

## IV. HIDROLOGIA CUENCA RIO ELQUI

***HUMBERTO ZAVALA ZUNINO<sup>1</sup>, HERNALDO TRIGOS AGÜERO<sup>2</sup>, IVÁN  
MUNIZAGA ANTEQUERA<sup>2</sup> & ENRIQUE MALL ROJAS<sup>2</sup>.***

---

<sup>1</sup> Departamento Ingeniería en Obras Civiles, Área Hidráulica, Universidad de La Serena. [hzavala@userena.cl](mailto:hzavala@userena.cl)

<sup>2</sup> Alumnos tesistas, Ingeniería Civil en Obras Civiles, Universidad de La Serena.

## **INDICE**

4.1. Introducción.....	3
4.2. Descripción Cuenca Rio Elqui.....	5
4.3. Reseña Estudios Existentes.....	9
4.4. Régimen de Precipitaciones.....	12
4.5. Escorrentía Superficial.....	32
4.6 Geomorfología, Hidrogeología y Vegetación.....	58
4.7. Administración, Infraestructura y Uso de los Recursos Hídricos.....	64
4.8. Modelos Hidrológicos Cuenca Rio Elqui.....	87
4.9 Referencias.....	94

#### **4.1. Introducción.**

El presente informe tiene dos objetivos principales: i) entregar en forma detallada los antecedentes hidrológicos relativos a la cuenca del río Elqui, de utilidad para todos los integrantes del proyecto y ii) servir de base orientadora para el desarrollo de las siguientes fases de trabajo en la línea hidrológica del proyecto conjunto U. Regina-U.L.S., de utilidad principalmente para el equipo hidrológico.

Los aspectos a continuación a abordar relativos a la cuenca del río Elqui, son los siguientes:

Primeramente, en 4.2, se describe la hoya hidrográfica del río Elqui, esto con el objetivo de poder posteriormente identificar la ubicación de las distintas estaciones hidrometeorológicas tales como estaciones pluviométricas y fluviométricas existentes, las obras existentes y en general usos posteriores.

Posteriormente, en 4.3, se presenta una reseña los estudios realizados a la fecha relativos a la hidrología de la cuenca. La lista total de estudios referidos se entrega en el punto 4.9.

En el punto 4.4. se aborda el régimen de precipitaciones de la cuenca. Se entrega un listado de las estaciones pluviométricas, tanto relativo a precipitación líquida como precipitación sólida (nivómetros y rutas de nieve), la longitud de registros y los tipos de instrumentos en operación actual e históricos. Los aspectos que interesa aquí analizar corresponden del régimen de precipitaciones tanto a nivel anual, mensual y a nivel diario.

Elemento clave de interés hidrológico son los flujos superficiales, los que se analizan en el punto 4.5. Primeramente se describe la red de estaciones fluviométricas, y sus principales características. Se entrega igualmente información relativa a los caudales medios mensuales tanto observados como en régimen natural.

En el punto 4.6 se entregan algunos aspectos descriptivos de los elementos físicos y biológicos de la cuenca, tales como los tipos de suelos, geología y vegetación. La variabilidad e información disponible relativa a estas variables al interior de la cuenca es de importancia hacia la definición del modelo hidrológico a desarrollar o utilizar en el proyecto.

En el siguiente punto 4.7 se aborda primeramente una descripción general de las organizaciones involucradas en el manejo del recurso hídrico. También se describen en este punto tanto la infraestructura existente, principalmente embalses y canales de riego. Igualmente se detallan las demandas agrícolas: superficies, dotaciones y eficiencias de riego.

Un aspecto clave a este proyecto es la modelación hidrológica de la cuenca río Elqui. A estos efectos se presenta una revisión breve de los modelos hidrológicos tanto desarrollados para la cuenca del río Elqui, como aquellos solamente aplicados a la cuenca (modelo SHE). Esto se aborda en 4.8.

En el punto 4.9 se entrega la lista de las referencias producto de la revisión de la literatura realizada.

## **4.2. Descripción Cuenca Rio Elqui.**

La hoya hidrográfica del río Elqui se ubica aproximadamente entre los paralelos 29°35' y 30°20' de latitud sur, con una superficie total de aproximadamente 9800 km<sup>2</sup> y se encuentra ubicada íntegramente en la Cuarta Región del País. La superficie exacta de esta cuenca varía según los diversos autores, que aparentemente la han medido, por ejemplo según CHI (1979) al igual que Cepeda y Robles (2005) es de 9794 km<sup>2</sup>, de acuerdo a INA (1987) es de 9.826 km<sup>2</sup>, Espíldora y Palma 9844 km<sup>2</sup>, según Cathalifaud y Ortiz (2001) es de 9657 km<sup>2</sup>, Morales (2001) 9645 km<sup>2</sup>. En términos prácticos hay coincidencia en el valor aproximado de la misma. Para efectos de este informe se asumirá una superficie total de 9794 km<sup>2</sup>. La cuenca del río Elqui (ver Figura 4.1a) limita: al Norte con la cuenca del río Huasco en la parte alta y con la cuenca del río Los Choros en la parte baja; y al Sur con la cuenca del río Limarí y la cuenca costera Elqui-Limarí; por el Este. Los diferentes cursos de agua que dan origen al río Elqui, nacen en la cordillera de Los Andes, y la desembocadura es en el Océano Pacífico a la altura de la ciudad de La Serena, a los 30° latitud Sur, 71° 30' longitud Oeste, a unos 470 Km al norte de la ciudad de Santiago.

Los principales tributarios al río Elqui son los ríos Turbio y Claro. Aguas abajo de la unión de dichos cauces se habla de río Elqui, esta junta se ubica a 815 m.s.n.m., unos 2 km aguas arriba de Rivadavia y a unos 75 km aguas arriba de la ciudad de La Serena.

La cuenca del río Turbio posee una superficie total de 4.196 km<sup>2</sup>. El curso del río Turbio se forma 43 km aguas arriba de Rivadavia y a 1.370 m.s.n.m., de la unión de los ríos Toro y La Laguna a 2050 m.s.n.m. Estos cauces tienen su origen en el área Norte del área cordillerana de la cuenca en los límites con la República Argentina. El río Toro drena la zona Nor-Oriente y sus principales tributarios corresponden al estero Tambo el que cambia de denominación a río Vacas Heladas y los ríos Malo y Toro Muerto. En la cuenca del río Toro operó desde la década de los años 70 la Compañía Minera El Indio, la que a principios del año 2000 inició su Plan de Cierre. Esta Mina de oro ha sido la principal mina que ha existido en la cuenca. El río La Laguna se ubica al Sur de la cuenca del río Toro y en su

cabecera se ubica el único glaciar que existe en la cuenca, el glaciar El Tapado. Los principales cauces tributarios al río La Laguna corresponden a los ríos Colorado y La Gloria. El embalse La Laguna construido en la década de los años 40, con 40 millones de m<sup>3</sup> de capacidad era el único embalse que existía en la cuenca hasta que en el año 1999 entró en operación el embalse Puclaro. En la sub-cuenca del río La Laguna se ubica el Paso de Aguas Negras hacia la República Argentina, que es el único cruce vial habilitado a la fecha para este efecto en la Región de Coquimbo.

El principal tributario al río Turbio corresponde al río Incahuaz, lo que ocurre en el sector de Las Terneras. Este río al igual que los ríos Toro, La Laguna y Turbio tiene un régimen marcadamente nival, lo que hace que el régimen de escurrimiento sea permanente. Otro cauce de importancia afluente al río Turbio corresponde a la quebrada del Calvario, cuya cuenca se ubica al Norte del río Turbio y con respaldo principalmente pluvial. A partir de dicho punto a la altura de la localidad de Huanta, el río Turbio cambia de rumbo a uno final N-S, que es la prolongación del rumbo que trae la quebrada tributaria del Calvario. Las principales localidades ubicadas en la cuenca del río Turbio corresponden a Huanta, Chapilca y Varillar, con poblaciones pequeñas. Igualmente el desarrollo, explotación, agricultura, redes de canales y desarrollo turístico, en esta cuenca es claramente más limitado que en la cuenca del río Claro.

El río Claro se forma de la unión de los ríos Cochiguaz y Derecho (o Claro Derecho) en el sector de Montegrando a 1223 m.s.n.m. La sub-cuenca del río Cochiguaz, colinda con la sub-cuenca del río La Laguna y su nacimiento es en la alta cordillera en zonas vecinas a la República Argentina y su único afluente es el río Cochiguaz. El río Derecho (o Claro-Derecho) limita por el Sur con la cuenca del río Hurtado (sub-cuenca de la cuenca del río Limarí). Aguas abajo de Montegrando el río Claro recibe como principal aporte a la quebrada Paihuano, a la altura de la localidad de Paihuano. Es importante destacar que la administración de los canales y derechos de agua de la cuenca del río Elqui está conformada por una gran junta de vigilancia, la Junta de Vigilancia del río Elqui, la que tiene potestad sobre todos los canales de la cuenca, salvo sobre la subs-cuencas del río

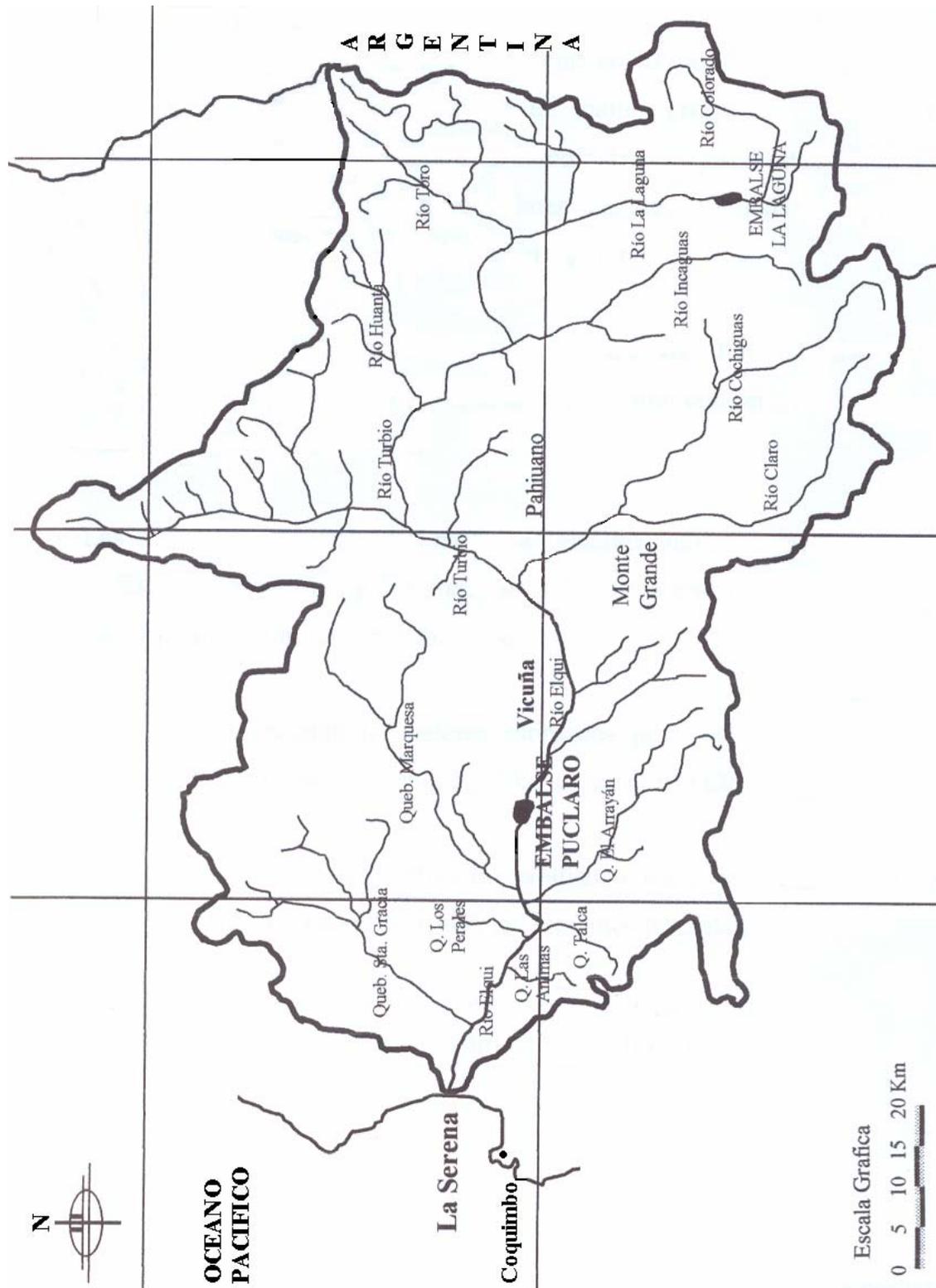
Derecho y de la quebrada Paihuano, las que poseen autoridad sobre el manejo interno de sus recursos hídricos y que no tienen obligaciones de entregar flujos hacia aguas abajo. Esto se detalla en el punto 4.7. Las principales localidades existentes al interior de la sub-cuenca del río Claro corresponden a Pisco Elqui, Montegrando y Paihuano.

El área total de los ríos Turbio y Claro, esto es el área tributaria al río Elqui desde donde comienza dicha denominación propiamente tal es de 5719 km<sup>2</sup>, lo que corresponde al 58.4% del área total de la cuenca. Esto significa que desde este punto hacia aguas abajo se ubica el 41.6 % de la cuenca, la que de acuerdo a las altitudes que la conforman hacen que sea conformado por una serie de quebradas de régimen pluvial.

La dirección de este curso de agua es claramente Este-Oeste, con una distancia total hasta su desembocadura de aproximadamente 65 km. Por la ribera Norte las quebradas más importantes son (desde aguas arriba hacia aguas abajo): Marquesa, Los Perales y Santa Gracia, que de acuerdo a Morales (2001) poseen superficies de 939.8 km<sup>2</sup>, 39.8km<sup>2</sup> y 1066.8km<sup>2</sup> respectivamente. Por la ribera Sur las principales quebradas tributarias son (desde aguas arriba hacia aguas abajo): San Carlos, El Arrayán, Talca y Las Animas, con superficies de 252.0km<sup>2</sup>, 571.8 km<sup>2</sup>, 146.0 km<sup>2</sup> y 45.5 km<sup>2</sup> respectivamente.

La totalidad de estas sub-cuencas es de 3061.8 km<sup>2</sup>, lo que corresponde al 75.0 % del área de la cuenca aguas abajo Elqui en Algarrobal.

Figura 4.1.a. Cuenca Río Elqui.



### **4.3. Reseña Estudios Existentes.**

De la revisión de literatura relativa a estudios hidrológicos sobre la cuenca del río Elqui y que se considera relevantes como para ser indicados en este informe, lo que se hace en el punto 4.8, se llega a la cantidad de aproximadamente 40 trabajos. Estos son de diferente naturaleza, tanto encargados por algunas instituciones gubernamentales, principalmente la dirección General de Aguas (DGA) como la dirección de Obras Hidráulicas (DOH) ambas instituciones dependientes del Ministerio de Obras Públicas.

Muchos de estos trabajos no han sido ejecutados directamente por profesionales de dichas instituciones, sino por consultores independientes sub-contratados para tales efectos. Otra cantidad importante de estudios han sido elaborados vía Trabajos de titulación (Memorias de Título) en universidades, principalmente en la Universidad de La Serena (ULS), como algunas de la Universidad de Chile.

La cuenca del río Elqui no posee a la fecha ni en ninguna época histórica aportes de agua externos a ella, esto es que no recibe trasvase de aguas desde cuencas vecinas ni tampoco sistemas de desalinización. Por lo tanto, todas las actividades desarrolladas en su interior deben llevarse a cabo, en cuanto a sus requerimientos hídricos, con la única fuente de agua a una cuenca que son las precipitaciones. En este caso y de acuerdo a las altitudes que se dan al interior de la cuenca, precipitaciones líquidas y sólidas. Las precipitaciones sólidas se restringen sólo a los sectores altos, sobre cotas 2500 m.s.n.m. o más, lo que abarca un área pequeña de la cuenca, no mayor al 30%. Observando el régimen de precipitaciones medias en la zona pluvial de la cuenca, en el rango de los 100 mm/Año y las tazas de evapotranspiración potencial, sobre los 1500 mm/año, queda claro el déficit hídrico natural, lo que lleva a clasificar a esta cuenca como del tipo Semi-árida. Este déficit hídrico se complica aún más por la marcada variabilidad climática, que presentan las cuencas semi-áridas, especialmente en el régimen de precipitaciones, implica acentuadas fluctuaciones en el régimen de escorrentía superficial de los cauces naturales. Pero, por otra parte existen condiciones agrometeorológicas aptas para el desarrollo de la agricultura, la que cumple un rol fundamental en el sistema social y económico de la región. Todo esto ha llevado a que

el uso de los recursos hídricos debe ser altamente eficiente, tanto para enfrentar el déficit hídrico normal como el acentuado déficit que ocurre durante eventos de sequía.

Los mayores centros urbanos ligados al río Elqui son las ciudades de La Serena y Coquimbo, con una población total de aproximadamente 300.000 habitantes, las que se ubican en prácticamente su totalidad fuera de dicha cuenca. Ambas ciudades son abastecidas en forma conjunta desde la captación ubicada en el río Elqui en el sector de las Rojas. Algo parecido ocurre con algunos canales con bocatomas en el río, igualmente en la parte baja, los que riegan sectores externos a la cuenca del río Elqui, la zona de Pan de Azúcar.

En consecuencia, parte importante de los estudios llevados a cabo a la fecha, han estado dirigidos hacia el uso lo más eficiente posible del agua. En esta línea se puede destacar el trabajo de INA (1987), trabajo (de 7 tomos) encargado por la Comisión nacional de Riego.

En esta línea de estudios dirigidos hacia un uso eficiente de los recursos hídricos de la cuenca, tanto los naturales como la infraestructura actual y futura a desarrollar, son trabajos relativamente recientes y dentro de éstos se puede señalar a:

- INA (1987).
- INECON (1997)
- CONIC-BF (1995)
- DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (1987).
- ESPILDORA (1968)

Otra cantidad importante de trabajos corresponden a proyectos de ingeniería realizados con un objetivo preciso que es el diseño de alguna obra o mejoramiento de la misma (mejoramiento de canales por ejemplo), en esta línea se ubican los trabajos de:

- ARRAU (1987)
- CARVAJAL y FUENTES (2003).

- MN (1999)
- REG. (1991)
- DOMINGUEZ y ROMERO (1999)

En la línea de análisis de los registros fluviométricos, esto es estudios de corte netamente hidrológico sin una utilidad inmediata sino enfocada a entender la hidrología de la cuenca y ser útiles tanto en futuros proyectos como para la asignación de derechos de agua o estudios de calidad de aguas, se puede citar a:

- ALFARO y HONORES (2001)
- BF (1992).
- CADE IDEPE (2004)
- INGENDESA, PUCLARO
- IPLA (1996).
- KLEIMAN, P. Y TORRES, J. (1964).
- R.E.G. (1984)
- QUEZADA (1991)
- CHI (1978)

En una línea similar a la anterior pero con respecto al análisis del régimen de precipitaciones, tanto precipitaciones totales anuales a lo largo de la cuenca del río Elqui o de la región o del país; o precipitaciones en lapsos más breves, por ejemplo en 24, 48 o 72 horas (1, 2 o 3 días), resultados que a futuro serán empleados en el cálculo de crecidas, se ubican los estudios de:

- CASTILLO C. Y NORERO M. (1990).
- DGA (1989)
- WOOD. (1971)

Una línea similar a las anteriores es aquella relativa al estudio de otras variables meteorológicas de interés hidrológico o agroclimático y, se pueden citar a los trabajos siguientes:

- BF (1991)
- CIREN-CNR (1996)
- MERLET, H Y SANTIBAÑEZ, F. (1989).

En el área del estudio de los recursos de aguas subterráneas se puede señalar a:

- LLANCA y MIRANDA (2004)
- LUENGO P. (2004)

Finalmente, los trabajos que han desarrollado o aplicados modelos hidrológicos en la cuenca se abordan en el punto 4.9.

#### **4.4. Régimen de Precipitaciones Cuenca Rio Elqui.**

##### **4.4.1. Descripción Red de Estaciones Pluviométricas Cuenca Rio Elqui.**

Por su condición nivo-pluvial, en la cuenca del río Elqui es importante contar con mediciones tanto de precipitación líquida como sólida. En Tabla 4.1 se indican las Estaciones Pluviométricas existentes en la cuenca del río Elqui (ver igualmente Figura 4.1b), indicando su ubicación geográfica en coordenadas locales y coordenadas UTM, la altitud y el código BNA. El código BNA corresponde al código de la estación en el Sistema Banco Nacional de Aguas, DGA). Este sistema computacional registra información histórica de la Red Hidrometeorológica Nacional administrada por DGA y código actual Código 2000. La mayoría de las estaciones pluviométricas están a cargo de la Dirección General de Aguas (DGA), otro número de estaciones son operadas por la Dirección Meteorológica de Chile (DMC). Adicionalmente existen otras estaciones a cargo del

CEAZA, las que aparecen en el capítulo 3. Las estaciones de la Tabla 4.1 registran, de acuerdo a su altitud (salvo en algunos eventos en la estación La laguna), precipitación líquida.

Puesto que los registros de estaciones vecinas, para este caso estaciones ubicadas en las hoyas hidrográficas de los ríos Limarí, Huasco, Los Choros u otros pertenecientes a la tercera región por ejemplo, pueden ser de utilidad mediante algún método estadístico de aproximación, para evaluar el régimen de precipitaciones en la cuenca río Elqui. En la Tabla 4.2 aparecen algunas estaciones, que no pertenecen a la cuenca del río Elqui, tales como Punta de Tortuga y El Trapiche.

**Tabla 4.1. Estaciones Pluviométricas en la cuenca del río Elqui**

NUM	CUENCA DE ELQUI	Organismo	COD BNA	COD 2000	Altitud	Coord. UTM		Coord. Geog.	
		Controlador			(msnm)	Norte (m)	Este (m)	Lat. (S)	Long. (W)
2	LA LAGUNA EMBALSE	DGA	04301050-6	04301005-0	3100	6658664	399930	30° 12'	70° 02'
3	HUANTA	DGA	04306050-3	04306002-3	1240	6697800	365974	29° 50'	70° 23'
4	RIVADAVIA	DGA	04308050-4	04308003-2	850	6682999	349571	29° 58'	70° 34'
5	PISCO ELQUI DMC	DGA	04311050-0	04311003-9	1300	6667310	357089	30° 07'	70° 29'
6	LOS NICHOS	DGA	04311051-9	04311004-7	1350	6663594	355532	30° 09'	70° 30'
7	LA ORTIGA	DGA	04311052-7	04311005-5	1560	6657355	356759	30° 12'	70° 29'
8	COCHIGUAZ	DGA	04313050-1	04313003-K	1560	6664968	364824	30° 08'	70° 24'
9	MONTE GRANDE	DGA	04314050-7	04314003-5	1155	6670207	356050	30° 05'	70° 30'
10	VICUÑA INIA	DGA	04320050-K	04320003-8	730	6676250	336800	30° 02'	70° 41'
11	PUCLARO EMBALSE	DOH	04321050-5	04321001-7	460	6677878	321578	30° 01'	70° 51'
12	ALMENDRAL	DGA	04323050-6	04323007-7	430	6681809	316517	30° 09'	70° 54'
13	MOLINO YACO	<b>DGA</b>	04331050-K	04331004-6	1200	6686014	376152	29° 57'	70° 17'
14	SAN ANTONIO FUNDO	DGA	04334050-6	04334001-8	1250	6695965	298734	29° 51'	71° 05'
15	LA SERENA ESC. AGRIC.	DGA	04335050-1	04335002-1	15	6689520	282204	29° 54'	71° 15'
18	JUNTAS DEL TORO	DGA	04301052-2	04302014-5	2155	6683648	394637	29° 58'	70° 05'
19	LA FLORIDA	DMC	S.C.	S.C.	142	6688816	287930	29° 54'	71° 12'
20	ANDACOLLO	DMC(*)	S.C.	S.C.	1100	6653528	299495	30° 14'	71° 06'

\*Inicialmente a cargo DMC, actualmente operada por Minera Dayton (Andacollo).

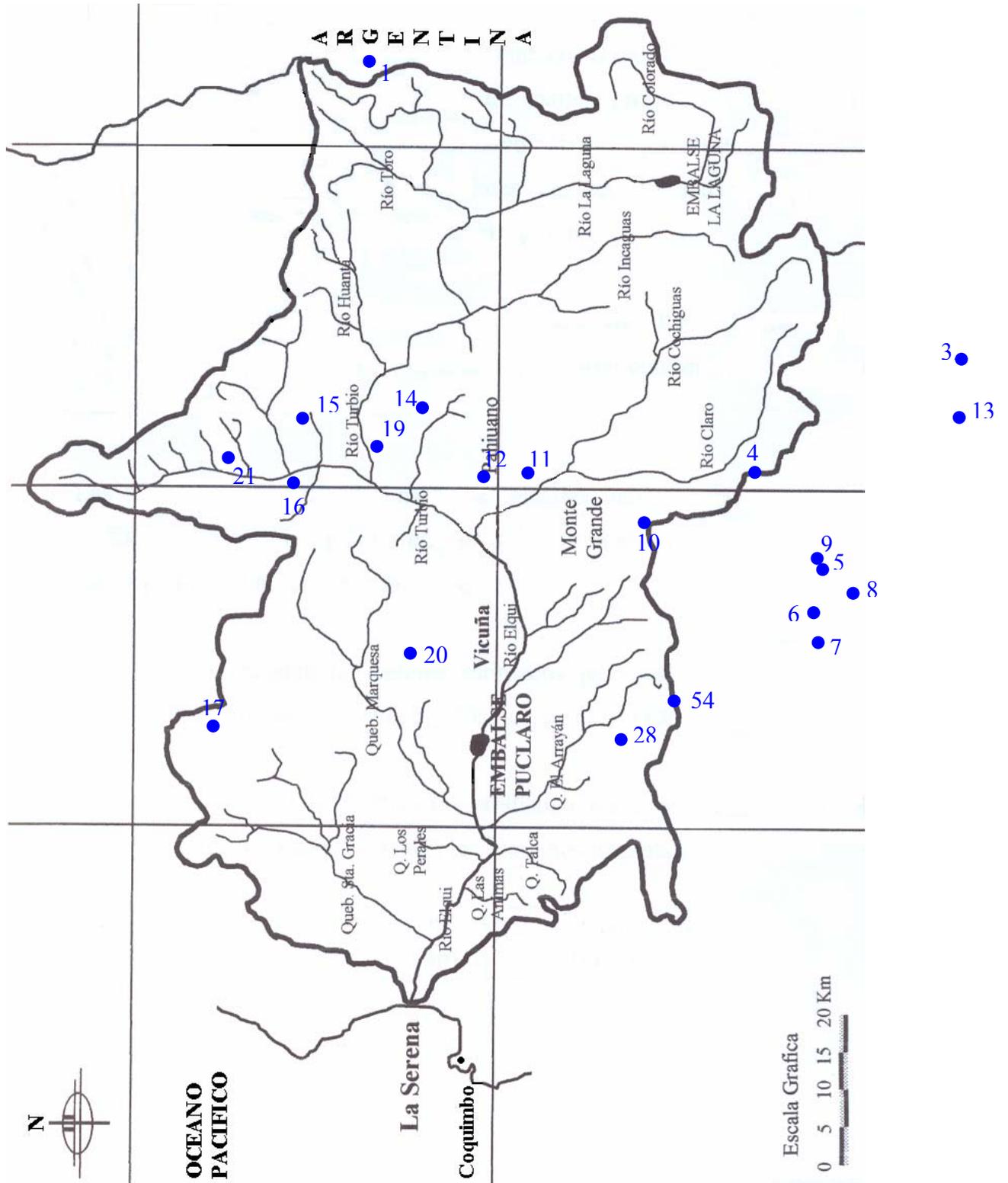
**Tabla 4.2. Algunas Estaciones Pluviométricas colindantes con Cuenca río Elqui**

NUM	CUENCA DE ELQUI	Organismo	COD BNA	COD 2000	Altitud	Coord. UTM		Coord. Geog.	
		Controlador			(msnm)	Norte (m)	Este (m)	Lat. (S)	Long. (W)
1	EL TRAPICHE	DGA	04120050-2	04120001-4	460	6749921	294670	29° 21'	71° 07'
16	PAN DE AZUCAR	INIA	04400050-4	04400002-4	100	6679066	284563	30° 00'	71° 14'
17	CERRILLOS POBRES	DGA	04410050-9	04410001-0	150	6645516	270785	30° 18'	71° 23'
21	PTA. TORTUGA, COQBO.	DMC (*)	S.C.	S.C.	25	6685958	273162	29° 56'	71° 21'
28	LA CORTADERA	DGA	04502051-7	04502004-5	920	6641033	328587	30° 21'	70° 47'
49	LA TORRE	DGA	04552050-1	04552002-1	134	6611063	273305	30° 37'	71° 22'
52	SALALA	DGA	04557001-0	04557001-0	50	6602702	257308	30° 41'	71° 32'
54	HURTADO	DGA	04502052-5	04502005-3	1200	6649364	339444	30° 17'	70° 40'

\*Inicialmente a cargo DMC, actualmente operada por la Armada de Chile (Valparaíso).

