

Hidrología de la cuenca del Valle de Elqui

- 3.1. Introducción
- 3.2. Hidrografía de la cuenca
- 3.3. Estructuras y sistemas hidráulicos construidos
- 3.4. Régimen de precipitaciones de la cuenca del Río Elqui
- 3.5. Escorrentía superficial
- 3.6. Dinámica de caudales observados – precipitación anual en la cuenca del Río Elqui
- 3.7. Tendencias de los caudales medios anuales
- 3.8. Conclusiones
- 3.9. Agradecimientos
- 3.10. Anexos



3. HIDROLOGÍA DE LA CUENCA DEL RÍO ELQUI

Hydrology of the Elqui River Watershed

HUMBERTO ZAVALA Z¹ & HERNALDO TRIGOS A¹

***Abstract.** The following aspects of the Elqui River Watershed are described in this chapter: the network of rivers and streams, its hydraulics, the rainfall and the surface river flow patterns, and possible trends under sceneries of climate change. Regarding the rainfall pattern, the network of rain gauges is listed and analyzed from the point of view of the quality of the records and the available information. Both snow and rain gauge measurements are included in the analysis. By using the moving mean methodology, the relationship between rainfall and El Niño and La Niña events is also examined. Finally, possible trends of change and/or climate variability of snow and rain are also discussed.*

Regarding the surface river flow, the network of fluviometric stations is listed and analyzed from the point of view of the quality of the records and the available information. To illustrate the temporal variation of the surface river/stream flow, statistical and graphical procedures (e.g., seasonal variation curves and curves of duration) are used. A similar analysis is done with the river/stream flows under natural regime. Next, a look at the yearly relationship between the rainfall regime and the watershed response through the surface river/stream flow is carried out, including years of low as well as of high and normal rainfall. Using the water balance equation and under the climate change scenery, the relationship between run off and eventual changes in the liquid and solid rainfall regime is discussed. Lastly, the effect of extreme events of low probability of exceedence (e.g., river outflows) is also examined

Key words: hydraulics, hydrology, water resources, water balance, arid land watersheds, Chilean rivers, climate change.

¹Departamento de Ingeniería en Obras Civiles. Universidad de La Serena. Chile. hazz.yunque77@gmail.com

Resumen. *En este capítulo se describe la hidrografía de la cuenca del Río Elqui, su régimen de precipitación, el patrón fluviométrico superficial y las posibles tendencias bajo un escenario de cambio climático. Respecto del régimen pluviométrico, tanto líquido como sólido, se describe la disponibilidad de la información y la calidad de los registros. Mediante el método de las medias móviles, se examina la relación existente entre precipitación y eventos El Niño/La Niña. Finalmente se analizan posibles tendencias asociadas a la variabilidad climática en las precipitación líquida y sólida.*

Respecto del patrón fluviométrico, se lista y describe la red de estaciones en relación a la calidad de sus registros y a la disponibilidad de la información. Para ilustrar la variación temporal de los flujos superficiales se recurre a procedimientos estadísticos y gráficos (e.g., curvas de variación estacional y curvas de duración). Posteriormente se hace un trabajo similar con los caudales en régimen natural. A continuación se establecen las relaciones anuales entre el régimen pluviométrico y la respuesta de la cuenca vía la escorrentía superficial. Lo anterior se realizó tanto para los años de pluviometría baja, como aquellos de pluviometría media y alta. En el contexto del cambio climático y haciendo uso del balance hídrico, se examina la relación entre el régimen de escorrentía y eventuales cambios en las precipitaciones líquidas y sólidas. Por último, se abordan los eventos extremos de baja probabilidad de excedencia (i.e., crecidas).

Palabras clave: hidráulica, hidrología, recursos hídricos, balance hídrico, cuencas de zonas áridas, ríos chilenos, cambio climático.

3.1. Introducción

La hoya hidrográfica del Río Elqui corresponde a una de las tres cuencas principales que conforman la Región de Coquimbo (Chile), junto a las cuencas de los ríos Limarí y Choapa. Una de las principales características de la Región es que, pese a su baja pluviometría, 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. Por consiguiente, el conocimiento de la hidrología de la cuenca es un elemento clave para el manejo sustentable actual y futuro de la misma. Puesto que la cuenca del Río Elqui no recibe, a la fecha ni en ninguna época histórica, trasvase de aguas desde cuencas vecinas ni existen sistemas de desalinización, todas las actividades desarrolladas en su interior deben llevarse a cabo, en cuanto a sus requerimientos hídricos, con el aporte de agua que proveen las precipitaciones, de por sí escasas y variables entre años. Esto implica acentuadas variabilidades en el régimen de escorrentía superficial de los cauces naturales que se encuentran en la cuenca, existiendo años secos proclives a generar sequías como años lluviosos. Los años lluviosos recargan los sistemas hídricos, pero son proclives a experimentar crecidas y aluviones (ver Capítulo 8 en este volumen).

Independientemente del tipo de año hidrológico (i. e., húmedo, medio o seco), las precipitaciones se concentran durante la época de otoño e invierno. En sentido opuesto, los mayores requerimientos hídricos ocurren en los meses de mayor calor, (i.e., primavera y verano), esto a contrapelo del régimen de precipitaciones. Cada una de estas problemáticas conlleva a que el sistema hídrico tenga diversas fuentes de fragilidad y que por ello el manejo hídrico sea crucial tanto para la sustentabilidad como para la planificación y gestión del recurso. El objetivo de este trabajo es integrar la información disponible sobre los aspectos hidrológicos más relevantes de la cuenca del Río Elqui y situarla en el contexto de la vulnerabilidad de los sistemas naturales frente a escenarios de cambio climático. La sección 3.2 está centrada en describir la hidrografía de la cuenca, con énfasis en la red de drenaje superficial y glaciares. Los componentes construidos de impacto hidráulico (e.g., canales de riego, embalses, pozos y embalses) son revisados en la sección 3.3. La sección 3.4 aborda el régimen de precipitaciones. Se entrega un listado de las estaciones pluviométricas, tanto aquellas referidas a precipitación líquida como las referidas a precipitación sólida (nivómetros y rutas de nieve), la longitud de registros y los tipos de instrumentos

de registro usados en operación actual e histórica. Los aspectos que se examinan en esta sección son el régimen de precipitaciones, -tanto a escala anual, mensual como a nivel diario y horario-, las tendencias pluviométricas, y la relación entre precipitación y los eventos El Niño y La Niña. Elemento clave de interés hidrológico son los flujos superficiales. Estos se analizan en la sección 3.5. Primeramente se describe la red de estaciones fluviométricas y sus principales características; luego se entrega información relativa a los caudales medios mensuales tanto observados como en régimen natural. En la sección 3.6. se discute la relación entre precipitación anual y la dinámica de los caudales observados. En la sección 3.7. se examinan las tendencias de los caudales medios anuales en el contexto de un cambio climático. El capítulo termina con un anexo en el cual se incluyen tablas y gráficos que respaldan los análisis realizados.

3.2. Hidrografía de la cuenca

Cauces. Los principales cauces tributarios al Río Elqui son los ríos Turbio y Claro (Fig. 3.1). Aguas abajo de la unión de dichos cauces se habla de Río Elqui, esta junta se ubica a 815 msnm, aproximadamente 2 km aguas arriba del poblado de Rivadavia (29° 58' S, 70° 4' O) y unos 75 km aproximadamente aguas arriba de la ciudad de La Serena (29° 54' S, 71° 15' O). En torno a la junta de estos cauces, existen tres estaciones fluviométricas, éstas son: Estación Turbio en Varillar (29° 55' S, 70° 32' O) que recoge prácticamente la totalidad de las aguas de la cuenca Río Turbio, con una superficie aportante de 4.148 km², esto es el 44% del área total de la cuenca Río Elqui; Estación Claro en Rivadavia que recoge prácticamente la totalidad de las aguas de la cuenca Río Claro con una superficie aportante de 1.502 km², esto es el 16% del total de la cuenca del Río Elqui y la Estación Elqui en Algarrobal (30° 35' S, 70° 80' O), cuya superficie aportante es de 5.729 km², esto es el 60,9% del total de la cuenca del Río Elqui. La superficie intermedia a estas tres estaciones es de 79 km². Aguas abajo de la Estación Río Elqui en Algarrobal queda una superficie de 3.682 km², esto es el 39,1% de la cuenca la que, de acuerdo a las altitudes del área, hacen que esté conformada por una serie de quebradas de régimen marcadamente pluvial.

