidrología Regional del Altiplano de Chile. DGA S.I.T. N° 157. Diciembre de 2008. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile. Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. • Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Parte VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

El objetivo general del estudio es la implementación de un programa de investigación que permita establecer el estado actual del conocimiento sobre el funcionamiento hidrogeológico de los sistemas altoandinos. La información levantada y analizada fue complementada con trabajos de terreno y gabinete. El estudio considera un análisis a escala regional y otro a nivel local o sistemas pilotos. En ambas escalas de trabajo se abordan, fundamentalmente, aspectos geológicos, hidrológicos, hidrogeoquímicos e hidrogeológicos.

En esta parte del estudio, Etapa 1 – Parte III, se realizó la caracterización hidrológica a nivel regional de las cuencas altiplánicas chilenas, considerando variables meteorológicas como precipitaciones, temperatura y evaporación de tanque, e hidrológicas como los escurrimientos. Para el análisis se recopilaron series históricas de estas variables a nivel mensual y anual. El análisis de precipitaciones permitió caracterizar la distribución espacial y temporal de las precipitaciones en el altiplano estimando cuantitativamente el aporte de lluvias a las cuencas altiplánicas. Del análisis se observó que se produce un cambio significativo en la precipitación media anual en función de la latitud notándose que en las estaciones ubicadas sobre los 3.000 msnm la cantidad de agua caída de la XV y I Región es mucho mayor que el agua caída en la II Región. En cuanto a la variación de la precipitación media anual con la altura se estableció para la XV y I Región un gradiente de 3,5 mm cada 100 m de altitud entre los 2.000 y 3.000 msnm, el que aumenta a cerca de 20 mm por cada 100 m sobre los 3.000 msnm. Para la II Región se estimó un gradiente de 6 mm cada 100 m de altitud a partir de los 2.250 msnm. Finalmente para la III Región se estimó un gradiente de 1 mm por cada 100 m de altura para el rango de altitudes de 0 a 2.200 msnm, desconociéndose lo que ocurre sobre los 2.200 msnm. Se realizó un análisis estacional de la precipitación media mensual observándose que el 80% de la precipitación anual está concentrada en el período Diciembre – Marzo en las estaciones de la XV y I Región, y casi la totalidad de las ubicadas en la II Región. En cambio el 90% de la precipitación anual ocurre en el período Abril – Noviembre para el resto de las estaciones de la II Región y las de la III Región, siendo este comportamiento similar al que tienen las precipitaciones en la zona central de Chile. Esto indica que la influencia meteorológica del denominado invierno boliviano solo llega hasta la latitud 22° aproximadamente. El análisis temporal de las series anuales de precipitación mostró la presencia de años secos y años húmedos cuyo comportamiento es bastante cíclico entre la XV y II Región con períodos húmedos y secos alternados de duración aproximada 5 años. Las estaciones de la III Región en cambio muestran un comportamiento diferente sin ciclos definidos y años muy secos o muy húmedos, donde los valores máximos alcanzan hasta un 400% encima del valor medio. El análisis espacio-temporal de las precipitaciones mostró que el comportamiento espacial es más uniforme que el temporal, observándose que los años secos y húmedos se presentan simultáneamente en todas las estaciones, especialmente en la XV, I y III Región. En cambio en la III Región este comportamiento es más independiente. Se determinó la dependencia temporal de las series de precipitación a nivel anual y mensual mediante la elaboración de correlogramas. Estos correlogramas mostraron que las series anuales y mensuales son temporalmente independientes. En cuanto a la periodicidad, los correlogramas a nivel mensual mostraron una marcada periodicidad de 12 meses. No se observan periodicidades marcadas a nivel anual. Las curvas de almacenamiento ( $S_n$ ) a nivel anual y mensual de las precipitaciones permitieron observar ciclos de abundancia en lo que la magnitud de agua caída supera consistentemente el promedio, y los de escasez en que los valores no alcanzan el promedio. El análisis de déficit de precipitación respecto a la media de

largo plazo permitió determinar la duración ( $L^*$ ) y magnitud ( $M^*$ ) máximas de las sequías a nivel anual y mensual. A nivel mensual la duración máxima varía entre 10 meses (Parinacota ex Endesa) y 150 meses (Azapa) con magnitudes máximas que se encuentran entre 1,6 mm (Quillagua) y 533,4 mm (Chucuyo Retén). A nivel anual la duración máxima varía entre 3 años (Chungara Reten, Enquelca (ex Caraguano), Putre (DCP), Pampa Lirima, Silala, Conchi Muro Embalse y Sierra Gorda)) y 12 años (Lequena) con magnitudes máximas entre 1,4 mm (Quillagua) y 1158,4 mm (Humapalca). Se caracterizó el comportamiento espacial y temporal de los escurrimientos en la zona en estudio. Los registros de escurrimiento al interior de las cuencas altiplánicas son escasos. De las 52 estaciones de la DGA seleccionadas para el análisis, 21 se ubican al interior de las cuencas, 8 en la XV Región, 6 en la I Región, 7 en la III Región y ninguna en la II Región. Las series anuales de escurrimientos al interior de las cuencas altiplánicas varían entre 0,02 y 2,71 m<sup>3</sup>/s mostrando gran estabilidad interanual. Sin embargo algunas series muestran la presencia de crecidas esporádicas. Las series de gasto medio mensual en las estaciones en las cuencas altiplánicas muestran en general cierta regularidad a lo largo de los meses del año, sin embargo algunas series muestran aumentos de caudal especialmente en los meses de febrero y marzo. El análisis espacio-temporal de las series anuales de caudales mostró que el comportamiento espacial es más uniforme que el temporal, notándose que los años muy húmedos y húmedos tienden a ocurrir simultáneamente en todas las estaciones. Un comportamiento similar se observa en los años secos y muy secos. Los correlogramas de las series anuales y mensuales de escurrimientos en general son temporalmente independientes. Sin embargo, se observan algunas series con memoria larga tales como las registradas en las estaciones Río Batea en Confluencia, Río San Pedro en Parshall N°1 y Río Loa en Conchi, entre otras. En cuanto a la periodicidad, se observa en la mayoría de las estaciones seleccionadas una marcada periodicidad de 12 meses. A nivel anual no es posible observar periodicidades marcadas. Las curvas de almacenamiento ( $S_n$ ) a nivel anual y mensual de los escurrimientos detectan que en general los ciclos de escasez superan los 10 años de duración.

**26. Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. ETAPA 2 Informe Final Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. DGA S.I.T. N° 195. Diciembre de 2009. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile.**

Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. •

Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tepas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Parte VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

En esta parte del estudio, de carácter regional, se generó una base de datos con información sobre la calidad y composición isotópica del agua a partir de los antecedentes disponibles de la Dirección General de Aguas (DGA), complementados con antecedentes bibliográficos especializados y artículos publicados en revistas, congresos y seminarios, tanto nacionales como internacionales, públicos y privados. Con esto se generó un diagnóstico del conocimiento hidrogeoquímico de todo el sector altiplánico en las regiones que abarca el estudio, dando cuenta de los antecedentes disponibles, su confiabilidad y falencias.

**27. Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. ETAPA 2 Informe Final Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. DGA S.I.T. N° 195. Diciembre de 2009. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile.**

Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. • Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tepas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Parte VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

Uno de los aspectos fundamentales de esta investigación lo constituye la instalación de 12 estaciones meteorológicas en el Altiplano entre la I y III Región, las que miden precipitación

y en algunos casos otras variables como temperatura y humedad del aire y del suelo. Adicionalmente, se realizaron en todos los sistemas, mediciones in-situ de evaporación desde la napa, utilizando la metodología del domo o semiesfera acrílica propuesta por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). Estos datos son importantes para realizar el balance hídrico de los sistemas y de especial relevancia para la estimación de la recarga en cuencas cerradas.

La instalación de la red de monitoreo en el marco del estudio de las cuencas del altiplano y la puna de Chile tuvo por objetivo cubrir zonas con déficit de información, así como conocer la variabilidad espacial de la precipitación en un área menor como es una cuenca hidrográfica. En total se instalaron 12 estaciones en tres de las cuatro Regiones administrativas en que se desarrolla el estudio. De este total, ocho corresponden a pluviómetros y cuatro incorporan además sensores de temperatura y humedad del aire y del suelo. Para llevar a cabo estas tareas se realizó una campaña de terreno previa, con el objeto de reconocer la zona y seleccionar los lugares definitivos donde se ubicaron los equipos. Los criterios para esto fueron entre otros la accesibilidad, cobertura de información y seguridad. Este último criterio es preponderante considerando la distancia desde centros poblados a la que se encuentran. Se espera que los datos recolectados en el tiempo con la red de monitoreo implementada puedan dar luces acerca de cómo es en realidad la precipitación en zonas que actualmente carecen de información. En particular, la cordillera de la III Región tiene estimaciones de lluvia media anual en base a isoyetas desde 1987, con el Balance Hídrico de Chile y la actualización realizada en este mismo estudio. Otros parámetros medidos permitirían aportar a la información que actualmente existe, mejorando los análisis. De cualquier forma, lo que se sugiere es avanzar en la implementación de una red de monitoreo, concentrando los esfuerzos en zonas de menor tamaño para conocer las magnitudes y variaciones espacial y temporal de los fenómenos.

28. **Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. ETAPA 2** Informe Final Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. DGA S.I.T. N° 195. Diciembre de 2009. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile.

Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. • Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del

“Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Parte VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

En esta parte del estudio se realizaron tres campañas de terreno para muestrear aguas. La primera, desarrollada durante el mes de mayo del 2008, se llevó a cabo en la Tercera Región de Atacama, en las cuencas de los salares de Pedernales y Maricunga. La segunda campaña, correspondiente al muestreo de aguas en la Primera Región de Tarapacá, específicamente en la cuenca del Salar del Huasco, fue ejecutada en Septiembre del 2008. Finalmente, la tercera campaña incluyó la recolección de muestras en 7 cuencas ubicadas en la franja altiplánica de la Segunda Región de Antofagasta.

Durante las campañas de terreno se muestreó un total de 76 puntos distribuidos en la zona de estudio. De estos, 21 corresponden a muestras de agua tomadas en la cuenca del Salar del Huasco, 23 corresponden a siete cuencas altiplánicas de la Segunda Región y las 32 restantes a muestras colectadas en las cuencas de Maricunga y Pedernales. A todas las muestras se les realizaron análisis químicos e isotópicos en laboratorio, además de análisis físicos y químicos en terreno. Adicionalmente se determinó el nivel estático y coordenadas en más de 25 pozos. La definición de los puntos a muestrear se basó en el estudio de los antecedentes previos existentes, en el sentido de privilegiar sectores con escasa información y de importancia para la comprensión de los sistemas. Además se escogieron puntos factibles de ser muestreados en los plazos disponibles. Durante las campañas de terreno no fue posible muestrear algunos sectores de importancia, que podrían contribuir con valiosa información. Entre estos se encuentran las zonas oeste y noroeste de la cuenca del Salar del Huasco y el sector sureste de la cuenca del Salar de Aguas Calientes 2. Se espera que los resultados obtenidos ayuden en la comprensión del funcionamiento de los sistemas subterráneos en las diferentes zonas estudiadas.

**29. Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. ETAPA 2 Informe Final Parte VII Medición de la Evaporación mediante el Método del “Domo”. DGA S.I.T. N° 195. Diciembre de 2009. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile.**

Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. •

Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. • Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Parte VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

Esta parte del estudio está orientada a la caracterización de la evaporación desde napas freáticas someras a través de los suelos. La información generada en terreno fue procesada y sintetizada con el fin de incrementar el escaso conocimiento relacionado con la evaporación desde salares del altiplano existente en la actualidad. En el presente informe se describe la realización de 3 campañas de terreno con el objetivo de caracterizar las tasas de evaporación y determinar su relación con la profundidad a la que se encuentra la napa subterránea. Durante el mes de diciembre de 2007 se trabajó en las cuencas altiplánicas de la Segunda Región (Laguna Tuyajto, Salar de El Laco y Salar de Aguas Calientes 2), mientras una segunda campaña se hizo durante el mes de marzo de 2008 en las cuencas de la III Región (Pedernales y Maricunga). Por último, durante el mes de abril de 2008 se llevó a cabo la campaña de terreno en la Primera Región, en la cuenca del Salar del Huasco. De estos trabajos se obtuvo estimaciones de evaporación desde aguas subterráneas someras en más de 45 puntos agrupados en 12 zonas representativas del área de estudio. Adicionalmente se realizaron análisis de laboratorio a los suelos de las zonas de medición y se determinó en terreno la tasa de evaporación desde superficies libres mediante la implementación de tanques evaporímetros estándar y otros construidos en terreno. La metodología empleada para determinar los flujos de evaporación desde napas freáticas fue la propuesta por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS)<sup>1</sup>, denominada metodología del Domo. Esta herramienta permite medir descargas desde el acuífero de forma directa sobre la superficie del terreno.