En la Tabla 4.3 se indica la longitud de registros de todas las estaciones ya mencionadas, señalándose los años con registros incompletos. De las estaciones citadas, las más antiguas corresponden a La Florida en La Serena y Punta Tortuga en Coquimbo, pertenecientes a la Dirección Meteorológica de Chile (DMC) cuentan con registros desde el año 1921, la mayoría de las otras estaciones no cuenta con registros de tal antigüedad pero poseen datos continuos a partir del año 1950 aproximadamente. La mayor parte de la información dispone de registros estadísticos es del orden de 45 años. De la Tabla 4.3 se puede concluir que existe falta de datos en ocasiones puntuales, provocada por distintos motivos, generando una falta de continuidad en la información, debiendo así rellenar por intermedio de técnicas estadísticas los registros faltantes. Existen algunas situaciones por las cuales un registro específico no se encuentra en los bancos de datos como puede ser que la estación no se encontraba en funcionamiento, extravío de la información antes de ser registrada o mal digitada al momento de ser traspasada.

Figura 4.1.b. Estaciones Pluviométricas Zona Cuenca río Elqui  
 (Numeración según Tablas 4.1 y 4.2)



Las estaciones pluviométricas normalmente son estaciones que registran diversas variables meteorológicas, entre ellas la precipitación, además de la temperatura, humedad atmosférica, evapotranspiración, radiación solar, etc. En lo que respecta únicamente a los registros pluviométricos, una estación (en cualquiera de sus denominaciones y características más o menos general) meteorológica o hidrometeorológica o simplemente pluviométrica es una estación que registra la precipitación caída en un cierto punto, cuya representatividad espacial es materia a definir, principalmente en función de la densidad de estaciones y del régimen de precipitaciones del área. En todo caso, una posible e importante clasificación obedece a la instrumentación instalada. Al respecto se puede indicar que existen estaciones pluviométricas (sin instrumentos automatizado de registro haciéndose necesario un operador), dependiendo del operador la información es de tipo continuo (a nivel horario, diario, mensual y anual) y, estación pluviográfica, la que sí posee un instrumento automatizado que registra la cantidad de agua que cae a través del tiempo, denominado pluviógrafo. Estas últimas estaciones, las pluviográficas, igualmente requieren de un operador para el retiro de la información, mantenimiento y control en general. Existe igualmente una variedad de pluviógrafos los más antiguos y actualmente en operación en muchos lugares registran la información en un papel, pluviograma de registro continuo, las más recientes en cambio poseen un registro digital en forma discreta (cada intervalos temporales predefinidos), por ejemplo cada 10 minutos, 1 hora, etc.

En la Tabla 4.4 (Figura 4.1) se indican las estaciones de medición de la nieve o precipitación sólida. La técnica de medición en este caso es más compleja y el equipamiento implementado a la fecha en la cuenca del río Elqui es de dos tipos: nivómetros, los que miden la nieve caída, la que se lleva a equivalente en agua y las rutas de nieve, que son sectores nivales donde se instalan ciertas marcas, tal que periódicamente se mide la cantidad de nieve acumulada y su densidad. De la combinación de ambos valores se obtiene el equivalente en agua del manto de nieve.

**Tabla 4.3. Período de Operación Estaciones Pluviométricas Cuenca Del Río Elqui**

Número Estación	Nombre Estación	Año primer dato	Altura (msnm)	Coord. Geog.		Estado Actual	1921 – 1940	1941 - 1960	1961 - 1980	1981 - 2000
				Lat. (S)	Long. (N)					
1	El Trapiche	1979	460	29° 21'	71° 09'	En Funcionamiento				
2	La Laguna Embalse	1964	3100	30° 12'	70° 02'	En Funcionamiento				
3	Huanta	1989	1240	29° 51'	70° 23'	En Funcionamiento				
4	Rivadavia	1937	850	29° 58'	70° 34'	En Funcionamiento				
5	Pisco Elqui DMC	1977	1300	30° 07'	70° 29'	En Funcionamiento				
6	Los Nichos	1977	1350	30° 09'	70° 30'	En Funcionamiento				
7	La Ortiga	1979	1560	30° 09'	70° 31'	En Funcionamiento				
8	Cochiguaz	1989	1560	30° 08'	70° 24'	En Funcionamiento				
9	Monte Grande	1958	1155	30° 05'	70° 30'	En Funcionamiento				
10	Vicuña INIA	1950	730	30° 03'	70° 43'	En Funcionamiento				
11	Puclaro Embalse	1962	460	30° 01'	70° 51'	Descontinuada				
12	Almendral	1958	430	29° 59'	70° 52'	En Funcionamiento				
13	Molino Yaco	1958	1200	29° 58'	70° 12'	Descontinuada				
14	San Antonio Fundo	1961	1250	29° 51'	71° 05'	Descontinuada				
15	La Serena (Esc. Agr.)	1971	15	29° 54'	70° 52'	En Funcionamiento				
16	Pan de Azúcar	1978	100	30° 00'	71° 16'	En Funcionamiento				
17	Cerrillos Pobres	1961	150	30° 18'	71° 23'	Descontinuada				
18	Juntas (del Toro)	1990	2155	29° 58'	70° 05'	En Funcionamiento				
19	La Serena-La Florida	1869	142	29° 54'	71° 12'	En Funcionamiento				
20	Andacollo	1963	1100	30° 14'	71° 06'	En Funcionamiento				
21	Punta de Tortuga, Cqbo.	1899	25	29° 56'	71° 21'	En Funcionamiento				

Obs1: El Trapiche queda fuera de los límites de la cuenca del río Elqui; específicamente, en cuenca río Los Choros (Lado Norte 29°21'; 71°09').

Obs2: La estación Pluv. Pan de Azúcar queda fuera de los límites de la cuenca del Elqui.

Obs3: Existe información de tipo anual en algunas estaciones, que no es considerada para el diagrama de barras.

- Datos del par de años correspondiente.
- Dato del primer año del par correspondiente.
- Dato del segundo año del par correspondient

**Tabla 4.4. Estaciones Nivométricas Cuenca río Elqui**

Estación Nival	COD BNA	Período información	Coordenadas UTM		Altura m.s.n.m.
			Este (mts)	Norte (mts)	
El Indio	04302016-1	1981 – 1999	401725	6704741	3800
La Laguna Embalse	04301005-0	1955 – 2000	400530	6658552	3100
Cerro Olivares	04300001-2	1974 – 1975	408599	6653081	3550

De las estaciones indicadas, salvo la estación de El Indio, operada por la Compañía Minera El Indio (C.M.E.I.), las restantes estaciones se encuentran a cargo del Sub-Departamento Meteorológico y Nieves, perteneciente al Departamento de Hidrología, de la Dirección General de Aguas (M.O.P.). La estación de La Laguna Embalse, que posee registros a partir del año 1955, es la estación más antigua, pero las restantes estaciones nivométricas poseen período de funcionamiento histórico no mayores a 25 años. La falta de estaciones en las altas cumbres o a mayor altitud, abre una incertidumbre de lo que acontece en esos puntos, considerando que sólo en la cuenca del río Elqui existen cotas por sobre los 5000 m de altura. Por otra parte no se poseen estudios de cómo es la variación de precipitación sólida por cada ciertos metros de ascenso o descenso sobre la línea media de nieve, por lo que se trazará un gráfico de estaciones nivométricas versus su respectivo promedio de datos históricos, ver Figura 4.5.

#### **4.4.2. Precipitaciones Anuales Cuenca Río Elqui.**

En la Tabla 4.5 y Figuras 4.2 a,b,c,d se entrega algunos registros de precipitación total anual para el período 1950 a 2000 en las estaciones La Serena (La Florida), Vicuña (INA), Rivadavia y La Laguna, esto es estas 4 estaciones cubren desde sectores altos (La Laguna) a 3199 m.s.n.m. hasta La serena, prácticamente al nivel del mar. Estos registros sirven para ilustrar el rango de variación de las precipitaciones medias en la zona. De dichos registros (en la Figura 4.3 se presentan los diagramas de las Figuras 4.2) se concluye claramente la gran variabilidad inter-anual que presentan las precipitaciones en la cuenca y en la IV Región en general, variabilidad propia de zonas

semi-áridas. En la Tabla 4.6 se entregan valores relativos a la precipitación media anual en una mayor cantidad de estaciones de la cuenca, tanto según DGA (1987), como del trabajo de Mall (2005). En general existe coincidencia entre ambos estudios y las diferencias notorias en algunos registros se originan en los pocos años de registros disponibles al momento del estudio. En general, las precipitaciones medias anuales se ubican en el rango de 80mm/Año a 170 mm/Año, con una tendencia, aunque no categórica, a una mayor precipitación a mayores alturas. Es importante destacar que estas precipitaciones ocurren, en forma clara, en el período otoño-invierno, ver Figura 4.4.

**Tabla 4.5. Precipitaciones Totales Anuales de algunas estaciones representativas del Régimen Pluviométrico Cuenca río Elqui Bajo Línea de Nieve.**

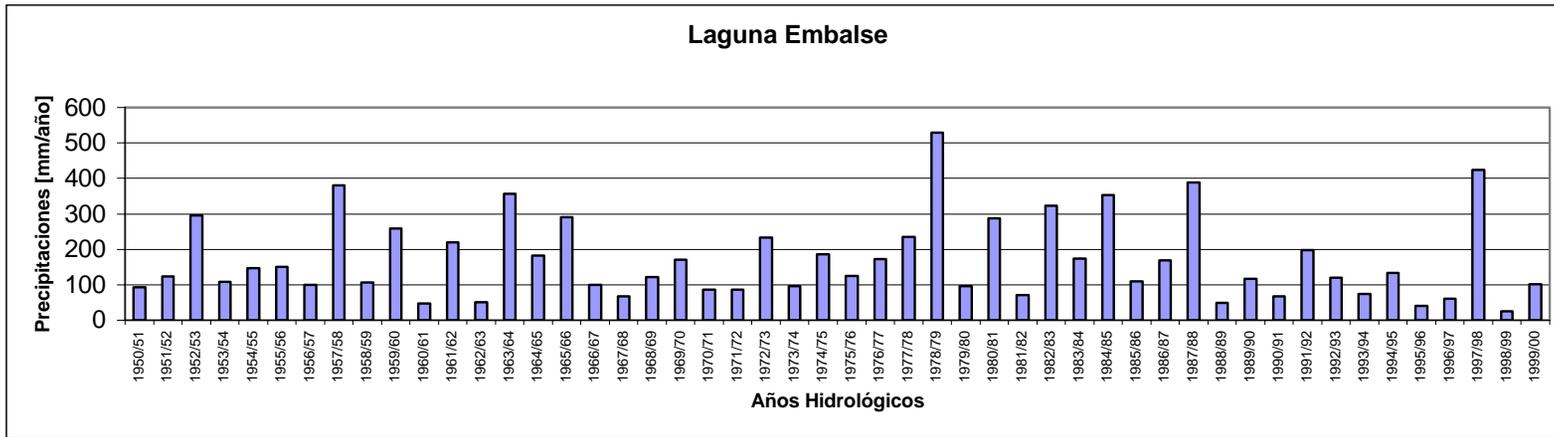
AÑO	Laguna Embalse	Rivadavia	Vicuña (INIA)	LA Serena-La florida
1950/51	92,316	48,8	58,8	80,8
1951/52	123,873	65,5	78,9	45,7
1952/53	295,16	156	188	163,1
1953/54	108,5	56	69	42,3
1954/55	146,8	76,2	93,5	89,1
1955/56	150	52,7	95,5	76,8
1956/57	99	60,6	63	63,2
1957/58	379,9	199,3	242	273,3
1958/59	106	25	67,5	157,9
1959/60	258,7	123,8	164,8	98,1
1960/61	48,1	31	30,7	10,4
1961/62	219,2	84,5	139,6	133,1
1962/63	51,4	28	32,7	34,3
1963/64	357,1	190,7	227,4	177,4
1964/65	182,2	75,2	89,3	25,4
1965/66	289,9	214,2	209	207,7
1966/67	99	108	133,6	111,6
1967/68	68	80	81,1	80,5
1968/69	122	9,5	23,1	34,2
1969/70	170	23,5	16,4	13,2
1970/71	86,5	19,5	23,7	26,3
1971/72	86	82	83,2	80,1
1972/73	233,7	138	148,8	188,1
1973/74	96,8	74,9	56,8	58,7
1974/75	185,5	42	49	49,7
1975/76	124,5	75	108,3	68,3
1976/77	172	89,5	88,3	44,2
1977/78	235,5	68,6	52,8	84,8
1978/79	529	103,6	66,4	46,1
1979/80	96	14	4,1	3,9
1980/81	287,5	168,7	131,3	89,7
1981/82	71	53,8	82,8	67,8
1982/83	323,5	115,1	85,9	79,6
1983/84	174	206,6	200,4	160,7
1984/85	353,5	337	247,5	178,3

MCRI Project:  
INSTITUTIONAL ADAPTATIONS TO CLIMATE CHANGE: Comparative study  
of dryland river basins in Canada and Chile.

---

1985/86	110,5	54,7	49,8	34,8
1986/87	168,2	70,4	77,5	38,2
1987/88	388	198,9	198,1	196,6
1988/89	48,5	19,8	9,9	8,6
1989/90	116	52,1	72,8	59
1990/91	67,5	47,3	64,5	17,7
1991/92	198	76,8	223	118,3
1992/93	120,5	148,5	153,3	180,3
1993/94	74,5	24,9	39,5	67,7
1994/95	133	56	33,9	33,6
1995/96	41	2	1,3	12,7
1996/97	60,5	49,7	43,4	46,6
1997/98	423,5	328	269,5	199,1
1998/99	26	23,5	26,1	19,3
1999/00	101,5	58	51,7	56,6

**Figura 4.2.a. Precipitaciones Totales Anuales Estación Laguna Embalse**



**Figura 4.2.b. Precipitaciones Totales Anuales Estación Rivadavia**

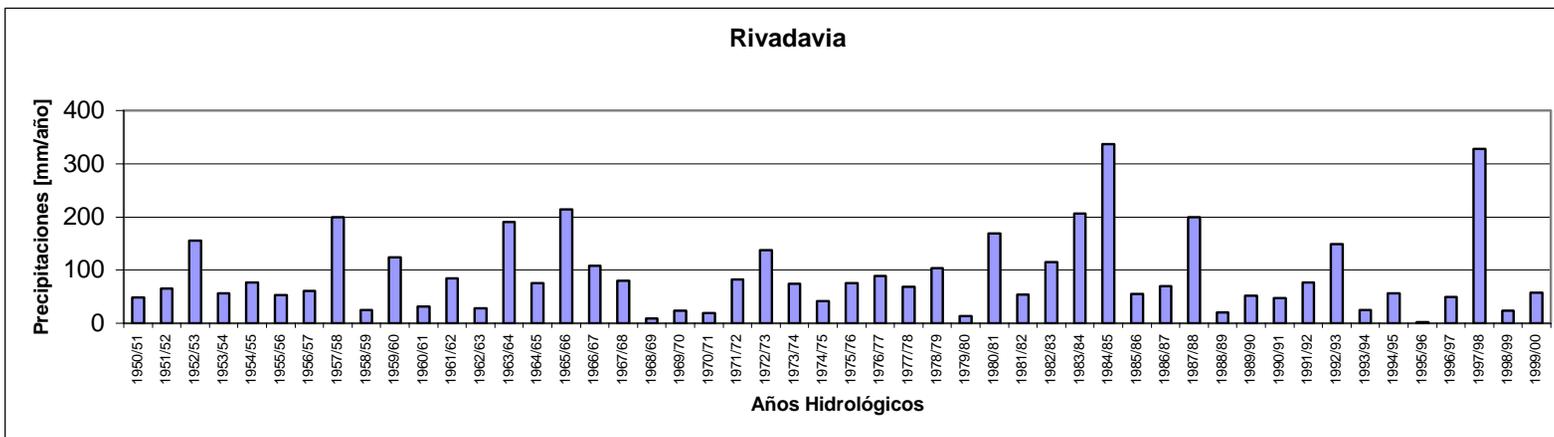


Figura 4.2.c. Precipitaciones Totales Anuales Estación Vicuña

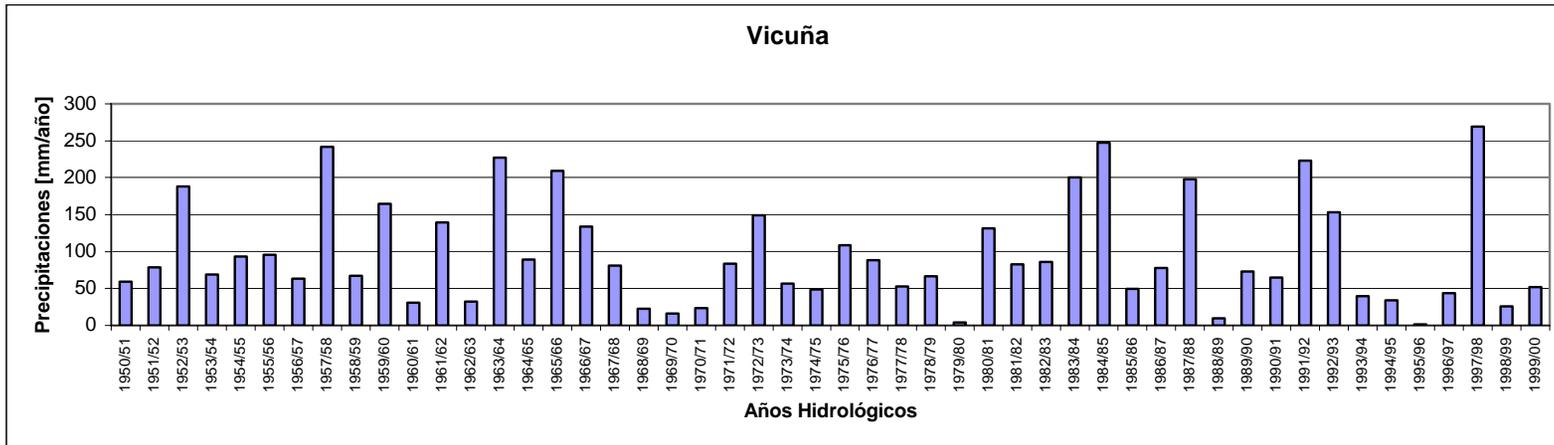
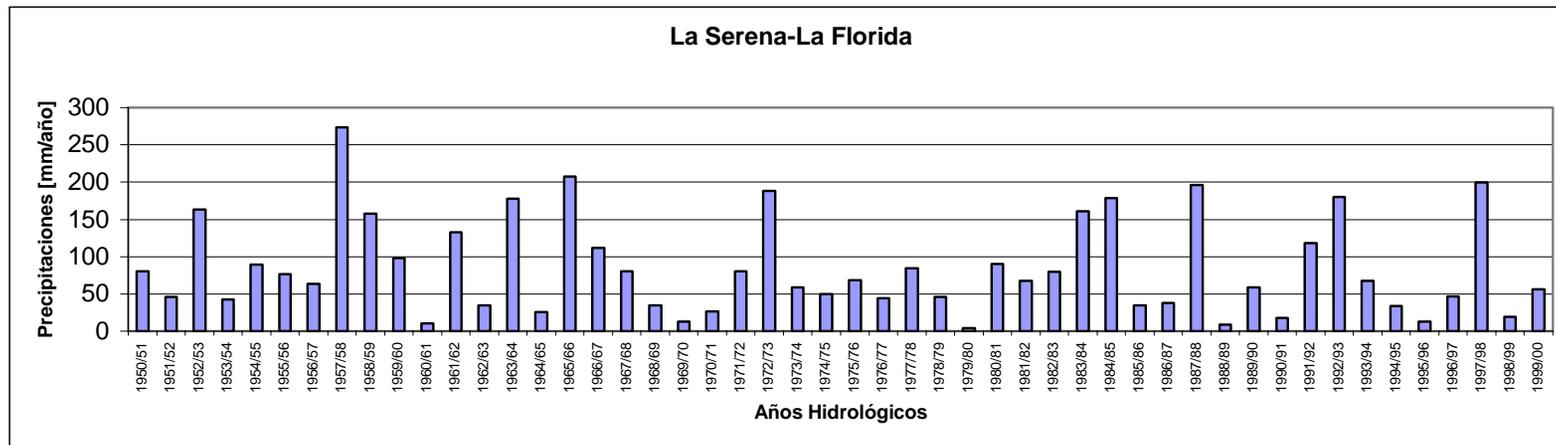


Figura 4.2.d. Precipitaciones Totales Anuales Estación La Serena La Florida



**Figura 4.3. Precipitaciones Totales Anuales en Estaciones Pluviométricas representativas Cuenca río Elqui Período (1950-1951) a (1999-2000)**

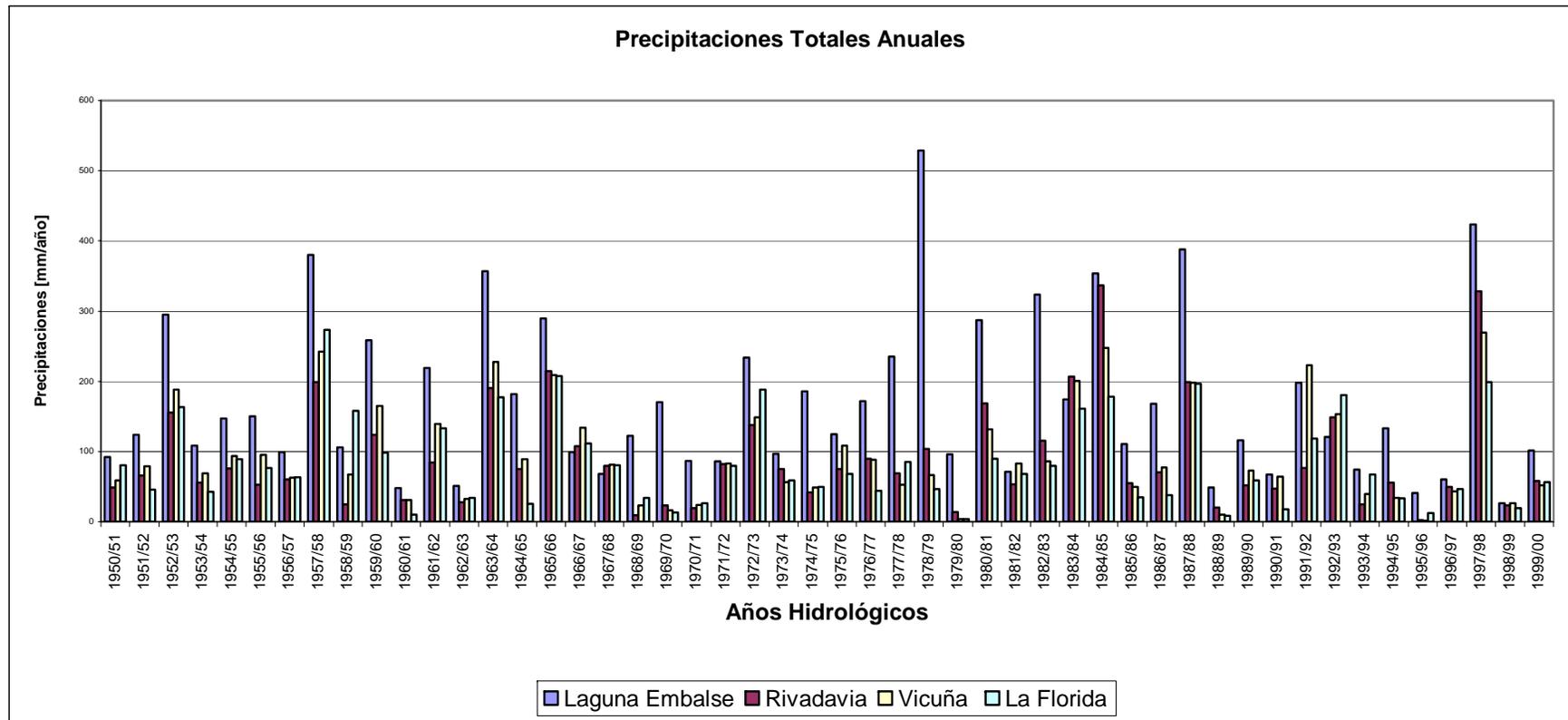
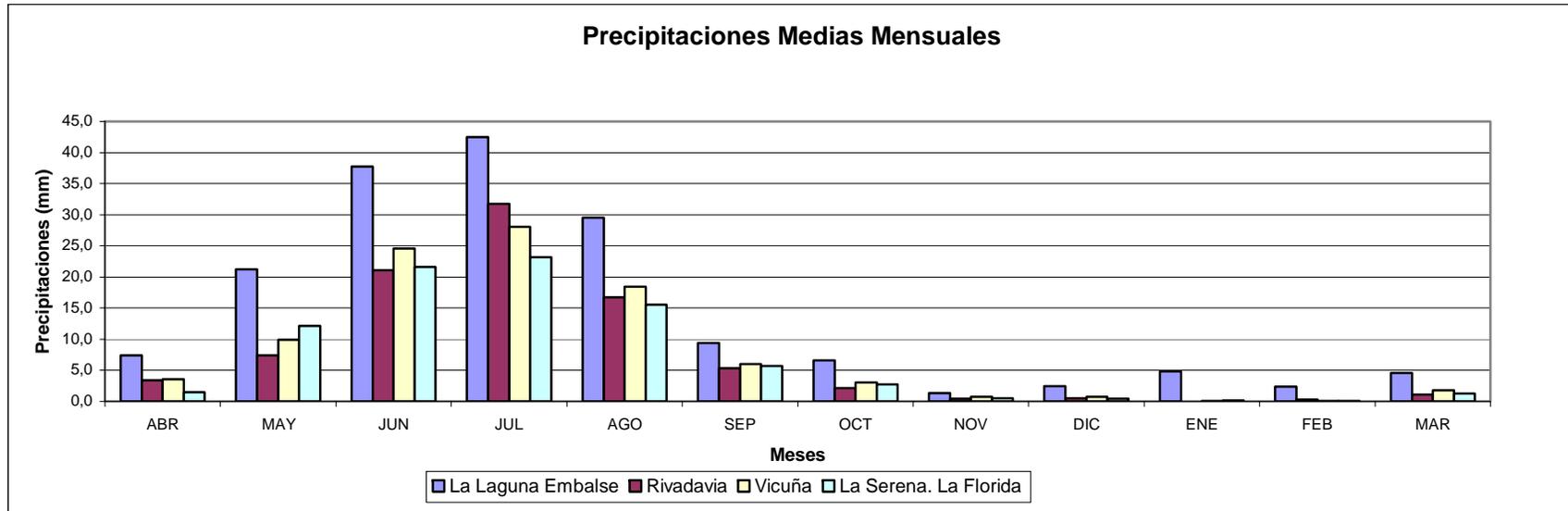


Figura 4.4. Precipitaciones medias mensuales promedio para algunas estaciones cuenca Río Elqui (periodo 1950-2000)



**Tabla 4.6. Precipitaciones Medias Anuales de algunas estaciones Pluviométricas, según DGA (1987) Período 1951-80 y Mall (2005) Período (1950-2000)**

<b>Estación</b>	<b>DGA (1987) Período 1951-80</b>	<b>Mall (2005) Período (1950-2000)</b>
La Serena la Florida	84.4	<b>84.7</b>
Almendral	<b>80.4</b>	<b>80.9</b>
Vicuña INIA	93.0	97.0
Andacollo	<b>101.3</b>	<b>131.7</b>
Huanta	<b>49.9</b>	<b>67.2</b>
Rivadavia	<b>85.8</b>	<b>90.1</b>
Montegrande	<b>67.2</b>	<b>74.4</b>
Pan de Azucar	<b>84.4</b>	<b>108.9</b>

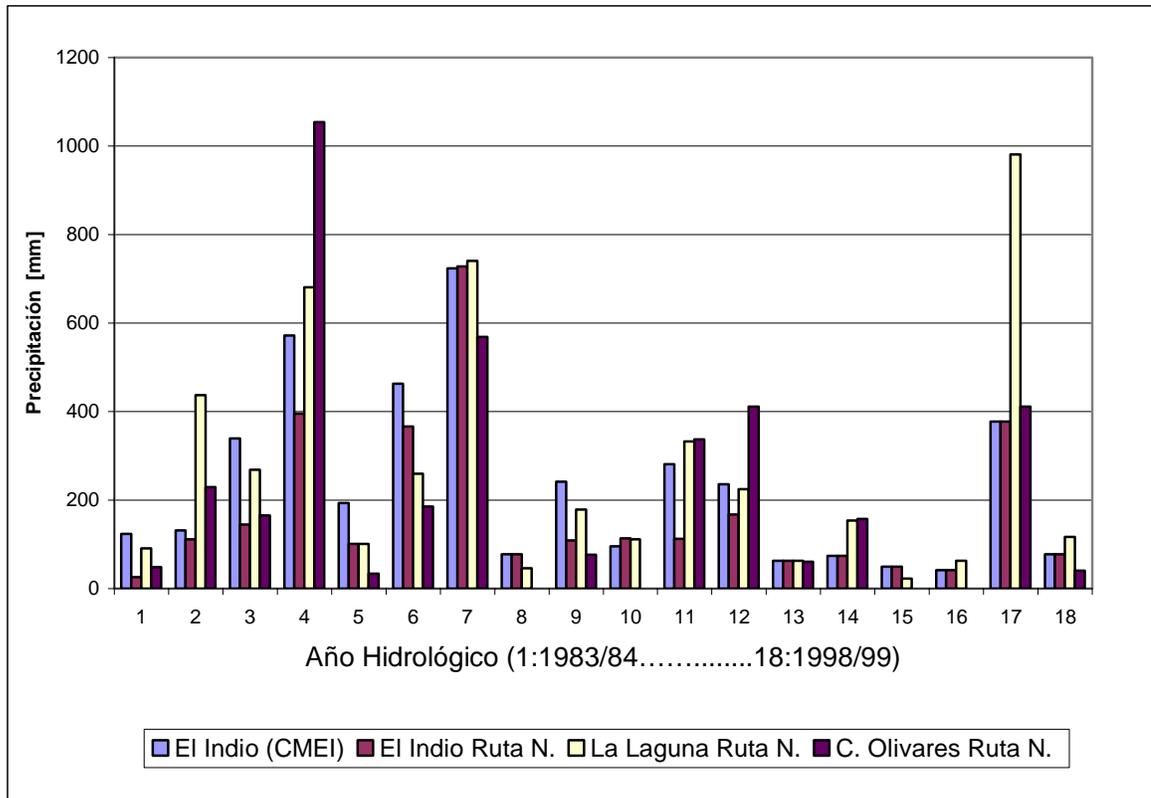
En relación a las precipitaciones sólidas en la parte alta de la cuenca, en la Tabla 4.7 y Figura 4.5 se entregan los registros disponibles de precipitaciones sólidas en el período 1981/82 a 1998/99, en que se cuenta con la información prácticamente completa. Se observa la similitud de los registros que está en el rango de 150 mm/año a 190 mm/Año. Montos algo mayores a los de la zona de precipitación líquida.