Los principales cursos de agua de la cuenca del Río Turbio corresponden a los ríos Toro y La Laguna, los que se juntan a una altitud de 2.050 msnm, punto a partir del cual comienza la denominación de Río Turbio. Aguas abajo de dicho punto tributan al

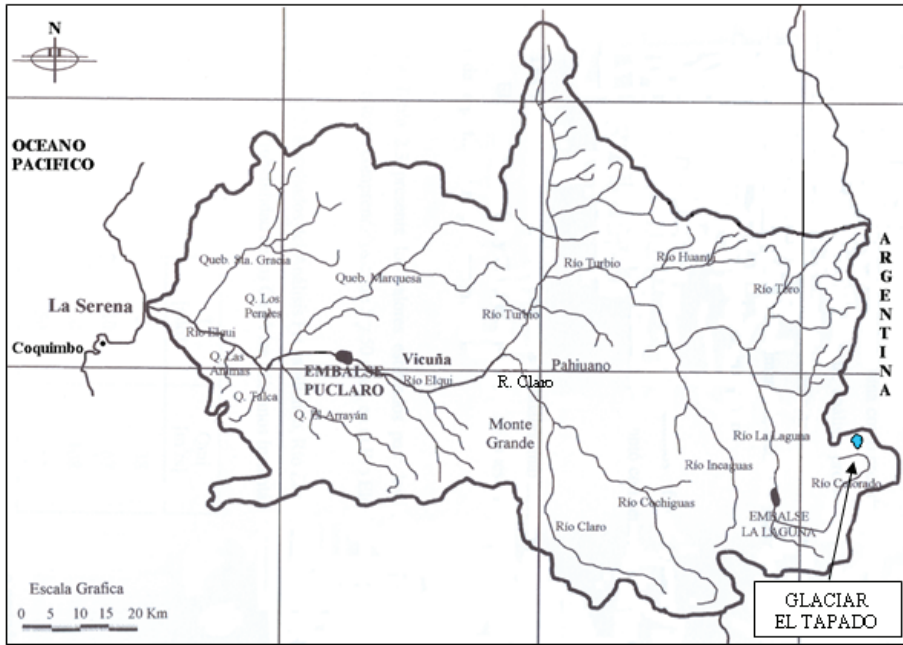


Fig. 3.1. Cuenca del Río Elqui, con ubicación del glaciar El Tapado.

Río Turbio, el Río Incaguaz, lo que ocurre en el sector de Las Terneras y la Quebrada del Calvario, cuya cuenca posee respaldo principalmente pluvial. A partir de esta última junta, a la altitud de la localidad de Huanta, el Río Turbio cambia de rumbo a uno final norte-sur, que es la prolongación del rumbo que trae la quebrada tributaria del Calvario. Los ríos La Laguna, Toro e Incaguaz tienen un régimen marcadamente nival, lo que hace que el régimen hidrológico de escurrimiento de dichos cauces y, en consecuencia el del propio Río Turbio, sea del tipo permanente. Estos cauces tienen su origen en el lado norte del área cordillerana de la cuenca, en los límites con Argentina. El Río Toro drena la zona nor-oriental y sus principales tributarios corresponden al Estero Tambo el que cambia de denominación a Río Vacas Heladas y los ríos Malo y Toro Muerto (ver Capítulos 6 y 7).

El Río La Laguna se ubica al sur de la cuenca del Río Toro. En uno de los cauces de cabecera de este río se ubica el glaciar El Tapado, el único glaciar existente en el área (Fig. 3.1). Otros cauces tributarios al Río La Laguna corresponden a los ríos Colorado y La Gloria. Por su parte, las principales localidades ubicadas en la cuenca

del Río Turbio corresponden a Huanta (30° 35' S, 70° 34' O), Chapilca (29° 52' S, 70° 34' O) y Varillar, con poblaciones humanas pequeñas. El desarrollo de éstas, la explotación de recursos, la agricultura, la red de canales y la actividad turística son claramente más limitadas en esta cuenca 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 Montegrande (30° 01' S, 70° 22' O), a 1.223 msnm. La subcuenca del Río Cochiguaz colinda con la subcuenca del Río La Laguna y su nacimiento es en la alta cordillera, en zonas vecinas a Argentina, 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 Montegrande, el Río Claro recibe como aporte principal a la Quebrada de Paihuano, a la altitud de la localidad del mismo nombre. Las principales localidades existentes al interior de la sub-cuenca del Río Claro corresponden a Pisco Elqui (30° 08' S, 70° 31' O), Montegrande y Paihuano (30° 01' S, 70° 31' O). En la cuenca del Río Claro no existen a la fecha embalses, solamente existe el proyecto Tranque Piuquenes en la parte alta del Río Derecho, cuya presa se ubicaría, de acuerdo a proyecto, a ~3.000 msnm, con una cuenca aportante de 110,9 km² (Arrau del Canto 1997, MN Ingenieros 1999).

A lo largo de todo su curso de agua (desde la junta ríos Turbio-Claro), el Río Elqui avanza en dirección principalmente este-oeste, con una distancia total hasta su desembocadura de ~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 km², 39,8 km² y 1.066,8 km², 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 km², 571,8 km², 146 km² y 45,5 km², respectivamente. La totalidad de estas sub-cuencas conforma un área de 3.061,8 km², lo que corresponde al 32,5% del área total cuenca Río Elqui y al 83,2% del área de la cuenca aguas abajo de la junta de los ríos Turbio-Claro. El Anexo Tabla 3.1 presenta la sectorización de la cuenca del Río Elqui que ha sido normalmente utilizada en la administración del recurso hídrico (Arrau del Canto 2001). Esta sectorización se basa principalmente en tramos característicos de cauces, juntas de los mismos o puntos singulares del valle, tales como quebradas, puntos de medición o control del caudal, en los cuales se producen incorporaciones o extracciones de caudales. Es importante destacar que la

administración de los canales y derechos de agua de la totalidad de la cuenca del Río Elqui está conformada por tres asociaciones de regantes. Existe una gran junta de vigilancia (i.e, la Junta de Vigilancia del Río Elqui), la que tiene potestad sobre todos los canales de la cuenca, salvo aquellos ubicados en las sub-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.

Acuíferos. Según los antecedentes recopilados en DGA (1990), en la parte alta de la cuenca 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 este-suroeste, paralelo al Río Turbio hasta el poblado de Rivadavia, con una profundidad promedio de 45 m y productividad de 50 m³/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 este poblado hasta la desembocadura en la ciudad de La Serena, el acuífero escurre en dirección este-oeste 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. El acuífero freático que se extiende ininterrumpidamente a lo largo de todo el valle sólo muestra un leve grado de semi-confinamiento en el sector Terminal de Buses Interurbanos de La Serena. Dicho acuífero presenta valores variables de transmisividad, entre 100 y 4.200 m²/día, estimándose un promedio de ~500 m²/día. Existe un último acuífero que escurre en dirección norte-suroeste, paralelo a la Cordillera de la Costa, por rocas volcánico–sedimentarias del Cretácico, para juntarse al flujo subterráneo principal en las cercanías de La Serena.