Se midieron tasas de evaporación diaria desde napas freáticas en 49 puntos en las cuencas del Salar del Huasco (16), Laguna Tuyajto (8), Salar de El Laco (4), Salar de Aguas Calientes 2 (4), Salar de Pedernales (8) y Salar de Maricunga (9), contribuyendo en forma considerable al aumento de la información existente en la zona. En 9 de las 12 zonas monitoreadas dentro de estas cuencas se cuantificaron también tasas de evaporación desde superficies de agua libre. Las mediciones se realizaron con tanques evaporímetros Clase A presentes en el lugar o a través de la construcción “in situ” de tanques plásticos, instalados dentro de lagunas y afloramientos. Adicionalmente, basados en la información histórica de más de 50 estaciones meteorológicas DGA, se ajustaron curvas de evaporación en función de la altura para las Regiones XV, I, II y III. Dicho análisis incluye información histórica comprendida entre 1960 y 2007. Se estimaron además ajustes para la franja altiplánica de las Regiones I y II. Se determinó la textura de los suelos en los puntos en que se cuantificó la evaporación, usando para esta clasificación los resultados de los análisis granulométricos practicados a las muestras. Por lo general los suelos presentaron un alto contenido de sales y una granulometría gruesa, con predominio de partículas de arena. Según las mediciones realizadas en terreno,

las tasas de evaporación desde el suelo dependen principalmente de la demanda evaporativa de la atmósfera (condiciones climáticas) y de la composición litológica de la zona no saturada del perfil (textura). De acuerdo a los análisis efectuados, se concluye que el domo entrega valores para la evaporación desde napas freáticas someras comparables con los registros realizados mediante metodologías alternativas como lisímetros y microlisímetros. Por lo tanto, el domo puede ser considerado como una herramienta confiable para realizar estimaciones puntuales de evaporación. En términos generales, la curva propuesta por Morel-Seytoux para el ajuste de la evaporación como función de la profundidad de la napa es la que presenta el mejor grado de ajuste con los datos normalizados de las mediciones en terreno. Las curvas de ajuste propuestas para las tres Regiones en que se trabajó pueden contribuir en la comprensión y determinación de los flujos de descarga por evaporación en las distintas zonas de estudio. Por su parte, la curva resumen de todas las mediciones realizadas en el norte del país puede ser utilizada como una primera aproximación al problema de las descargas en el largo plazo.

30. **Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. ETAPA 2** Informe Final Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. DGA S.I.T. N° 195. Diciembre de 2009. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile. Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. • Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Texas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Parte VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

El objetivo de esta parte del estudio es presentar una caracterización hidrogeológica de la cuenca piloto de la I Región de Tarapacá, a través del análisis y síntesis de la información disponible. Se busca cuantificar con esta información los flujos de entrada y salida de la cuenca e identificar datos y tareas adicionales que se requieren para definir adecuadamente la geometría y propiedades de él o los acuíferos. Se presenta en los contenidos una descripción

de la hidrografía y geomorfología, hidrología, geología, hidrogeoquímica e hidrogeología de la(s) cuenca(s), además de los balances hídricos de recarga y descarga.

31. **Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. ETAPA 2** Informe Final Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada. DGA S.I.T. N° 195. Noviembre de 2009. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile. Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. • Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Partes VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII). El objetivo de esta parte del estudio es presentar una caracterización hidrogeológica de las cuencas piloto de la Región de Antofagasta, a través del análisis y síntesis de la información disponible. Se busca cuantificar con esta información los flujos de entrada y salida de la cuenca e identificar datos y tareas adicionales que se requieren para definir adecuadamente la geometría y propiedades de él o los acuíferos. Se presenta en los contenidos una descripción de la hidrografía y geomorfología, hidrología, geología, hidrogeoquímica e hidrogeología de las cuencas, además de los balances hídricos de recarga y descarga.

32. **Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II Y III. ETAPA 2** Informe Final Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. DGA S.I.T. N° 195. Noviembre de 2009. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental Pontificia Universidad Católica de Chile.

Este estudio, realizado entre los años 2007 y 2009, se enmarca en un convenio de cooperación e investigación científica aplicada entre la Dirección General de Aguas (DGA) del Ministerio de Obras Públicas (MOP) y el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental (DIHA) de la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC). La investigación o acción de apoyo tuvo

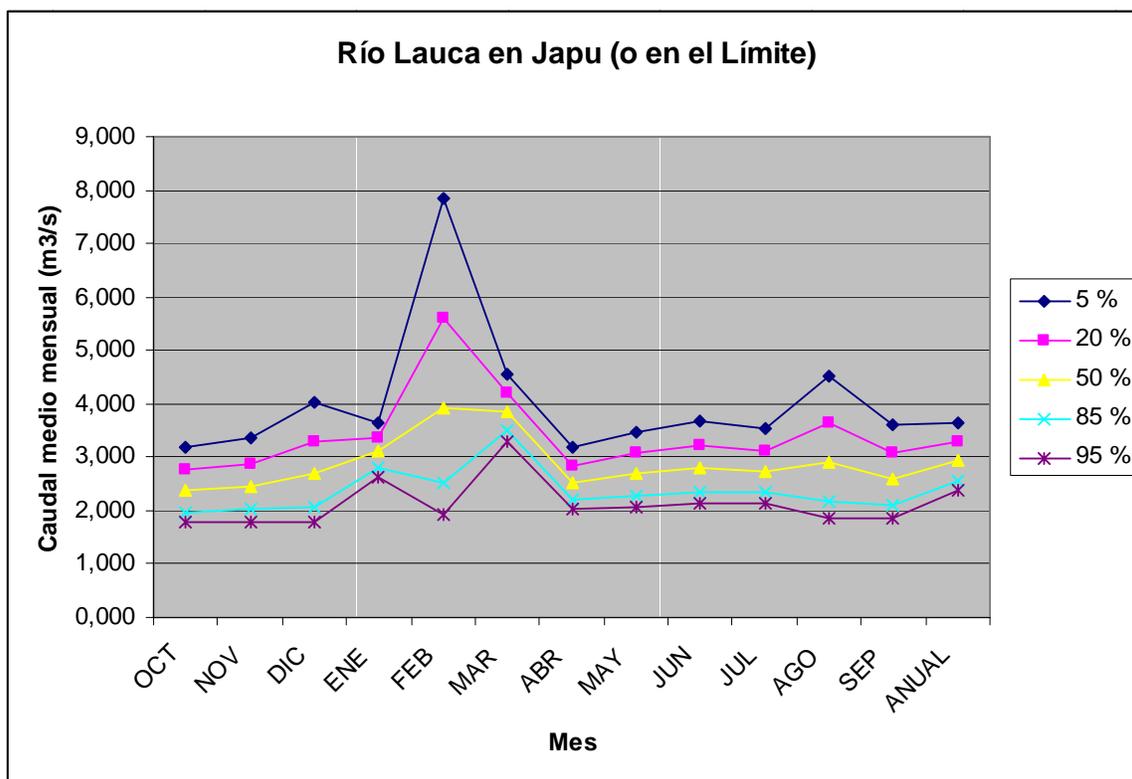
como objetivo fundamental el levantamiento, generación y análisis de información hidrogeológica para avanzar en el estudio de los recursos hídricos del sector chileno del Altiplano. En este contexto, este estudio pretende ser un apoyo concreto para el desarrollo de nuevas fuentes de agua subterránea en áreas prioritarias del norte de Chile. El estudio consistió en el desarrollo de una serie de trabajos de terreno y gabinete, tanto a nivel regional como local. Los resultados obtenidos se presentan en 10 informes o partes independientes, cuyos contenidos son los siguientes: • Parte I Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. • Parte II Geología Regional del Altiplano de Chile. • Parte III Hidrología Regional del Altiplano de Chile. • Parte IV Hidrogeoquímica e Isotopía Regional del Altiplano de Chile. • Parte V Implementación de Estaciones Meteorológicas. • Parte VI Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. • Parte VII Medición de la Evaporación Mediante Método del “Domo”. • Parte VIII Sistema Piloto I Región: Salar del Huasco. • Parte IX Sistema Piloto II Región: Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada. • Parte X Sistema Piloto III Región: Salares de Maricunga y Pedernales. Cada parte está estructurada de manera de ser autocontenida y poder ser utilizada para fines y materias específicas. Sin perjuicio de lo anterior, las Parte VIII, IX y X que consideran el estudio de sistemas pilotos, hacen referencias y utilizan resultados de los estudios a nivel regional (Partes I, II, III y IV) y de los trabajos de terreno (Partes V, VI y VII).

El objetivo de esta parte del estudio es presentar una caracterización hidrogeológica de las cuencas piloto de la Región de Atacama, a través del análisis y síntesis de la información disponible. Se busca cuantificar con esta información los flujos de entrada y salida de las cuencas e identificar datos y tareas adicionales que se requieren para definir adecuadamente la geometría y propiedades de él o de los acuíferos. Se presenta en los contenidos una descripción de la hidrografía y geomorfología, hidrología, geología, hidrogeoquímica e hidrogeología de las cuencas, además de los balances hídricos de recarga y descarga.

## **Anexo II**

# **CURVAS DE VARIACIÓN ESTACIONAL**

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 01021001-1 : Río Lauca en Japu (o en el Límite) (m3/s)**

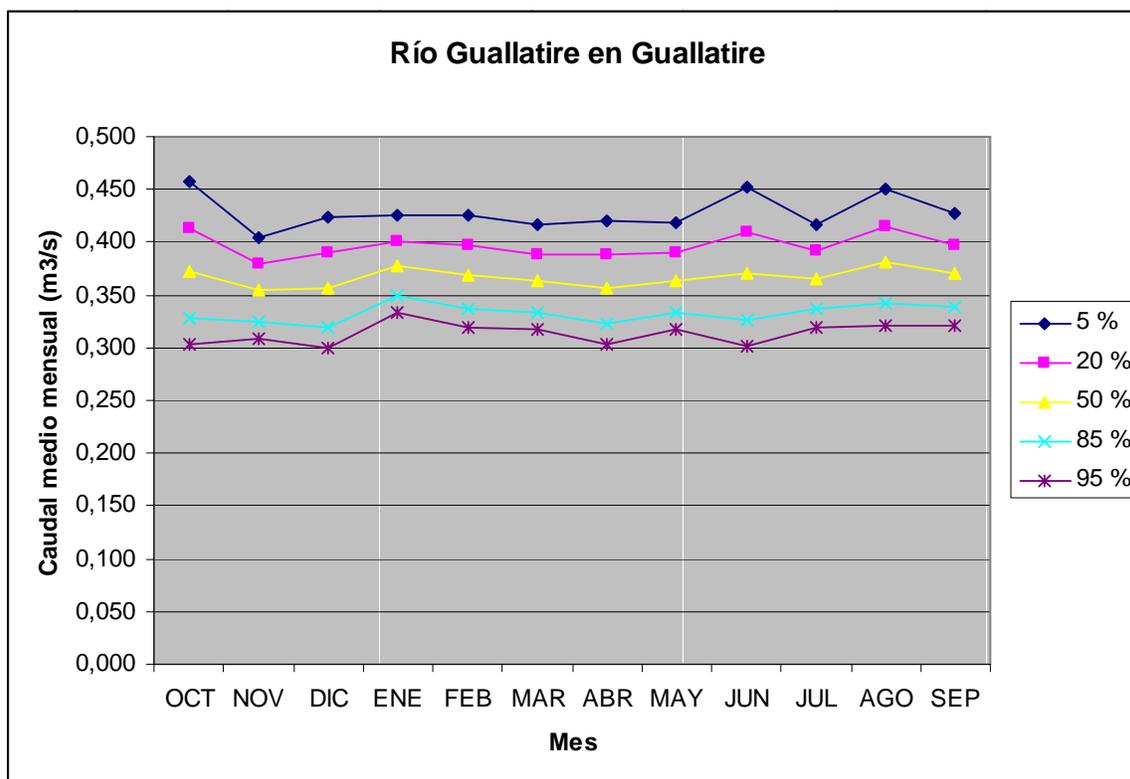
Pr_Exc	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
5 %	3,180	3,356	4,016	3,652	7,861	4,554	3,174	3,476	3,665	3,538	4,523	3,602	3,654
20 %	2,755	2,880	3,297	3,374	5,586	4,205	2,845	3,067	3,209	3,124	3,639	3,065	3,288
50 %	2,371	2,454	2,682	3,105	3,905	3,868	2,536	2,691	2,791	2,743	2,897	2,588	2,943
85 %	1,971	2,014	2,079	2,803	2,513	3,491	2,201	2,289	2,351	2,336	2,188	2,102	2,568
95 %	1,769	1,794	1,791	2,639	1,940	3,286	2,026	2,082	2,126	2,126	1,855	1,860	2,371
Dist.	LN												

**Fuente:** Actualización Recursos Hídricos para Restablecimiento de Derechos Ancestrales Indígenas I y II Regiones. DGA. Año 2001.