**Tabla 4.7. Precipitaciones Sólidas, Equivalente en Agua (mm/año) en Estaciones Nivométricas y Valor Medio Cuenca Río Elqui.**

AÑO	EL INDIO		LA LAGUNA		CERRO	PROMEDIO
	C.M.E.I.	RUTA N.	P.SOLIDA	P.LIQUIDA	OLIVARES	ESTACIONES
					RUTA N.	C. ELQUI
1981/82	26,0	81,3	73,0	68,0	48,3	59,3
1982/83	111,0	132,0	244,0	336,5	183,0	201,3
1983/84	145,0	187,0	135,0	167,0	74,7	141,7
1984/85	395,0	274,0	566,0	351,5	531,0	423,5
1985/86	101,0	115,0	36,0	106,0	24,0	76,4
1986/87	366,0	193,0	102,0	160,2	110,0	186,2
1987/88	728,0	422,0	377,0	406,0	457,0	478,0
1988/89	78,0		30,0	45,5		51,2
1989/90	109,0	129,0	79,0	121,0	56,4	98,9
1990/91	113,0	84,0	55,0	67,5	0,0	63,9
1991/92	112,0	145,0	141,0	169,5	158,0	145,1
1992/93	167,0	236,0	73,0	143,5	208,0	165,5
1993/94	63,0	110,0	50,0	74,0	61,0	71,6
1994/95	74,0	144,0	120,0	114,5	157,0	121,9
1995/96	49,0	2,8	12,0	65,5		32,3

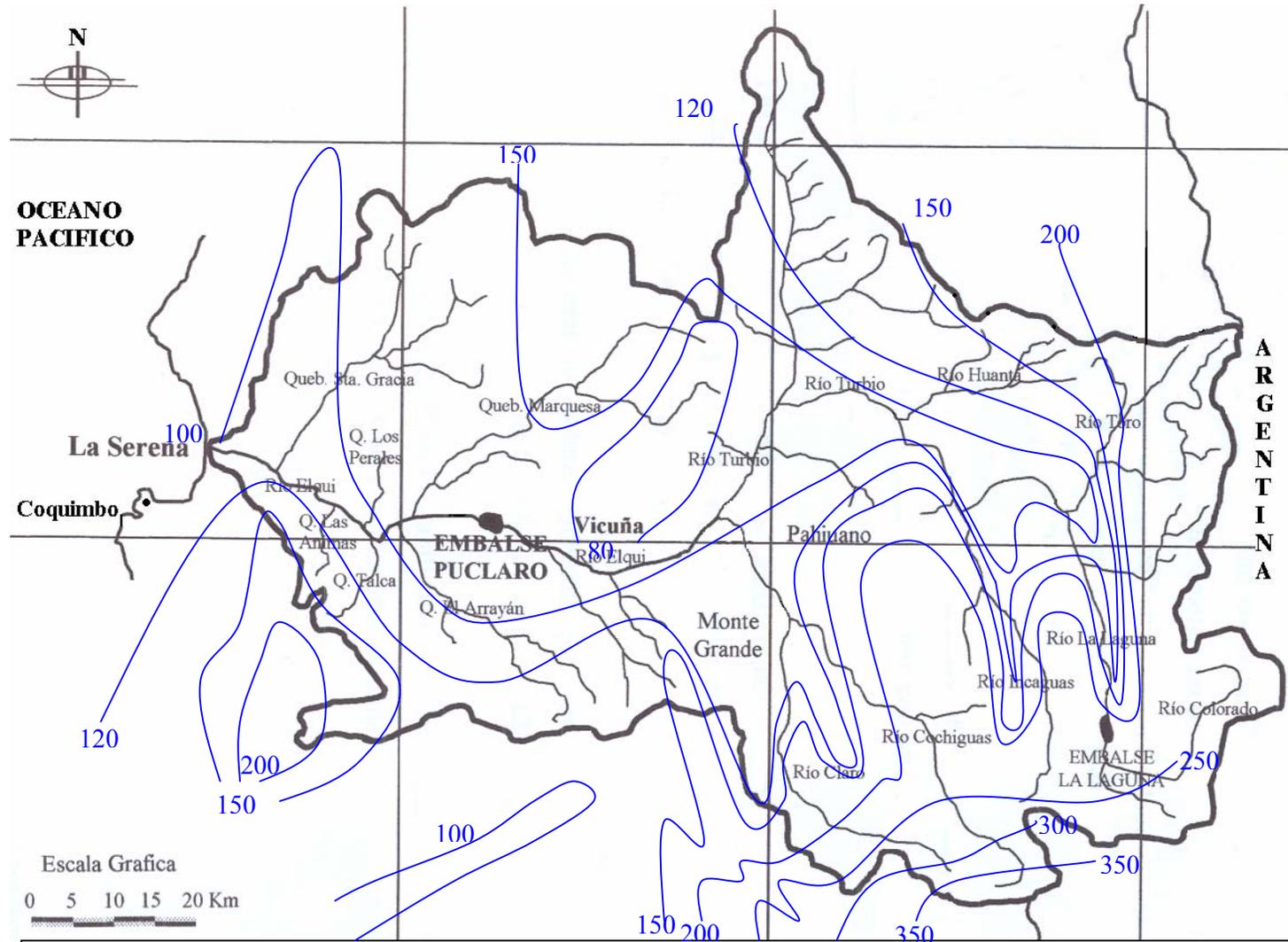
1996/97	42,0	82,0	40,0	43,0		51,8
1997/98	377,0	610,0	522,2	404,0	411,0	464,8
1998/99	78,0		84,0	51,0	41,0	63,5
<b>MEDIA</b>	<b>174,1</b>	<b>184,2</b>	<b>152,2</b>	<b>160,8</b>	<b>168,0</b>	<b>160,9</b>

Figura 4.5. Precipitación Sólida Estaciones Nivales Cuenca Río Elqui.

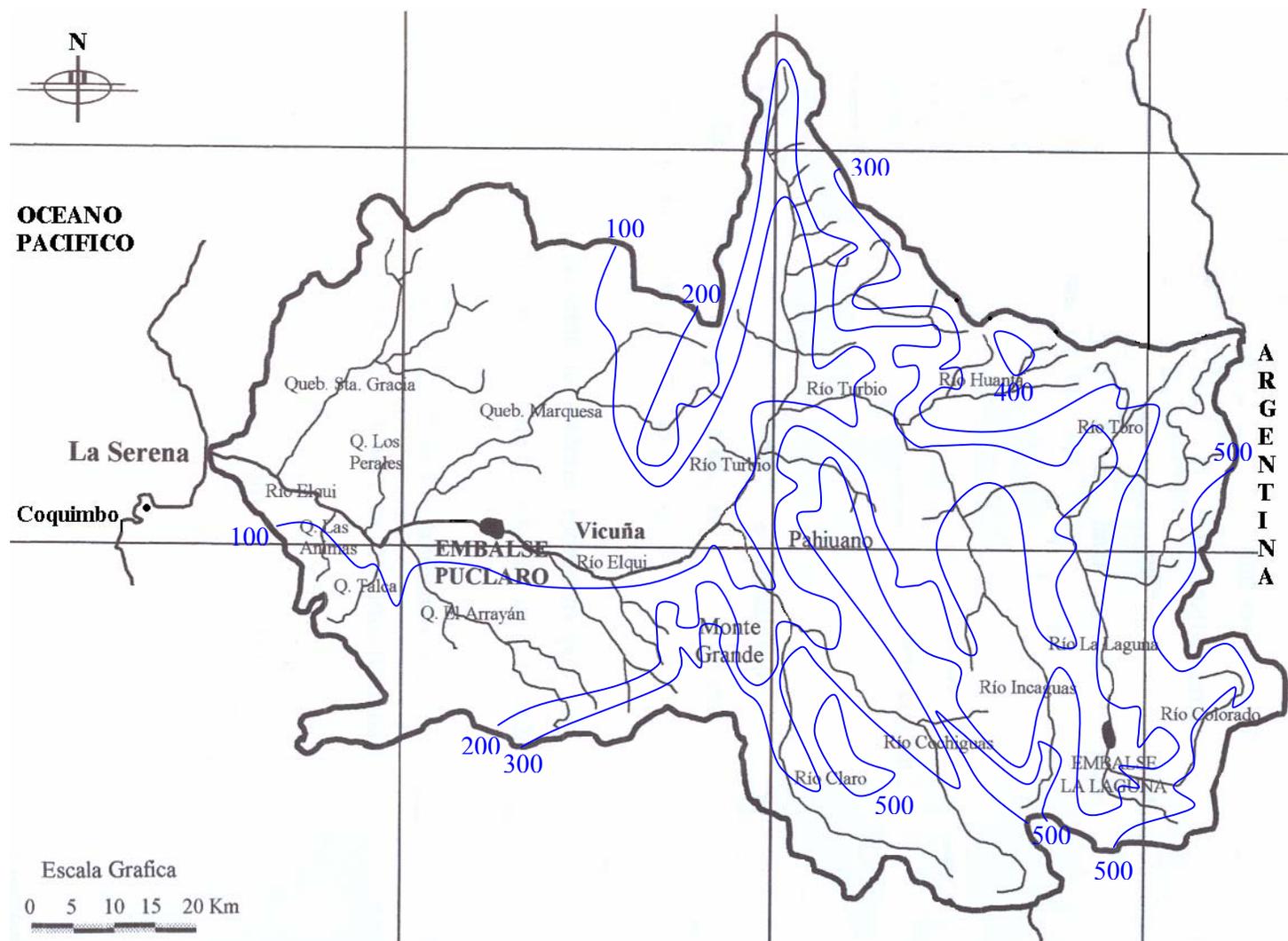


Los mapas de isoyetas (Iso-Líneas de igual precipitación) medias anuales representadas en las siguientes figuras, son el resultado del trabajo de análisis de los registros para cada estación y conectados en su totalidad. Las Figuras 4.6a,b,c y d, presentan mapas de Isoyetas para una probabilidad de excedencia 50% para la totalidad cuenca río Elqui, de acuerdo a 4 trabajos diferentes, estos son:

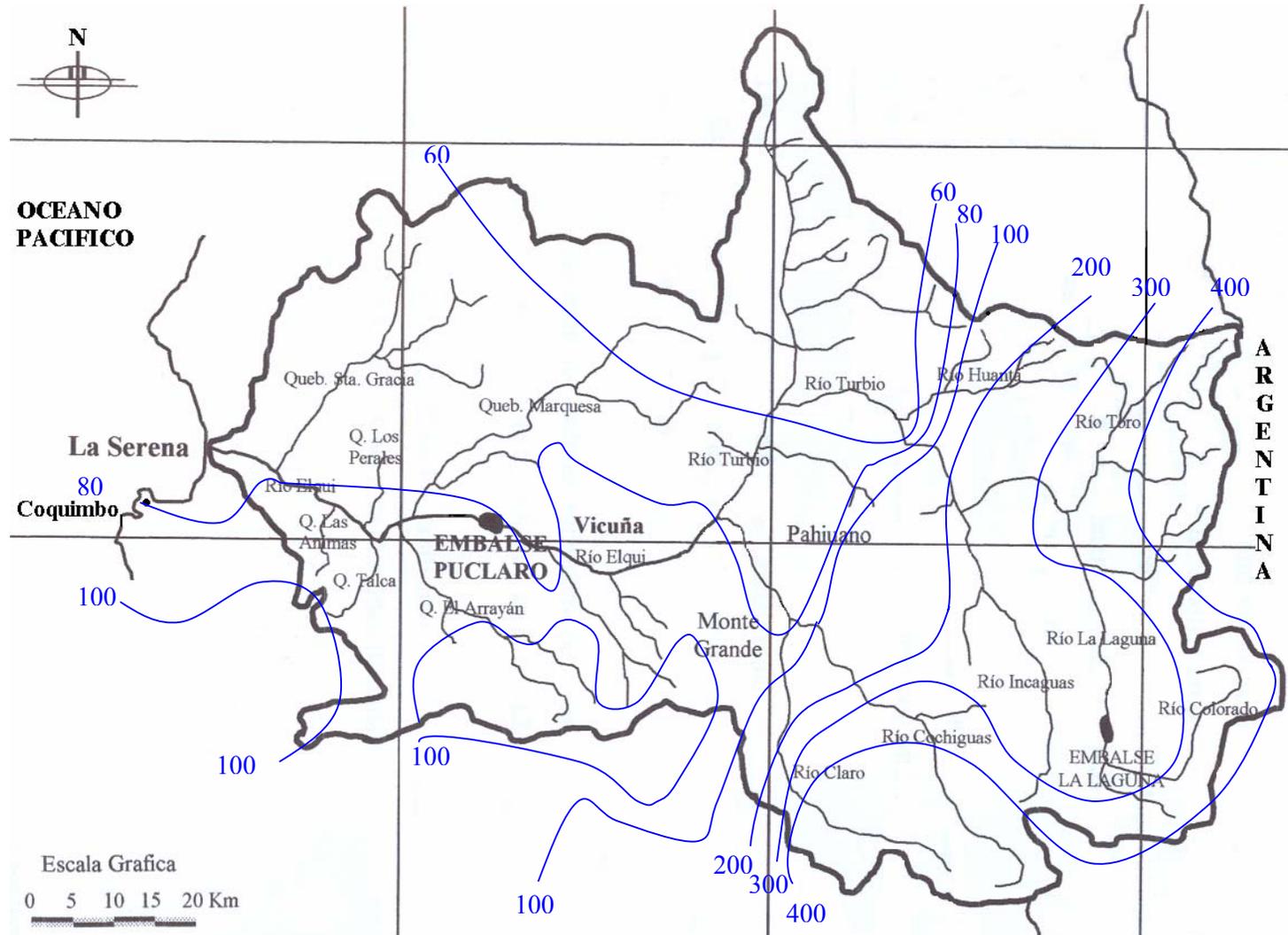
- Figura 4.6a (Wood, 1971)
- Figura 4.6b (Balance Hidrológico DGA, 1987)
- Figura 4.6c (INA, 1987)
- Figura 4.6d (Castillo y Norero, 1990)



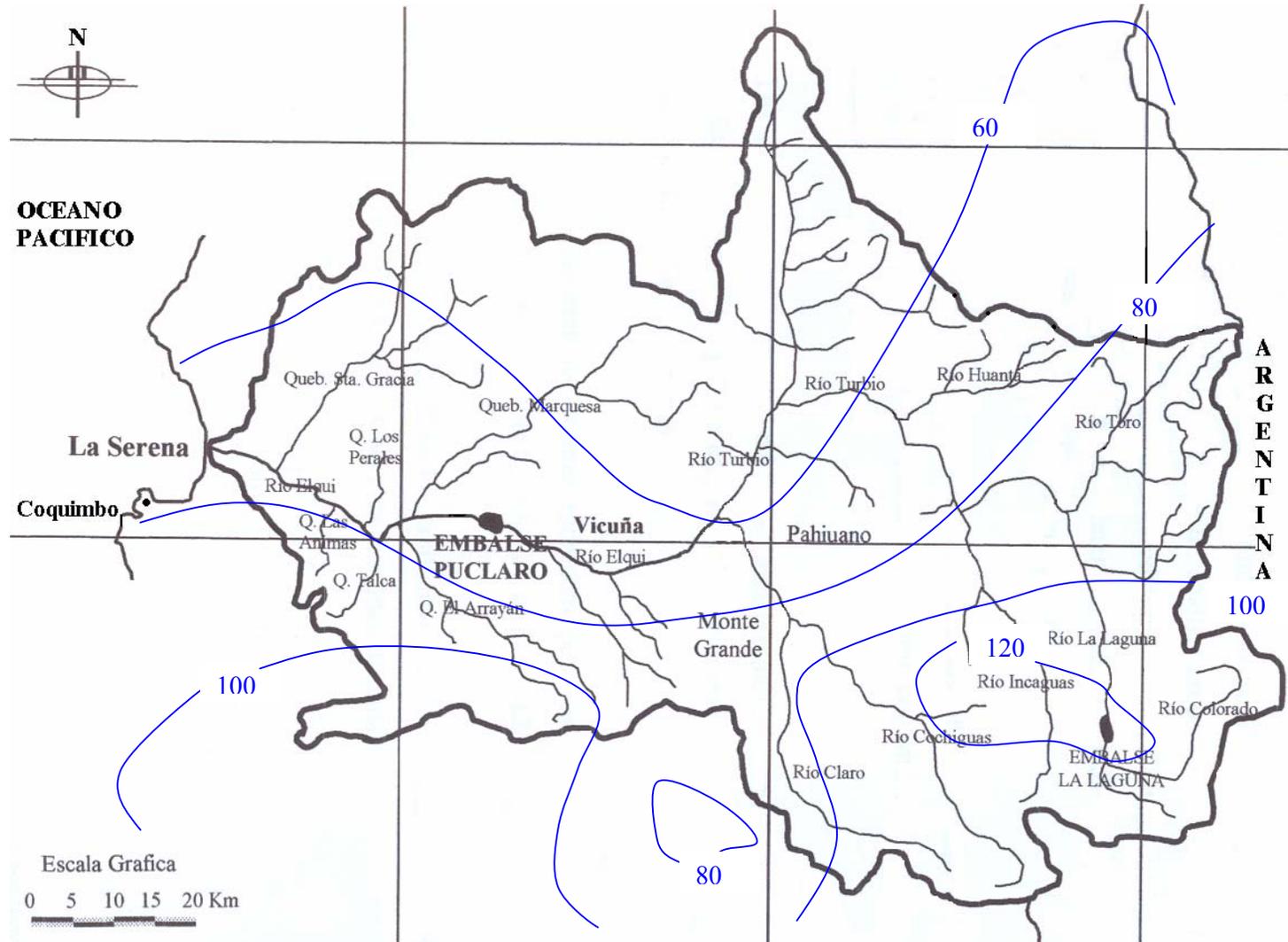
**Figura 4.6.a. Mapa de Isoyetas-Cuenca Río Elqui.  
Precipitaciones Anuales Probabilidad de Excedencia 50%. Wood (1971)**



**Figura 4.6.b. Mapa de Isoyetas-Cuenca Río Elqui.  
Precipitaciones Anuales Probabilidad de Excedencia 50%. Balance Hídrico de Chile (1987)**



**Figura 4.6.c. Mapa de Isoyetas-Cuenca Río Elqui.  
Precipitaciones Anuales, Probabilidad de Excedencia 50%. INA (1987)**



**Figura 4.6.d. Mapa de Isoyetas-Cuenca Río Elqui.  
Precipitaciones Anuales, Probabilidad de Excedencia 50%. Norero-Castillo (1990)**

De la comparación de dichas figuras, se puede concluir que existen similitudes a cotas medias y bajas, pero a altitudes elevadas, esto es en la parte Este de la cuenca, en algunos casos aparecen precipitaciones bastante elevadas, (2500 m.s.n.m. hacia arriba), DGA 500 mm, INA 350 mm, lo que se origina en extrapolaciones desarrolladas en el estudio de la comparación de resultados una diferencia considerable en la parte alta de la cuenca

#### **4.4.3. Línea Media De Nieve.**

La línea media de nieve es la línea que separa la zona de precipitaciones sólidas (a cotas superiores a ella) y precipitaciones líquidas (a cotas inferiores), por lo que normalmente es la curva de nivel asociada a la Isotherma 0°. La importancia de...

De acuerdo a Freixas (2002) En los sectores altos, es decir de montaña, las laderas Sur y Oriente se exponen a menor temperatura y menor radiación solar, permaneciendo dicha línea a menor altura; en contraparte, las laderas Norte y Poniente se exponen a mayor temperatura y mayor radiación solar, permaneciendo dicha línea a mayor altura. Lo anteriormente expuesto, apunta a la variabilidad de la línea media de nieve según el lugar de donde se observe el sector montañoso).

Se adjunta Tabla 4.8 con promedio mensual en líneas nivales observadas en controles nivométricos de acuerdo a lo cual se puede considerar que la altitud a la cual se ubica la línea de nieve en la cuenca río Elqui es de 3500 m.s.n.m., con lo cual el área nival es de 2797 km<sup>2</sup>, lo que corresponde al 28.6% aproximadamente del total de la cuenca. Este valor difiere de otros estudios que consideran la línea de nieve ubicada a una menor altitud. Por ejemplo el trabajo de INA (1987) considera un área nival del orden de 5285 km<sup>2</sup>, esto es el 54% de la cuenca.

**Tabla 4.8. Promedio Mensual Líneas nivales observadas en controles nivométricos.**

<b>HOYA</b>	<b>ELQUI</b>	
Meses	El Indio	C. Olivares
Abril		3800
Mayo		3533

Junio	4069	3357
Julio	3269	2910
Agosto	3650	3372
Septiembre	3653	3469
Octubre	4010	3588
Noviembre	3500	3650
Diciembre	3925	3700
PROMEDIO	3725	3487
AÑOS OBS.	19	26

## 4.5. Escorrentía Superficial.

### 4.5.1. Estaciones Fluviométricas.

Elemento clave para el conocimiento de la hidrología de cualquier curso de agua son las estaciones fluviométricas. Se entiende por estación fluviométrica a aquella sección ubicada en un cauce natural de régimen permanente o intermitente donde se miden tanto niveles de escurrimiento (niveles limnimétricos) o caudales con una cierta periodicidad. Dada la magnitud de los cauces de mayor interés de la región, la medición directa de tales caudales, con algún instrumento por ejemplo, no es posible, por lo que se debe aforar, esto es medir la velocidad en diversos puntos de la sección de escurrimiento y vía la integración de dichos sub-caudales (velocidades por áreas) se determina dicho caudal. La serie de aforos, normalmente con una periodicidad mensual, en los que se determina el caudal ( $Q$ ) y el nivel de escurrimiento ( $Z_w$ , nivel de la superficie libre) determinado mediante la regla limnimétrica instalada en la estación, conforma lo que se denomina como curva de descarga (rating curve). De este modo basta con medir dicho nivel de escurrimiento para determinar el caudal. Las características hidráulicas de los cauces de la región, principalmente sus pendientes que corresponden a ríos de montaña, implican que la curva de descarga opera efectivamente como una relación entre caudal ( $Q$ ) y el nivel ( $Z_w$ ). Las estaciones fluviométricas se pueden clasificar entre estaciones limnimétricas y limnigráficas. Las estaciones limnimétricas poseen en la sección de interés una regla limnimétrica y requieren de un operador que observe y registre el nivel de escurrimiento. Las estaciones limnigráficas, poseen adicionalmente a la regla limnimétrica un equipo que registra dicho nivel. Con este objetivo se construye adyacente y en conexión al escurrimiento un pozo aquietador donde se instala un

flotador y el instrumento registrador. Los instrumentos registradores más modernos son con registro computacional de la información cada cierto intervalo temporal (t predefinido, registros discretos). Los instrumentos que históricamente y que a la fecha operan en la cuenca son de registro continuo en papel. El que una estación sea del tipo limnigráfica tiene algunas ventajas, principalmente en cuanto a la confiabilidad de la información, como al hecho de obtener valores medios (diarios o mensuales) que efectivamente correspondan a dicha definición y no un valor al día que debe ser supuesto como media diaria. Adicionalmente, otra ventaja de estas estaciones tiene que ver con los eventos extremos, por ejemplo las crecidas, las que pueden ser efectivamente registradas y así reconstruir a posteriori el hidrograma de la crecida.

En la Tabla 4.9 se enumeran las estaciones fluviométricas a la fecha vigentes en la cuenca. La Figura 4.1b muestra la ubicación de las estaciones fluviométricas existentes y fuera de uso en la Cuenca del Río Elqui, En dicha Tabla se indica para cada estación su ubicación geográfica, altitud y área aportante a la cuenca delimitada por ella y el tipo de estación. Todas estas estaciones se encuentran a cargo de la Dirección General de Aguas. La totalidad de estaciones vigentes son del tipo limnigráfico, pero en sus inicios eran limnimétricas.