Línea de nieve. La línea de nieve es la línea imaginaria que separa la zona de precipitaciones sólidas (a cotas superiores a ella) y precipitaciones líquidas (a cotas inferiores), por lo que corresponde a la curva de nivel asociada a la isoterma 0°. De acuerdo a Freixas (2002), en los sectores de montaña, las laderas sur y oriente se exponen a menor temperatura y menor radiación solar, por lo que la línea de nieve tiende a ubicarse a una menor cota; en contraposición, las laderas norte y poniente se exponen a mayor temperatura y radiación solar, con una tendencia de la línea a

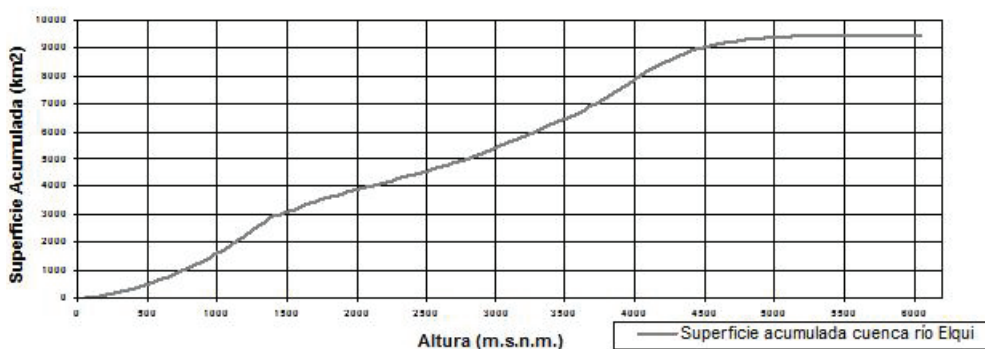


Fig. 3.2. Curva hipsométrica cuenca del Río Elqui: Superficie cuenca [Km²] bajo cota [msnm].

localizarse a mayor altitud. Lo anteriormente expuesto demuestra la variabilidad de la línea media de nieve (Freixas 2002). En el Anexo Tabla 3.2 se muestran los promedios mensuales en líneas nivales observadas en controles nivométricos-rutas de nieve de la ex-Mina El Indio (3.200 msnm) y Cerro Olivares (6.255 msnm). De acuerdo a estos datos se puede considerar que la altitud a la cual se ubica la línea de nieve en la cuenca Río Elqui varía entre los 2.910 y los 4.069 msnm, con ubicación de la misma a menores altitudes en la época de invierno. Los valores medios de la línea de nieve varían entre 3.487 msnm para el Cerro Olivares y de 3.725 msnm para el sector ex-Mina El Indio. A partir de estos antecedentes se deduce una cota de la línea de nieve del orden de los 3.500 msnm, con lo cual el área nival engloba una superficie de 2.797 km² (vía el uso de la Fig. 3.2) lo que corresponde al ~28,6% del total de la cuenca.

De acuerdo a Peña y Vidal (1989, 1991), la línea de nieve para la latitud de 30° S estaría a los 3.500 msnm, cifra equivalente al valor anteriormente referido. Esta magnitud difiere de la entregada por otros estudios que consideran la línea de nieve ubicada a menor altitud. Por ejemplo, el trabajo de INA (1987) considera un área nival del orden de 5.285 km², esto es el 54% de la cuenca. Valor que, según la curva hipsométrica de la cuenca (Fig. 3.2), corresponde a una cota de ~2.500 msnm. Garreaud (1993) propone un rango probabilístico de fluctuación de la línea de nieve. Este rango se obtuvo mediante análisis de la relación entre la línea de nieve y el área aportante observada durante eventos de crecidas pluviales ocurridas en cuencas nivo-pluviales del tramo ríos Aconcagua-Tinguiririca. Según los resultados de este trabajo, el 80% de las crecidas examinadas se ubicó entre los 1.800 y los 3.200 msnm. Los valores



Fig. 3.3. Vista general del glaciar El Tapado (gentileza de G. Hanshing).

extremos (10% inferior y superior de la muestra, $n=253$ episodios) correspondieron a 1.700 y 3.500 msnm, respectivamente. Esto es, a mayor altitud de ubicación de la línea de nieve, mayor es el área aportante. Del mismo modo, a iguales tasas de precipitación, mayores son los caudales máximos. En función de los antecedentes anteriores, es razonable esperar que la línea de nieve, en la época de otoño-invierno que es cuando su valor se hace relevante, se encuentre en la cuenca del Elqui en el rango 3.000-3.500 msnm.

Glaciares. De acuerdo a la información recopilada, en la cuenca del Río Elqui existe sólo el glaciar El Tapado (Fig. 3.3). Este glaciar tiene una superficie de 3,6 km² y está ubicado en la parte alta de la sub-cuenca del Río La Laguna (30° 08' S, 69° 55' O). Desde el punto de vista hidrológico, su principal importancia tiene que ver con la capacidad de almacenamiento de agua (Ginot et al. 2006).

3.3. Estructuras y sistemas hidráulicos construidos

Las principales obras hidráulicas en la cuenca al nivel del manejo del recurso superficial corresponden a embalses y canales de riego. Estos se describen a continuación:

Embalses. En la cuenca del Elqui existen actualmente los embalses: La Laguna e Intendente Renán Fuentealba o Puclaro (Figs 3.4a y b). 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 metros cúbicos de agua y su construcción se realizó en la década de 1940. Su objetivo fue el mejoramiento de unas 24.000 ha 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. Hasta el año 1999 el Embalse La Laguna era el único que existía en la cuenca; ese año entró en operación el Embalse Intendente Renán Fuentealba o Puclaro. Este embalse está emplazado en el Río Elqui, a 46 km de la La Serena y hacia el interior del valle. La superficie inundada alcanza a ~760 ha. Su capacidad máxima es de 200 millones de metros cúbicos. 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 es de 83 m.

Sistema de Canales. Los canales existentes en la cuenca del Río Elqui 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 canales derivados del Río Elqui y sus afluentes son en su mayoría de pequeña envergadura, ya que sólo nueve canales poseen una capacidad de conducción superior a los 500 L/s. Para efectos de este estudio, los canales se han separado por sectores, los cuales tienen en común que la sumatoria de la demanda legal del recurso hídrico es extraída a partir de la misma fuente de abastecimiento (ver Anexo Tabla 3.1). Esta separación en sectores corresponde a puntos singulares del valle (e.g., quebradas, juntas de cauces naturales, puntos de medición o control del caudal), en los cuales se producen incorporaciones y extracciones de caudales. Cabe señalar que esta sectorización está basada en Arrau del Canto (2001), con la diferencia de la incorporación del Estero Derecho.



Fig. 3.4a. Vista general del Embalse La Laguna.



Fig . 3.4b. Vista general del Embalse Puclaro.

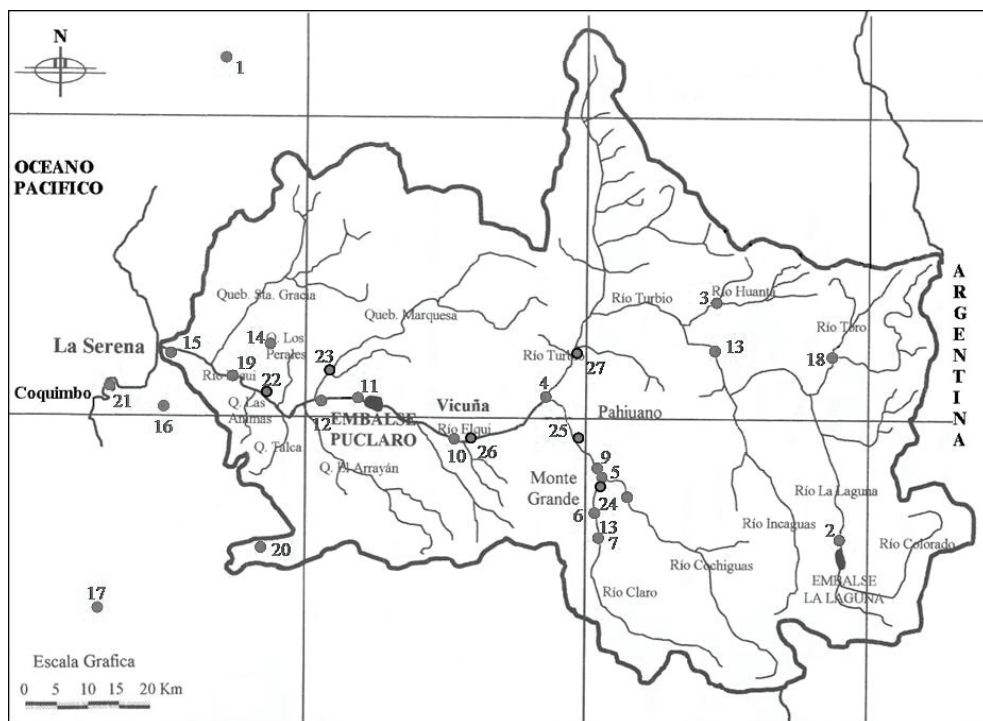


Fig. 3.5. Estaciones pluviométricas cuenca del Río Elqui (numeración según Anexo Tabla 3.3).