**Donde:** Pr\_Exc (%) 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 lo siguiente:

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

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 01021002-k : Río Guallatire en Guallatire (m3/s)**

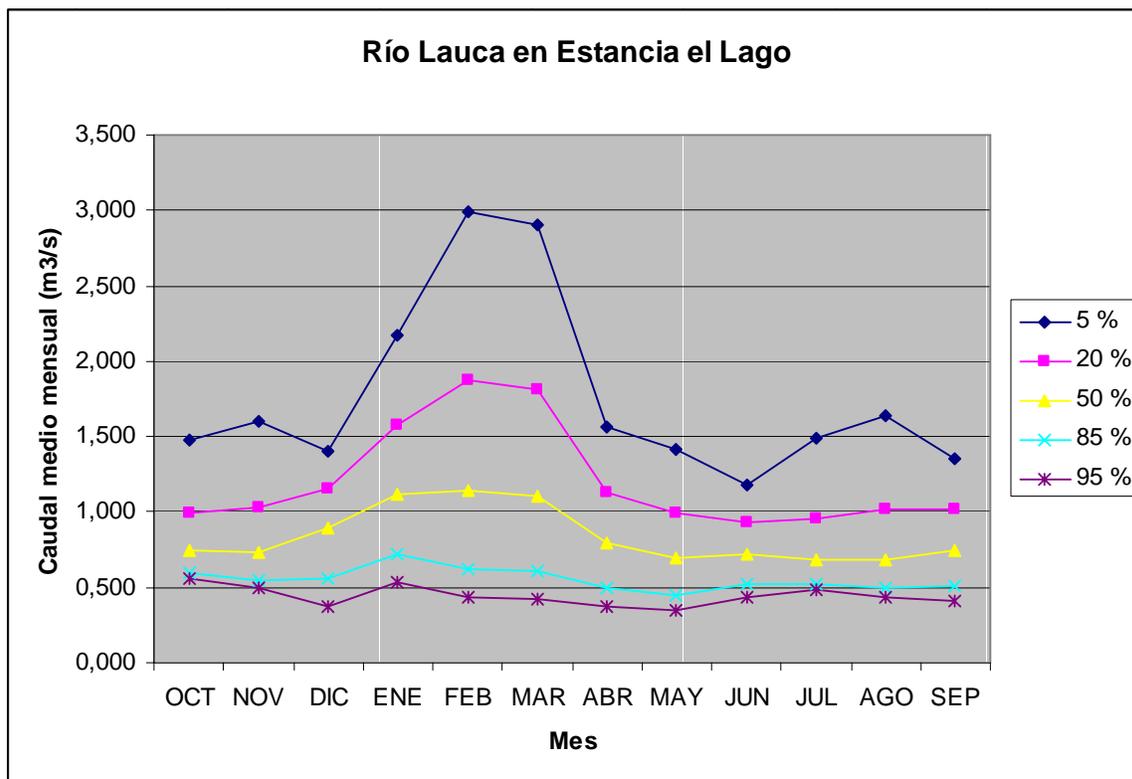
Pr_Exc	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
5 %	0,457	0,405	0,424	0,426	0,426	0,416	0,420	0,418	0,452	0,417	0,451	0,427	0,411
20 %	0,414	0,380	0,390	0,401	0,397	0,389	0,388	0,390	0,410	0,391	0,415	0,398	0,390
50 %	0,373	0,354	0,357	0,377	0,369	0,363	0,357	0,364	0,370	0,366	0,381	0,370	0,368
85 %	0,328	0,325	0,320	0,349	0,337	0,333	0,323	0,333	0,326	0,336	0,342	0,338	0,343
95 %	0,304	0,309	0,300	0,333	0,320	0,317	0,304	0,317	0,302	0,320	0,321	0,321	0,329
Dist.	LN												

**Fuente:** Actualización Recursos Hídricos para Restablecimiento de Derechos Ancestrales Indígenas I y II Regiones. DGA. Año 2001.

**Donde:** Pr\_Exc (%) 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 lo siguiente:

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

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 01020003-2 : Río Lauca en Estancia el Lago (m3/s)**

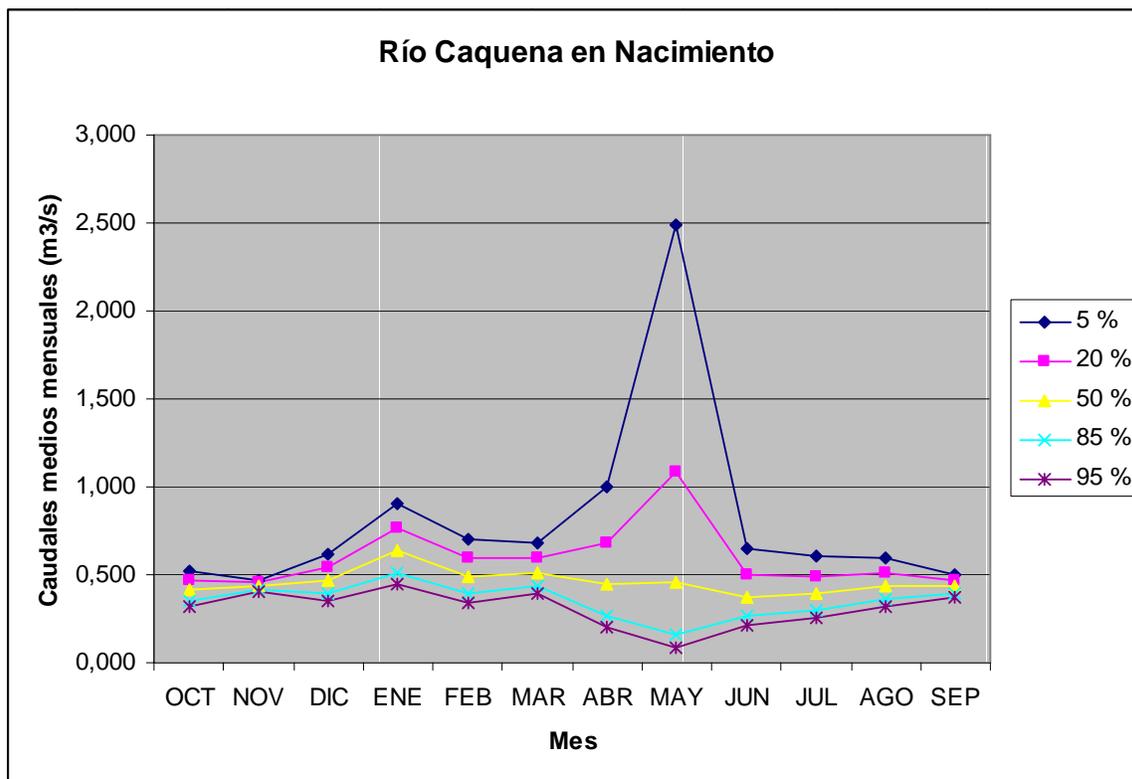
Pr_Exc	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
5 %	1,479	1,600	1,404	2,170	2,995	2,900	1,563	1,409	1,184	1,491	1,634	1,355	1,765
20 %	0,994	1,034	1,152	1,578	1,871	1,811	1,131	0,999	0,927	0,957	1,015	1,012	1,207
50 %	0,740	0,729	0,888	1,122	1,143	1,106	0,798	0,697	0,717	0,679	0,684	0,745	0,837
85 %	0,597	0,550	0,562	0,717	0,623	0,602	0,502	0,448	0,523	0,523	0,493	0,511	0,554
95 %	0,556	0,498	0,371	0,533	0,436	0,422	0,368	0,345	0,434	0,479	0,437	0,410	0,441
Dist.	L3	L3	N	G	L2	L2	G	L2	L2	L3	L3	L2	

**Fuente:** Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad. Cuenca Lauca. Año 2004.

**Donde:** Pr\_Exc (%) 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 lo siguiente:

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

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 01201001-2 : Río Caquena en Nacimiento (m3/s)**

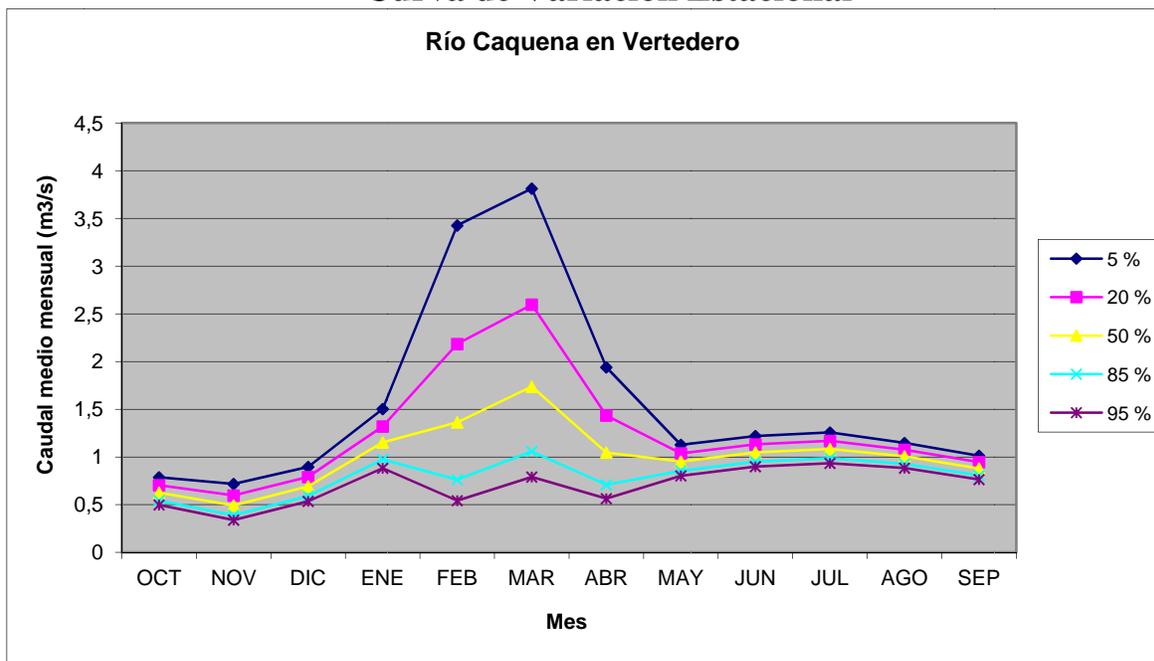
Pr_Exc	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
5 %	0,523	0,473	0,617	0,903	0,707	0,678	1,005	2,493	0,652	0,603	0,595	0,499	0,605
20 %	0,465	0,454	0,539	0,762	0,591	0,593	0,676	1,090	0,499	0,489	0,511	0,465	0,540
50 %	0,412	0,435	0,468	0,638	0,490	0,515	0,446	0,458	0,377	0,392	0,436	0,433	0,479
85 %	0,354	0,413	0,393	0,513	0,389	0,433	0,267	0,157	0,267	0,299	0,359	0,396	0,413
95 %	0,324	0,400	0,355	0,451	0,339	0,392	0,198	0,084	0,218	0,255	0,320	0,376	0,379
Dist.	LN												

**Fuente:** Actualización Recursos Hídricos para Restablecimiento de Derechos Ancestrales Indígenas I y II Regiones. DGA. Año 2001.