**Tabla 4.9. Estaciones fluviométricas existentes en cuenca río Elqui**

Nº	Estación	Código	Fecha inst.	Altitud (m.s.n.m.)	Latitud	Longitud	Area (km <sup>2</sup> )	Tipo instrum.
1	Río La Laguna en Salida Embalse La Laguna	04300001-2	dic-28	3130	30° 12'	70° 2'	560	Lg
2	Río Toro Antes Junta Río La Laguna	04302001-3	may-66	2050	29° 58'	70° 5'	426.7	Lg
3	Río Turbio en Varillar	04308001-6	dic-14	860	29° 57'	70° 32'	4148	Lg Dig
4	Estero Derecho en Alcohuaz	04311001-2	dic-83	1645	30° 13'	70° 29'	325	Lg
5	Río Cochiguaz en El Peñón	04313001-3	dic-83	1360	30° 7'	70° 25'	440	Lg
6	Río Claro en Rivadavia	04314002-7	dic-14	820	29° 59'	70° 33'	1502	Lg Dig
7	Río Elqui en Algarrobal	04320001-1	dic-16	760	30° 0'	70° 35'	5729	Sat
8	Río Elqui en Almendral	04323001-8	dic-18	395	29° 59'	70° 54'	6681	Lg Dig
9	Río Elqui en La Serena	04335001-3	dic-85	20	29° 53'	70° 15'	9794	Lm

Históricamente, otras estaciones fluviométricas han existido en la cuenca, algunas por períodos muy breves y otras durante más de 20 años, pero a la fecha no están en operación, las que contienen registros de una cierta extensión tal que pueden ser de

utilidad. En la Tabla 4.10 se indican estas estaciones. Adicionalmente en la sub-cuenca del río Toro la Compañía Minera El Indio (C.M.E.I.) instaló a comienzo de los años 80 algunas estaciones de aforo (medición caudal) y muestreo de agua con el objeto de analizar la calidad del agua. Los cursos de agua controlados de esta forma corresponden al río Malo, río Toro Muerto, estero Tambo y río Vacas Heladas. Estas estaciones han operado bajo el control de la C.M.E.I. y se indican en Tabla 4.11.

**Tabla 4.10. Estaciones fluviométricas descontinuadas existentes en cuenca río Elqui**

Nº	Estación	Código	Fecha a inst.	Fecha Supr.	Latitud	Longitud	Tipo instrum.
10	Río Elqui en Molle	04110001-K	dic-46	may-51	29° 29'	70° 59'	Lg
11	Río La Laguna en Nueva Elqui	04300002-0	dic-28	ene-31	30° 12'	70° 4'	Lm
12	Río Incaguaz en Las Terneras	04304001-4	dic-46	feb-48	29° 59'	70° 15'	Lm
13	Río Turbio en Las Terneras	04305001-K	dic-46	feb-48	29° 57'	70° 23'	Lm
14	Río Turbio en Huanta	04306001-5	dic-28	mar-83	29° 51'	70° 23'	Lg
15	Río Claro en Montegrande	04314001-9	dic-47	mar-83	30° 6'	70° 29'	Lm
16	Río Elqui en Puclaro	04323002-6	dic-63	sep-65	30° 0'	70° 51'	Lg
17	Río Elqui en Gualliguaica	04323003-4	dic-46	oct-65	30° 1'	70° 49'	Lm
18	Río Elqui en Punta De Piedra	04331001-1	dic-52	may-65	29° 52'	70° 6'	Lg

**Tabla 4.11. Estaciones de Aforo Cuenca río Toro: Superficie Cuenca Aportante, Altitud y Año Inicial de Información**

Estacion De Aforo		Cuenca Aportante [Km <sup>2</sup> ]	Altura [M.s.n.m]	Año Inicio Mediciones [Año]
Codigo	Cauce Y Ubicacion			
Sector Proyecto Tambo				
TA-4	Estero Los Tambos, aguas arriba Campamento Deidad	18.5	4250	-
TA-5	Estero Los Tambos, aguas arriba Cajón Ancho	70.5	3970	-
TA-2	Río Vacas Heladas, aguas abajo Q. Vacas Heladas	84.0	3940	1983
TA-7	Río Vacas Heladas, aguas arriba Pozo Vertiente (TA-6)	93.0	3900	-
TA-8	Río Vacas Heladas, aguas abajo Quebrada La Menta	105.0	3825	1997
TA-1	Río Vacas Heladas, 1.5 km aguas abajo TA-8	111.5	3800	1983
IN-12	Río Vacas Heladas aguas arriba confluencia con Río Malo	206.5	2520	1982
SECTOR MINA EL INDIO Y OTROS SECTORES				

MCRI Project:  
 INSTITUTIONAL ADAPTATIONS TO CLIMATE CHANGE: Comparative study  
 of dryland river basins in Canada and Chile.

---

IN-1	Río Toro Muerto aguas arriba confluencia con Río Malo	63.0	3220	1984
IN-2	Río Malo aguas arriba confluencia con Río Toro Muerto	60.0	3220	1982
IN-3	Río Malo aguas arriba confluencia con Río Vacas Heladas	159.0	2520	1982
IN-13	Río del Toro aguas arriba junta con Río La Laguna	426.7	2050	1982
IN-10	Río La Laguna aguas arriba junta con Río del Toro	-	2050	1982

En la Tabla 4.12 se indica el período de registros de las estaciones de la Tabla 4.9, indicando años de funcionamiento y los años en que la información está completa o incompleta.

Las Figuras 4.7 entregan algunas fotografías de algunas de las principales estaciones fluviométricas en operación actualmente. La principal estación fluviométrica que existe en la cuenca del río Elqui es la estación Elqui en Algarrobal, la que se localiza en el río Elqui justo aguas abajo de la junta de los ríos Claro y Turbio, algunos pocos kilómetros aguas arriba de la ciudad de Rivadavia. Además se puede apreciar que actualmente existen 3 estaciones fluviométricas en el río Elqui, estas son: Elqui en Almendral, Elqui en Algarrobal y Elqui en La Serena, siendo Elqui en Algarrobal y Elqui en Almendral estaciones limnigráficas. Históricamente han existido otras estaciones fluviométricas en el río Elqui, éstas son Elqui en Punta de Piedra, Elqui en Gualiguaica, y Elqui en Puclaro las que actualmente están fuera de servicio, esto tiene como justificación lo difícil que es implementar estaciones que registren caudales en forma confiable, ya que el cauce principal divaga en la caja del río (ver Figura 4.8, donde se muestra la forma del cauce en la zona de La Rojas).



**Figura 4.7.a. Estación Fluviométrica Elqui en Almendral, caseta de medición.**



**Figura 4.7.b. Estación Fluviométrica Elqui en Almendral, vista general.**



**Figura 4.7.c. Estación Fluviométrica Elqui en Algarrobal, vista general.**



**Figura 4.7.d. Estación Fluviométrica Elqui en Algarrobal, caseta de medición y equipamiento.**



**Figura 4.7.e. Estación Fluviométrica Turbio en Varillar, vista general.**



**Figura 4.7.f. Estación Fluviométrica río del Toro en junta río La Laguna.**



**Figura 4.7.g. Estación Fluviométrica río La Laguna en salida embalse.**



#### **4.5.2. Caudales Medios Mensuales y Anuales.**

Puesto que la cuenca y específicamente los cauces, se encuentran intervenidos principalmente por extracciones para canales de riego, labores mineras y agua potable, y en algunos casos embalses, los caudales registrados en dichas estaciones claramente no corresponden al régimen de escorrentía natural. En función de los registros históricos de los caudales extraídos y del manejo de embalses, se puede restituir en forma aproximada dichos flujos, de modo de estimar los caudales en régimen natural. Uno de los inconvenientes para la correcta estimación de los caudales en régimen natural se refiere a las denominadas recuperaciones, las que corresponden a aquella parte de los caudales extraídos al río y que retorna al cauce aguas abajo, Este retorno obedece a que tanto los canales como las técnicas de riego no operan al 100% de eficiencia. Tanto en los canales extraprediales como prediales, normalmente ambos de tierra, hay filtraciones, por lo que parte del agua extraída desde el cauce natural retorna a éste agua abajo. Diversos estudios, tales como Kleinman y Torres (1964), INA (1987) han

estimado dichos valores, tanto en porcentaje c/r a los caudales extraídos como en alguna unidad de caudal.

En Tablas 4.13 se entregan los promedios anuales de los caudales observados, de acuerdo a diversos estudios. En Tabla 4.14 entrega los promedios de los caudales en régimen natural según Honores y Alfaro (2001). Se observa que en régimen natural los valores son superiores.

Las Tablas 4.15 y 4.16 entregan los caudales medios mensuales y las desviaciones standard, tanto observadas como en régimen natural, respectivamente para las principales estaciones fluviométricas. Se observa que los caudales medios máximos ocurren en ambas condiciones en los meses de predominio de deshielo.

En las Tablas 4.17 y Figuras 4.9 se entregan las curvas de variación estacional de los caudales medios mensuales observados en las principales estaciones cuenca. Las Tablas 4.18 y Figuras 4.10 se entregan las curvas de duración tanto para los caudales medios anuales, como para los períodos abril-septiembre, época de precipitaciones y acumulación nieve en la alta montaña, como para el período octubre-marzo, esto es estaciones primavera-verano y la época que abarca la temporada de deshielos.

En las Tablas 4.19 y Figuras 4.11 se entregan las curvas de variación estacional de los caudales medios mensuales en régimen natural en las estaciones utilizadas por Honores y Alfaro (2001).

De estas tablas y Figuras se concluye que la mayor parte del escurrimiento en la cuenca del río Elqui se origina en los deshielos.

**Tabla 4.13. Caudales Medios Anuales Observados Algunas Estaciones Fluviométricas Cuenca río Elqui, de acuerdo a distintos estudios y períodos de registros.**

Estación Fluviométrica	INA (1987) Período 1940/41- 1980/81	BF (1992) Período 1950/51- 1989/90	Balance Hidrico
La Laguna en Salida Embalse	-	2,24	2.00
Toro en Junta La Laguna			
Turbio en Huanta	6,19	-	5.26
Turbio en Varillar	5,89	6,13	5.05
Estero Derecho en Alcohuaz			
Claro en Montegrande	3,81	-	3.22
Claro en Rivadavia	3,54	3,84	3.02
Elqui en Algarrobal	9,04	9,54	7.88
Elqui en Almendral	8,81	9,28	7.64
Elqui en Punta de Piedra	4,1	-	3.10

**Tabla 4.14. Caudales Medios Anuales en Régimen Natural Algunas Estaciones Fluviométricas Cuenca río Elqui., de acuerdo Honores y Alfaro Período 1952/53 – 1998/99.**

Estación Fluviométrica	INA (1987) Período 1940/41-1980/81
Turbio en Varillar	6.96
Claro en Rivadavia	5.36
Elqui en Algarrobal	14.12
Elqui en Almendral	14.14

MCRI Project:  
 INSTITUTIONAL ADAPTATIONS TO CLIMATE CHANGE: Comparative study  
 of dryland river basins in Canada and Chile.

**TABLA 4.15. CAUDALES MEDIOS MENSUALES ES OBSERVADOS (PERIODO SEGÚN ESTACION)**

ESTACION : RIO LA LAGUNA EN SALIDA EMBALS												
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Prom	1,865	0,997	0,787	0,783	0,749	1,632	2,602	3,399	4,387	4,922	4,36	3,063
Desv	1,325	1,117	0,828	0,725	0,702	1,757	1,839	2,499	3,682	4,033	3,044	1,656
04 ESTACION : RIO TURBIO EN HUANTA												
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Prom	4,824	3,547	3,305	3,102	3,345	4,026	6,109	7,62	9,542	8,723	7,117	6,167
Desv	3,143	2,42	2,214	2,084	2,177	2,488	3,768	5,586	9,238	7,115	4,92	3,848
05 ESTACION : RIO TURBIO EN VARILLAR												
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Prom	6,76	6,222	5,977	5,926	5,92	6,367	8,344	10,08	12,21	11,84	10,17	8,612
Desv	5,789	5,353	5,034	4,968	5,255	5,147	7,099	9,701	13,64	12,8	10,92	9,012
08 ESTACION : RIO CLARO EN MONTEGRANDE												
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Prom	2,297	2,363	2,589	2,594	2,518	2,658	2,748	3,656	4,834	4,403	2,77	2,29
Desv	1,656	1,322	1,154	0,975	1,088	1,55	2,628	4,261	7,366	7,551	2,962	1,887
09 ESTACION : RIO CLARO EN RIVADAVIA												
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Prom	3,355	3,728	4,024	4,099	3,99	3,804	4,293	6,575	8,713	6,584	4,357	3,479
Desv	3,017	2,809	2,688	2,993	3,401	3,221	5,047	8,228	12,28	10,15	5,089	3,738
10 ESTACION : RIO ELQUI EN ALGARROBAL												
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Prom	9,156	9,075	9,378	9,302	9,059	9,253	11,11	15,28	20,19	16,35	13,5	10,26
Desv	7,83	7,893	8,106	8,035	7,775	7,7	10,08	16,58	27,26	18,67	12,72	9,223
11 ESTACION : RIO ELQUI EN ALMENDRAL												
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Prom	7,677	8,41	8,978	9,182	8,112	8,18	9,182	11,01	14,49	12,93	10,22	8,325
Desv	6,099	6,527	6,675	7,046	6,69	7,04	8,862	11,39	19,29	16,42	9,559	6,935

MCRI Project:  
 INSTITUTIONAL ADAPTATIONS TO CLIMATE CHANGE: Comparative study  
 of dryland river basins in Canada and Chile.

**TABLA 4.16. CAUDALES MEDIOS MENSUALES ES EN REGIMEN NATURAL**

(HONORES Y ALFARO, 2001?)

ESTACION : TURBIO EN VARILLAR (R.N.)

	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Prom	5,66	5,28	4,80	4,91	5,06	5,48	6,10	8,77	11,74	10,63	8,30	6,64
Desv	3,52	2,98	2,46	2,52	2,44	3,93	4,94	9,45	13,50	11,97	8,64	5,70

ESTACION : CLARO EN RIVADAVIA (R.N.)

	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Prom	4,06	4,07	4,40	4,39	4,31	4,39	4,93	7,26	9,86	7,26	5,09	4,31
Desv	2,49	2,22	1,93	1,62	1,77	2,47	3,98	8,54	13,67	9,04	4,72	3,15

ESTACION : ELQUI EN ALGARROBAL (R.N.)

	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Prom	11,72	11,13	10,80	10,93	11,13	11,45	13,21	17,93	23,18	20,18	15,25	12,58
Desv	6,36	5,38	4,13	3,91	4,21	5,24	8,61	17,87	26,40	23,17	12,95	8,22

ESTACION : ELQUI EN ALMENDRAL (R.N.)

	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Prom	11,70	11,45	11,98	12,33	11,97	11,84	13,11	16,29	22,09	19,62	15,07	12,26
Desv	6,69	5,62	5,06	5,02	4,45	5,36	8,74	15,56	24,53	22,16	13,71	8,26

**Tabla 4.17.a. Curvas de variación estacional caudales medios mensuales [m<sup>3</sup>/s] observados asociados a algunas probabilidades de excedencia río La Laguna en Salida Embalse.**

P.EXC	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEBR	MAR
0.05	4.3	3.92	2.74	2.01	2.277	7.293	7.205	9.02	14.38	16.18	11.58	6.348
0.10	4.046	2.406	1.785	1.8	1.742	4.643	5.395	5.85	10.13	10.298	8.306	4.99
0.20	3.176	1.756	1.67	1.65	1.428	1.982	3.12	4.41	5.678	6.954	5.718	4.08
0.40	1.7	0.484	0.342	0.416	0.465	1.354	2.49	2.99	3.648	4.14	3.984	3.2
0.50	1.36	0.3	0.283	0.342	0.342	1.042	2.16	2.65	3.215	3.96	3.42	2.555
0.60	1.178	0.259	0.24	0.288	0.25	0.775	2.03	2.53	2.462	2.78	3.164	2.5
0.70	1.018	0.219	0.2	0.2	0.21	0.574	1.79	2.095	2.112	2.466	2.738	2.18
0.80	0.539	0.144	0.162	0.162	0.169	0.491	1.47	1.79	1.862	1.998	2.412	1.89
0.90	0.334	0.109	0.128	0.134	0.127	0.21	1.29	1.099	1.132	1.496	1.488	1.295
0.95	0.117	0.093	0.089	0.104	0.109	0.153	0.923	0.441	0.353	1.197	0.98	0.749

**Tabla 4.17.b. Curvas de variación estacional caudales medios mensuales [m<sup>3</sup>/s] observados asociados a algunas probabilidades de excedencia río Turbio En Varillar.**

P.EXC	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEBR	MAR
0.05	13.45	12.652	10.32	11.014	10.272	10.156	21.18	31.18	41.4	38.12	24.44	14.94
0.10	9.53	7.554	7.5	7.21	6.878	9.024	11.18	15.84	26.8	20.04	15.84	12.6
0.20	7.31	5.768	5.59	5.624	5.442	5.482	7.5	10.66	12	13.92	11.62	8.794
0.40	4.31	3.818	3.522	3.586	3.57	4.104	5.492	5.86	6.24	6.236	6.542	5.738
0.50	3.685	3.07	3.04	2.9	3.08	3.89	5.25	5.4	5.4	5.66	5.43	5.22
0.60	3.26	2.782	2.532	2.712	2.748	3.608	4.814	5.202	4.82	4.792	4.704	4.514
0.70	2.845	2.382	2.312	2.326	2.442	3.02	4.506	4.628	4.105	4.38	4.17	3.82
0.80	2.49	2.232	2.22	2.162	1.998	2.322	3.864	4.058	3.9	3.718	3.824	3.268
0.90	2.21	1.882	1.894	1.926	1.782	1.946	3.028	3.638	3.605	3.414	3.062	2.588
0.95	1.965	1.64	1.81	1.796	1.712	1.698	2.666	3.02	2.552	2.26	2.254	2.513

**Tabla 4.17.c. Curvas de variación estacional caudales medios mensuales [m<sup>3</sup>/s] observados asociados a algunas probabilidades de excedencia río Claro En Rivadavia.**

P.EXC	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEBR	MAR
0.05	7.101	6.936	6.473	5.708	6.995	8.39	14.73	31.62	50.66	34.14	15.76	9.02
0.10	6.128	5.746	6.122	5.545	5.27	5.87	9.208	19.2	33.66	19.74	10.66	6.852
0.20	5.286	5.012	4.894	4.66	4.76	4.74	4.788	9.958	13.72	10.16	6.494	5.356
0.40	2.672	2.938	3.508	3.56	3.25	2.99	2.418	2.83	3.526	3.47	2.85	2.648
0.50	1.9	2.43	3.02	3.23	2.775	2.395	2.03	1.91	1.81	1.71	1.71	1.6
0.60	1.53	1.876	2.712	2.76	2.53	2.23	1.808	1.774	1.538	1.414	1.36	1.42
0.70	1.166	1.55	2.118	2.52	2.405	1.995	1.628	1.316	1.042	0.993	0.968	0.986
0.80	1.012	1.294	1.874	2.25	1.89	1.51	1.316	1.062	0.902	0.829	0.794	0.838
0.90	0.751	1.146	1.362	1.685	1.6	1.09	0.843	0.606	0.461	0.438	0.45	0.583
0.95	0.421	0.616	0.972	1.253	1.243	0.894	0.601	0.464	0.375	0.349	0.322	0.366

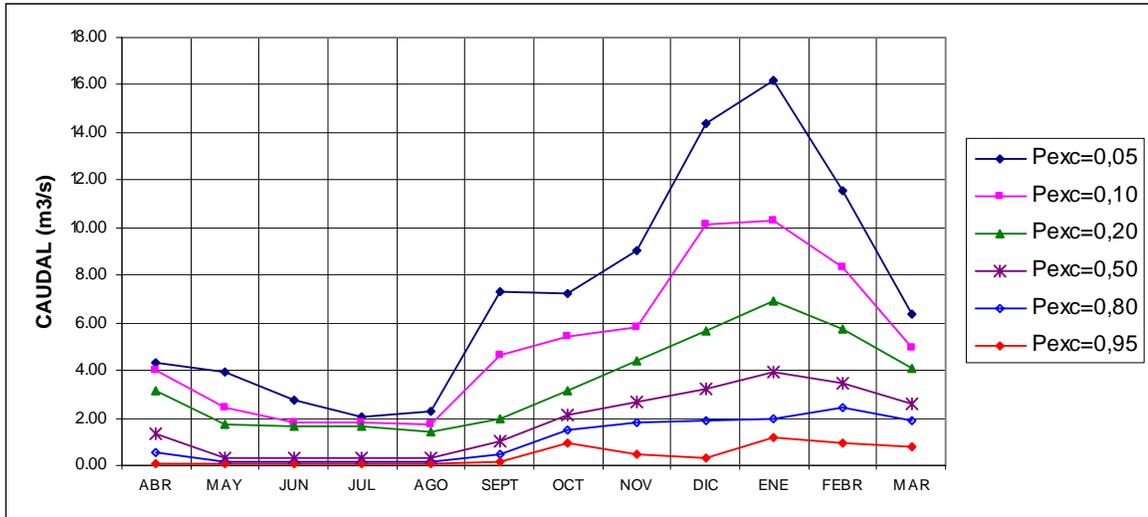
**Tabla 4.17.d. Curvas de variación estacional caudales medios mensuales [m<sup>3</sup>/s] observados asociados a algunas probabilidades de excedencia río Elqui En Algarrobal.**

P.EXC	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEBR	MAR
0.05	20.78	17.495	16.5	14.64	16.485	22.5	30.62	60.105	98.37	64.05	45.2	26.2
0.10	15.8	14.19	13.68	12.76	13.53	11.86	20	31.09	48.77	29.85	28.36	16.95
0.20	12.26	11.3	10.18	9.876	10.16	10.1	13.78	17.8	26.76	20.7	18.4	13.6
0.40	6.616	6.548	6.73	7.09	7.582	6.964	7.74	9.054	8.968	7.56	7.852	7.5
0.50	5.99	5.05	5.71	5.81	6.175	6.23	7.21	7.635	7.24	6.51	6.97	6.24
0.60	4.77	4.204	4.854	5.47	4.786	5.732	6.444	6.944	6.13	5.7	5.358	5.32
0.70	4.012	3.742	4.301	4.399	4.402	4.146	5.788	5.377	4.952	4.45	4.696	4.305
0.80	3.524	3.27	3.752	3.836	3.73	3.768	4.332	4.706	4.264	3.96	4.21	3.94
0.90	2.884	2.671	2.994	3.267	2.988	2.794	3.48	3.569	3.478	3.055	3.182	3.215
0.95	2.361	2.184	2.483	2.508	2.4	2.302	2.994	2.924	2.44	2.355	2.229	2.36

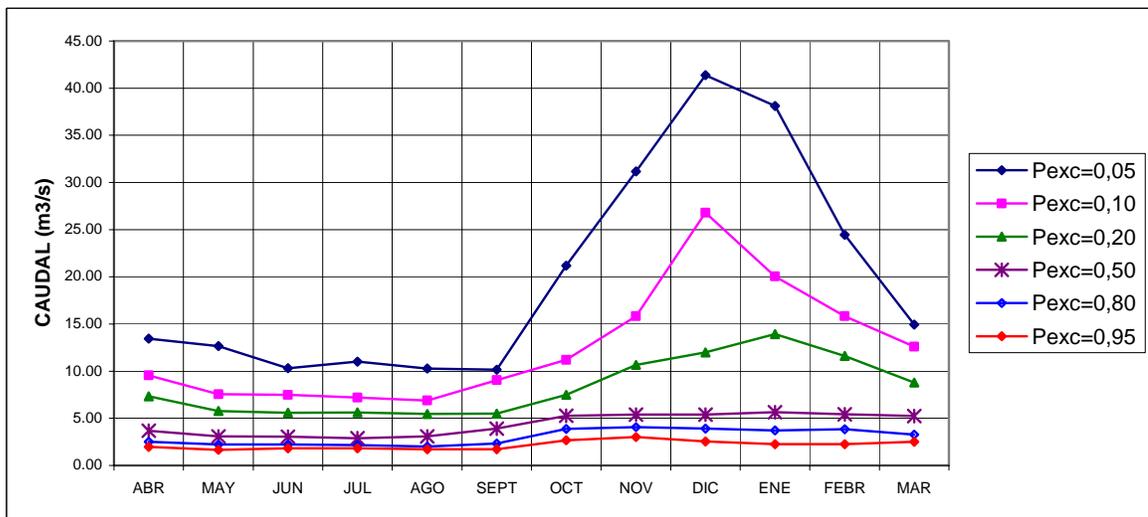
**Tabla 4.17.e. Curvas de variación estacional caudales medios mensuales [m<sup>3</sup>/s] observados asociados a algunas probabilidades de excedencia río Elqui en Almendral.**

P.EXC	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEBR	MAR
0.05	21.27	17.81	18.845	16.17	16.1	23.23	30.46	43.025	78.17	69.275	40.9	25.95
0.10	16.02	14.58	14.83	15.68	13.45	14.04	19.5	22.1	41.56	33.7	26.85	18.2
0.20	11.08	10.954	12.08	11.5	10.1	9.074	8.894	12.4	22	17.2	13.3	11.1
0.40	6.176	6.458	7.55	7.52	7.24	6.688	6.458	6.67	7.436	6.6	6.58	7.29
0.50	5.46	5.19	6	6.59	6.07	6.17	6.19	6.12	5.86	5.535	5.96	6.18
0.60	4.216	4.336	5.256	6.016	5.29	5.34	5.868	5.58	5.044	4.55	4.16	4.42
0.70	3.674	3.588	4.388	5.284	4.72	4.512	5.088	4.955	4.382	3.96	3.955	4.22
0.80	3.16	3.374	4.03	4.228	4.02	3.692	4.3	4.26	3.704	3.39	3.24	3.44
0.90	2.59	2.796	3.219	3.466	3.09	2.818	2.844	2.775	2.786	2.52	2.45	2.815
0.95	2.371	2.336	2.717	2.76	2.518	2.477	2.528	2.32	2.031	2.082	2.208	2.33

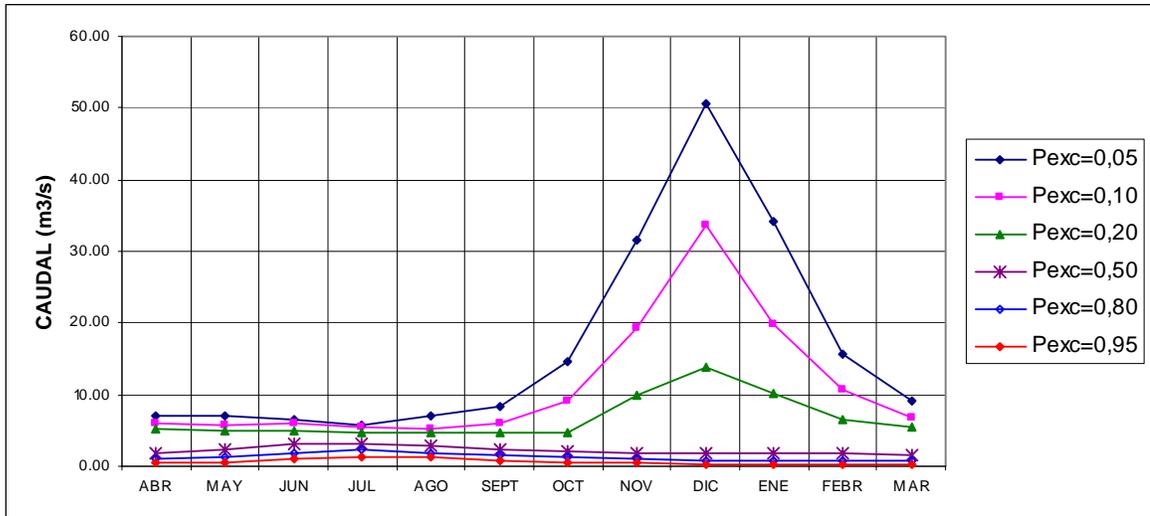
**Figura 4.9.a. Curvas de variación Estacional Caudales Observados Río La Laguna en Salida Embalse**