3.4. Régimen de precipitaciones de la cuenca del Río Elqui

Red de estaciones meteorológicas. Por la condición nivo-pluvial de la cuenca, es importante caracterizar tanto los regímenes de precipitación líquida como sólida. Para estos efectos es imprescindible contar con mediciones tanto a cotas inferiores como superiores a la línea de nieve (e. i., ~3.000 a 3.500 msnm). Dada la menor complejidad de instrumentar y operar estaciones pluviométricas en las zonas medias y bajas de la cuenca, los registros e información pluviométrica son más antiguos y completos que los existentes en las zonas superiores. Además, a altitudes sobre la línea de nieve, las dificultades de acceso y climáticas limitan el registro a sólo algunos meses del año. En lo que respecta a registros de precipitación líquida, existen tanto estaciones pluviométricas sin instrumentos automatizados como aquellas con registro automatizado (e.g., pluviógrafo). La mayoría de las estaciones pluviométricas está a cargo de la Dirección General de Aguas (DGA), a través de la Red Hidrometeorológica Nacional (RHN). La información lograda por la RHN está

públicamente disponible en el Sistema Banco Nacional de Aguas de la DGA. Otro grupo de estaciones es operado por la Dirección Meteorológica de Chile (DMC). Se agregan a partir del año 2004 las estaciones a cargo del Centro de Estudios Avanzados de Zonas Áridas (CEAZA), en La Serena.

La Fig. 3.5 muestra la distribución en la cuenca de las estaciones pluviométricas, tanto aquéllas que registran precipitación líquida como las que registran precipitación sólida. Adicionalmente, el Anexo Tabla 3.3 señala su ubicación geográfica, altitud, el organismo a cargo y el período de operación, referido principalmente a los años de inicio y término. La referida Tabla también entrega valores de las estaciones vecinas de Punta de Tortuga, El Trapiche y Pan de Azúcar. Esto en atención a que los registros de estaciones ubicadas en hoyas hidrográficas vecinas pueden ayudar, mediante la aplicación de algún método estadístico de aproximación, a evaluar el régimen de precipitaciones de la cuenca. De la serie de estaciones disponibles en el área, las más antiguas corresponden a La Florida en La Serena y Punta de Tortuga en Coquimbo, ambas pertenecientes a la DMC. Estas estaciones cuentan con registros desde los años 1869 y 1899 respectivamente. Diversos estudios, -e.g., INA (1987), Castillo y Norero (1990) y Mall (2005)-, han procedido al relleno de datos básicamente mediante correlaciones con otras estaciones para completar los registros de carácter pluviométrico anual, contándose a la fecha con, al menos, el período 1950/1951-1999/2000 en forma completa. La precipitación total anual media y las probabilidades de excedencia del 20%, 50% y 80% para las estaciones de tipo pluvial, nival y rutas de nieve se entregan en el Anexo Tabla 3.4.

Respecto de los registros de nieve, las técnicas de medición son más complejas y diversas, siendo el equipamiento implementado a la fecha en la cuenca del Río Elqui de dos tipos: nivómetros, los que miden la nieve caída, precipitación que es expresada luego como equivalente en agua líquida, y las rutas de nieve, que son sectores nivales donde se instalan ciertas marcas, donde 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. En el Anexo Tabla 3.4 se indican las estaciones de medición de la nieve. Las estaciones indicadas, salvo la estación ex Mina El Indio (operada por la CMEI), se encuentran a cargo del Sub-Departamento Meteorológico y Nieves del Departamento de Hidrología de la DGA. La Estación Embalse La Laguna (a 3.100 msnm), que posee registros a partir del año 1955, es la

estación más antigua de entre las que registran precipitación sólida. Las estaciones nivométricas restantes poseen un período de funcionamiento inferior a 25 años. La falta de estaciones en las altas cumbres o a mayor altitud, abre una incertidumbre de lo que acontece en estos sectores. A altitudes superiores a los 3.800 msnm es posible concluir que la precipitación es eminentemente sólida. Adicionalmente y con el propósito de entregar una idea más global del patrón pluviométrico del área, se ha incorporado la ruta de nieve de Quebrada Larga, ubicada en la cuenca vecina del Río Limarí.

Tanto los registros de precipitación líquida como sólida de las estaciones ubicadas en el Embalse La Laguna, así como la ruta de nieve del Cerro Olivares, se localizan en la sub-cuenca del Río La Laguna a cotas 3.100 msnm (Embalse La Laguna) y 3.550 msnm (Cerro Olivares). Por su parte, tanto el nivómetro de ex Mina El Indio (CMEI) como la ruta de nieve del mismo nombre a cargo de la DGA, se ubican al interior de la sub-cuenca Río del Toro a 3.000 y 3.800 msnm respectivamente. La ruta de nieve de Quebrada Larga, perteneciente a la cuenca del Río Limarí, se ubica a una altitud de 3.500 msnm y es la estación, de entre las aquí consideradas, localizada más hacia el sur. De entre estas siete estaciones, ambas estaciones de La Laguna (precipitación líquida y sólida) poseen los registros más antiguos y por lo tanto más extensos (i.e., desde 1955). En lo que sigue del capítulo se describen los mecanismos de precipitación que operan en la cuenca; luego se aborda la temática de las precipitaciones históricas tanto a nivel anual e intra-anual. A continuación se elabora un índice de la precipitación media sobre la cuenca a nivel anual mediante el uso de los polígonos de Thiessen. Dicho índice permite clasificar los años en períodos de pluviometría media, baja y alta, lo que posteriormente se usará para el análisis del comportamiento hidrológico de los escurrimientos superficiales tanto en años del tipo ya indicado, como en series de años consecutivos, siendo de interés, por ejemplo, las series consecutivas de años secos (sequías). Posteriormente se presentan algunos de los elementos relevantes a eventos de tormentas, esto es, precipitaciones con baja probabilidad de excedencia, pero que ocurren en breves períodos. Finalmente se entregan algunos antecedentes de cambio climático, según la tendencia de la precipitación media anual.

Mecanismos de precipitación en la cuenca del Río Elqui. Dado que la precipitación corresponde al agua que cae desde la atmósfera, donde el agua se encuentra básicamente en estado gaseoso, para que se produzca precipitación deben ocurrir ciertos procesos conducentes a la formación de gotas de agua con el peso suficiente para vencer la turbulencia atmosférica y poder caer. Para que ello ocurra, en líneas generales se deben cumplir dos requisitos: i) que exista suficiente humedad en la atmósfera, y ii) que se produzca la condensación de esta humedad. Para esto se requiere de la existencia de pequeñas partículas que actúen como núcleos de condensación, en torno a las cuales el vapor de agua condense y logre formar pequeñísimas gotitas que crecen hasta lograr vencer la turbulencia atmosférica y precipitar. Cabe señalar que, sin la existencia de estas partículas, el vapor de agua no puede condensar y caer. Puesto que el contenido de humedad de las nubes es bajo para generar precipitaciones de cierta magnitud, ésta se debe recuperar durante las tormentas, por lo que deben existir mecanismos que eleven las masas de aire húmedo.

Dependiendo del tipo de mecanismo, la precipitación puede ser convectiva, orográfica o frontal. La precipitación de origen convectivo es causada por el ascenso de aire cálido-húmedo, el cual es más liviano que el aire frío de los alrededores. Las precipitaciones de este origen pueden dar origen a puntos localizados de fuerte intensidad. Las precipitaciones orográficas, en cambio, son el producto de una masa de aire calido-húmedo que, enfrentada a una barrera orográfica (e.g., cerros de cierta altura), asciende por ella, alcanzando áreas de temperaturas bajas que hacen posible la condensación de la humedad. Este tipo de precipitación es de intensidad relativamente débil, pero importante en cantidad. Las precipitaciones frontales están asociadas al enfrentamiento de frentes de aire cálido y frío, tal que el choque entre ambas masas de aire hace que ascienda el aire caliente. Al alcanzar los niveles superiores de la atmósfera, las bajas temperaturas de éstos permiten la condensación de la humedad y su posterior precipitación. En el caso de la cuenca del Río Elqui, las lluvias son principalmente de tipo frontal, con masas de aire que vienen desde el sur. Estos frentes normalmente no pueden llegar a la zona de la cuenca producto de la existencia del anticiclón del Pacífico. Este anticiclón se desplaza hacia el norte en invierno. Dependiendo de la magnitud del frente y del desplazamiento del anticiclón, la precipitación puede alcanzar el sur de la Cuarta Región o más al norte. Este es el mecanismo más conocido y responsable de la mayor parte de las precipitaciones en la totalidad de la cuenca del Río Elqui. Otro mecanismo que opera a veces es el paso