**Donde:** Pr\_Exc (%) 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 lo siguiente:

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

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 01201002-0 : Río Caquena en Vertedero (m3/s)**

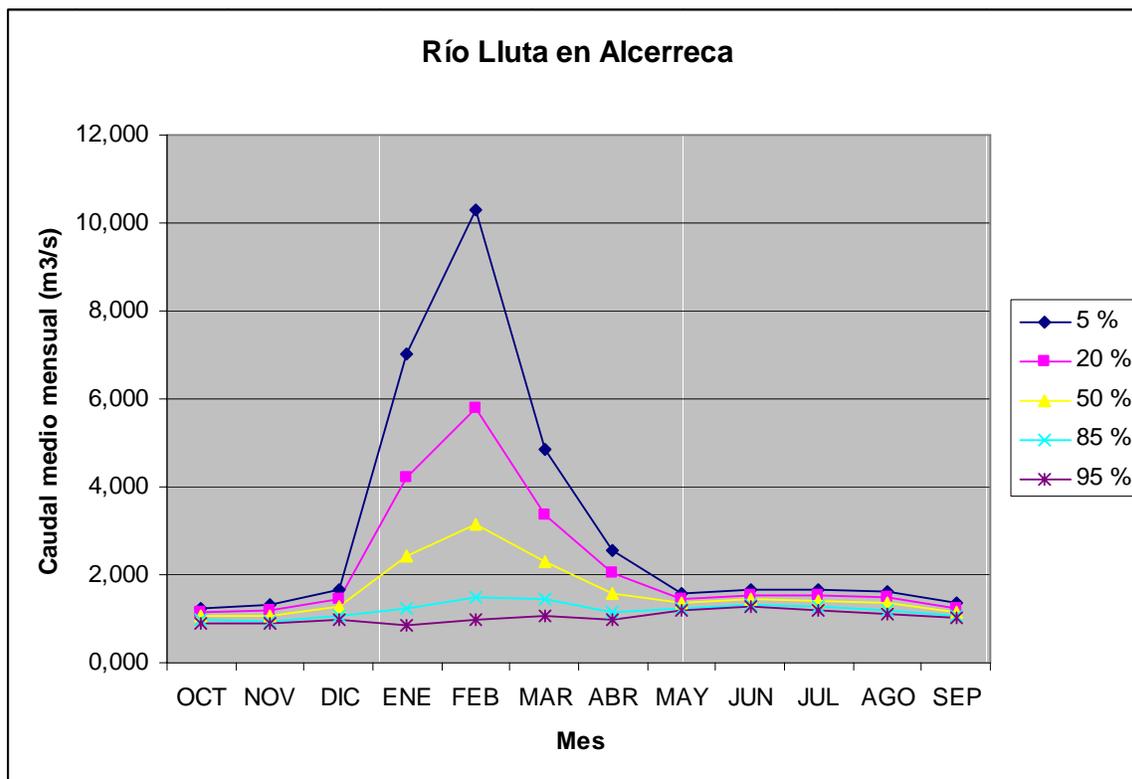
Pr_Exc	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
5 %	0,787	0,717	0,896	1,503	3,426	3,813	1,940	1,128	1,220	1,257	1,147	1,013	1,292
20 %	0,704	0,597	0,790	1,320	2,184	2,597	1,435	1,038	1,132	1,169	1,076	0,946	1,161
50 %	0,626	0,493	0,693	1,152	1,363	1,737	1,046	0,952	1,047	1,084	1,007	0,880	1,038
85 %	0,542	0,389	0,590	0,974	0,763	1,058	0,709	0,855	0,951	0,987	0,928	0,805	0,905
95 %	0,498	0,339	0,536	0,883	0,543	0,791	0,564	0,803	0,899	0,934	0,884	0,764	0,835
Dist.	LN												

**Fuente:** Actualización Recursos Hídricos para Restablecimiento de Derechos Ancestrales Indígenas I y II Regiones. DGA. Año 2001.

**Donde:** Pr\_Exc (%) 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 lo siguiente:

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

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 01201003-6 : Río Lluta en Alcerreca (m3/s)**

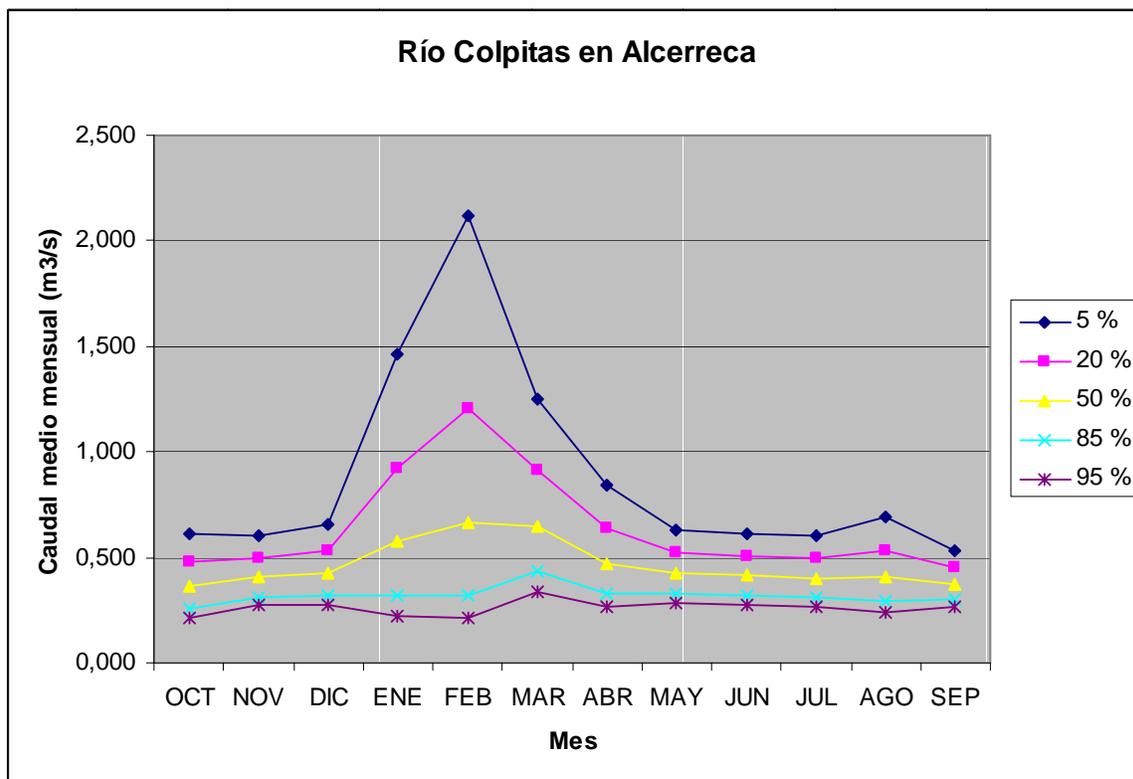
Pr_Exc	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
5 %	1,255	1,328	1,661	7,030	10,293	4,860	2,564	1,555	1,656	1,658	1,610	1,344	2,433
20 %	1,159	1,202	1,458	4,194	5,769	3,369	2,023	1,454	1,553	1,532	1,473	1,251	2,043
50 %	1,066	1,083	1,271	2,442	3,146	2,295	1,579	1,355	1,453	1,410	1,342	1,161	1,702
85 %	0,962	0,952	1,073	1,254	1,490	1,430	1,163	1,242	1,338	1,274	1,196	1,058	1,359
95 %	0,906	0,883	0,972	0,848	0,961	1,084	0,972	1,181	1,275	1,200	1,118	1,002	1,191
Dist.	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN

**Fuente:** Actualización Recursos Hídricos para Restablecimiento de Derechos Ancestrales Indígenas I y II Regiones. DGA. Año 2001.

**Donde:** Pr\_Exc (%) 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 lo siguiente:

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

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 01201001-k : Río Colpitas en Alcerreca (m3/s)**

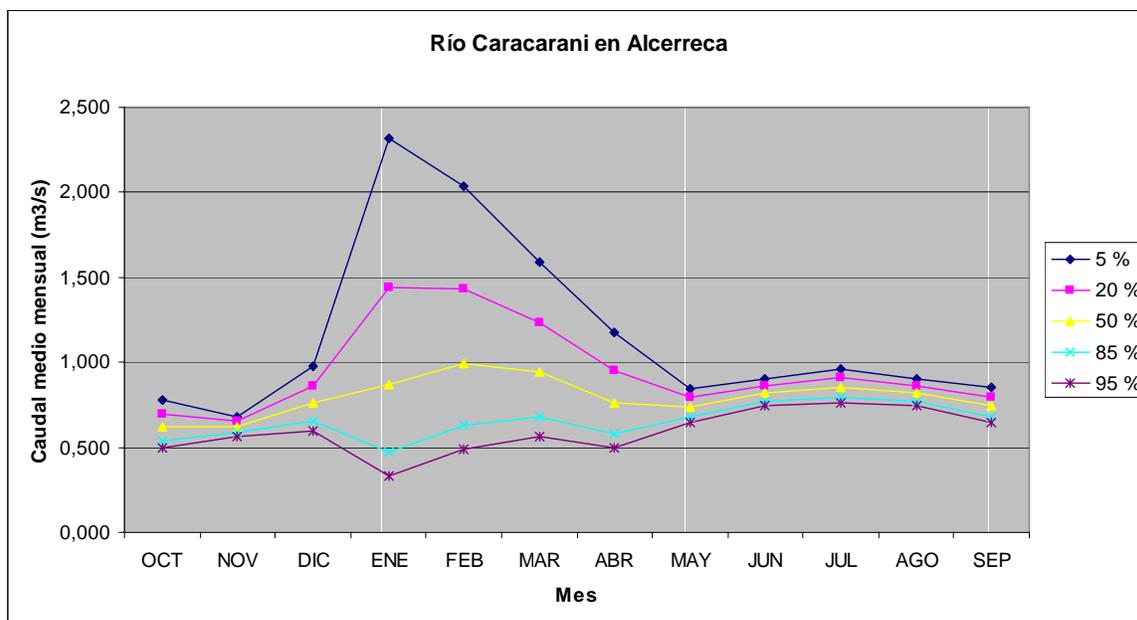
Pr_Exc	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL	AÑO
5 %	0,616	0,601	0,654	1,459	2,121	1,254	0,841	0,632	0,615	0,601	0,693	0,530	0,657	2001
20 %	0,476	0,495	0,529	0,925	1,205	0,910	0,636	0,521	0,506	0,493	0,534	0,448	0,569	2001
50 %	0,364	0,404	0,423	0,574	0,667	0,650	0,474	0,426	0,413	0,400	0,407	0,375	0,489	2001
85 %	0,261	0,314	0,321	0,319	0,321	0,430	0,330	0,332	0,321	0,309	0,291	0,302	0,405	2001
95 %	0,215	0,271	0,273	0,226	0,209	0,337	0,267	0,287	0,277	0,266	0,239	0,266	0,363	2001
Dist.	LN													

**Fuente:** Actualización Recursos Hídricos para Restablecimiento de Derechos Ancestrales Indígenas I y II Regiones. DGA. Año 2001.

**Donde:** Pr\_Exc (%) 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 lo siguiente:

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

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 01201002-8 : Río Caracarani en Alcerreca (m3/s)**

Pr_Exc	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
5 %	0,777	0,682	0,976	2,315	2,035	1,591	1,174	0,844	0,906	0,961	0,903	0,856	0,984
20 %	0,696	0,651	0,865	1,438	1,434	1,232	0,952	0,791	0,864	0,907	0,861	0,798	0,898
50 %	0,620	0,620	0,762	0,872	0,994	0,943	0,764	0,740	0,821	0,854	0,819	0,742	0,815
85 %	0,538	0,585	0,652	0,472	0,633	0,678	0,583	0,680	0,772	0,793	0,770	0,678	0,724
95 %	0,495	0,565	0,595	0,329	0,486	0,559	0,498	0,648	0,744	0,760	0,742	0,643	0,675
Dist.	LN												

**Fuente:** Actualización Recursos Hídricos para Restablecimiento de Derechos Ancestrales Indígenas I y II Regiones. DGA. Año 2001.