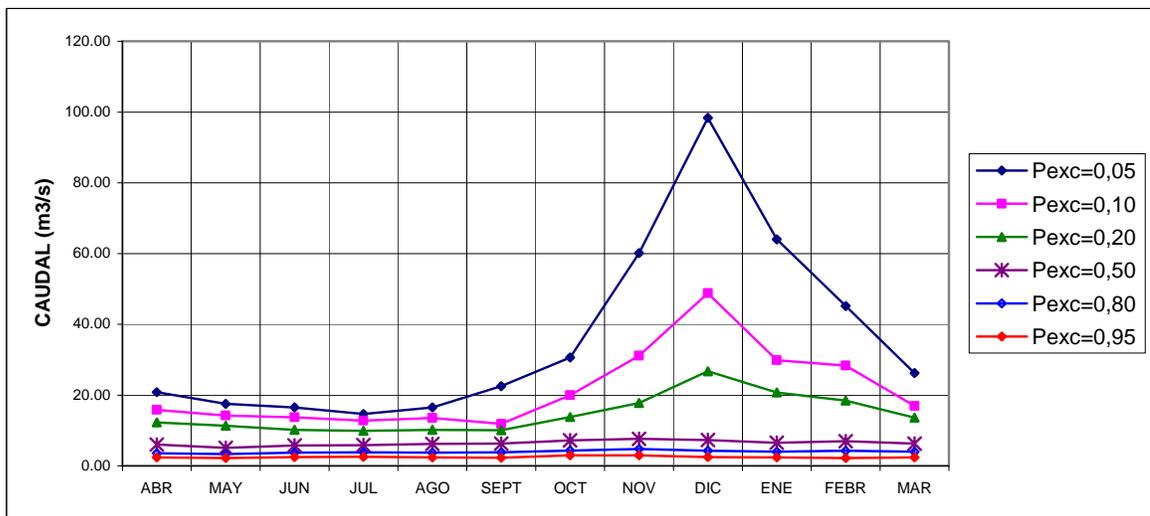
**Figura 4.9.b. Curvas de variación Estacional Caudales Observados Río Turbio en Varillar**



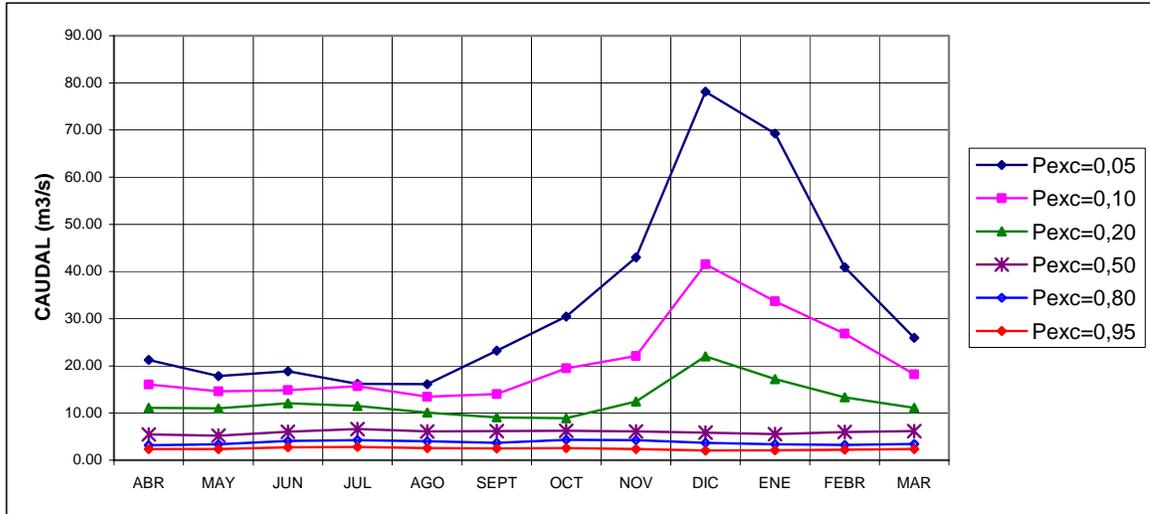
**Figura 4.9.c. Curvas de variación Estacional Caudales Observados Río Claro en Rivadavia**



**Figura 4.9.d. Curvas de variación Estacional Caudales Observados Río Elqui en Algarrobal**



**Figura 4.9.e. Curvas de variación Estacional Caudales Observados Río Elqui en Almendral**



**TABLA 4.18.a. Curvas de duración Anual, Octubre –Marzo y Abril-Septiembre asociados a algunas probabilidades de excedencia río La Laguna en Salida Embalse**

P.EXC	ANUAL	OCT-MAR	ABR-SEPT
0.05	7.412	10.76	3.593
0.10	5.347	7.2	2.6
0.15	4.171	5.816	1.976
0.20	3.806	5	1.79
0.30	2.837	4.072	1.534
0.40	2.316	3.49	1.246
0.50	1.81	2.98	0.737
0.60	1.47	2.55	0.401
0.75	0.54	2.065	0.25
0.80	0.386	1.818	0.2
0.85	0.282	1.609	0.171
0.90	0.2	1.37	0.145
0.95	0.144	1.02	0.111

**TABLA 4.18.b. Curvas de duración Anual, Octubre –Marzo y Abril-Septiembre asociados a algunas probabilidades de excedencia río Turbio en Huanta**

<b>P.EXC</b>	<b>ANUAL</b>	<b>OCT- MAR</b>	<b>ABR-SEPT</b>
<b>0.05</b>	16.22	20.9	8.072
<b>0.10</b>	9.974	16.11	6.662
<b>0.15</b>	8.507	11.075	6.02
<b>0.20</b>	7.226	9.808	5.602
<b>0.30</b>	6.033	7.659	4.283
<b>0.40</b>	5.272	6.568	3.548
<b>0.50</b>	4.43	5.615	3.06
<b>0.60</b>	3.652	5.058	2.514
<b>0.75</b>	2.667	4.03	2.19
<b>0.80</b>	2.418	3.74	1.968
<b>0.85</b>	2.246	3.477	1.87
<b>0.90</b>	1.96	3.006	1.749
<b>0.95</b>	1.792	2.342	1.398

**TABLA 4.18.c. Curvas de duración Anual, Octubre –Marzo y Abril-Septiembre asociados a algunas probabilidades de excedencia río Turbio en Varillar.**

<b>P.EXC</b>	<b>ANUAL</b>	<b>OCT- MAR</b>	<b>ABR-SEPT</b>
<b>0.05</b>	24.73	32.915	14.295
<b>0.10</b>	14.8	22.63	11.99
<b>0.15</b>	12.19	15.045	10.8
<b>0.20</b>	11	12.5	9.666
<b>0.30</b>	8.345	9.917	6.862
<b>0.40</b>	6.39	7.41	5.578
<b>0.50</b>	5.52	6.115	4.49
<b>0.60</b>	4.728	5.48	3.75
<b>0.75</b>	3.65	4.62	2.855
<b>0.80</b>	3.25	4.186	2.564
<b>0.85</b>	2.89	3.891	2.331
<b>0.90</b>	2.467	3.561	2.2
<b>0.95</b>	2.17	2.968	1.9

**TABLA 4.18.d. Curvas de duración Anual, Octubre –Marzo y Abril-Septiembre asociados a algunas probabilidades de excedencia río Claro en Montegrande.**

<b>P.EXC</b>	<b>ANUAL</b>	<b>OCT- MAR</b>	<b>ABR-SEPT</b>
<b>0.05</b>	8.204	13.29	4.984
<b>0.10</b>	5.334	8.204	4.504
<b>0.15</b>	4.517	5.902	3.994
<b>0.20</b>	3.77	4.676	3.492
<b>0.30</b>	2.816	2.769	2.88
<b>0.40</b>	2.33	1.952	2.5
<b>0.50</b>	1.96	1.64	2.19
<b>0.60</b>	1.7	1.414	1.954
<b>0.75</b>	1.295	1.088	1.57
<b>0.80</b>	1.164	0.992	1.454
<b>0.85</b>	1.02	0.823	1.23
<b>0.90</b>	0.885	0.721	1.09
<b>0.95</b>	0.721	0.628	0.936

**TABLA 4.18.e. Curvas de duración Anual, Octubre –Marzo y Abril-Septiembre asociados a algunas probabilidades de excedencia río Claro en Rivadavia.**

<b>P.EXC</b>	<b>ANUAL</b>	<b>OCT- MAR</b>	<b>ABR-SEPT</b>
<b>0.05</b>	16.04	23.25	8.159
<b>0.10</b>	9.236	13.95	6.296
<b>0.15</b>	6.596	10.25	5.621
<b>0.20</b>	5.59	7.22	5.27
<b>0.30</b>	4.63	4.665	4.612
<b>0.40</b>	3.65	3.4	3.852
<b>0.50</b>	2.83	2.465	3.08
<b>0.60</b>	2.314	1.87	2.616
<b>0.75</b>	1.63	1.325	2.02
<b>0.80</b>	1.43	1.01	1.814
<b>0.85</b>	1.17	0.891	1.573
<b>0.90</b>	0.896	0.677	1.282
<b>0.95</b>	0.6	0.477	0.951

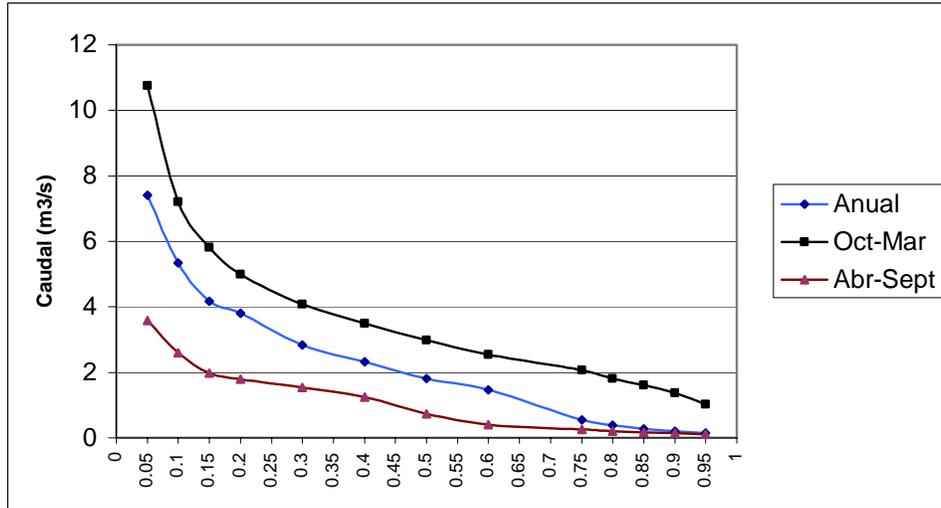
**TABLA 4.18.f. Curvas de duración Anual, Octubre –Marzo y Abril-Septiembre asociados a algunas probabilidades de excedencia río Elqui en Algarrobal.**

<b>P.EXC</b>	<b>ANUAL</b>	<b>OCT- MAR</b>	<b>ABR-SEPT</b>
<b>0.05</b>	41.46	53.18	23.125
<b>0.10</b>	24.72	36.1	17.05
<b>0.15</b>	17.7	25.68	14.15
<b>0.20</b>	13.94	18.62	12.2
<b>0.30</b>	10.9	11.98	10.15
<b>0.40</b>	8.906	9.268	8.31
<b>0.50</b>	7.39	7.76	6.855
<b>0.60</b>	6.172	6.652	5.78
<b>0.75</b>	4.66	5.05	4.377
<b>0.80</b>	4.236	4.444	4.01
<b>0.85</b>	3.902	4.074	3.737
<b>0.90</b>	3.46	3.714	3.305
<b>0.95</b>	2.704	2.816	2.62

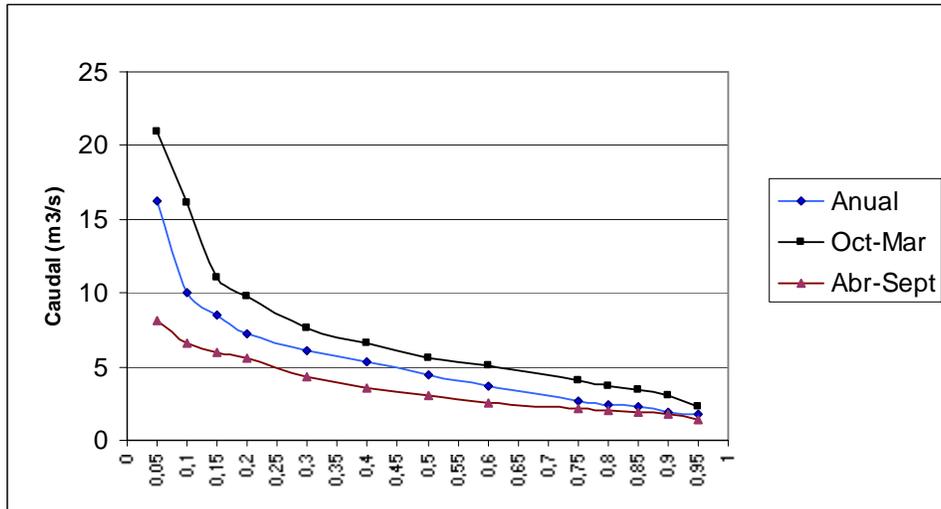
**TABLA 4.18.g. Curvas de duración Anual, Octubre –Marzo y Abril-Septiembre asociados a algunas probabilidades de excedencia río Elqui en Almendral.**

<b>P.EXC</b>	<b>ANUAL</b>	<b>OCT- MAR</b>	<b>ABR- SEPT</b>
<b>0.05</b>	26.44	41.06	21.615
<b>0.10</b>	19.8	24.48	16.49
<b>0.15</b>	15.26	17.28	13.67
<b>0.20</b>	12.02	12.94	11.6
<b>0.30</b>	9.09	9.084	9.09
<b>0.40</b>	7.318	7.098	7.504
<b>0.50</b>	6.21	6.21	6.195
<b>0.60</b>	5.364	5.312	5.424
<b>0.75</b>	4.205	4.16	4.235
<b>0.80</b>	3.872	3.852	3.894
<b>0.85</b>	3.434	3.26	3.54
<b>0.90</b>	2.958	2.836	3.113
<b>0.95</b>	2.499	2.448	2.646

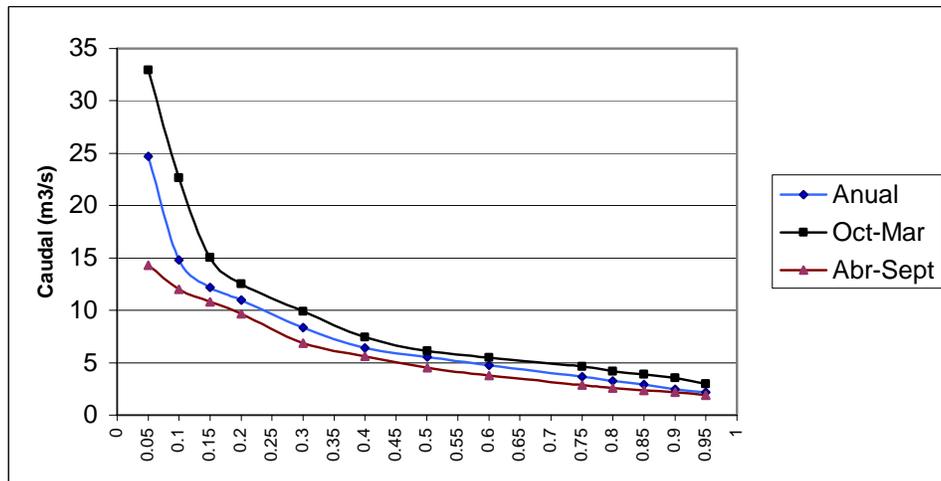
**Figura 4.10.a. Curvas de duración río La Laguna salida Embalse**



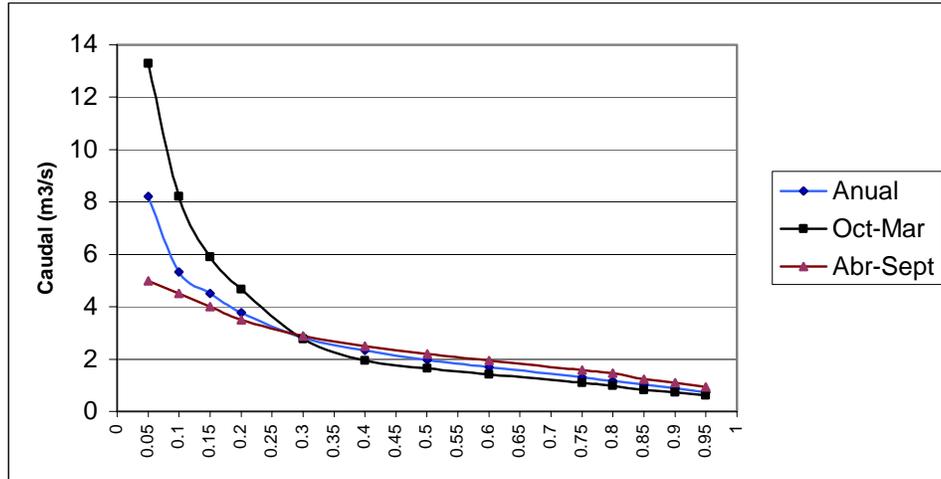
**Figura 4.10.b. Curvas de duración río Turbio en Huanta**



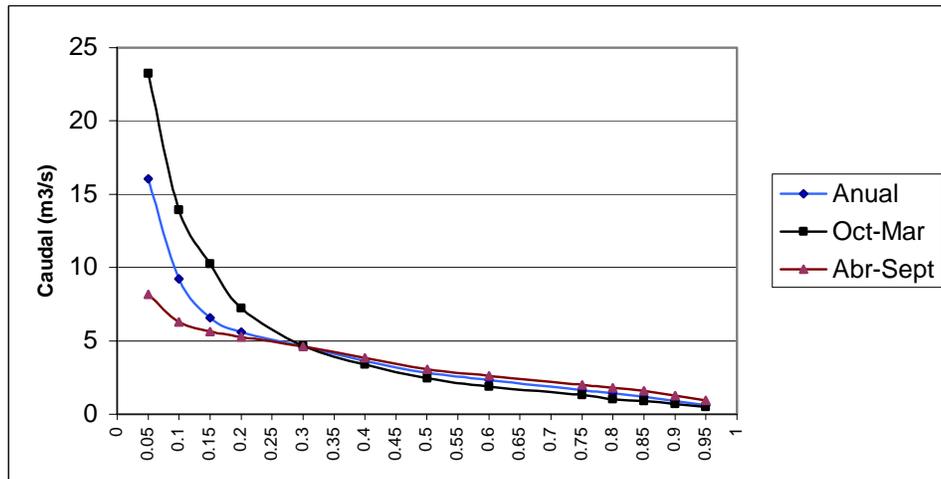
**Figura 4.10.c. Curvas de duración río Turbio en Varillar**



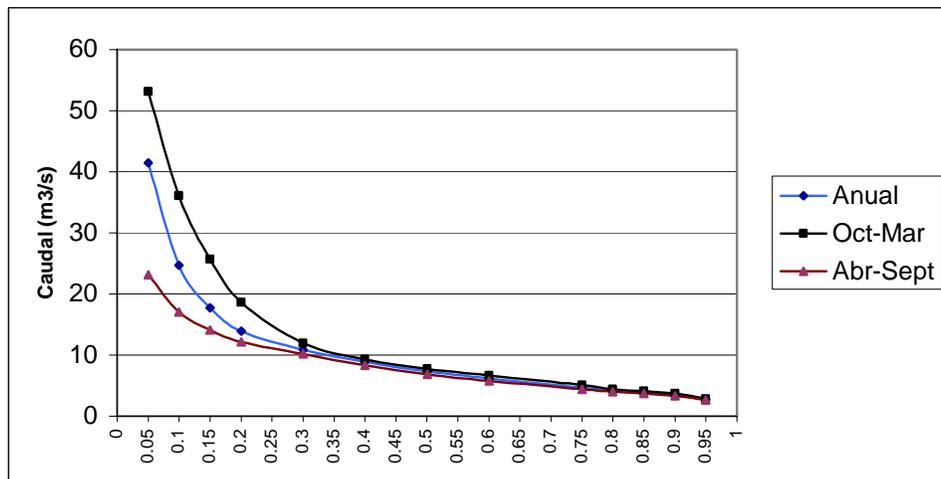
**Figura 4.10.d. Curvas de duración río Claro en Montegrando**



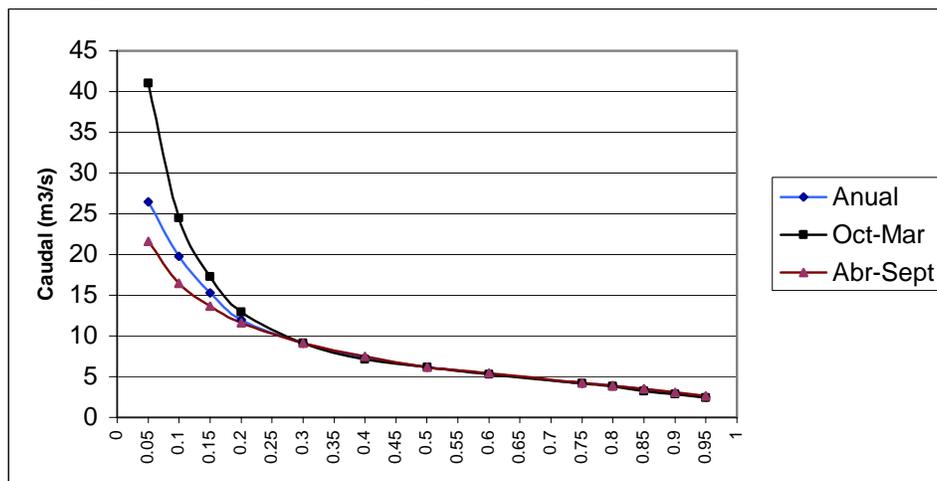
**Figura 4.10.e. Curvas de duración río Claro en Rivadavia**



**Figura 4.10.f. Curvas de duración río Elqui en Algarrobal**



**Figura 4.10.g. Curvas de duración río Elqui en Almendral**



**Tabla 4.19.a. Curvas de variación estacional caudales medios mensuales [m³/s] en régimen natural asociados a algunas probabilidades de excedencia río Claro en Ridavadia**

PEXC	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
0.05	9.48	8.82	8.17	7.02	8.30	9.61	15.63	33.19	48.60	35.85	16.91	11.90
0.10	7.59	7.37	7.46	6.81	6.59	7.23	10.07	18.73	34.01	21.37	12.16	8.81
0.20	6.63	6.20	6.01	5.83	5.77	5.86	6.01	10.11	14.72	10.95	7.88	6.47
0.30	5.34	5.27	5.35	4.96	5.01	5.30	4.76	6.63	7.99	7.02	6.00	5.33
0.40	4.07	4.19	4.61	4.68	4.40	4.31	4.26	4.46	4.34	4.97	4.31	4.26
0.50	3.14	3.65	4.15	4.25	3.93	3.81	3.64	3.71	3.64	3.32	3.20	3.00
0.60	2.68	3.05	3.62	4.00	3.75	3.47	3.33	3.24	3.10	2.80	2.75	2.76
0.70	2.32	2.45	3.20	3.55	3.17	3.19	3.20	3.00	2.67	2.25	2.21	2.22
0.80	1.83	1.95	2.75	3.07	2.94	2.50	2.56	2.41	2.06	1.78	1.71	1.74
0.85	1.74	1.90	2.19	2.69	2.37	2.17	1.97	1.78	1.69	1.51	1.51	1.56
0.90	1.59	1.69	2.04	2.10	2.03	1.62	1.64	1.51	1.44	1.29	1.33	1.38
0.95	1.19	1.17	1.48	1.80	1.81	1.41	1.42	1.19	1.02	0.73	0.89	0.98

**Tabla 4.19.b. Curvas de variación estacional caudales medios mensuales [m³/s] en régimen natural asociados a algunas probabilidades de excedencia río Turbio en Varillar**

PEXC	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
0.05	14.80	13.13	9.60	11.21	11.37	15.12	18.26	31.58	50.80	46.00	29.95	19.82
0.10	9.78	8.66	8.55	7.95	8.22	8.06	9.77	21.53	33.69	26.25	17.44	13.31
0.20	7.78	6.68	6.11	6.52	6.63	6.41	7.84	11.55	16.16	15.75	12.35	9.10
0.30	6.50	5.79	5.41	5.66	5.73	5.88	6.67	8.82	11.98	10.68	7.93	6.69
0.40	5.29	5.15	4.94	4.44	4.88	5.08	5.65	5.94	7.67	7.43	6.62	5.85
0.50	4.20	4.45	3.89	4.17	4.38	4.43	4.66	5.24	5.05	5.21	4.99	4.58
0.60	3.93	3.81	3.53	3.78	3.86	3.86	4.36	4.45	4.79	4.62	4.22	3.90
0.70	3.72	3.53	3.35	3.25	3.55	3.52	3.70	4.02	3.99	4.26	3.93	3.65
0.80	3.18	3.11	2.97	3.13	3.04	3.15	3.01	3.05	3.46	3.59	3.36	3.08
0.85	2.86	2.90	2.85	3.01	2.95	2.79	2.70	2.81	2.98	2.95	2.89	2.94
0.90	2.53	2.70	2.72	2.87	2.81	2.58	2.36	2.23	2.31	2.53	2.65	2.58
0.95	2.31	2.55	2.54	2.61	2.67	2.34	1.77	2.12	2.16	2.13	2.36	2.47

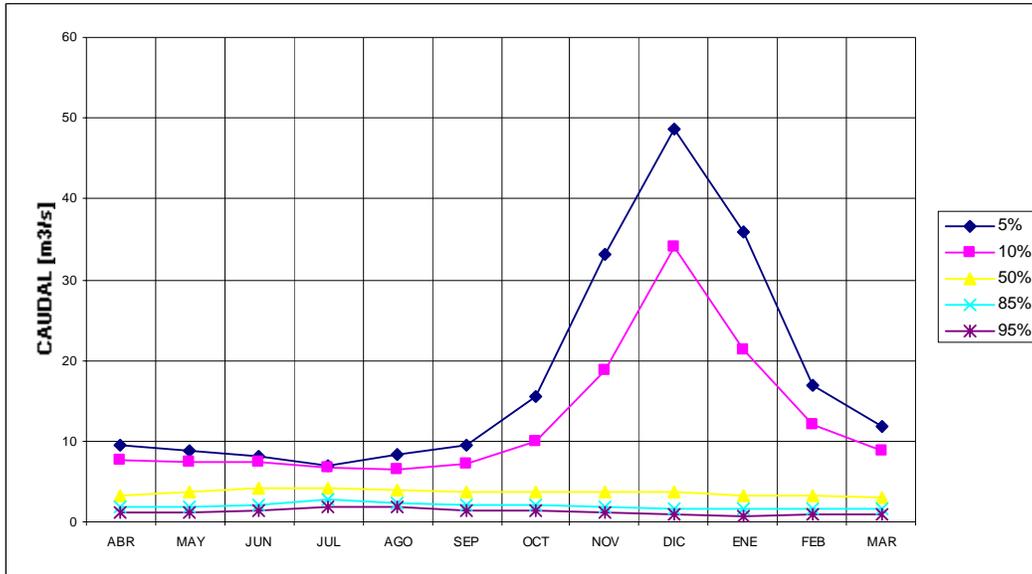
**Tabla 4.19.c. Curvas de variación estacional caudales medios mensuales [m<sup>3</sup>/s] en régimen natural asociados a algunas probabilidades de excedencia río Elqui en Algarrobal**

PEXC	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
0.05	26.98	23.97	20.01	18.68	19.95	22.35	33.64	68.71	102.31	79.94	48.52	33.87
0.10	21.48	18.84	16.94	16.94	17.27	16.95	22.91	40.08	57.14	47.33	31.40	23.51
0.20	16.76	14.99	14.31	14.60	14.44	14.83	16.96	22.30	34.46	30.53	22.84	17.49
0.30	14.25	13.61	12.81	12.54	12.94	13.02	13.80	17.51	23.38	21.34	16.70	14.23
0.40	11.01	12.09	11.37	11.65	11.81	12.15	12.18	13.51	14.47	13.04	12.19	11.73
0.50	9.46	9.81	9.76	10.38	10.78	10.76	11.38	12.00	11.08	10.56	10.26	9.41
0.60	8.42	8.44	8.67	9.36	9.24	9.87	10.06	10.75	10.12	9.52	8.84	8.56
0.70	8.09	7.68	8.27	8.47	8.60	8.77	8.95	8.62	8.01	7.98	7.69	7.55
0.80	6.28	6.54	7.27	7.86	7.51	7.28	7.39	7.23	7.19	7.06	6.96	6.53
0.85	6.05	5.91	6.66	6.56	6.80	6.24	6.12	6.77	6.91	6.58	6.09	6.28
0.90	5.55	4.81	5.78	6.07	5.73	5.32	5.08	5.66	5.60	5.39	5.44	5.30
0.95	4.10	4.53	4.83	4.96	4.93	4.77	4.87	4.47	4.11	3.72	3.83	4.13