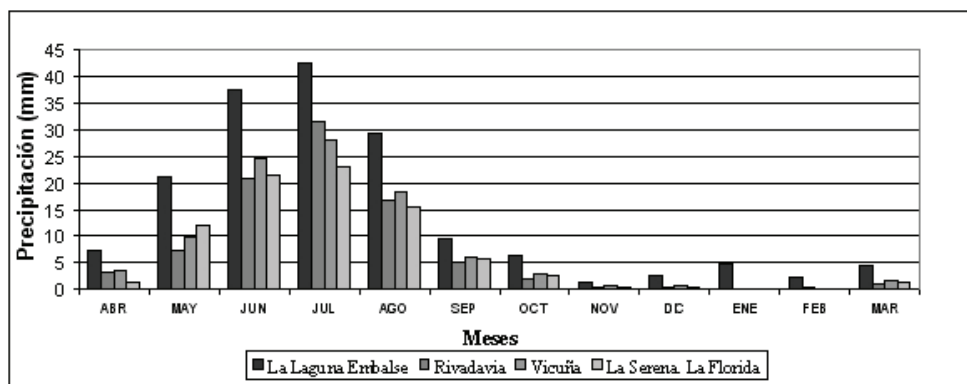


Fig. 3.6. Precipitaciones medias mensuales en algunas estaciones de la cuenca del Río Elqui. Período 1950/51-1999/00.

de sistemas frontales desde Argentina, a través de la Cordillera de los Andes. Este mecanismo es responsable de parte de la precipitación registrada en la zona alta de la cuenca.

Precipitaciones históricas. La Fig 3.6 muestra la precipitación media mensual observada en las estaciones La Serena (La Florida), Vicuña (INIA), Rivadavia y La Laguna en el período 1950-2000. Estas cuatro estaciones cubren desde sectores altos de la cuenca (La Laguna, 3.100 msnm) a costeros (La Serena, 80 msnm). Comparándolas con la totalidad de las estaciones, éstas poseen una ventajosa extensión y continuidad de registros. En la referida figura se puede observar que las precipitaciones tanto de los sectores altos, como medios y costeros, se concentran principalmente en los meses de otoño e invierno (i.e., mayo a agosto). Las Figs. 3.7a-c ilustran la variabilidad interanual de la precipitación tanto líquida como sólida registrada en la cuenca. La serie de tiempo más larga corresponde a la Estación La Florida en La Serena (Fig. 3.7a). La Fig. 3.7b presenta la precipitación sólida según datos del período 1981-1998 de las estaciones ex Mina El Indio y las rutas de nieve de ex Mina El Indio, La Laguna y Cerro Olivares. Se observa la similitud de los registros que está en el rango de 150 a 190 mm/año. Finalmente, la Fig. 3.7c presenta la precipitación total anual correspondiente al período 1950-1999 según registros logrados en la mismas estaciones de precipitación líquida (Fig. 3.7a). La Fig. 3.8 muestra, a su vez, la variación altitudinal de la precipitación. Los aspectos que estas figuras principalmente muestran son tres: 1) la similitud del comportamiento tanto

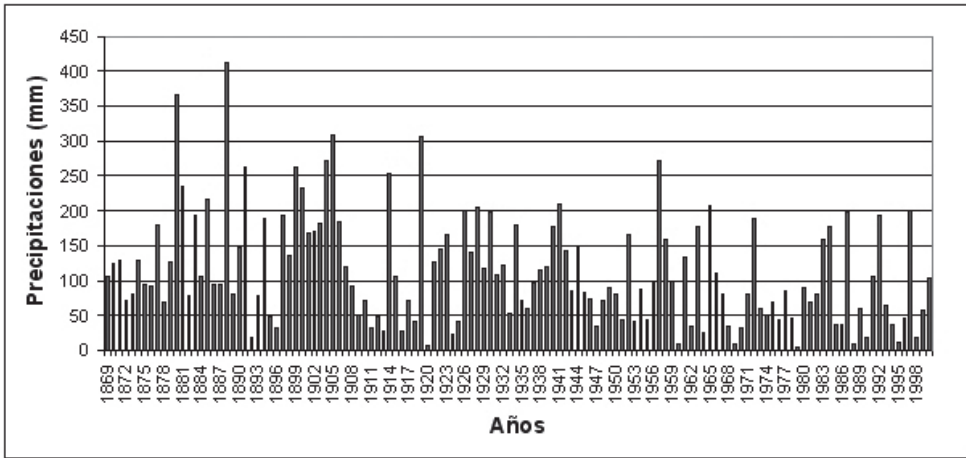


Fig. 3.7a. Precipitación anual estación pluviométrica La Serena-La Florida, período 1869-2000

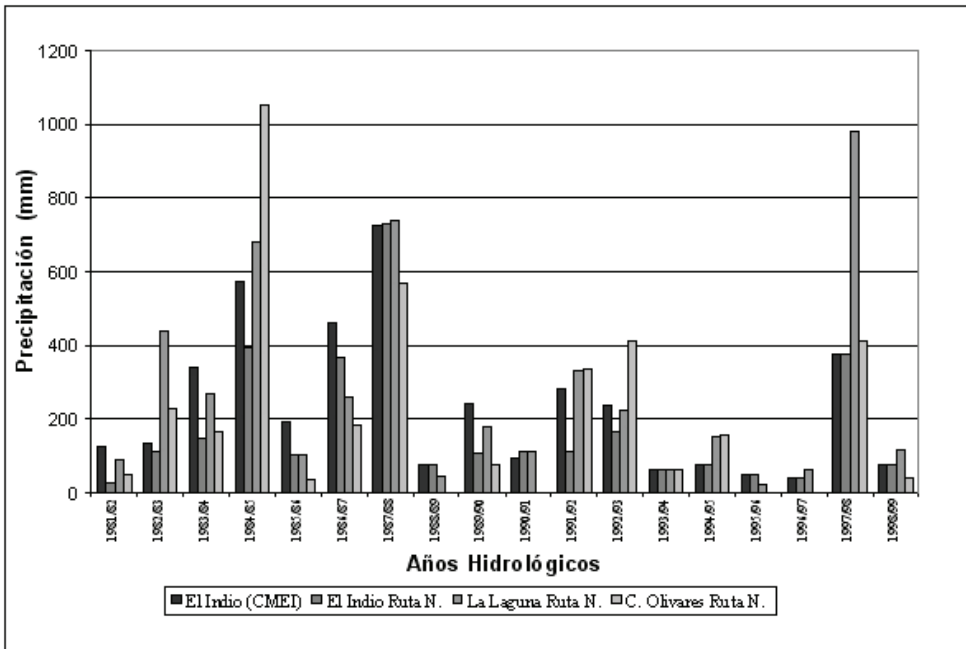


Fig. 3.7b. Precipitación anual (sólida) estaciones nivales cuenca del Río Elqui, período 1981/82 – 1998/99.

anual como interanual entre las ocho estaciones examinadas. Esta similitud abarca tanto precipitaciones líquidas como sólidas; 2) se observa una aparente tendencia hacia precipitaciones mayores a cotas más altas, y 3) el régimen de precipitaciones muestra una marcada variabilidad interanual.