**Donde:** Pr\_Exc (%) 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 lo siguiente:

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

### Curva de Variación Estacional

Río Caracarani en Huamapalca (m3/s)

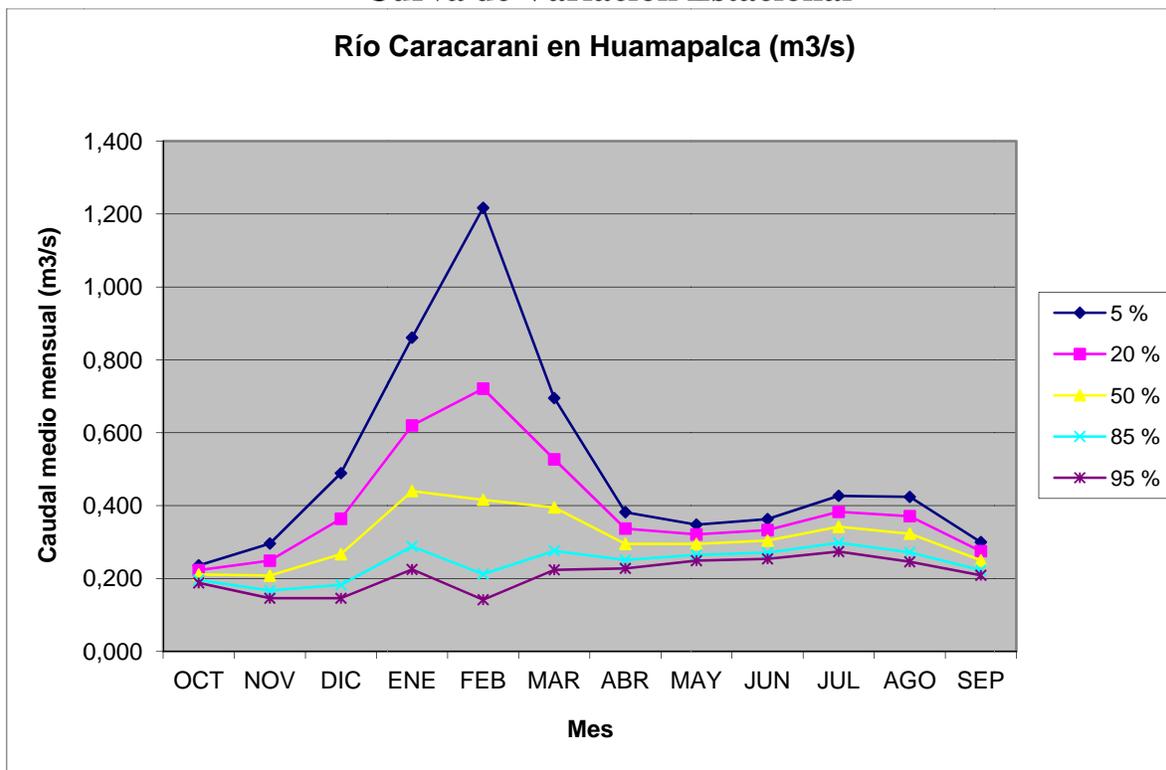


Tabla N° 01201005-2 : Río Caracarani en Humapalca (m3/s)

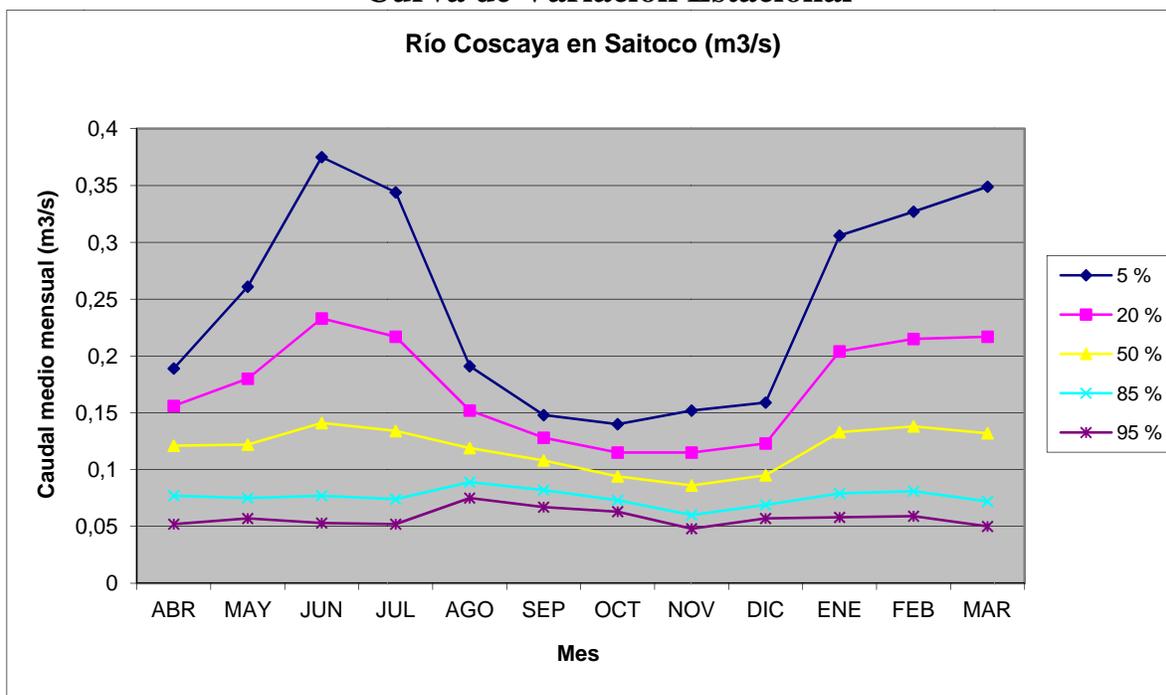
Pr_Exc	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	ANUAL
5 %	0,236	0,296	0,489	0,861	1,217	0,695	0,382	0,348	0,363	0,427	0,424	0,300	0,409
20 %	0,223	0,249	0,364	0,620	0,721	0,527	0,337	0,321	0,333	0,383	0,371	0,275	0,363
50 %	0,211	0,208	0,267	0,440	0,416	0,395	0,295	0,295	0,304	0,342	0,323	0,250	0,321
85 %	0,196	0,167	0,183	0,288	0,212	0,276	0,251	0,265	0,271	0,298	0,272	0,223	0,275
95 %	0,188	0,146	0,146	0,225	0,142	0,224	0,228	0,249	0,254	0,274	0,246	0,209	0,251
Dist.	LN												

**Fuente:** Actualización Recursos Hídricos para Restablecimiento de Derechos Ancestrales Indígenas I y II Regiones. DGA. Año 2001.

**Donde:** Pr\_Exc (%) 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 lo siguiente:

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

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 01730003-2 : Río Coscaya en Saitoco (m3/s)**

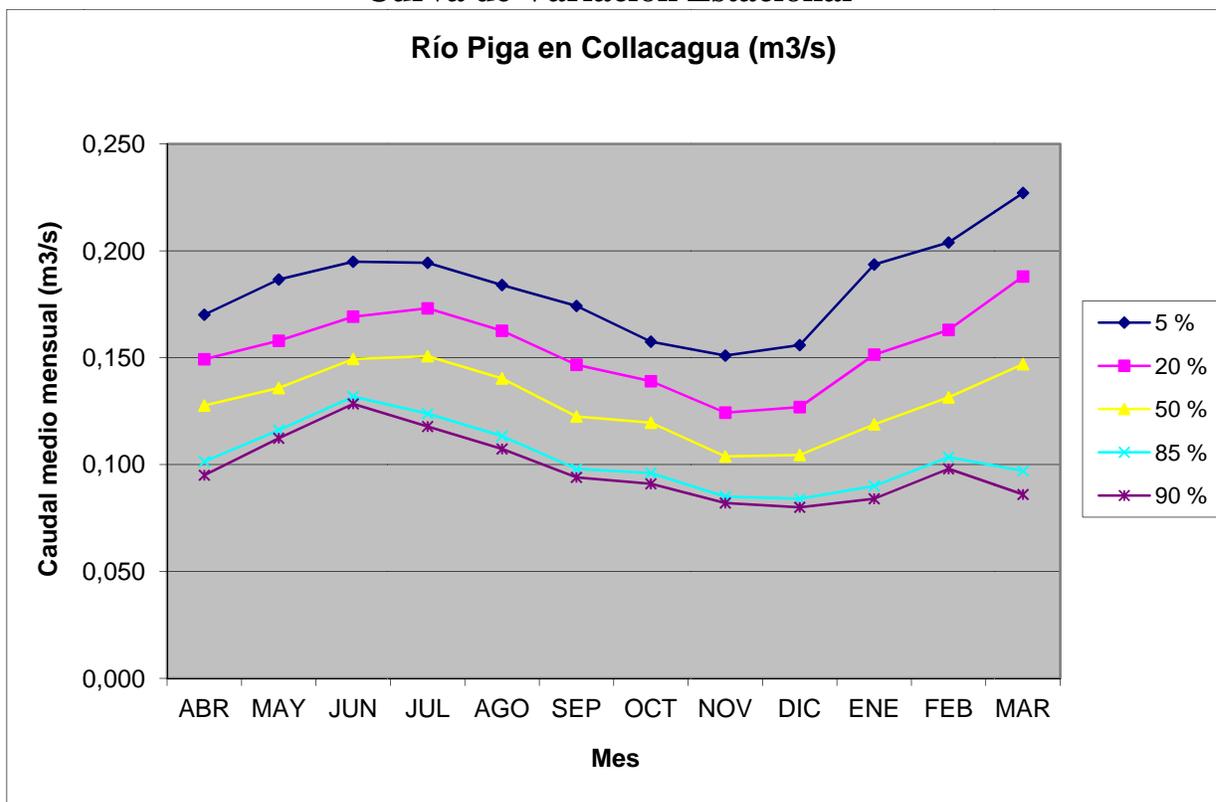
Pr_Exc	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
5 %	0,189	0,261	0,375	0,344	0,191	0,148	0,140	0,152	0,159	0,306	0,327	0,349	0,245
20 %	0,156	0,180	0,233	0,217	0,152	0,128	0,115	0,115	0,123	0,204	0,215	0,217	0,171
50 %	0,121	0,122	0,141	0,134	0,119	0,108	0,094	0,086	0,095	0,133	0,138	0,132	0,119
85 %	0,077	0,075	0,077	0,074	0,089	0,082	0,073	0,060	0,069	0,079	0,081	0,072	0,076
95 %	0,052	0,057	0,053	0,052	0,075	0,067	0,063	0,048	0,057	0,058	0,059	0,050	0,058
Dist.	N	L2	L2	L2	L2	N	L2						

**Fuente:** Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad. Cuenca Quebrada de Tarapacá. DGA. Año 2004.

**Donde:** Pr\_Exc (%) 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 lo siguiente:

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

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 01050002-8 : Río Piga en Collacagua (m3/s)**

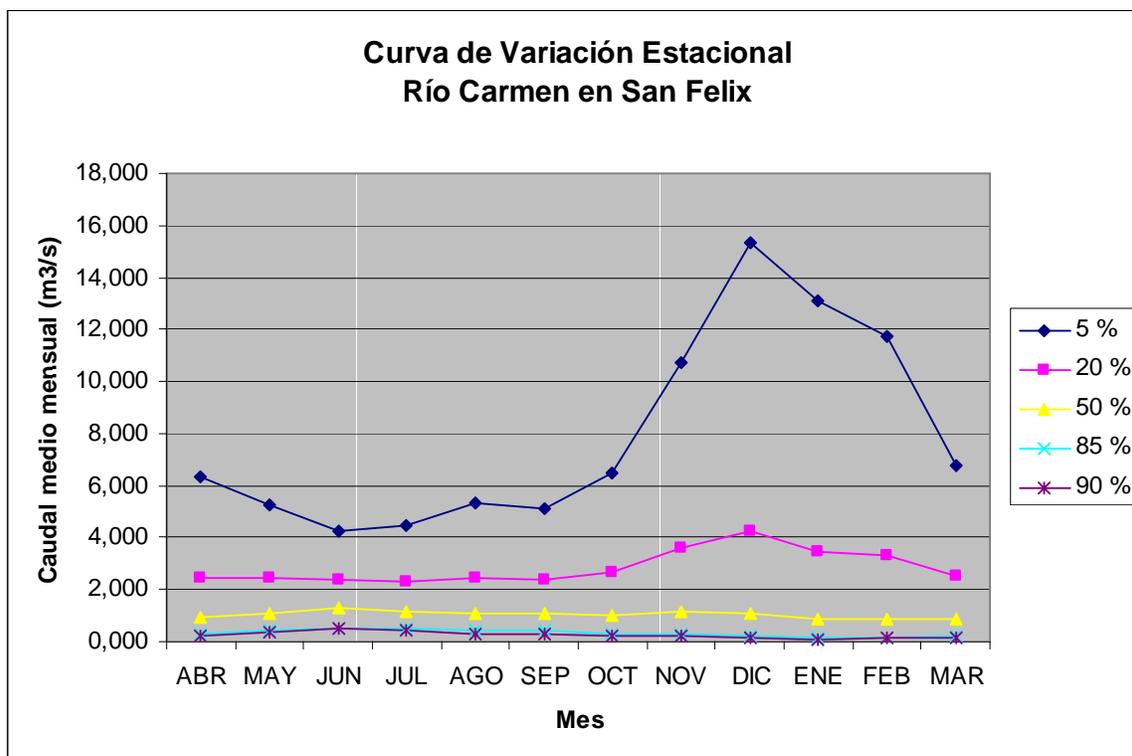
Pr_Exc	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
5 %	0,170	0,187	0,195	0,194	0,184	0,174	0,158	0,151	0,156	0,194	0,204	0,227	0,172
20 %	0,149	0,158	0,169	0,173	0,163	0,147	0,139	0,124	0,127	0,151	0,163	0,188	0,140
50 %	0,128	0,136	0,149	0,151	0,140	0,123	0,120	0,104	0,105	0,119	0,131	0,147	0,130
85 %	0,101	0,116	0,132	0,124	0,113	0,098	0,096	0,085	0,084	0,090	0,103	0,097	0,115
90 %	0,095	0,112	0,128	0,118	0,107	0,094	0,091	0,082	0,080	0,084	0,098	0,086	0,112
Dist.	N	G	G	N	N	L2	N	G	G	G	G	G	N