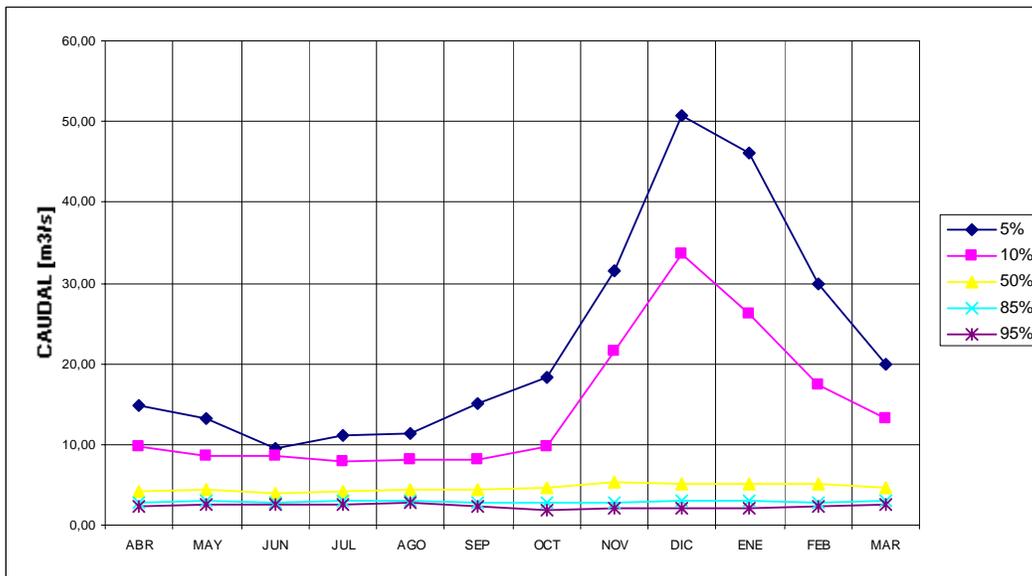
**Tabla 4.19.d. Curvas de variación estacional caudales medios mensuales [m<sup>3</sup>/s] en régimen natural asociados a algunas probabilidades de excedencia río Elqui en Almendral.**

PEXC	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
0.05	26.84	24.97	23.05	23.71	21.03	23.49	34.97	59.50	85.87	87.49	52.63	33.26
0.10	21.64	19.14	21.63	20.45	18.85	18.68	27.33	35.70	61.70	52.00	37.52	23.96
0.20	16.52	15.30	15.93	15.30	15.57	15.43	16.35	20.24	30.93	29.62	21.99	16.10
0.30	13.36	13.60	14.71	13.82	13.85	13.66	13.31	16.38	22.10	20.06	15.69	13.31
0.40	11.53	11.77	13.13	12.86	12.57	11.64	11.44	12.05	14.74	12.35	11.97	11.14
0.50	9.14	10.00	10.33	11.20	11.73	10.80	10.66	11.04	10.77	9.75	9.71	9.42
0.60	8.48	8.38	9.28	10.68	9.85	10.38	9.80	10.13	9.55	9.02	8.44	8.58
0.70	8.04	8.12	8.85	9.41	9.17	8.89	9.14	8.44	8.07	7.80	7.42	7.61
0.80	6.02	6.73	7.70	8.28	7.91	7.96	7.25	7.11	7.06	6.49	6.26	6.14
0.85	5.80	5.81	6.86	7.46	7.70	6.59	6.18	6.17	6.70	6.19	5.68	5.83
0.90	4.95	5.31	6.38	6.48	6.33	5.93	4.93	5.30	5.26	4.90	4.30	4.83
0.95	4.31	4.89	5.20	5.35	5.37	4.69	4.26	3.88	3.99	3.81	3.91	4.18

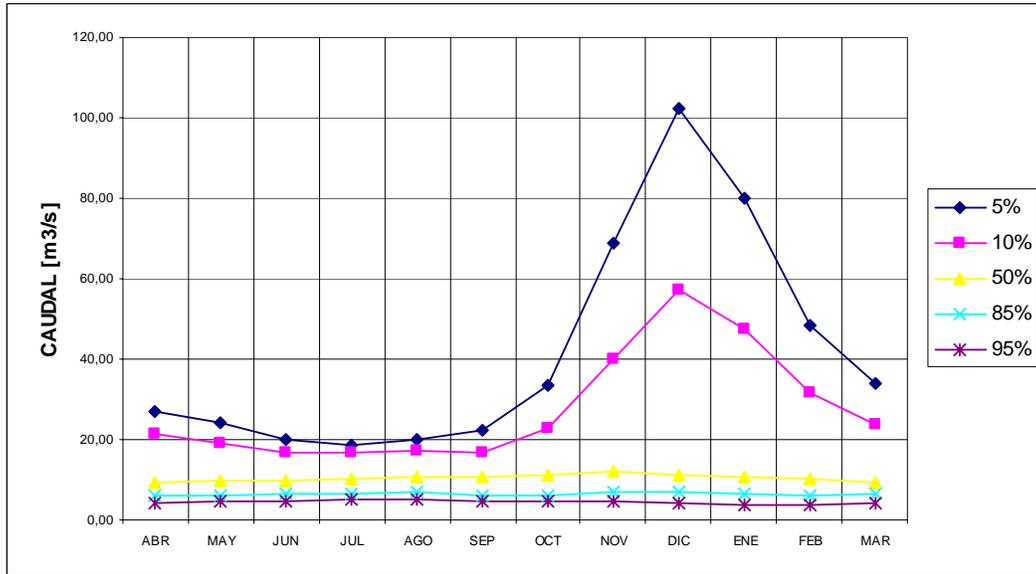
**Figura 4.11.a. Curvas de variación Estacional en Régimen Natural Río Claro en Rivadavia**



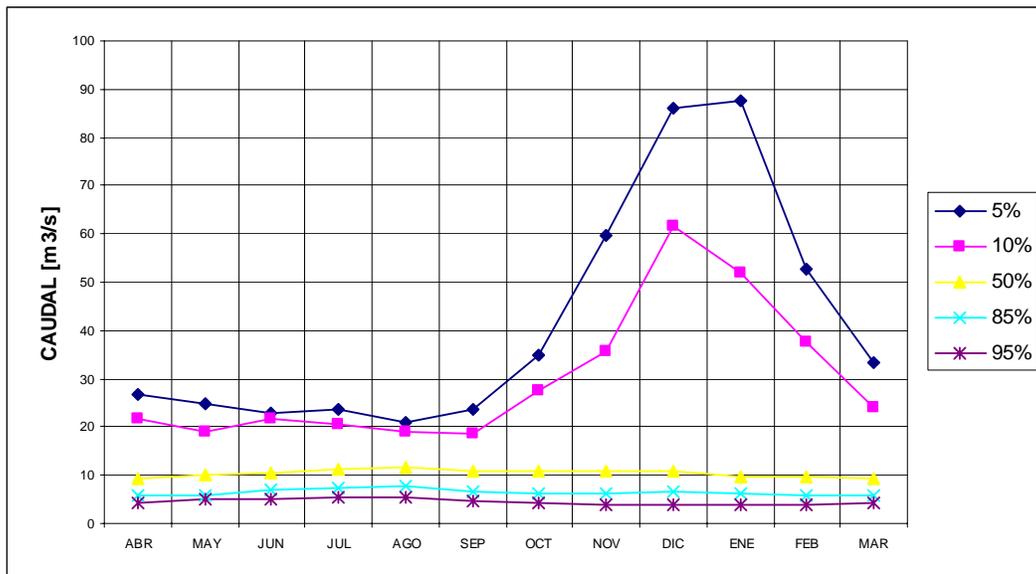
**Figura 4.11.b. Curvas de variación Estacional en Régimen Natural Río Turbio en Varillar**



**Figura 4.11.c. Curvas de variación Estacional en Régimen Natural Río Elqui en Algarrobal**



**Figura 4.11.d. Curvas de variación Estacional en Régimen Natural Río Elqui en Almendral**



#### 4.5.3. Caudales De Crecidas Pluviales.

Por lo ya señalado el régimen pluvial no es relevante a los caudales medios mensuales, sin embargo las crecidas de mayor envergadura que ocurren desde Elqui en Almendral hacia aguas abajo son claramente de origen pluvial.

## 4.6 Geomorfología, Hidrogeología y Vegetación

### 4.6.1. Generalidades

A continuación se describen algunos aspectos físico-ambientales característicos de la hoya hidrográfica del Río Elqui. Estos son la existencia de Glaciar(es), y su descripción; la **Geología-Hidrogeología; los Suelos y Flora y Fauna**

### 4.6.2. Glaciares

De acuerdo a la información recopilada, en la cuenca del río Elqui existe un solo glaciar, el glaciar El TAPADO (RIVERA et al. 2000). Este glaciar está ubicado en la parte alta de la sub-cuenca del río a Laguna y sus coordenadas son 30°08'S, 69°55'W, con una superficie de 3.6 km<sup>2</sup>. Desde el punto de vista hidrológico, su principal importancia tiene que ver con la capacidad de almacenamiento de agua. Este glaciar, ver Figura 4.12, fue estudiado un equipo de investigadores suizos (*GINOT et al. 2001*) con el fin de reconstruir mediante la extracción de un testigo de hielo, las condiciones paleoclimáticas de los últimos cientos de años, especialmente en relación con la presencia de eventos El Niño-Oscilación del Sur (ENOS).

**Figura 4.12. Foto Aérea del Glaciar TAPADO**



#### **4.6.3. Geología e Hidrogeología**

Según **SERNAGEOMIN 2002**, todos los cauces se encuentran sobre formaciones geológicas constituida por depósitos no consolidados y rellenos de depósitos fluviales; gravas, arenas y limos del curso actual de los ríos mayores o de sus terrazas subactuales y llanuras de inundación. Los alrededores de los cauces presentan una amplia variedad de formaciones geológicas, siendo las más importantes desde el punto de vista de calidad de agua, las siguientes:

Sector estero Guanta: Rocas Js2c de tipo volcano-sedimentarias del Jurásico medio-superior. Secuencias sedimentarias y volcánicas continentales, rocas epiclásticas, piroclásticas, lavas andesíticas a riolíticas; ubicadas de manera casi perpendicular al estero de Guanta. No existe influencia volcánica en esta cuenca.

Quebrada Vega Negra: Rocas PEg de tipo intrusivas del Paleoceno-Eoceno. Monzodioritas de piroxeno y biotita, granodioritas y monzodioritas de hornblenda y biotita, dioritas, grabos y pórfidos riolíticos y dacíticos, asociados a mineralización de Cu-Au.

Sector Río Cochiguaz y San Andrés: Rocas PEg de tipo Intrusivas del Paleoceno-Eoceno. Monzodioritas de piroxeno y biotita, granodioritas y monzodioritas de hornblenda y biotita, dioritas, grabos y pórfidos riolíticos y dacíticos, asociados a mineralización de Cu-Au.

Quebrada Marquesa: Rocas Kibg de tipo intrusivas del Cretácico Inferior bajo. Monzodioritas y dioritas de piroxeno, hornenda y biotita, granodioritas y tonalitas. Mineralizaciones de Fe.

Quebrada Las Cañas: Rocas Kibg de tipo intrusivas del Cretácico Inferior bajo. Monzodioritas y dioritas de piroxeno, hornenda y biotita, granodioritas y tonalitas. Mineralizaciones de Fe.

Quebrada Las Cañas: Rocas Kiag de tipo intrusivas del Cretácico inferior alto-cretácico superior bajo. Dioritas y monzodioritas de piroxeno y hornblenda, granodioritas, monzodioritas de hornblenda y biotita. Asociados a mineralización de Fe, Cu, Au.

Quebrada San Carlos: Rocas Kiag de tipo intrusivas del Cretácico inferior alto-cretácico superior bajo. Dioritas y monzodioritas de piroxeno y hornblenda, granodioritas, monzodioritas de hornblenda y biotita. Asociados a mineralización de Fe, Cu, Au.

Sector entre límite de la subcuenca de quebrada Marquesa con la quebrada. Chacal: Rocas JK3 de tipo volcánicas del Jurásico Superior-Cretácico Inferior. Secuencias volcánica, lavas, basálticas a riolíticos, domos brechas y aglomerados andesíticos a dacíticos con intercalaciones clásticas continentales y marinas.

Quebrada Los Loros: Rocas Ki2c de tipo volcano-Sedimentarias del Cretácico inferior-Cretácico superior. Secuencias sedimentarias y volcánicas continentales, con escasas intercalaciones marinas: brechas sedimentarias y volcánicas, lavas andesíticas, conglomerados de areniscas, limolitas calcáreas lacustres con flora fósil.

Quebrada Uchumi: Rocas Ki2c de tipo volcano-sedimentarias del Cretácico inferior-Cretácico superior. Secuencias sedimentarias y volcánicas continentales, con escasas intercalaciones marinas: brechas sedimentarias y volcánicas, lavas andesíticas, conglomerados de areniscas, limolitas calcáreas lacustres con flora fósil.

Sector Quebrada Santa Gracia y La Caleta: Rocas MP1m de tipo Sedimentarias del Mioceno superior-Plioceno. Secuencias sedimentarias marinas transgresivas: areniscas, limolitas, coquinas, conglomerados calizas y fangolitos; ubicadas entre las quebradas, formando una franja de ancho variable.

Según los antecedentes recopilados en **D.G.A.** “Mapa Hidrogeológico”, ver Figura 4.13, en la parte alta, destaca la existencia de permeabilidad muy baja debido a la existencia de rocas metamórficas y sedimentarias, volcánicas y plutónicas e hipabisales del período paleozoico motivo por el cual el escurrimiento subterráneo ocurre paralelo a los cauces.

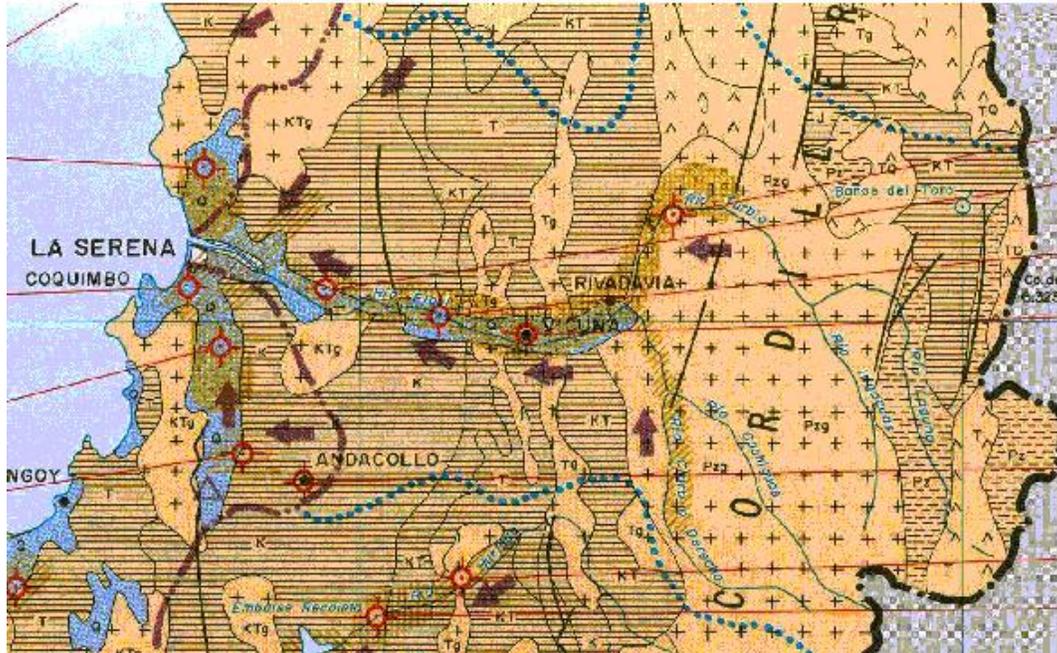
Destacan claramente tres escurrimientos: uno en dirección ESW paralelo al río Turbio hasta el poblado de Rivadavia con una profundidad promedio de 45 m y productividad de 50 m<sup>3</sup>/h/m. Este acuífero escurre a través de rocas de permeabilidad muy baja encauzándose paralelo al río Turbio.

En dirección Sur a Norte por un lecho de rocas Plutónicas escurren aguas subterráneas paralelas al río Claro o Derecho hasta la confluencia con el Turbio en Rivadavia.

Desde Rivadavia hasta la desembocadura en La Serena el acuífero escurre en dirección EW, por depósitos no consolidados o rellenos con profundidades freáticas que varían de los 17 a los 3 metros, encajonados por rocas sedimentario – volcánicas de muy baja productividad. En este sector del valle, el acuífero freático que se extiende ininterrumpidamente a lo largo de todo el valle, sólo muestra un leve grado de semiconfinamiento en el sector terminal (La Serena). Dicho acuífero presenta valores de transmisividad variables entre 4.200 y 100 m<sup>2</sup>/día, estimándose como valor medio unos 500 m<sup>2</sup>/día.

Existe un último acuífero que escurre en dirección NSW paralelo a la cordillera de la Costa por rocas volcánico – sedimentarias del período cretácico, para juntarse al flujo subterráneo principal en las cercanías de la Serena.

**Figura 4.13. Mapa Hidrogeológico de Chile de la DGA. Representa las características hidrogeológicas generales de la cuenca del río Elqui.**



#### 4.6.4. Suelos

De acuerdo a la recopilación bibliográfica encontrada, **DGA 2001** y **Meléndez 1972**, los suelos de esta región se denominan suelos pardos. En la franja litoral se desarrollan suelos aluviales sobre terrazas marinas y fondos de valles fluviales; estos suelos han evolucionado a partir de sedimentos marinos y continentales. Se denominan suelos de praderas costeras o molisoles, son de color pardo, textura fina, compuestos por arenas y limos. En los niveles superiores de terrazas predominan las arcillas.

En la cuenca del río Elqui, predominan los suelos rojos litosólicos que muestran una formación de arcilla y algunas segregaciones de limo en las grietas de las rocas subyacentes. En antiguos paisajes remanentes hay suelos rojos desérticos más desarrollados y bien diferenciados, ellos tienen en sus primeros 50 cm. de profundidad (Horizonte A) suelos de color pardo claro, de textura gruesa. En el lecho del río, los suelos presentan texturas gruesas con gravas y piedras de aluviones. Litosoles en los sectores montañosos.

En el curso medio del Valle de Elqui predominan los suelos aluviales denominados pardo-cálcicos o alfisoles. Son suelos originados tanto por sedimentos aportados por el río Elqui como también por materiales provenientes de los interfluvios montañosos

#### **4.6.5. Flora y Fauna de la Cuenca del río Elqui**

De acuerdo a **Gajardo 1994** la Flora terrestre de la cuenca se caracteriza por la presencia de las siguientes comunidades vegetales: Desierto Florido de las Serranías, Matorral Estepario Costero, Matorral Estepario Interior, Estepa Arbustiva de la Precordillera y Estepa Altoandina de Coquimbo:

- Desierto Florido de las Serranías (Región del Desierto): Encuentra su límite de distribución sur al norte de La Serena y adquiere en esta zona su máximo desarrollo, debido al efecto del aumento latitudinal de las precipitaciones. La comunidad representativa sigue siendo la de *Bulnesia chilensis*, *Adesmia argentea* y *Balsamocarpon brevifolium*, con sus elementos acompañantes característicos.
- Matorral Estepario Costero (Región del Matorral y Bosque Esclerófilo): Presenta fuerte influencia de neblinas; dominan los matorrales de *Ademia microrphylla*, *Cassia coquimbensis*, *Heliotropum stenophyllum* y *Fuchsia lycioides*, con presencia ocasional de especies amenazadas como *Myrcianthes coquimbensis* (en Peligro), *Porlieria chilensis* (Vulnerable), *Carica chilensis* (Vulnerable) *Aextoxicon punctatum* (Vulnerable) y *Myrceugenia correifolia* (Rara).
- Matorral Estepario Interior (Región del Matorral y Bosque Esclerófilo): Es característico por la presencia de comunidades dominadas por *Flourensia thurifera* y *Bridgesia incisaefolia*, que ocupan los llanos y las serranías interiores, sin influencia directa de las neblinas costeras y por lo tanto con un carácter más xerofítico de la vegetación, penetrando aquí algunos elementos del desierto en categoría de amenaza.
- Estepa Arbustiva de la Precordillera y Estepa Altoandina de Coquimbo (Región de la Estepa Altoandina): La fisionomía dominante de la vegetación, es la de un matorral bajo y abierto, donde son representativas las comunidades con *Adesmia hystrix* y *Stipa*

chrysophylla en los pisos bajos (Estepa Arbustiva de la Precordillera) y con *Adesmia echinus* y *Adesmia aegiceras* en los pisos superiores (Estepa Altoandina de Coquimbo). Esta última formación es característica por la presencia de plantas en cojín, entre las cuales se encuentra *Laretia acaulis* (Vulnerable).

#### **4.7. Administración, Infraestructura y Uso de los Recursos Hídricos.**

##### **4.7.1. Generalidades.**

Dado que la cuenca del río Elqui, como seguramente todas las cuencas de relevancia que existen a la fecha, en Chile, Canadá, etc. están intervenidas, es importante señalar tanto las organizaciones existentes vinculadas de algún modo al tema hídrico, como la infraestructura a la fecha existente. Primeramente se indican las organizaciones gubernamentales y sociales, tanto a nivel comunal, regional o nacional, señalando algunas de sus facultades. Dada la naturaleza de este proyecto, es decir, la capacidad de adaptación de las organizaciones al cambio climático, es clave al proyecto la descripción de estas organizaciones. En relación al uso del recurso hídrico, interesa precisar: los embalses, tanto los canales de riego (se adjuntan diagramas unifilares) como los derechos de aguas a la fecha concedidos, se agrupan según la junta de vigilancia a la que pertenecen, uso agrícola del suelo.

En la cuenca del río Elqui existen tres organizaciones que administran en forma directa los recursos hídricos; la principal organización es la Junta de Vigilancia del río Elqui o Coquimbo y sus afluentes (VRCyA) y otras dos entidades autónomas que corresponden a la Junta de Vigilancia del Estero Derecho (JVRD) y la Junta de Vigilancia de la Quebrada de Paihuano (JVQP).

##### **4.7.2. Organizaciones Involucradas en la Administración del Recurso Hídrico.**

###### **4.7.2.1. Organizaciones Varias.**

Organizaciones Gubernamentales:

-Intendencia

-CONAMA

-ONEMI

-Comisión Sequía

-Ministerio de Obras Públicas.

Bajo el alero de este ministerio se encuentran:

- Dirección General de Aguas
- Dirección de Obras Hidráulicas.
- A.P.R.

-Ministerio de Agricultura.

Bajo el alero de este ministerio se encuentran:

- INDAP
- INIA
- CONAF
- SAG

-Ministerio de Minería.

- SERNAGEOMIN

Organizaciones No Gubernamentales:

-Asociaciones de regantes:

- Junta de Vigilancia río Elqui
- Junta de Vigilancia estero Derecho
- Junta de Vigilancia quebrada Paihuano

-Universidades

- Universidad de La Serena
- Universidad del Norte.

-Aguas del Valle (ex ESSCO)

-SERPLAC

### **Organizaciones Gubernamentales:**

#### **INTENDENCIA**

En la Intendencia Regional reside el gobierno interior de cada región, por lo mismo, debe realizar las siguientes funciones:

Elaborar y aprobar las políticas, planes y programas de desarrollo de la Región, así como su proyecto de presupuesto.

Resolver la inversión de los recursos que corresponden a su participación dentro del Fondo nacional de Desarrollo Regional (FNDR) y programas de Inversión Sectorial (ISAR).

Apoyar a las Municipalidades cuando éstas lo necesiten.

Adoptar las medidas necesarias para enfrentar situaciones de emergencia y/o catástrofes.

Participar en acciones de cooperación internacional en la Región.

Mantener relación permanente con el Gobierno nacional y sus distintos organismos.

Dirigir las tareas de gobierno interior en la región, de conformidad con las orientaciones, órdenes e instrucciones que le imparta el Presidente de la República directamente o a través del Ministerio del Interior.

Velar por que se respete la tranquilidad, orden público y resguardo de las personas y bienes.

Requerir el auxilio de la fuerza pública en el territorio de su jurisdicción en conformidad a la ley.

Mantener permanentemente informado al Presidente de la República sobre el cumplimiento de las funciones del gobierno interior en la región, como asimismo sobre el desempeño de los gobernadores y demás jefes regionales de los organismos públicos.

Aplicar administrativamente las disposiciones de la Ley de Extranjería.

Efectuar denuncias o presentar requerimientos a los tribunales de justicia.

Ejercer la coordinación, fiscalización o supervigilancia de los servicios públicos.

Adoptar las medidas necesarias para prevenir y enfrentar situaciones de emergencia o catástrofe.

Hacer presente a la autoridad competente del nivel central, con la debida oportunidad, las necesidades de la Región.

### **CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente)**

La Comisión Nacional del Medio Ambiente es la institución del Estado que tiene como misión promover la sustentabilidad ambiental del proceso de desarrollo y coordinar las acciones derivadas de las políticas y estrategias definidas por el gobierno en materia ambiental.

### **ONEMI (Oficina Nacional de Emergencias)**

Tiene por misión asesorar, guiar, coordinar, evaluar y controlar el ejercicio eficiente y eficaz de la gestión permanente del Estado de Chile en la planificación y coordinación de los recursos públicos y privados destinados a la prevención y atención de emergencias y desastres de origen natural o provocados por la acción humana, proporcionando a los Ministerios, Intendencias, Gobernaciones, Municipios y organismos de Protección Civil de los niveles Nacional, Regional, Provincial y Comunal, modelos de gestión permanente y participativos para la administración de riesgos.

### **Comisión de Sequía**

Este Departamento desarrolla actividades de planificación, control y diagnóstico de la Condición del medio ambiente en la que se registra deficiencia de humedad, debido a que durante un lapso más o menos prolongado, la precipitación pluvial es escasa. El ciclo hidrológico se desestabiliza al extremo de que el agua disponible llega a resultar insuficiente para satisfacer las necesidades de las comunidades y los ecosistemas, lo cual disminuye las alternativas de supervivencia e interrumpe o cancela múltiples actividades asociadas con el empleo del agua.

El quehacer institucional de esta comisión busca elevar el nivel de desempeño global desde el punto de vista de la estrategia trazada por la Dirección Ejecutiva de las organizaciones relacionadas con el aprovechamiento y manejo del recurso hídrico.

**Ministerio de Obras Públicas.**

**Bajo el alero de este ministerio se encuentran:**

**DGA (Dirección General de Aguas)**

Planificar el desarrollo del recurso hídrico en las fuentes naturales, con el fin de formular recomendaciones para su aprovechamiento.

Constituir derechos de aprovechamiento de aguas.

Investigar y medir el recurso.

Mantener y operar el servicio hidrométrico nacional, proporcionar y publicar la información correspondiente.

Propender a la coordinación de los programas de investigación que corresponda a las entidades del sector público, así como de las privadas que realicen esos trabajos con financiamiento parcial del Estado.

Ejercer la labor de policía y vigilancia de las aguas en los cauces naturales de uso público e impedir que en éstos se construyan, modifiquen o destruyan obras sin la autorización del Servicio o autoridad a quien corresponda aprobar su construcción o autorizar su demolición o modificación.

Súper vigilar el funcionamiento de las Juntas de Vigilancia, de acuerdo con lo dispuesto en el Código de Aguas.

**DOH (Dirección de Obras Hidráulicas)**

Desarrollar obras hidráulicas dentro de un contexto de manejo integrado de cuencas hidrográficas, propendiendo a un uso eficiente de los recursos disponibles, en beneficio del desarrollo de la comunidad.