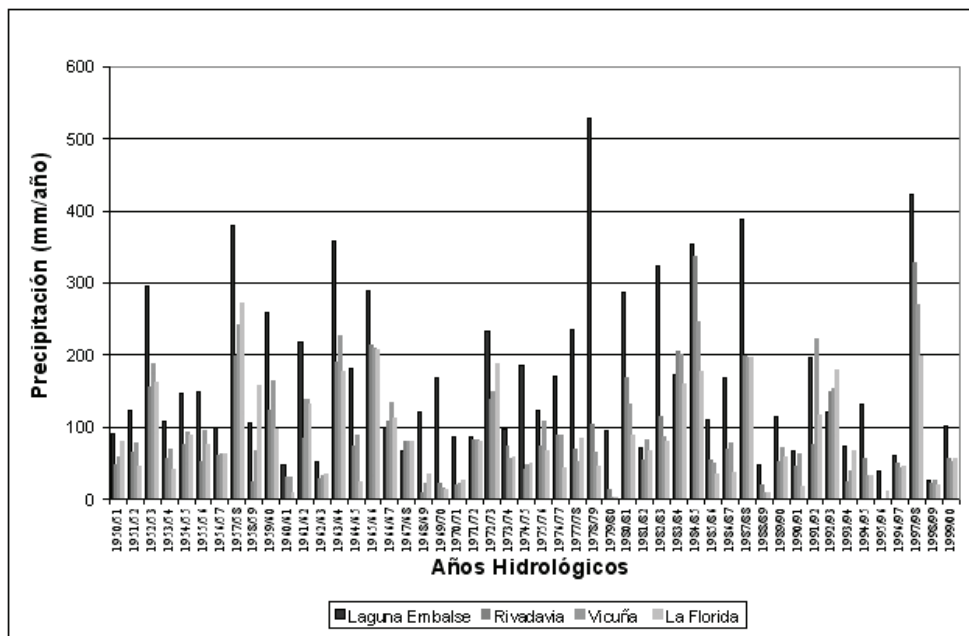


Fig. 3.7c Precipitaciones anuales en algunas estaciones pluviométricas representativas de la cuenca del Río Elqui. Período 1950/51-1999/00.

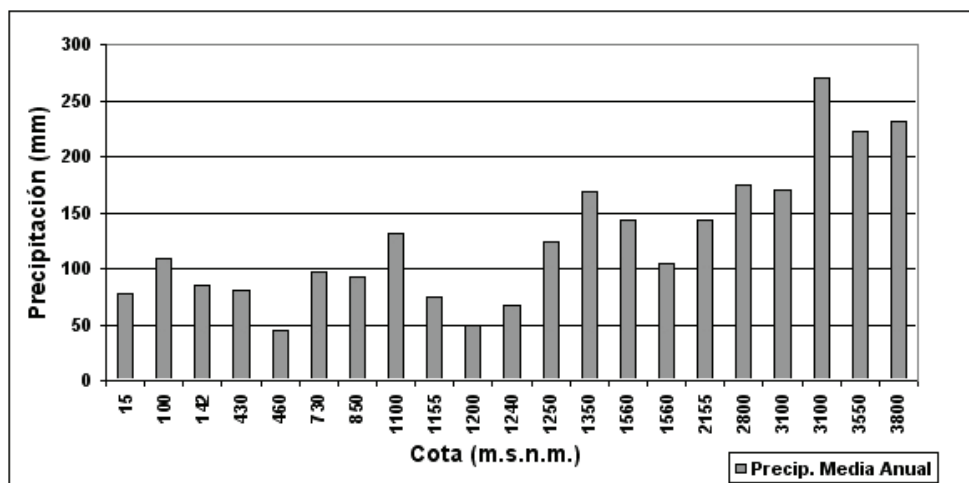


Fig. 3.8. Precipitación media anual estaciones pluviométricas según altitud, cuenca del Río Elqui.

Precipitación media. En el Anexo Tabla 3.4 entrega la media anual y las precipitaciones asociadas a las probabilidades de excedencia 20%, 50% y 80% para las estaciones pluviométricas referidas en el Anexo Tabla 3.3, considerando a estaciones

tanto internas o externas a la cuenca. Dada la extensión temporal de los registros, este rango de frecuencias no exige recurrir al ajuste de alguna función probabilística. Para profundizar en el análisis de la relación entre cota y precipitación, las estaciones han sido ordenadas altitudinalmente, aspecto que por cierto no toma en cuenta la ubicación más al norte o más al sur de la estación. En general, las precipitaciones medias anuales se ubican en el rango de 60 a 170 mm/año, con una tendencia, aunque no categórica, de mayor precipitación a mayor altitud (ver también Fig. 3.8). Ejemplo de esta tendencia es que estos valores son algo menores a los rangos de precipitación sólida referidos en la Fig. 3.7b. Igualmente se observa en todas las estaciones que la precipitación media es mayor que la precipitación con probabilidad de excedencia 50%, es decir, la mediana. Esto se debe al efecto de la variabilidad inter-anual de las precipitaciones (i. e., una gran cantidad de años con precipitación pequeña o muy baja, y algunos pocos años con precipitación elevada).

Isoyetas. Una forma altamente conveniente de presentar el comportamiento espacial de alguna variable corresponde a las isolíneas, esto es, líneas que indican la constancia de la variable en cuestión. En este caso se trata de los mapas de isoyetas (isolíneas de igual precipitación, pudiendo existir diversos mapas de isoyetas para una misma zona: isoyetas de igual precipitación media anual; igual precipitación de un año en particular; de una tormenta en particular, igual precipitación total anual probabilidad de excedencia 50% o 20%, entre varias posibilidades. Entre los estudios que han analizado el patrón de precipitaciones de la cuenca del Río Elqui se pueden destacar las curvas isoyetas de precipitaciones anuales con probabilidad de excedencia 50% de Wood (1971), INA (1987), DGA (1989) y Castillo y Norero (1990) (ver Anexo Figs. 1a-d para detalles de estas curvas) Al no existir estaciones pluviométricas en los sectores más altos de la cuenca, para la elaboración de estas isoyetas los autores de estos trabajos optaron por extrapolar los registros vía la correlación entre precipitación y altitud. Llama la atención las diferencias notorias en las precipitaciones medias en la parte alta de la cuenca estimadas por estos autores. Por ejemplo, la DGA (1989) concluye que las precipitaciones varían en el rango de 400 a 500 mm/año. INA (1987) propone isolíneas de precipitaciones medias en el rango de 300 a 400 mm/año. Wood (1971) plantea isoyetas en el rango 200 mm/año hacia el norte de la parte alta de la cuenca y 350 mm/año hacia el sector sur de la misma. Por último, Castillo y Norero (1990) plantean un rango de precipitaciones para la parte alta de la cuenca de 60 a 100 mm/año. De la comparación de dichas figuras se puede concluir que existen

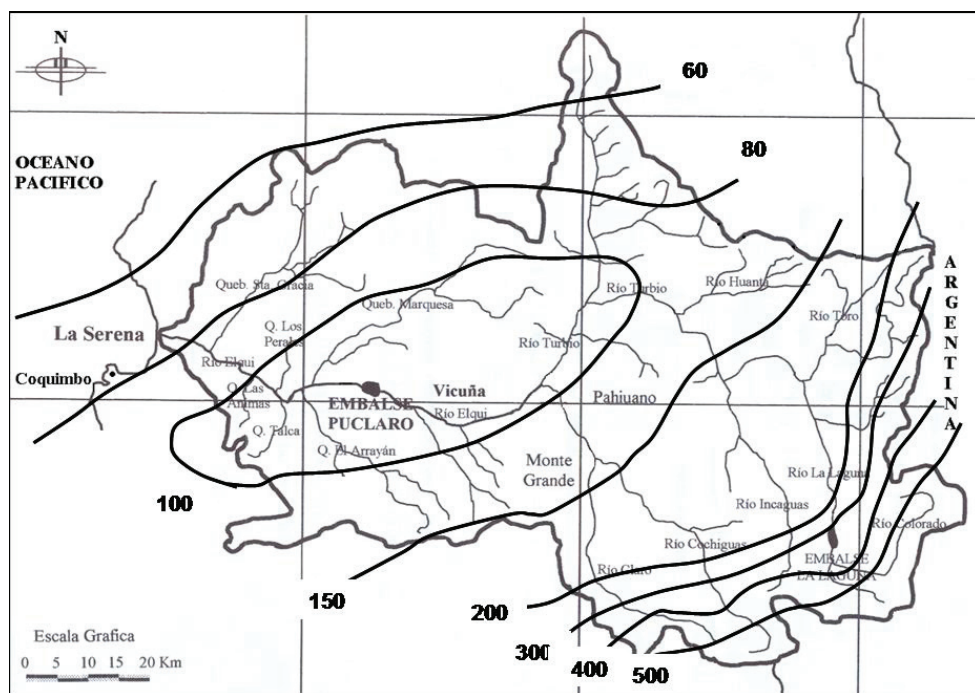


Fig. 3.9. Mapa de isoyetas cuenca del Río Elqui de precipitaciones medias anuales (mm).

similitudes a cotas medias y bajas, pero a altitudes elevadas (desde 2.500 msnm hacia arriba) aparecen diferencias importantes entre estimaciones (e.g., 500 mm/año según la DGA (1989) y Ginot et al. (2006), y 350 mm/año según INA (1987).