**Fuente:** Análisis Estadístico de Caudales en los Ríos de Chile. DGA. Año 1992.

**Donde:** Pr\_Exc (%) 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 lo siguiente:

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

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 03421001-1: Río Carmen en san Felix (m3/s)**

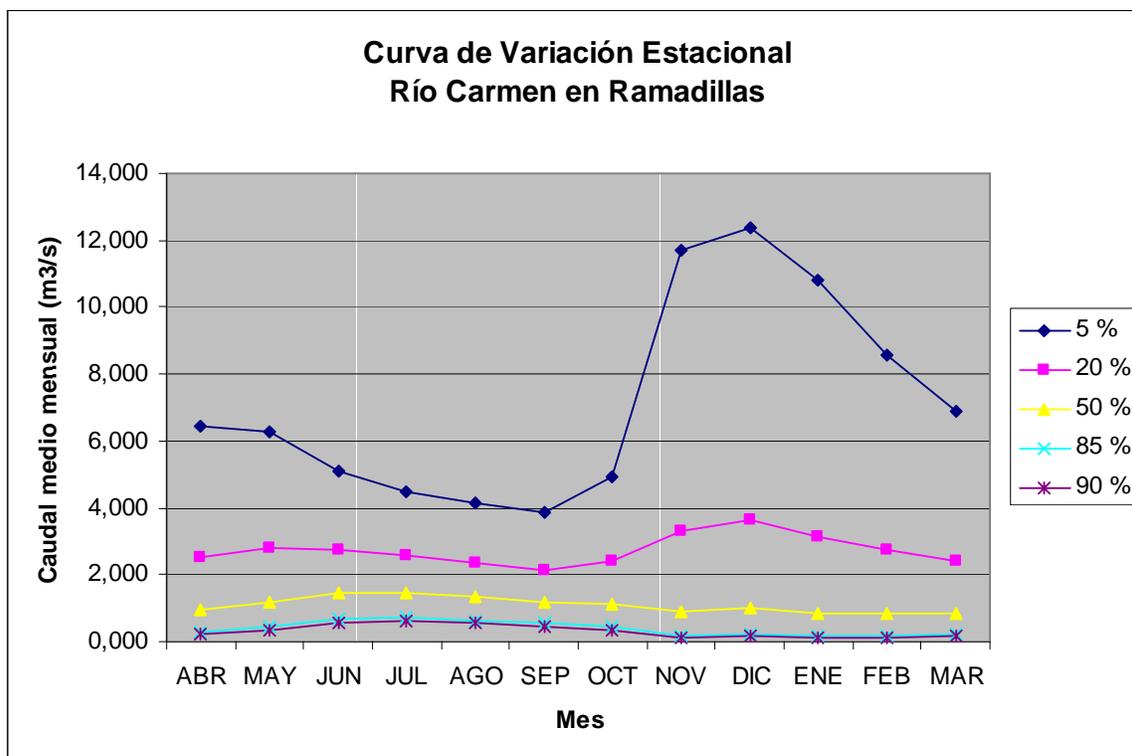
Pr_Exc	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
5 %	6,311	5,275	4,221	4,440	5,348	5,088	6,457	10,747	15,302	13,077	11,748	6,801	7,230
20 %	2,471	2,463	2,373	2,295	2,462	2,384	2,637	3,581	4,238	3,476	3,303	2,486	3,050
50 %	0,925	1,109	1,298	1,150	1,092	1,077	1,030	1,132	1,104	0,867	0,874	0,866	1,230
85 %	0,276	0,415	0,517	0,491	0,402	0,405	0,324	0,274	0,211	0,157	0,170	0,235	0,400
90 %	0,207	0,329	0,517	0,401	0,317	0,321	0,246	0,196	0,142	0,105	0,115	0,174	0,310
Dist.	Log-N	Log-N	Log-N	Log-N	Log-N	Log-N							

**Fuente:** Análisis Estadístico de Caudales en los Ríos de Chile. DGA. ByF Ingenieros Civiles. DGA. Año 1992.

**Donde:** Pr\_Exc (%) 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 lo siguiente:

Distribución	Abreviatura
Log-Normal	: Log-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 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP

### Curva de Variación Estacional



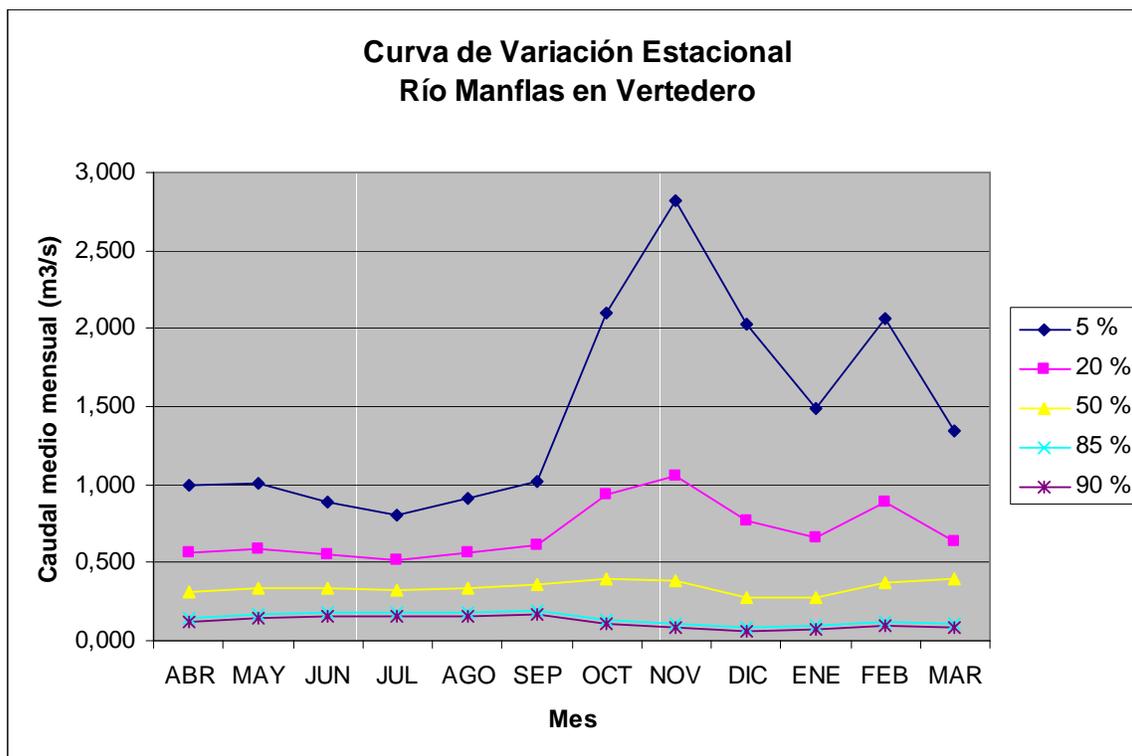
**Tabla N° 03421001-1: Río Pulido en Vertedero (m3/s)**

Pr_Exc	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
5 %	6,458	6,294	5,104	4,508	4,145	3,878	4,944	11,685	12,373	10,807	8,570	6,881	6,390
20 %	2,525	2,806	2,761	2,600	2,368	2,150	2,381	3,326	3,643	3,119	2,732	2,436	2,930
50 %	0,944	1,204	1,450	1,461	1,317	1,159	1,106	0,892	1,012	0,848	0,825	0,821	1,290
85 %	0,281	0,425	0,656	0,718	0,640	0,542	0,432	0,176	0,209	0,171	0,189	0,215	0,470
90 %	0,211	0,332	0,544	0,607	0,539	0,452	0,345	0,120	0,144	0,117	0,133	0,157	0,370
Dist.	Log-N	Log-N	Log-N	Log-N	Log-N	Log-N							

**Fuente:** Análisis Estadístico de Caudales en los Ríos de Chile. DGA. ByF Ingenieros Civiles. DGA. Año 1992.

**Donde:** Pr\_Exc (%) 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 lo siguiente:

Distribución	Abreviatura
Log-Normal	: Log-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 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP



**Tabla N° 03421001-2: Río Manflas en Vertedero (m3/s)**

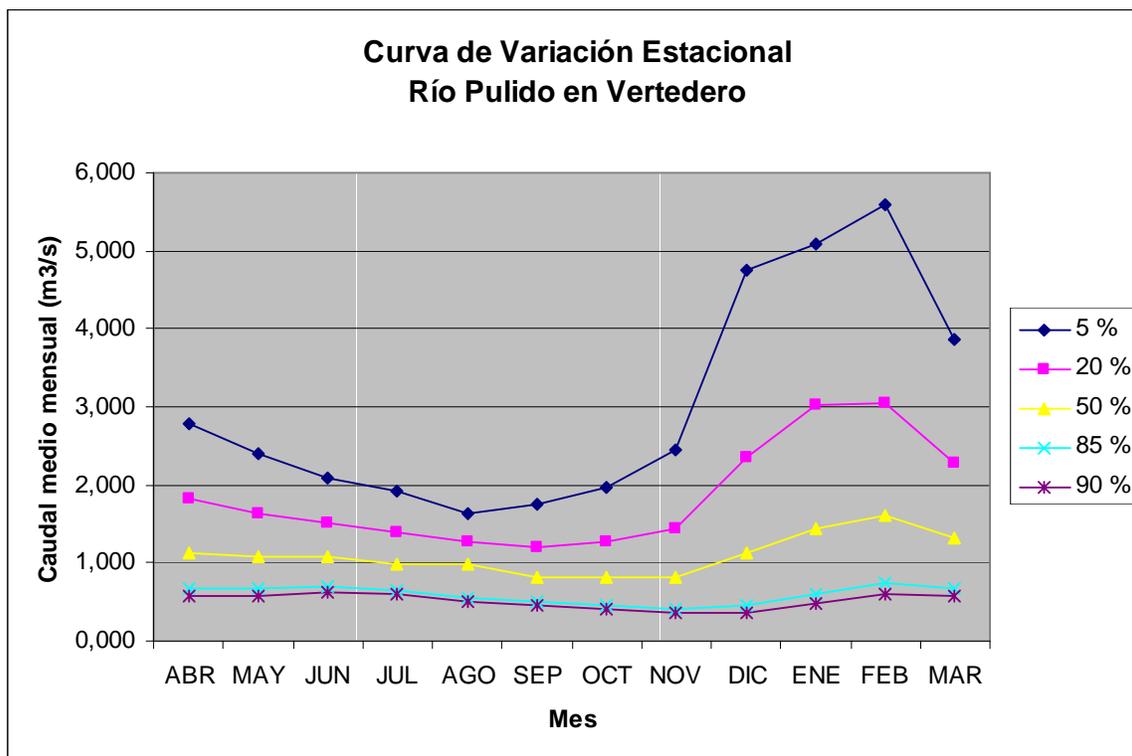
Pr_Exc	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
5 %	0,992	1,004	0,891	0,809	0,917	1,015	2,100	2,819	2,025	1,491	2,066	1,346	1,380
20 %	0,561	0,592	0,557	0,514	0,559	0,615	0,939	1,057	0,774	0,661	0,889	0,640	0,720
50 %	0,309	0,341	0,341	0,320	0,332	0,364	0,395	0,386	0,282	0,282	0,367	0,394	0,370
85 %	0,148	0,173	0,185	0,178	0,175	0,191	0,138	0,110	0,082	0,099	0,124	0,112	0,160
90 %	0,124	0,147	0,161	0,155	0,151	0,164	0,108	0,082	0,061	0,077	0,095	0,090	0,108
Dist.	Log-N												