Los principales objetivos de la Institución son:

Mejorar la calidad de vida de la población urbana y rural, a través del desarrollo de infraestructura de obras hidráulicas.

Dar acceso a la población, al recurso hídrico, en tiempo, cantidad y calidad necesaria.

Mejorar la Institucionalidad, los procedimientos y la tecnología para prestar un mejor servicio a la comunidad.

### **APR (Agua Potable Rural)**

Diseñar y planificar la construcción de sistemas de captación de agua potable para localidades rurales o poblaciones de la región, considerando aspectos sociales, económicos y ambientales.

Contribuir al fomento y promoción de actividades económicas de las localidades con el objetivo de generar servicios de agua potable rurales en forma conjunta, sean estas cooperativas o comités.

### **SISS (Superintendencia de Servicios Sanitarios)**

Garantizar a los clientes de los servicios de agua potable y saneamiento de las zonas urbanas del país, que éstos corresponden (en cantidad y calidad) a los ofrecidos, que su precio es justo y sostenible en el largo plazo; y asegurar a la comunidad, que el agua una vez utilizada será tratada para ser devuelta a la naturaleza de forma compatible con un desarrollo sustentable. Esta responsabilidad será cumplida buscando promover la transparencia en el mercado, el autocontrol por parte de las empresas, y desarrollando una actuación eficiente.

### **Ministerio de Agricultura.**

**Bajo el alero de este ministerio se encuentran:**

### **INDAP (Instituto de Desarrollo Agropecuario)**

El Instituto de Desarrollo Agropecuario, INDAP, fue creado en noviembre de 1962 y tiene como principal objetivo fomentar y potenciar el desarrollo de la pequeña agricultura. Es un organismo público descentralizado, de duración indefinida, con personalidad jurídica y patrimonio propio, con plena capacidad para adquirir, ejercer derechos y controlar obligaciones, bajo la súper vigilancia del Presidente de la República, a través del Ministerio de Agricultura.

### **INIA (Instituto de Investigaciones Agropecuarias)**

El Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA, creado en 1964, es la principal institución de investigación agropecuaria de Chile, dependiente del Ministerio de Agricultura.

La misión del INIA, que se enmarca en la Política de Estado para la Agricultura, es generar, adaptar y transferir tecnologías para lograr que el sector agropecuario contribuya a la seguridad y calidad alimentaria de Chile, y responda competitiva y sustentablemente a los grandes desafíos de desarrollo del país.

### **CONAF (Corporación Nacional Forestal)**

El quehacer de la Corporación Nacional Forestal (CONAF) obedece a dos líneas de acción:

Lograr que campesinos y propietarios agrícolas vean la actividad forestal como una opción productiva rentable, a objeto de optimizar la comercialización e industrialización de máximo valor agregado para el sector forestal.

Recuperar y proteger el patrimonio natural de Chile, minimizando el deterioro de los ecosistemas forestales.

Todo lo anterior con el fin de asegurar la competitividad internacional de las exportaciones forestales chilenas.

### **SAG (Servicio Agrícola Ganadero)**

El Servicio Agrícola y Ganadero contribuye al desarrollo productivo y al mejoramiento de la competitividad del sector agrícola, ganadero y forestal nacional, a través de sus políticas de sanidad vegetal, salud animal, recursos naturales renovables y calidad alimentaria.

Basadas en las características internas del país, en su potencial productivo y en el entorno internacional en que vivimos, siendo un principio básico en desarrollo sustentable.

Las normas y objetivos que rigen al SAG se establecen en la Ley N° 18.755 de 1989, modificada por la Ley N° 19.283 de 1994.

Dicha ley lo inserta dentro del sector Público Agrícola, como un Servicio funcionalmente descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propio, sometido a la supervigilancia del Presidente de la República a través del Ministerio de Agricultura.

### **Ministerio de Minería.**

#### **SERNAGEOMIN (Servicio Nacional de Geología y Minería)**

El Servicio Nacional de Geología y Minería, Sernageomin, fue creado por el Decreto Ley N° 3.525, en el año 1980, mediante la fusión de dos entidades que hasta esa fecha habían funcionado en forma independiente. Uno de estos organismos era el Instituto de Investigaciones Geológicas, cuyo objetivo principal era contribuir al conocimiento geológico y geofísico del territorio nacional mediante la investigación geológica básica y aplicada. La otra entidad, era el Servicio de Minas del Estado, que tenía por función fiscalizar las condiciones de seguridad minera; asesorar al Gobierno y al poder judicial respecto de la propiedad minera; y, además, elaborar y difundir estadísticas de la actividad del sector.

El Sernageomin es un organismo del Estado, de régimen descentralizado, con personalidad jurídica y patrimonio propio. Se relaciona con el Ejecutivo por intermedio del Ministerio de Minería. La Ley Orgánica constitutiva estableció las Subdirecciones de Geología y Minería, dependientes de la Dirección Nacional.

## **Organizaciones No Gubernamentales:**

### **Universidad De La Serena**

La Universidad de La Serena es una corporación de carácter nacional, pero comprometida con el desarrollo regional y con su problemática. Por lo tanto, orienta preferentemente su actividad investigadora hacia líneas definidas como prioritarias para dar respuesta a las demandas regionales, sin que esto signifique oponerse a los principios de libertad académica.

La ULS entiende que la investigación científica y tecnológica contempla un conjunto de actividades que van desde el análisis racional de las creaciones artísticas hasta las aplicaciones de la ciencia. Por lo tanto, garantiza un nivel adecuado de funcionalidad y capacidad de operación de las actividades que desarrolla.

Los objetivos y políticas de investigación de la Universidad de La Serena tienen por finalidad esencial procurar el desarrollo de una investigación científica y tecnológica del más alto nivel posible, enmarcada en metodologías válidas desde el punto de vista de la comunidad científica internacional.

### **Universidad Católica del Norte (Dirección de Investigación)**

La Universidad Católica del Norte, a través de la dirección general de Investigación y Postgrados, tiene como objetivo entregar apoyo a proyectos y programas de investigación que tengan carácter de compromiso con el desarrollo y las problemáticas que demanda la región.

### **ESVAL Aguas del Valle S.A. (ex ESSCO)**

El 25 de Noviembre de 2003, ESVAL se adjudicó en licitación pública, el derecho de explotación de las concesiones de la que es titular Essco S.A., sanitaria de la IV Región. Para tales efectos, con fecha 4 de diciembre de 2003, se constituyó una sociedad anónima filial denominada Aguas del Valle S.A., sometida a las normas que rigen a las sociedades anónimas abiertas y con el objeto único y exclusivo de producir y distribuir

agua potable; recolectar, tratar y disponer las aguas servidas; y realizar las demás prestaciones relacionadas con dichas actividades, en los términos establecidos en el DFL N° 382, de 1988 del Ministerio de Obras Públicas, y demás normas aplicables.

El principal compromiso de Aguas del Valle S.A., con la comunidad de la Cuarta Región, es proporcionar una mejor calidad de vida y un medio ambiente que permita el desarrollo sustentable.

Es por ello que se ha comprometido con la Comunidad de la Región, impulsando obras de Infraestructura Sanitaria de alto nivel, que constituyen sin duda una sólida base para el desarrollo económico y social de la región.

Aguas del Valle S.A. junto a los beneficios directos reflejados en la salud, la calidad de vida de las personas y el cuidado del medio ambiente, contribuye con el desarrollo agrícola, turístico, inmobiliario, industrial y de servicios de la Región.

### **SERPLAC (Secretaría Regional de Planificación y Coordinación)**

Los principales objetivos de esta entidad son:

Integrar la secretaría técnica del Intendente.

Preparar las políticas, los planes y programas de desarrollo y el presupuesto regional, ajustándose a los planes nacionales y teniendo en cuenta las demandas de la comunidad regional para su consideración por el Intendente.

Realizar la evaluación de los proyectos a ser financiados por el FNDR y estudiar su coherencia con la Estrategia Regional de Desarrollo.

Apoyar al Intendente en la evaluación del cumplimiento de las políticas y planes, programas, proyectos y presupuesto regional.

Elaborar un análisis permanente de la situación socio-económica regional y hacer las evaluaciones que procedan.

Prestar asistencia técnica en materia de planificación y administración presupuestaria a las gobernaciones, municipalidades, servicios públicos y demás organismos estatales de la región.

Colaborar con las municipalidades y, a solicitud de ellas, en la generación, diseño y evaluación de proyectos e inversión comunal.

Mantener información actualizada sobre la realidad regional.

Identificar las áreas y sectores de extrema pobreza o de mayor atraso, proponiendo políticas, programas o acciones destinadas a superar tales situaciones.

#### **4.7.3. Organizaciones De Usuarios A Cargo Administracion Y Operación De Los Recursos Hídricos.**

En la cuenca del río Elqui existen tres organizaciones que administran directamente los recursos hídricos, estas son las Juntas de Vigilancia y **Asociaciones de regantes:**

- **La principal es la Junta de Vigilancia del Río Elqui o Coquimbo y sus afluentes**
- **Junta de Vigilancia del Estero Derecho**
- **Junta de Vigilancia Quebrada de Paihuano**

**A continuación se detallan estas organizaciones:**

##### **Junta de Vigilancia del Río Coquimbo o Elqui y sus Afluentes (JVRCyA)**

La Junta de Vigilancia del río Elqui y sus Afluentes es una organización de derecho privado cuya principal misión es la de administrar y distribuir las aguas a que tienen derecho sus miembros en los cauces naturales originados en la cuenca de río Elqui, además explota y conserva las obras de aprovechamiento común y realiza los demás fines que encomienda la ley a través del Código de Aguas de 1981. Debido al carácter relevante que posee el recurso sobre las actividades sociales, culturales, económicas y productivas existentes en la provincia del Elqui, también incorpora, como parte de la misión institucional, la promoción y divulgación para la conservación y explotación sustentable del recurso, involucrando a todos los actores de la cuenca.

Sus principales objetivos son:

Establecer las políticas de reparto de las aguas del Río Elqui y sus afluentes conforme a los lineamientos definidos por el directorio.

Supervisar el normal reparto de las aguas del Río Elqui y sus afluentes conforme a los derechos de aguas o acciones definidos en los estatutos de la Junta de Vigilancia del Río

Elqui además supervisar el buen funcionamiento de las obras de regulación existentes en la cuenca (embalse Puclaro y embalse La Laguna).

Planificación estratégica de la distribución del recurso hídrico en cada año agrícola, para ello se requiere el análisis de pronósticos climáticos. Además le corresponde la realización de proyectos y estudios técnicos para el mejoramiento de la infraestructura de riego aplicado a la conducción y la distribución.

Realización de los complejos mantenimientos que se están realizando actualmente en los dispositivos mecánicos del embalse Puclaro. Esto se realiza en un trabajo conjunto con personal de la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Publicas.

El sistema de riego del Río Elqui y sus afluentes esta compuesto por dos embalses conectados entre si y de una extensa red de 126 canales de riego que captan sus aguas por medio de 117 bocatomas y captaciones de elevación mecánica. Las aguas superficiales de donde extraen gravitacional - mente los canales corresponde a los ríos Turbio, Cochiguaz, Claro y Elqui específicamente, para administrar este sistema de riego se requiere de un equipo técnico y administrativo a cargo de diferentes labores.

#### **Junta de Vigilancia del Estero Derecho**

Los objetivos principales como institución son:

Planificación estratégica de la distribución del recurso hídrico en cada año agrícola. Además de la realización de proyectos y estudios técnicos para el mejoramiento de la infraestructura de riego y la optimización en la conducción y la distribución del recurso hídrico.

Establecer las políticas de reparto de las aguas del Estero Derecho conforme a los lineamientos definidos por el directorio.

Supervisar el normal reparto de las aguas del Estero conforme a los derechos de aguas o acciones definidos en los estatutos de la Junta de Vigilancia.

#### **Junta de Vigilancia Quebrada de Paihuano**

La junta de vigilancia de la quebrada de Paihuano tiene como principales objetivos:

Establecer las políticas de reparto de las aguas del sector.

Supervisar el normal reparto de las aguas conforme a los derechos de aguas o acciones definidos en los estatutos de la Junta de Vigilancia.

Planificación estratégica de la distribución del recurso hídrico.

Realización de proyectos y estudios técnicos para el mejoramiento de la infraestructura de riego.

Optimización en la conducción y la distribución del recurso hídrico.

#### **4.7.4. Administración de los Recursos hídricos.**

La Junta de Vigilancia del Río Elqui ha dividido el sistema en secciones y sectores de riego con el fin de administrar adecuadamente los canales existentes en la cuenca.

La Junta de Vigilancia del río formada por los mismos agricultores y regantes del valle ha tenido la responsabilidad de la repartición y administración del recurso agua entre los regantes de las tres secciones legales en que se ha dividido el río.

**Primera Sección:** Esta abarca desde la formación del río Elqui en Algarrobal hasta el Pueblo de El Tambo, comprende a los canales de los ríos Turbio y Claro, además de aquellos canales ubicados en la formación del río Elqui hasta 3 Km aguas abajo de la ciudad de Vicuña, siendo el canal Los Romeros el último canal de la primera sección

**Segunda Sección:** se extiende a partir del límite occidental de la primera sección considerando los sectores de Vicuña y Puclaro, hasta la localidad de Marquesa, siendo el canal Quiscal el último canal de esta sección.

**Tercera Sección:** Corresponde al curso inferior del río Elqui, se extiende desde la localidad de Marquesa, aguas abajo del canal Casuto hasta la desembocadura del río Elqui en el Océano Pacífico.

La JVRCyA ha establecido una distribución de los recursos hídricos en función de la disponibilidad existente y de los derechos de aprovechamiento de los usuarios. Para ello ha definido un sistema de distribución de las aguas del río Elqui y sus afluentes denominado Sistema de Demarques:

### **Sistema de Desmarques.**

Los sistemas de demarques es un método basado en coeficientes de reducción que han sido definidos por el ex-administrados de la VRCyA el Ingeniero Juan Bennett y que han sido aplicado desde los años 50 con el fin de restringir las entregas de caudales para riego en función de la disponibilidad del recurso hídrico.

La decisión de qué coeficientes de desmarques se aplicarán para un determinado período se toma basándose en pronósticos de caudales para la temporada.

Este pronóstico de caudales se realiza a través de una relación entre el caudal medio afluente al embalse La Laguna entre los meses de Septiembre a Febrero y a la nieve caída en el patio del campamento de dicho embalse entre los meses de Abril a Septiembre, es decir a la nieve caída en el invierno anterior.

Los coeficientes de demarques corresponden a un valor porcentual aplicados al total de acciones que posee cada canal, considerando como base que el valor nominal de una acción de agua es equivalente a 1 (l/s).

Para la aplicación práctica de los coeficientes de demarques se definen, en función de la disponibilidad de los recursos hídricos, los conceptos de Río Libre y Río en Desmarque.

### **Río Libre.**

Se entiende como río libre cuando el valor de la acción cotizada se iguala o sobrepasa el valor nominal de la acción, en este caso la JVRCyA no requiere ejercer control en bocatoma de los canales.

En la práctica se declara río libre en condiciones menos favorables en relación a la disponibilidad de caudales, ya que los canales no cuentan con la capacidad suficiente para captar el caudal asociado a las acciones cotizadas.

El Ingeniero Juan Bennett estableció que por secciones y sectores es posible declarar río libre cuando se cuenta con el caudal suficiente para hacer las entregas correspondientes a una cotización mínima de la acción.

### Río en Desmarque.

Se entiende como río en desmarque cuando el valor de la acción se cotiza a un valor inferior al valor nominal. En condiciones muy desfavorables en cuanto a la disponibilidad del recurso hídrico la acción sólo se puede cotizar a un valor mínimo equivalente al 20% del valor nominal, ya que no es posible captar en bocatoma caudales menores.

#### 4.7.5. Derechos de Aprovechamiento del Recurso Hídrico.

En los ríos que la JVRCyA administra existen dos tipos de derechos, las acciones netas y las acciones brutas. Las acciones netas corresponden a los derechos de agua que efectivamente reciben en bocatoma los canales. Las acciones brutas corresponden a las que originalmente se dividieron los derechos del río, las cuales son utilizadas para el cobro de las cuotas que debe cancelar cada canal.

En las Tablas 4.20 y 4.21 se entregan la totalidad de derechos de agua asignados para la cuenca en sus cauces principales y tipos de derechos.

**Tabla 4.20. Acciones Totales de Cada Sección**

Sección	Acciones Totales
Río Cochiguaz	1037.48
Río Derecho	3041.75
Río Claro	2865.70
Río Turbio	2207.65
Río Elqui 11 Sección	5352.13
Río Elqui 21 Sección	1042.70
Río Elqui 21 Sección	12300.85
<b>Total</b>	<b>27848.26</b>

**Tabla 4.21. Derechos de Aprovechamiento en la Cuenca del Río Elqui**

Sección	Derechos No Consumtivos (l/s)	Derechos Eventuales (l/s)
Río Turbio	8.500	531
Río Claro	1.700	-
Río Cochiguaz	900	-
Río Elqui	-	403

(-) No Cuentan con este tipo de derechos.

#### **4.7.6. Estructuras Y Sistemas Hidráulicos Extraprediales:**

En INA (1987) se ha realizado un catastro de todas las obras de aprovechamiento desde los cauces, incluyendo sus características principales, antecedentes que se utilizados en este estudio.

Las principales obras hidráulicas en la cuenca se describen a continuación:

##### **4.7.6.1 Embalses**

En la cuenca del Elqui existen actualmente dos embalses:

##### **a) Embalse La Laguna**

El embalse La Laguna consiste en un tranque de tierra con cortina de concreto armado en la parte inferior y con recubrimiento de enrocado. Tiene capacidad para almacenar 40 millones de m<sup>3</sup> de agua y su destino es el mejoramiento de unas 24.000 há del valle Elqui. Las aguas del embalse son entregadas al río La Laguna para ser conducidas por el río Turbio hasta el río Elqui, donde son captadas por los diversos canales existentes desde antes de construirse el embalse. Ver figura 4.14a

**Figura 4.14.a. Vista Embalse La Laguna.**



## **b) Embalse Puclaro**

El embalse Intendente Renán Fuentealba, más conocido como Embalse Puclaro, fue construido por el Estado y el término total de sus obras fue en Marzo del 2000. Está emplazado en el río Elqui, a 46 km al interior de la ciudad de La Serena. La superficie inundada alcanza a 760 há. La capacidad es de 200 millones de m<sup>3</sup>.

La obra propiamente tal, consiste en un muro con rellenos de grava compactados y pantalla de hormigón en su parámetro aguas arriba, La longitud del muro en su coronamiento es de 595 m y su altura máxima 83 m. En La Figura 2.8 se aprecia una vista aérea del embalse Puclaro. Ver figura 4.14b

**Figura 4.14.b. Vista Embalse Puclaro**



### **4.7.6.2 Canales de riego**

La Tabla 4.22 complementa la información de las Tablas 4.20 y 4.21 ya que incluye la totalidad de canales y superficie de riego asociada a cada cauce y Sector de Riego, la que se precisa en Tabla 4.23 y se resume en Tabla 4.24.

Los canales cuentan con estructuras de control en su entrada, aforadores de escurrimiento crítico con barreras triangulares, los cuales poseen un ancho que es proporcional a sus derechos de aprovechamiento, los que se enumeran y detallan en Tabla 4.25. De esta información se concluye que en general, los canales derivados del río Elqui y sus afluentes son en su mayoría de pequeña envergadura, sólo 9 canales poseen una capacidad de conducción superior a los 500 (l/s).

La Tabla 4.26 precisa la información relativa a la red de canales de la Junta de Vigilancia Estero Derecho.

**Tabla 4.22. Principales Características Sectores De Riego-Hidrológicos, Cuenca Río Elqui.**

Cauce y Sección	Número Total Canales [-]	Superficie a Regar [Há]	Total Acciones (b) = brutas, (n) = netas [-]	Caudal Total Derechos: (p) permanentes (e) eventuales [m <sup>3</sup> /s]
Río Derecho	21	888,2	3041,74	
Río Cochiguaz, 1ª Sección	14	203,2	1067,48	1.037,48 (p)
Río Claro, 1ª Sección	25	478,9	3069,15	2.887,57 (p)
Río Turbio, 1ª Sección	14	424,5	2187,65	2.201,93 (p) 3.800,00 (e)
Río Elqui, 1ª Sección	27	2273	5.697,02 (b) 5.377,13 (n)	5.402,41 (p)
Río Elqui, 2ª Sección	9	115,7	1.051,14 (b) 1.042,7 (n)	1.057,7 (p)
Río Elqui, 3ª Sección	21 6 (sólo recup.) Q.P., V.S (sólo recup)	11.585,3 744,9 751,6	12.217,86 11.989,97	13521,35

**Tabla 4.23. Sectores de Riego administrados por JVRCyA Río Elqui y sus Afluentes**

Sección	Sector N1	Nombre	Descripción y Límites	Área Ha	Cantidad Canales
Primera	S1	Río Turbio	Área regada por el río Turbio, límite inferior es la confluencia con el río Claro.	880	14
	S2	Río Derecho	Área regada por el río derecho, límite inferior es la confluencia con el río Cochiguaz.	1.890	21
	S3	Paihuano	Área regada por la quebrada de Paihuano, límite inferior es la confluencia con el río Claro.	490	4

MCRI Project:  
 INSTITUTIONAL ADAPTATIONS TO CLIMATE CHANGE: Comparative study  
 of dryland river basins in Canada and Chile.

	S4	Río Claro-Cochiguaz	Área regada de los valles de los ríos Cochiguaz y Claro, límite inferior es la confluencia con el río Turbio.	1.421	39
Segunda	S5	Vicuña	Área regada por el río Elqui, primera sección del río Elqui.	4.531	27
	S6	Puclaro	Área regada por el río Elqui, se inicia inmediatamente aguas abajo del sector 5, límite inferior ribera derecha frente al cerro Rojo, ribera izquierda aproximadamente 1 Km aguas abajo de El Molle.	1.800	13
Tercera	S7	Altovalsol	Área regada por el río Elqui, se inicia inmediatamente aguas abajo del sector 6 y limita por el poniente con la Quebrada Cochina.	8.275	10
	S8	Bellavista	Limita en su parte superior con el sector de Altovalsol y comprende el área regada por el canal bellavista.	11.004	1
	S9	Pampa-Herradura	Se ubica en la ladera sur del valle de Elqui en la terraza intermedia entre el sector 8 y la terraza costera.	3.670	5
	S10	Vega Norte y Sur	Parte inferior del río Elqui.	3.550	9

**Tabla 4.24. Características de Sectores de Riego Asociados a Tramos**

SECTOR RIEGO	SUPERFICIE (Ha)	SUPERFICIE DE RIEGO (Ha)	NUMERO CANALES (-)	NUMERO ACCIONES (-)
S1	880	424.5	14	2201.93
S2	1890	888.2	21	3041.74(*)
S4	1421	682.1	39	4136.63
S3	490	-	04	-
S5	4531	2758	27	5352.13
S6	1800	658	13	1422.19
S7	8275		10	
S8	11004	11403	01	8248.54
S9	3670	2475	05	2111.42
S10	3550	2232	09	718.92

(\*) Corresponde a la suma total de acciones del sector 2 y sector 3.

**Tabla 4.25. Canales correspondientes a la Junta de vigilancia del Río Elqui**

Nº	CANAL	ACC. NETAS (l/s)	ACC. BRUTAS (l/s)	CAP. MAXIMA (l/s)
1	La de Los Pinto	46.56	46.56	37.248
2	Andrea Segundo	13	13	10.4
3	Samuel Rodríguez	20	20	20
4	Jacoba Cortés	76.65	76.65	76.65
5	Captacion California	5	5	5
6	Captacion Smithe	6	6	6
7	Captacion San Francisco	11	11	11

MCRI Project:  
 INSTITUTIONAL ADAPTATIONS TO CLIMATE CHANGE: Comparative study  
 of dryland river basins in Canada and Chile.

8	Captación Las Papas	10	10	10
9	Lechuza Tercero	9.77	9.77	9.77
10	Lechuza Primero	38.18	38.18	0
11	Lechuza Segundo	45.55	45.55	22.775
12	Chapilca	240.53	240.53	162.318
13	Captación Molina	30	29.625	30
14	Tapalca, Totoralillo	268.21	268.21	214.568
15	Barraza	52.3	52.3	52.3
16	Las Mercedes	152.73	152.73	122.184
17	Varillar Alto	279.38	279.38	139.69
18	Varillar Bajo, Molino	222.55	222.55	111.275
19	San José	299.86	299.86	239.888
20	Toma de Iglesias	189.58	189.58	139.69
21	Casa Rosada	69.28	75	69.28
22	Empedrado, Cuesta	68.18	68.18	34.09
23	Cordillerita, Zanjeado	64.69	64.69	32.345
24	Cortadera Alta - Cortaderal	48.51	48.51	24.255
25	Cortadera Baja, Vega de Huerta:	48.51	48.51	24.255
26	Alfalfa Alto, Cortadera:	43.72	43.72	17.488
27	Ñipas, Trancas:	87.42	87.42	43.71
28	Pangue	130.15	130.15	39.045
29	Trapiche	21.86	21.86	17.488
30	Alfalfa Bajo	21.86	21.86	0
31	Churcal	21.86	21.86	0
32	Peñon, Algarrobal:	52.46	52.46	31.476
33	Ajial Bajo, Molino:	87.42	87.42	52.452
34	Huecudo, Ajial Alto:	87.42	87.42	52.452
35	Fraille-Chañares, Temblador, Playas Rodrigones:	150.75	150.75	90.45
36	Higueras	37.1	37.1	14.84
37	Junta, Mal Paso:	65.57	65.57	0
38	Total	39.13	39.13	0
39	Manantial - La Palma	167.97	167.97	67.188
40	Los Ponces	97.31	97.31	48.655
41	Que Habita El Monte	16.37	16.37	16.37
42	Estrechura	51.78	51.78	31.068
43	Francisco Rojas	89.26	89.26	35.704
44	Ramón Meriño	22.19	22.19	0
45	Alamo, Lúcumo, Viña y otros 6	638.44	638.44	319.22
46	Carmén Rodríguez	79.48	79.48	47.688
47	Puente - Chañares	258.33	258.33	154.998
48	Manzano	112.08	112.08	0
49	Los Aguirre , Las Yeguas	344.17	344.17	172.085
50	Santa Gertrudis	191.3	201.79	57.39
51	Culebrón	88.23	88.23	35.292
52	Las Cañas	198.71	198.71	99.355
53	Bajada, La Bajada	25	25	9.924
54	Molino	196.46	196.46	117.245
55	El Olivo	40.19	40.19	46.895
56	Puente de Piedra	79.49	79.49	0
57	Río Claro	49.16	49.16	24.58

MCRI Project:  
 INSTITUTIONAL ADAPTATIONS TO CLIMATE CHANGE: Comparative study  
 of dryland river basins in Canada and Chile.