Con el objetivo de definir en el presente trabajo las líneas isoyetas de la parte alta de la cuenca se procederá a efectuar un análisis de la información disponible para dicha área. Las precipitaciones medias anuales para las estaciones pluviométricas indicadas no presentan diferencias manifiestas entre ellas, tanto al comparar su localización norte-sur como la posición altitudinal de la estación (esto último vinculado a la dirección este-oeste). Al comparar estos valores con la precipitación media anual de la Estación Quebrada Larga, estación localizada al interior de la cuenca del Río Limarí, con 257 mm/año, se observa una diferencia apreciable, ajustándose al patrón de aumento de precipitación hacia el sur. La información disponible en el lado norte de la parte alta de la cuenca corresponde, -según el nivómetro y ruta de nieve de ex Mina El Indio, con precipitaciones medias anuales de 174 mm/año-, a un valor cercano a los 200 mm/año propuesto por Wood (1971).

En función de todos los elementos arriba referidos, se ha procedido a elaborar la Fig. 3.9 de isoyetas precipitación media anual para la cuenca del Río Elqui. Se ha optado por graficar la precipitación media anual (o precipitación media total anual) en lugar de la precipitación anual probabilidad de excedencia 50% (la mediana) porque la precipitación media es representativa de la disponibilidad media anual de agua. La precipitación total anual probabilidad de excedencia 50% no es representativa de dicha disponibilidad, ya que es simplemente aquella magnitud que al ordenar el conjunto de valores de mayor a menor (o viceversa), se ubica en la mitad de dicha escala de valores.

Relación entre precipitación anual y los eventos El Niño-La Niña. El fenómeno de El Niño fue tempranamente reconocido por los pescadores peruanos como un factor modificador de la pesca (Rodríguez 1999, Trenberth 1997). Inicialmente se pensó que era una corriente marina de aguas anormalmente cálidas, que aparecía cada cierta cantidad de años, desplazándose desde el norte hacia el sur, paralela a la costa sudamericana y que producía una gran alteración en la fauna marina, con una importante pérdida en la producción pesquera. En las últimas décadas la investigación en el tema se ha incrementado, siendo evidente las innumerables consecuencias ecológicas, económicas y sociales del evento. El fenómeno de El Niño, también conocido como El Niño oscilación del sur (ENOS) (El Niño Southern Oscillation, ENSO), corresponde a un fenómeno natural de interacción océano-atmósfera que ocurre en la región del Pacífico intertropical cada ciertos años. Se caracteriza por presentar condiciones de la temperatura del mar más cálidas de lo normal en una extensa área entre las costas sudamericanas y de Oceanía. De esta forma, los vientos alisios que normalmente soplan en la región intertropical desde América hacia Oceanía, se debilitan y pueden llegar a cambiar de sentido, facilitando así el transporte de aguas calientes características del sector de Indonesia hacia las costas intertropicales sudamericanas y posteriormente hacia las costas del norte de Chile y el Istmo de Panamá. En la atmósfera media y alta del Pacífico ecuatorial, los vientos del este también se debilitan, permitiendo que la nubosidad convectiva del sudeste asiático se desplace hacia Sudamérica, produciendo intensas precipitaciones en Ecuador y Perú. Estas alteraciones atmosféricas también hacen que la zona de altas presiones, ubicada sobre el Océano Pacífico frente a la parte norte y central de Chile (anticiclón del Pacífico), se desplace hacia el oeste, debilitando sus efectos en Chile y permitiendo así que los sistemas frontales que provienen del Pacífico

sur, alcancen la zona central y norte chico del país, incrementándose la cantidad e intensidad de las precipitaciones en estos sectores (Trenberth 1997, Dijkstra 2006, Nyensi y Lefale 2006). Diversos trabajos han establecido la relación entre años El Niño y el aumento de las precipitaciones o el fenómeno de La Niña y la disminución de éstas (Aceituno y Garreaud 1995, Vuille et al. 2000, Rodríguez 1999, Díaz 2001, Bendix y Bendix 2006, Mingo y Varas 1999). En lo que sigue se aborda la temática para el caso de la cuenca del Río Elqui.

El Anexo Tablas 3.5a y 3.5b presenta los años períodos El Niño y La Niña respectivamente (Rodríguez 1999), los que concuerdan con Díaz (2001) y la DMC (2006). En dicha tabla aparecen las precipitaciones anuales en Quinta Normal-Santiago y La Florida-La Serena. De estos datos se concluye que no existe una clara relación entre los años referidos por dichos autores como años de El Niño o La Niña y años húmedos o secos, respectivamente. En el Anexo Tabla 3.5c se muestran los años y meses de inicio y término del evento Niño o Niña y su respectiva duración, según Trenberth (1997). Considerando todos los eventos como independientes, se tuvo en el período 1950-1996, 15 eventos El Niño y 10 eventos La Niña, con un promedio de 11,8 meses y 13,3 meses, respectivamente. En caso de agrupar eventos por su cercanía temporal entre ellos, se tiene en total para el mismo período, 14 eventos El Niño y 8 eventos La Niña, con un promedio de 12,9 meses y 15,8 meses, respectivamente. Independientemente de la duración de los eventos, La Niña tiene una mayor duración, aspecto de importancia dado las características del régimen pluviométrico (i.e., pocos eventos de precipitación al año, tanto en años secos como lluviosos).

Los años húmedos por su parte permiten la recarga del sistema, aspecto positivo, y la generación de crecidas, las que pueden ser catastróficas cuando alcanzan niveles peligrosos, un aspecto negativo (ver Capítulo 8). En ambos casos la duración del evento El Niño no es relevante, pero sí lo es la cantidad de agua caída. La única relevancia que se vislumbra para la duración es el tiempo que las autoridades y encargados de la administración de los sistemas hídricos tienen que dedicar a mantener los sistemas de alerta y la organización de la comunidad destinada a hacer frente a las contingencias surgidas del evento. Por otro lado, es irrelevante que los cambios en la temperatura en el Océano Pacífico se extiendan por un período mayor dado que la época de lluvias es entre abril y septiembre (6 meses), a lo máximo 8 meses (marzo

a octubre). Distinta situación ocurre con el fenómeno La Niña, la que se asocia a precipitaciones bajas y riesgo de sequía. Dependiendo de la duración de la condición de precipitación baja y de cuán baja sea ésta, se puede estar o no efectivamente en condición de sequía. En este caso, la duración es un punto relevante.

Con el objetivo de analizar la relación entre evento El Niño y año húmedo y entre evento La Niña y año seco, se examinará la situación de tres estaciones pluviométricas (precipitación líquida). Estas son La Laguna (en la parte alta de la cuenca), Rivadavia (la parte media) y La Florida-La Serena (parte baja). Se considerarán además la precipitación media entre las tres estaciones indicadas y Vicuña, y la precipitación media de la sub-cuenca Elqui en Almendral. En el Anexo Tabla 3.5d se indican los años correspondientes a eventos El Niño, según datos mostrados en el Anexo Tabla 3.5c, agregando el año 1997 del Anexo Tabla 3.5a. En caso que un evento contenga más de un año, se han considerado ambos años (e.g., evento El Niño 1986-1987).

Un procedimiento similar se siguió para eventos La Niña. El análisis se basó en la media y la mediana de la serie de datos. Para ambos valores y para cada estación o media espacial de estaciones, se compara la precipitación del año en cuestión, sindicado como Niño o Niña y se observa si cumple con lo previsto. Para el caso de El Niño se espera que la precipitación exceda la media o mediana y para La Niña, que ésta sea inferior al umbral. En el caso que en todas las estaciones o medias de estaciones (5 comparaciones) se cumpla la premisa, se indica como TODOS y en caso que en ningún caso se cumpla se indica como NINGUNO. No se han considerado los años en los cuales algunas estaciones cumplen con el requisito y otras no (ver Anexo Tablas 3.5e y 3.5f). De acuerdo a lo mostrado en el Anexo Tabla 3.5e, del total de años El Niño (e. i., 21 años), sólo en 10 de ellos se tiene año húmedo; en 4 años el tener un año húmedo no se cumple en ninguna de las estaciones ni criterios; en los restantes 7 años, en algunas estaciones se cumplen los criterios referidos a año húmedo y en otras no. En resumen, en aproximadamente la mitad de los años El Niño se tiene año húmedo. Respecto de los años La Niña (Anexo Tabla 3.5f) se observa que, en el total de 14 años, sólo en 6 de ellos se tuvo año seco; en 2 años no se cumple en ninguna de las estaciones ni criterios; en los 6 años restantes, en algunas estaciones se cumplen los criterios y en otras no. En resumen, se tiene año seco en aproximadamente la mitad de los años con eventos La Niña.