**Fuente:** Análisis Estadístico de Caudales en los Ríos de Chile. DGA. ByF Ingenieros Civiles. DGA. Año 1992.

**Donde:** Pr\_Exc (%) 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 lo siguiente:

Distribución	Abreviatura
Log-Normal	: Log-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 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP

## Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 03414001-4: Río Pulido en Vertedero (m3/s)**

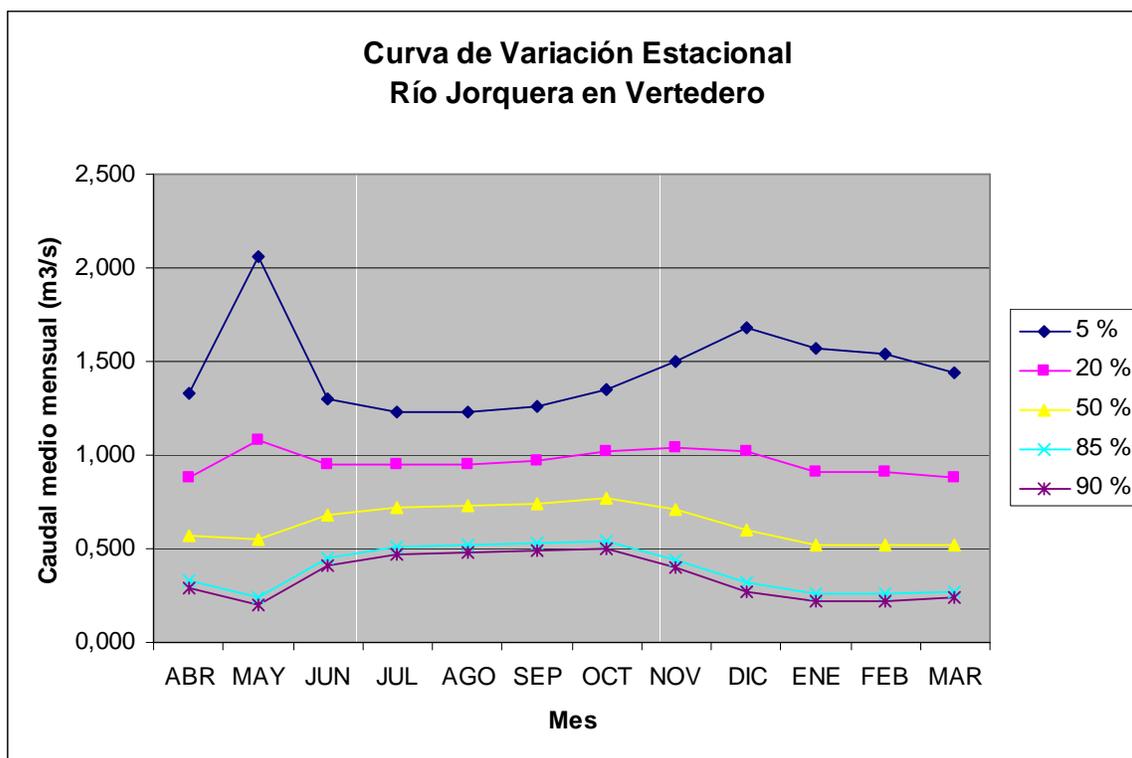
Pr_Exc	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
5 %	2,791	2,398	2,091	1,913	1,623	1,748	1,965	2,444	4,762	5,080	5,584	3,855	2,940
20 %	1,814	1,630	1,508	1,385	1,278	1,211	1,273	1,434	2,348	3,030	3,040	2,292	1,870
50 %	1,133	1,086	1,071	0,988	0,981	0,825	0,808	0,821	1,120	1,451	1,608	1,330	0,808
85 %	0,662	0,661	0,703	0,651	0,558	0,515	0,452	0,413	0,450	0,595	0,734	0,680	0,452
90 %	0,580	0,587	0,636	0,590	0,500	0,450	0,404	0,351	0,362	0,481	0,609	0,580	0,570
Dist.	Log-N												

**Fuente:** Análisis Estadístico de Caudales en los Ríos de Chile. DGA. ByF Ingenieros Civiles. DGA. Año 1992.

**Donde:** Pr\_Exc (%) 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 lo siguiente:

Distribución	Abreviatura
Log-Normal	: Log-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 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 03404001-K: Río Jorquera en Vertedero (m3/s)**

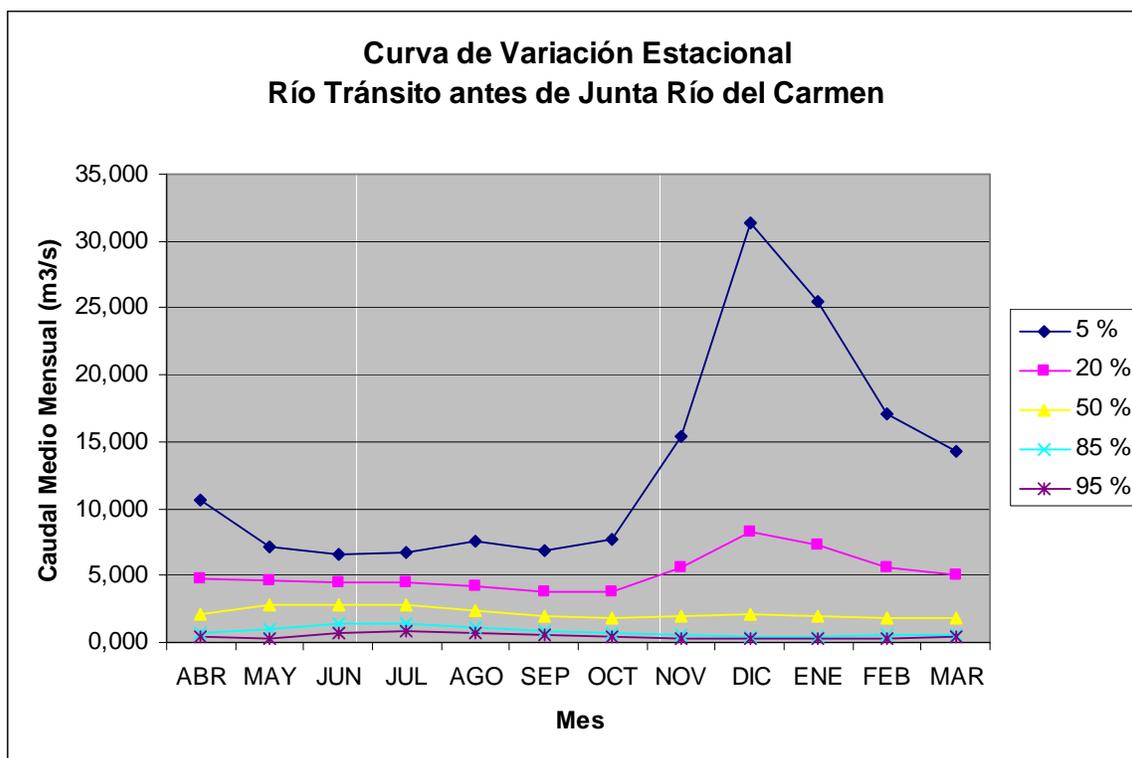
Pr_Exc	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
5 %	1,334	2,056	1,297	1,234	1,231	1,257	1,350	1,504	1,678	1,572	1,545	1,440	1,360
20 %	0,882	1,083	0,948	0,948	0,951	0,970	1,025	1,043	1,017	0,915	0,908	0,876	0,960
50 %	0,571	0,553	0,682	0,720	0,726	0,739	0,769	0,710	0,602	0,519	0,520	0,521	0,660
85 %	0,334	0,242	0,455	0,512	0,520	0,529	0,539	0,443	0,316	0,259	0,262	0,274	0,420
90 %	0,295	0,199	0,413	0,473	0,481	0,489	0,496	0,396	0,271	0,219	0,223	0,236	0,380
Dist.	Log-N												

**Fuente:** Análisis Estadístico de Caudales en los Ríos de Chile. DGA. ByF Ingenieros Civiles. DGA. Año 1992.

**Donde:** Pr\_Exc (%) 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 lo siguiente:

Distribución	Abreviatura
Log-Normal	: Log-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 2 parámetros	: LG
Log-Pearson tipo III	: LP

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 038006001-5: Río Tránsito Antes Junta Río Carmen (m3/s)**

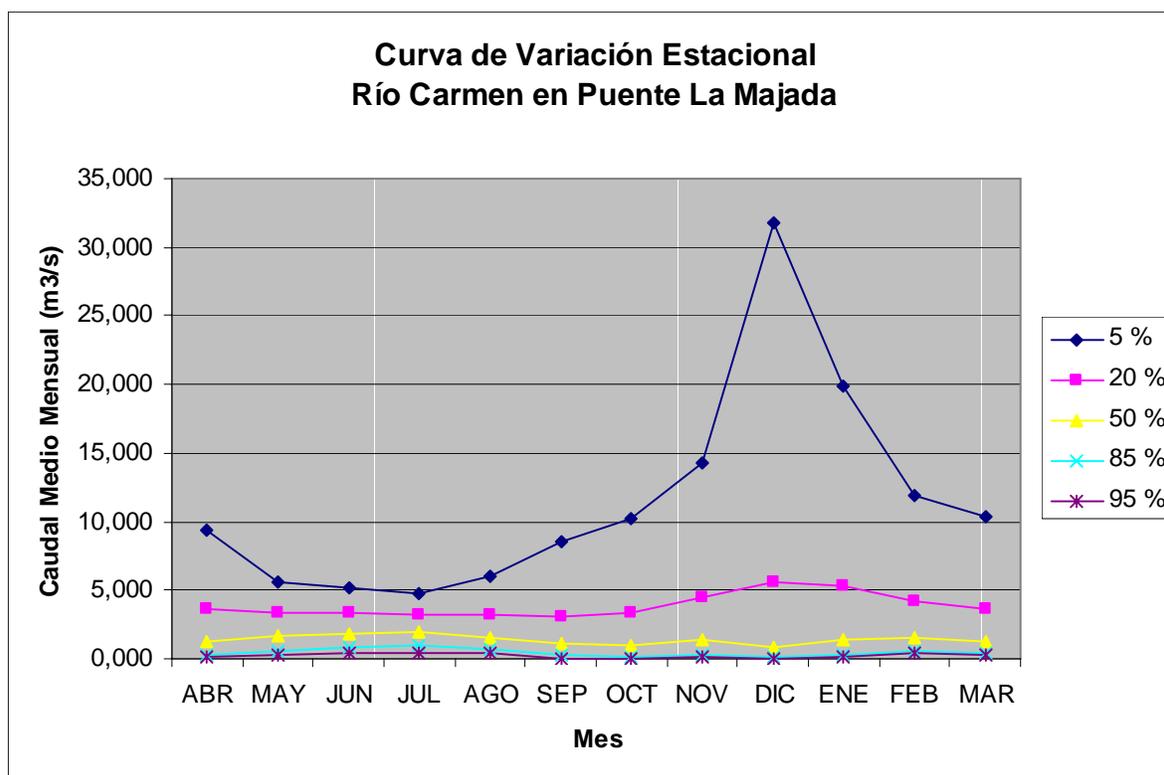
Pr_Exc	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
5 %	10,578	7,165	6,619	6,759	7,493	6,867	7,766	15,354	31,399	25,507	17,049	14,331	13,074
20 %	4,823	4,672	4,486	4,412	4,259	3,736	3,840	5,531	8,204	7,221	5,602	5,052	5,153
50 %	2,106	2,750	2,842	2,731	2,358	1,976	1,837	1,899	2,069	1,994	1,802	1,772	2,178
85 %	0,743	1,043	1,382	1,384	1,138	0,901	0,741	0,509	0,444	0,487	0,511	0,576	0,822
95 %	0,392	0,268	0,719	0,847	0,742	0,569	0,435	0,235	0,223	0,264	0,285	0,352	0,444
Dist.	L3	G	G	L3	L2	L2	L2	L2	L3	L3	L3	L3	

**Fuente:** Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad. Cuenca del Río Huasco. DGA. Año 2004.

**Donde:** Pr\_Exc (%) 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 lo siguiente:

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

## Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 03815002-2 : Río Carmen en Puente La Majada (m3/s)**