58	Las Juntas	22.26	22.26	8.904
59	Captacion Las Cuevas (Frontera de Rivadavia)	4	4	4
60	Pedro Cerda	123.12	123.12	73.872
61	Algarrobal	51.82	52	52
62	Miraflores	498.09	498.09	249.045
63	Alto Campana	79.22	79.22	47.532
64	Puyalles	102.13	102.13	61.278
65	Piedra Azul	76.22	76.22	45.732
66	Alto Peralillo	982.568	1151.16	540.727
67	Diaguitas	95.45	95.45	76.36
68	Cañas	40.56	40.56	40.56
69	Rincón	125.99	125.99	62.995
70	San Isidro	314.97	314.97	188.982
71	Puente de Chulo	31.97	31.97	31.97
72	Pencas	187.07	187.07	187.07
73	Molino	57.27	57.27	57.27
74	Olivo	38.18	38.18	0
75	Puntilla	87.22	87.22	80.176
76	Espanta	160.83	160.83	96.498
77	Barranca	306.7	341.8	205.08
78	Compañía	424.69	487.53	292.518
79	Lucas Morán	31.97	31.97	31.97
80	Hierro Viejo, Huancara y 3 más.	617.72	631.28	315.64
81	Prohens, Yungay,	113.03	159.56	0
82	San Carlos , La Higuera	264.52	264.52	238.068
83	Toma del Medio	161.3	161.3	161.3
84	Toma del Tambo	205.21	205.21	123.126
85	La Campana	118.83	118.83	142.596
86	Los Romeros	207.59	207.59	124.554
87	Punta Azul	118.91	118.91	86.346
88	Polvada	22.52	22.52	0
89	Gualiguaica	170.92	170.92	0
90	Puclaro I y II	38.39	38.39	38.39
91	Porotal	26.3	26.3	26.3
92	A. Pangué	36.34	36.34	36.34
93	Maiten Alto o Delirio	505.55	515.24	361.35
94	Quiscal	34.6	34.6	20.76
95	Marquesa - Casuto	379.49	391.72	211.914
96	La Calera	685.715	684.98	468.566
97	Titón	175.65	175.65	140.52
98	San Pedro Nolasco	844.528	851.6	825.46
99	Cutún - Manchigue	461.95	461.95	239.418
100	El Romero	1115.86	1115.86	680.088
101	Hinojal	294.37	294.37	176.622
102	Saturno - Quilacán	525.92	525.92	226.382
103	Bellavista	3677.04	3888.45	2.206.224
104	Herradura	1150.23	1158.48	575.115
105	Altovalsol	392.03	392.03	199.515
106	Coquimbito	399.03	399.03	239.418
107	ESSCO	735.645	812.99	927

MCRI Project:  
**INSTITUTIONAL ADAPTATIONS TO CLIMATE CHANGE: Comparative study**  
of dryland river basins in Canada and Chile.

108	Pampa	583.48	583.48	291.74
109	Culcatan	200.07	200.07	1.300.455
110	Callejas	212.01	212.01	212.01
111	Lambert	134.76	134.76	134.76
112	Tejar I y II	165.17	165.17	165.17
113	Cruz de Molino	134.76	134.77	134.77
114	Varios con derechos eventuales	885	885	885

**Tabla 4.26. Canales correspondientes a la Junta de vigilancia del Estero Derecho**

Nº	CANAL	ACC. PERMANENTES (l/s)	SUP. REGADA (Has)	CAUDAL (l/s)	BOCATOMA (ubicación)
1	HUALTATA	73,24	30	73.24	a 0.5 Km de la Conf.. del estero derecho
2	PANGUE	262.46	96	262.46	a 4 Km de la Quebr. De Alcohuaz
3	SAN JUAN	76.3	35	38	a 1.3 Km de la Quebr. de Alcohuaz
4	ARENAL	134,30	67	67	a 1.5 Km de la Quebr. De Alcohuaz
5	PABELLON	309.22	132	154	a 0.5 Km del puente de Alcohuaz
6	MAQUI	54.92	26	27	a 0.1 Km de la Quebr. Del Maqui
7	ORTIGA	56.46	46	28	a 0.3 Km de la Quebr. Del Maqui
8	HORCON	9.16	5	5	a 1.3 Km de la Quebr. De Horcon
9	PLACETAS	236.52	51.40	118	a 1.2 Km de la Quebr. De Horcon
10	VIGUITAS	18.3	30	122.2	En la ribera Derecha de la Quebr. De Horcon
11	VIGA	115.96	20	203.0	En la ribera Derecha de la Quebr. De Horcon
12	CUESTA	421.14	163	294.5	En la ribera izquierda de la Quebr. De la Viga
13	GREDA	268.56	141.09	134	a 1 Km de la Quebr. De la Viga
14	MEDIO	85.44	20	85.44	a 1 Km de la Quebr. De la Viga
15	MOLINO	144.56	31	72	a 0,1 Km de la Quebr. De la Viga
16	JARILLA	305.70	125	168	a 0,1 Km de la Quebr. De la Maqui
17	ROJAS PINTO	77.38	61	77.38	0,5 Km de la Quebr. De Miraflores
18	POZO	173.26	52	82	0.2 Km de la Quebr. De Pisco Elqui
19	FINCA	51.77	11		
20	ASIENTO	148.78	39.89	75	0.5 Km de la confluencia del Rio Claro

**4.7.8. Agricultura.**

Según **CADE IDEPE CONSULTORES EN INGENIERIA (2004)** el uso del suelo de tipo agrícola en la cuenca comprende 27.713 Ha equivalentes al 3% de la superficie total.

Los terrenos agrícolas se presentan principalmente a lo largo del valle del río Elqui aguas abajo de la localidad de Vicuña hasta la desembocadura en La Serena. Estos terrenos se presentan únicamente en áreas aledañas a las terrazas fluviales de este cauce, mayoritariamente entre la localidad del Almendral y ciudad de La Serena. En el sector alto del río (nacimiento en la confluencia de los ríos Turbio y Claro o Derecho) la superficie de terrenos de agrícolas es muy reducida pero, se logra desarrollar una pequeña superficie en algunos sectores del río Claro o Derecho y el río Cochiguaz afluente de este último.

Según los antecedentes existentes al año 1997, la provincia del Elqui posee terrenos agrícolas destinados principalmente a cultivos de forrajeras anuales y permanentes, frutales, hortalizas y parronales viníferos.

El sector agrícola más extenso e importante según los tipos de cultivos anteriores, se localiza en las comunas de Coquimbo y La Serena, destacando también la superficie agrícola destinada a frutales, viñas y parronales en la comuna de Vicuña.

Según **INPROA** (1969) los sectores de riego utilizados son los que se resumen en Tabla 4.23.

En tabla 4.24 se resumen las superficies que comprende cada sector y las superficies de riego.

En tabla 4.27 se resume uso superficie cultivada por sectores de riego.

**Tabla 4.27. Superficie Cultivada por Sectores de Riego**

Superficie Cultivada (Ha)								
Grupo Cultivo	S1	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
<b>VIDES</b>								
Uva de Mesa	146	443	1258	126	30	13	0	0
Uva Pisquera	95	95	810	259	71	0	0	0
Uva Pisquera Espildera	34	74	38	10	17	0	0	0
<b>FRUTALES</b>								
Chirimoyos	0	0	2	7	201	465	122	13
Paltos	0	5	11	13	164	75	15	1
Limoneros	1	5	7	9	64	654	24	4

MCRI Project:  
 INSTITUTIONAL ADAPTATIONS TO CLIMATE CHANGE: Comparative study  
 of dryland river basins in Canada and Chile.

Papayos	0	0	0	1	234	220	6	6
Otros	2	17	23	73	34	231	12	4
<b>CEREALES</b>								
Trigo	0	0	0	0	868	516	266	12
Maiz Grano	0	0	0	17	398	242	21	0
<b>HORTALIZAS</b>								
Papa Temprana	0	0	0	0	1617	1575	619	768
Repollo/Coliflor	28	0	115	64	67	132	17	157
Zanahoria	96	56	29	17	0	749	166	496
Arvejas/Habas	23	0	223	44	77	581	120	81
Flores	0	0	0	0	0	0	29	9
Papa Tardía	0	20	48	10	268	2	32	95
Poroto Verde	0	26	0	5	1	6	199	0
Pimiento	0	0	150	0	1053	16	112	0
Zapallo	0	0	0	0	0	287	97	299
Alcachofa	0	0	0	0	0	230	57	287
Pepino dulce	0	0	0	0	0	8	20	0
Alfalfa	0	2	43	3	10	227	542	0
<b>CULTIVO DOBLE</b>								
Papa Tardía	0	0	0	0	522	658	417	269
Maiz Grano	0	0	0	0	168	122	17	33
Poroto Verde	0	0	0	0	160	1086	381	488
Pimiento	0	0	0	0	1550	511	0	0
Zanahoria	0	0	0	0	210	468	376	361
Zapallo	0	0	0	0	0	235	69	287

#### 4.8. Modelos Hidrológicos Cuenca Rio Elqui.

A la fecha existen diversos enfoques y técnicas de abordar la modelación hidrológica, entre éstas se destaca la modelación de bases físicas. Este enfoque se funda en que es posible identificar las ecuaciones que dan cuenta de los procesos hidrológicos, las que son de validez universal, y que junto a la determinación de los parámetros físicos, biológicos atinentes y meteorológicos permiten simular adecuadamente la amplia gama de procesos hidrológicos. El tipo de modelo opuesto a los de bases físicas, son los netamente estadísticos, los que se fundan en establecer relaciones entre las variables significativas donde el valor de los parámetros salen directamente de un análisis estadístico de eventos previos. Entremedio hay una variada gama de modelos.

En el caso de la cuenca del río Elqui en particular se han desarrollado algunos trabajos relativos al tema, algunos de estos son:

- Espíldora & Palma (1977). Modelación Hidrológica de la Cuenca del río Elqui. Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.

- Arrau (2001) Modelo de simulación mensual para la operación del sistema de recursos hidráulicos del río Elqui, Provincia del Elqui, Cuarta región".

- Araya & Hunt (2003) Aplicación del Sistema de Modelación Hidrológica SHETRAN a La Cuenca del río Elqui". Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de La Serena.

A continuación se entregan los aspectos fundamentales de dichos modelos:

**Modelo Espíldora Y Palma (1977):**

Este modelo de simulación hidrológica consideró la zona del río Elqui ubicada entre las estaciones fluviométricas de Elqui en Algarrobal a Elqui en Almendral y, tuvo por objetivo simular los flujos superficiales y subterráneos de dicha zona. Este modelo se estructuró y desarrolló a partir de la implementación de ecuaciones de balances hídricos en: el río, canales de riego, tierras de cultivo, laderas y acuíferos principales. Los flujos considerados para estos efectos corresponden a los considerados en el ciclo de escorrentía: infiltración, percolación, escorrentía superficial, evapotranspiración, El intervalo temporal de trabajo,  $\Delta t$ , fue de 1 mes. Los principales elementos del modelo se detallan a continuación:

- a) El sector de la cuenca del río Elqui a modelar (a intervalos  $\Delta t$  mensual), se considera como un volumen de control con los siguientes flujos y almacenamientos: Flujos de entradas: caudal río Elqui en Algarrobal, flujo en los canales de contorno (canales de riego que sólo atraviesan el sector) y la precipitación. Los flujos de salida son: caudal río Elqui en Almendral, flujo en los canales de contorno de salida, la evapotranspiración en los sectores de cultivo y la evaporación desde la caja del río. Los almacenamientos considerados son: el acuífero en la zona de las laderas naturales, acuífero conectado a los sectores de riego y la humedad en terrenos agrícolas.

b) Los principales elementos y procesos hidrológicos al interior del sector modelado (esto es del volumen de control) corresponden a:

- Acuíferos: Acuífero de las laderas: Recarga vía percolación profunda de parte de las aguas de lluvia y salida hacia el acuífero del sector de riego. Acuífero zonas de cultivos: Recarga desde acuífero laderas y percolación profunda desde canales y sectores agrícolas e, intercambio con el río con sentido del flujo dependiendo de las condiciones y adicionalmente, extracciones mediante bombeo para regadío, uso industrial y consumo urbano en general.

- Con respecto a las precipitaciones existen dos casos: Que de acuerdo a la magnitud del evento y humedad antecedente en los sectores de laderas y agrícolas generan escorrentía superficial, esta se desarrollará a través de las laderas y quebradas tributarias al río y a los canales de contorno. En caso que estos eventos sean de magnitud pequeña, simplemente se modifica las condiciones de humedad de los suelos.

- De acuerdo a los flujos tributarios a los canales de contorno y su capacidad de conducción estos pueden desbordarse y producir ya sea una recarga a los canales de regadío o una recarga a los suelos del sector de riego, aumentando su nivel de humedad.

Los caudales medios mensuales y anuales del río Elqui en Almendral simulados por el modelo se ajustaron aceptablemente a los caudales medidos. Para el caso de los caudales medios mensuales, se pudo concluir que: Las diferencias porcentuales entre caudales medios mensuales simulados respecto de los medidos dan a un 90% de los caudales con diferencias menores al 30%. Los coeficientes de correlación (uno por cada mes) fueron prácticamente todos iguales superiores a 0,9. Y para los caudales medios anuales: en un 96,6% de los años, las discrepancias fueron inferiores al 20%, y el coeficiente de correlación fue de 0,97.

A partir de los resultados obtenidos se puede concluir que el modelo, tanto en lo relativo a caracterización física y los procesos considerados correspondió al comportamiento hidrológico del sector modelado.

### **Modelo de Arrau (2001)**

El objetivo de este modelo es la simulación de la cuenca del río Elqui para optimizar el manejo y administración de los recursos hídricos por parte de la Junta de Vigilancia del río Elqui. Este modelo consideró un período de simulación: de 49 años, mayo 1952 - abril 2000, con una escala de tiempo de trabajo mensual. Las principales características de este modelo de simulación-optimización de la hidrología superficial de la cuenca son las siguientes:

Este modelo considera a la red de drenaje de la cuenca conformada por un conjunto interconectado de objetos que según su tipo, se han clasificado en objetos fijos y objetos variables:

Los objetos fijos del modelo corresponden a los tramos de ríos o cauces naturales y los nodos o puntos donde se aplica la ecuación de balance hídrico. En la Figura 4.15 se ilustra el esquema de la sectorización considerada. De acuerdo a esta figura se observa que la cuenca del río Claro es representada por 5 nodos, con el curso de agua del río Cochiguaz como flujo cabecera (en el Nodo 1) y los excedentes del estero Derecho y de la quebrada Paihuano y los aportes de las restantes sub-cuencas aportando a los nodos 2, 3, 4 y 7 según su ubicación. Dado que el modelo está dirigido al manejo de los recursos hídricos de la Junta de Vigilancia del río Elqui, la que no tiene jurisdicción sobre los recursos del estero Derecho y de la quebrada Paihuano, sólo considera sus potenciales flujos excedentes. Los elementos centrales de la sub-cuenca del río Turbio corresponden al embalse La laguna, con los flujos tributarios a dicho embalse como flujos de cabecera. En lo relativo al río Elqui, su trayecto ha sido representado por 6 nodos, con el embalse Puclaro entre los nodos 8 y 9.

Los objetos variables del modelo corresponden a flujos, almacenamientos y parámetros:

Entre los flujos se pueden citar:

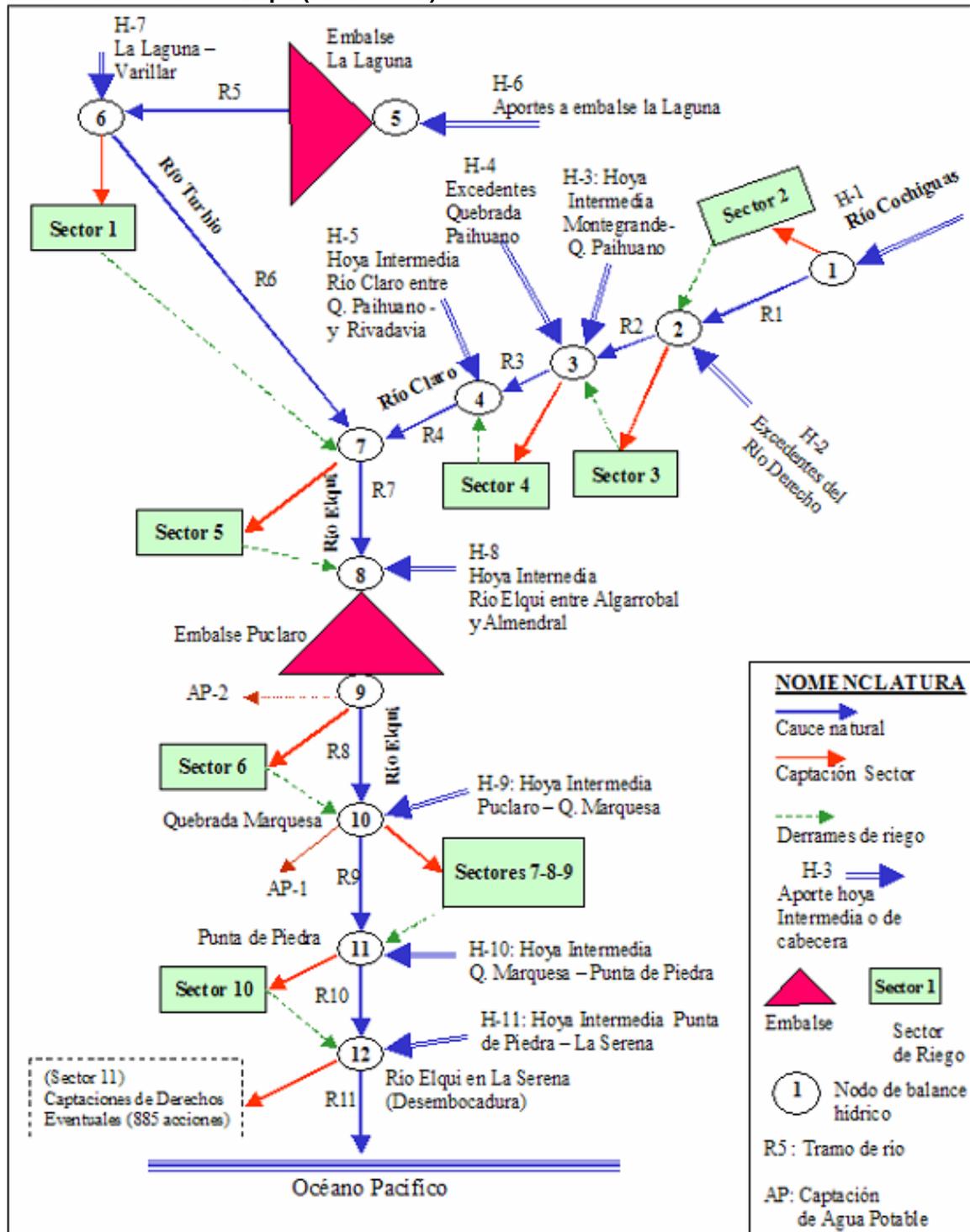
- Aportes de caudales en cabecera de cuencas y en hoyas intermedias, los que tributan en su respectivo nodo, las recuperaciones y pérdidas en tramos de ríos, las que para efectos de modelación se concentran igualmente en los nodos.

- Los Embalses, corresponden a La Laguna y Puclaro, su variable principal es la variación del volumen con respecto al tiempo y los parámetros que consideran son entre otros: capacidad de regulación, evaporación, reglas de operación.
- Sectores del área de estudio. Incluyen elementos relacionados en el balance tales como: capacidad de captación, derrames, curva de desmarque óptimo o deseado, etc.

Cada uno de los 12 nodos del modelo corresponde a puntos en los cuales se concentran los aportes de caudal de hoyas de cabecera, hoyas intermedias, derrames de riego, captaciones de sectores, entre otros elementos del modelo.

Por su parte, en la tabla 4.20 se describe cada uno de los nodos del modelo, en cuanto a su ubicación y elementos de entrada y de salida.

**Figura 4.15. Esquema de la sectorización y red hidráulica Modelo de simulación mensual del valle de Elqui (Arrau 1997)**



### **Modelo de Araya & Hunt (2003)**

El presente estudio, que correspondió a un trabajo de Memoria de Ingeniería Civil, aplicó el Sistema de Modelación Hidrológica “SHETRAN” a la totalidad de cuenca del río Elqui. El Sistema SHE, fue desarrollado en Europa por Francia, Inglaterra y Dinamarca en la década de los 80 y posteriormente ampliado en sus potencialidades hasta la fecha. Este sistema es un modelo hidrológico de bases físicas distribuido, diseñado para simular flujo de agua (superficial y sub-superficial), transporte de sedimentos y migración de contaminantes al nivel de una cuenca. La representación espacial de la cuenca es vía una discretización ortogonal de elementos, en la cual se usan dos tipos principales de elementos: los elementos de grilla y elementos de río o canal. Se asume que los elementos de río son relativamente pequeños con relación al tamaño de los elementos de grilla y forman una red lineal continua que corre entre los elementos de grilla.

Shetran tiene una estructura modular en que los principales recorridos hidrológicos son representados por componentes separados en el sistema. Los componentes de flujo de sistema de modelación Shetran son:

- Componente de Evapotranspiración e intercepción.
- Componente de flujo superficial (ríos y canales).
- Componente de flujo en la zona no saturada.
- Componente de flujo en la zona saturada.
- Componente de decrecimiento de nieve.
- Componente de intercambio entre ríos y acuíferos.

Dado el alto requerimiento de información del modelo, sus aplicaciones fueron inicialmente en cuencas experimentales densamente instrumentadas, del orden de hectáreas o pocos kilómetros.

En el caso de la cuenca del río Elqui, el requerimiento de información excede largamente la disponible para esta cuenca, por lo que tanto las variables y parámetros

del suelo, vegetación y datos meteorológicos asociados a los 2331 elementos de grilla de 2x2 Km. de extensión son una representación medianamente aproximada a la realidad.

La calibración y validación del modelo y sus respectivos parámetros fue llevada a cabo vía la comparación de resultados en las estaciones fluviométricas de Turbio en Varillar, Claro en Rivadavia y Elqui en Almendral, en su forma horaria. El período de calibración del modelo abarcó los años 1997-98 y el período de validación los años 1998-2000. En ambos casos cubriendo la época de invierno y la época de deshielo, en ambos casos incluyendo eventos de crecidas.

Además no se consideró el efecto de las extracciones para riego ni el embalse Puclaro, esto último producto de que se trabajó con datos anteriores a su construcción.

#### **4.9. Referencias.**

**ALFARO C. & C. HONORES (2001)** Análisis de la disponibilidad del recurso hídrico superficial en cauces controlados de las cuencas de los ríos Elqui, Limarí y Choapa. Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de La Serena.

**ARAYA A. & J. HUNT (2003)** Aplicación del Sistema de Modelación Hidrológica SHETRAN a La Cuenca del río Elqui”. Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de La Serena.

**ARRAU DEL CANTO L. INGENIEROS CONSULTORES (2001).** Modelo de simulación mensual para la operación del sistema de recursos hidráulicos del río Elqui, Provincia del Elqui, Cuarta Región. Dirección de Obras Hidráulicas, M.O.P, IV Región.

**ARRAU.** (Luis Arrau del Canto, Ingeniero Civil), (1997). Consultoría, Factibilidad Embalse Piuquenes, Estero Derecho Paihuano, IV Región. Informe Final. Dirección Regional de Obras Hidráulicas (ex-Dirección de Riego), IV Región. Ministerio de Obras Públicas

**BF BROWN Y FERRER INGENIEROS CIVILES (1992).** “Análisis Estadístico de Caudales en los Ríos de Chile”. Dirección General de Aguas – Ministerio de Obras Públicas. Etapa II.

**BF INGENIEROS CIVILES (BF, 1991),** Actualización de la estadística meteorológica. Temperaturas diarias. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Hidrología.

**BF INGENIEROS CIVILES** (BF, 1992), Análisis estadístico de los caudales en los ríos de Chile. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Hidrología.

**CADE IDEPE CONSULTORES EN INGENIERIA** (Diciembre 2004), “Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad” Cuenca del río Elqui. Dirección General de Aguas. Gobierno de Chile.

**CASTILLO C. Y NORERO M.** (1990). "Análisis Probabilístico de Precipitaciones, IV Región", Memoria de Titulación, para Obtener el Título de Constructor Civil, Universidad de La Serena,

**CHI 535** (CHI, 1978), Investigación de recursos hidráulicos en la IV Región, catastro de pozos IV Región, Serplac, DGA, ONU, CORFO.

**CIREN-CNR CENTRO DE INFORMACIÓN DE RECURSOS NATURALES** (1996) “Atlas Agroclimático de Chile”. Comisión Nacional de Riego.

**CONIC-BF BROWN Y FERRER LTDA. EN ASOCIACIÓN CON CONIC-BF INGENIEROS CIVILES CONSULTORES LTDA.** (1995). “Análisis de Oferta y Demanda de Recursos Hídricos en Cuencas Críticas Huasco y Elqui”. Dirección General de Aguas – Ministerio de Obras Públicas.

**DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS** (1987). “Balance Hídrico de Chile”. Departamento de Hidrología. Ministerio de Obras Públicas.

**DGA (1990) Mapa Hidrogeológico**, Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas.

**DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS, MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, REPÚBLICA DE CHILE** (1989). "Precipitaciones Máximas en 24, 48 y 72 horas".

**DOMÍNGUEZ M. & W. ROMERO** (1999). “Estructuración y Aplicación Metodología para el Análisis Técnico-Económico del Mejoramiento de Sistemas de Canales Bajo Embalse Puclaro”. Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de La Serena.

**ESPÍLDORA B. & G. PALMA** (1977). “Modelación Hidrológica de la Cuenca del río Elqui”. Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile.

**ESPILDORA B.** (1968), “Consideraciones hidrológicas sobre la sequía de Chile”, Jornadas sobre la sequía, Universidad De Chile 1968.

**ESPILDORA B.** (1972), “Algunos antecedentes hidrológicos de la sequía de 1965 En Chile”, Seminario Regional sobre hidrología de sequías, UNESCO, Lima Perú.

**INA IPLA LTDA, NOGUERA Y ASOCIADOS Y AGROINGENIERÍA LTDA** (1987). "Estudio Integral de Riego. Valle del Elqui". Comisión Nacional de Riego. Vol. II y III.

**INECON INGENIEROS Y ECONOMISTAS CONSULTORES LTDA.** (1997). "Manejo Integral del Recurso Hídrico a Nivel de Cuencas. Cuenca del Elqui". Dirección de Obras Hidráulicas – Ministerio de Obras Públicas.

**INPROA** (1969) "Plan de Área de La Serena" Corporación de la Reforma Agraria.

**IPLA INGENIERÍA Y PLANIFICACIÓN LTDA.** (1996). "Análisis Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile". Dirección General de Aguas – Ministerio de Obras Públicas. Vol. I.

**KLEIMAN, P. Y TORRES, J.** (1964). "Río Elqui – Embalse Puclaro. Recuperaciones y Retornos de Riego". Dirección de Obras Hidráulicas – Ministerio de Obras Públicas.

**LLANCA J.C. & E. MIRANDA** (2004) "Estudio de las aguas subterráneas de la cuenca del río Elqui", Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de La Serena.

**LUENGO P.** (2004) "Modelación numérica del flujo de aguas subterráneas en rocas fracturadas, Rinconada de Punitaqui". Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de La Serena.

**MERLET, H Y SANTIBAÑEZ, F.** (1989). "Evaluación y Cartografía de la Evapotranspiración Potencial en la Zona de Climas Mediterráneos de Chile". Universidad de Chile.

**MN Ingenieros Limitada, (1999).** Construcción Embalse Piuquenes, Diseño, IV Región. Proyecto Definitivo, Volúmenes 1-4. Dirección Regional de Obras Hidráulicas, IV Región. Ministerio de Obras Públicas.

**MORALES P.** (2001) "Estudio del Impacto del Embalse Puclaro y las Extracciones de Áridos en el Equilibrio Sedimentológico del Río Elqui, Aguas Abajo Presa". Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de La Serena.

**PRISMA INGENIERÍA LTDA. INGENIEROS CONSULTORES** (Prisma, 1992), "Estudio, actualización de la estadística meteorológica. Evaporación y recorrido del viento". Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Hidrología.

**QUEZADA, M.** (1991). "Determinación del Régimen Natural de Estaciones Fluviométricas de la Cuenca del Río Elqui". Dirección de Obras Hidráulicas - Ministerio de Obras Públicas.

**R.E.G. RICARDO EDWARDS GANA INGENIEROS CONSULTORES** (1984), "Estimación de los Caudales Máximos de las crecidas ocurridas en los Ríos de las

Regiones III, IV, V y Región Metropolitana, durante los Temporales del año 1984", para la Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Chile.

**REG (RICARDO EDWARDS GANA) INGENIEROS LTDA.,** (1992), Catastro de usuarios de aguas de la Cuenca del Río Limarí, IV Región, Informe Final, Tomos I y II de X y Planos 0, 20, 21 y 30. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios.

**REG. (RICARDO EDWARDS GANA) INGENIEROS LTDA.,** (1991), "Estudio de síntesis de catastros de usuarios de agua e infraestructuras de aprovechamiento". Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios, SIT N- 6.

**WOOD. G.** (1971) Estudio de las Precipitaciones Anuales Sector Copiapó-Aconcagua, Isoyetas. Departamento de Recursos Hidráulicos, CORFO.