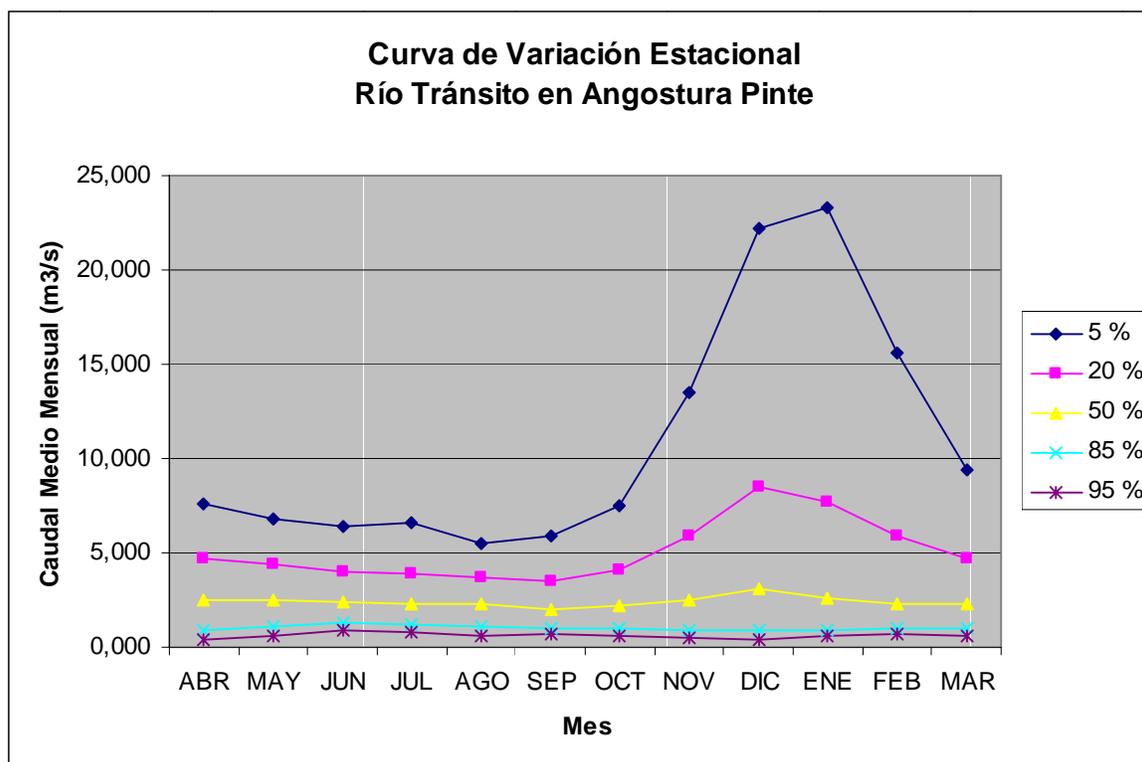
Pr_Exc	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
5 %	9,354	5,569	5,167	4,732	6,086	8,493	10,184	14,349	31,748	19,841	11,902	10,304	11,477
20 %	3,645	3,349	3,296	3,189	3,158	3,148	3,344	4,496	5,587	5,379	4,188	3,635	3,868
50 %	1,307	1,744	1,877	1,999	1,579	1,070	1,016	1,334	0,906	1,371	1,532	1,281	1,418
85 %	0,304	0,614	0,787	0,943	0,660	0,230	0,202	0,299	0,096	0,255	0,593	0,425	0,451
95 %	0,083	0,281	0,420	0,463	0,387	0,055	0,056	0,124	0,026	0,095	0,421	0,264	0,223
Dist.	L3	G2	G2	G	L3	L3	L3	L2	L2	L2	L3	L3	

**Fuente:** Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad. Cuenca del Río Huasco. DGA. Año 2004.

**Donde:** Pr\_Exc (%) 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 lo siguiente:

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

### Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 03804002-2 : Río Tránsito en Angostura Pinte (m3/s)**

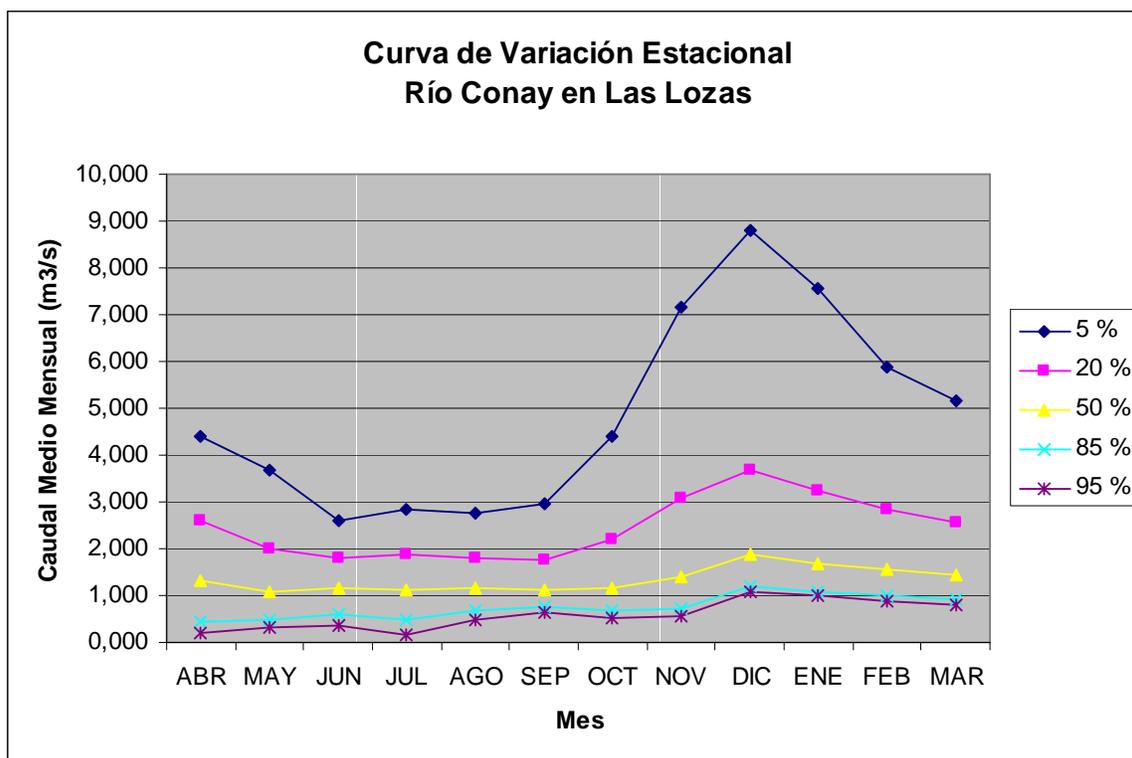
Pr_Exc	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
5 %	7,600	6,773	6,441	6,568	5,545	5,892	7,526	13,514	22,176	23,333	15,648	9,363	10,865
20 %	4,657	4,382	4,004	3,919	3,702	3,467	4,120	5,914	8,460	7,719	5,907	4,748	5,083
50 %	2,497	2,550	2,419	2,282	2,255	1,990	2,192	2,490	3,085	2,629	2,329	2,333	2,241
85 %	0,932	1,113	1,280	1,173	1,071	1,004	1,008	0,858	0,890	0,934	0,969	0,972	1,017
95 %	0,450	0,614	0,868	0,793	0,633	0,672	0,639	0,459	0,429	0,643	0,703	0,581	0,624
Dist.	G2	G2	L3	L2	G2	L2	L2	L2	L2	L3	L3	L2	

**Fuente:** Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad. Cuenca del Río Huasco. DGA. Año 2004.

**Donde:** Pr\_Exc (%) 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 lo siguiente:

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

## Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 03802001-3 : Río Conay en Las Lozas (m3/s)**

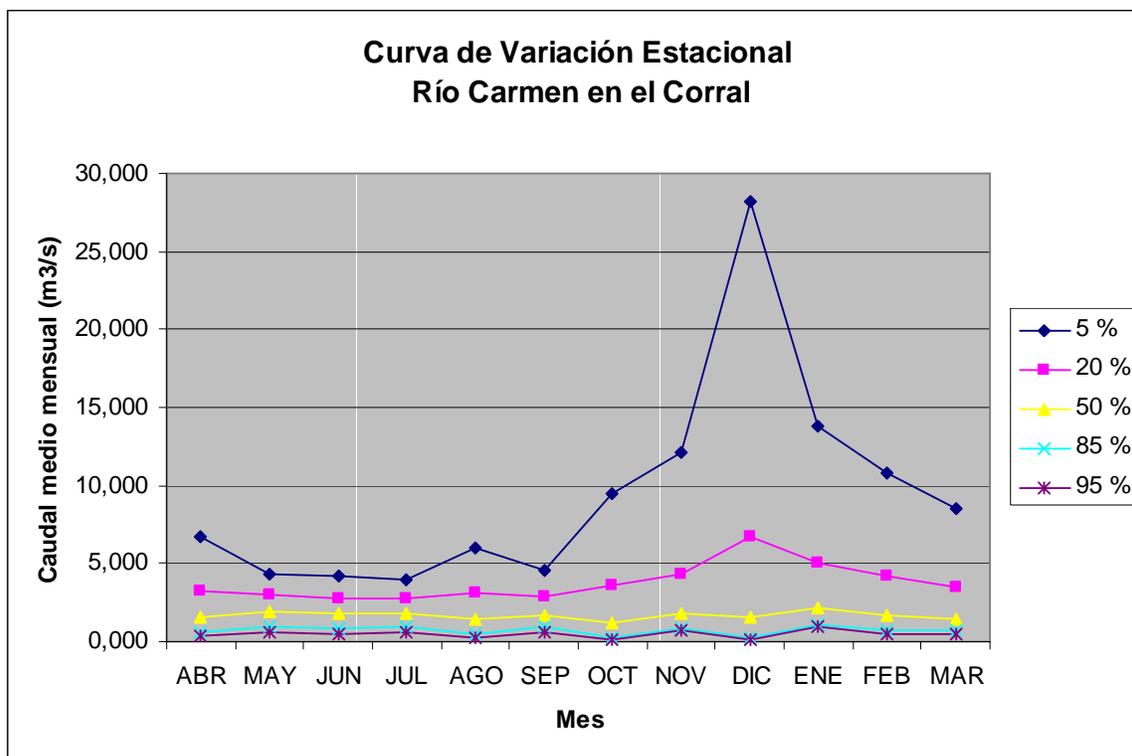
Pr_Exc	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
5 %	4,400	3,681	2,620	2,838	2,751	2,958	4,416	7,154	8,818	7,564	5,874	5,157	4,853
20 %	2,595	2,012	1,802	1,877	1,800	1,777	2,203	3,065	3,672	3,224	2,857	2,561	2,454
50 %	1,309	1,069	1,172	1,136	1,155	1,130	1,173	1,415	1,864	1,667	1,576	1,434	1,342
85 %	0,432	0,490	0,612	0,478	0,668	0,745	0,663	0,720	1,210	1,091	1,006	0,918	0,753
95 %	0,187	0,310	0,358	0,180	0,485	0,630	0,534	0,569	1,088	0,981	0,875	0,797	0,583
Dist.	G2	L2	G	G	L2	L3							

**Fuente:** Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad. Cuenca del Río Huasco. DGA. Año 2004.

**Donde:** Pr\_Exc (%) 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 lo siguiente:

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

## Curva de Variación Estacional



**Tabla N° 03814003-5 : Río Carmen en el Corral (m3/s)**

Pr_Exc	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
5 %	6,669	4,333	4,147	3,930	5,964	4,615	9,495	12,062	28,190	13,856	10,835	8,517	9,384
20 %	3,222	2,964	2,820	2,706	3,091	2,831	3,598	4,331	6,774	5,051	4,176	3,465	3,752
50 %	1,504	1,909	1,798	1,762	1,489	1,697	1,252	1,745	1,516	2,113	1,686	1,486	1,663
85 %	0,589	0,971	0,889	0,924	0,522	0,904	0,278	0,859	0,232	1,110	0,720	0,678	0,723
95 %	0,339	0,546	0,477	0,544	0,225	0,624	0,070	0,702	0,072	0,933	0,528	0,509	0,464
Dist.	L2	G	G	G	L3	L2	L3	L3	L3	L3	L3	L3	L3

**Fuente:** Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivo de calidad. Cuenca del Río Huasco. DGA. Año 2004.

**Donde:** Pr\_Exc (%) 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 lo siguiente:

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