Tormentas pluviales de baja probabilidad de excedencia: Entre el 35% al 45% del área total de la cuenca es pluvial. Las crecidas y aluviones que ocurren en ella se originan a partir de tormentas de corta duración, pero intensas. El estudio y capacidad de predicción de estos eventos se basa en los registros históricos de precipitación a escala temporal de días, horas y minutos. De las estaciones pluviométricas listadas en el Anexo Tabla 3.3, sólo la Estación Rivadavia (DGA) es pluviográfica y con registro satisfactorio (60 años) para determinar curvas intensidad-duración-frecuencia, útiles al cálculo de crecidas pluviales. La Estación Pan de Azúcar es igualmente pluviográfica y con extensión satisfactoria (30 años). Aun cuando esta estación se ubica fuera de la cuenca del Río Elqui, su cercanía con ella le otorga validez a sus datos en el contexto de este análisis. Para las restantes estaciones pluviométricas, la información se trabaja a nivel diario, por lo que el menor intervalo temporal de trabajo es un día y se dispone de información para lapsos de 24, 48 y 72 horas. Para las estaciones sobre la línea de nieve, la escala temporal al nivel horario o minutos es irrelevante, ya que la naturaleza de las crecidas es diferente. La magnitud de las crecidas de deshielo se basa en la cantidad de nieve disponible y en el balance energético generado de derretimiento de nieve y hielo. Otro factor significativo y característico de las precipitaciones en la región es la concentración de la pluviometría anual en pocos eventos. A veces un solo evento puede superar la media anual de la estación.

Una forma en que normalmente se aborda el cálculo de la precipitación [mm] o intensidad [mm/hr] de una tormenta es vía la precipitación máxima registrada en 24 horas, con período de retorno de 10 años. La Dirección de Vialidad (2002), con este objetivo, presenta los valores de la precipitación máxima en 24 horas, período de retorno 10 años, para diferentes estaciones pluviométricas a lo largo de Chile. Igualmente se han construido curvas isoyetas de la misma variable. Esto es, isolíneas de igual precipitación máxima en 24 horas período de retorno 10 años (DGA 1987). De esta forma se han elaborado mapas de precipitaciones máximas en 24, 48 y 72 horas para diversos períodos de retorno (DGA 1989). Por otra parte, la Dirección de Vialidad (2002) presenta para diversas estaciones pluviográficas nacionales, curvas Intensidad-Duración-Frecuencia. En el caso de la cuenca del Río Elqui, la estación considerada corresponde a Rivadavia. Los valores de dicha curva se presentan en el Anexo Tabla 3.6a. Espinoza y Leyton (2007) han elaborado Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia para las diversas estaciones pluviográficas de la Cuarta Región

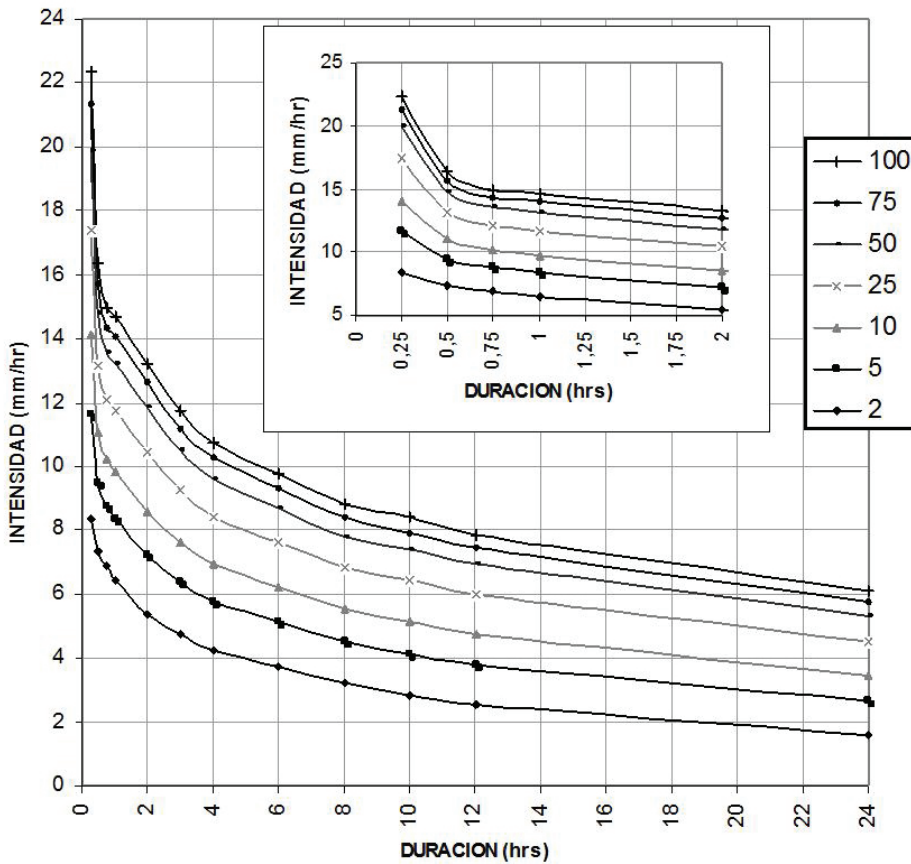


Fig. 3.10. Curvas intensidad – duración – frecuencia Estación Rivadavia.

de Coquimbo. Para la situación local las estaciones consideradas son Rivadavia y Pan de Azúcar. Como se ha señalado, ésta última se ubica fuera de los límites de la cuenca, pero puede considerarse representativa del sector costero de la cuenca. El período analizado para la Estación Rivadavia fue 1950-1997 y para Pan de Azúcar, 1978-1997 (Fig. 3.10 y Anexo Tablas 3.6b-c). Existe una marcada similitud de valores entre lo encontrado por Espinoza y Leyton (op. cit.) y aquellos reportados por la Dirección de Vialidad (2002).

Tendencias de la precipitación media anual: El análisis se hará en función de las medias móviles, tanto para la precipitación líquida como la sólida. En la sección siguiente se analizarán posibles tendencias en el régimen de escurrimientos superficial en algunas de las sub-cuencas. Mediante balances hidrológicos se hará un examen global tanto a posibles tendencias en los regímenes de precipitación líquida

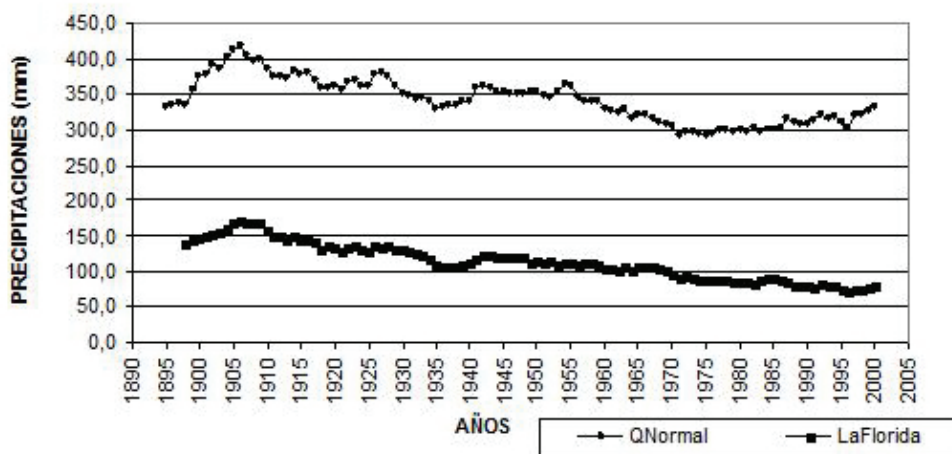


Fig. 3.11a. Medias móviles a 30 años de precipitaciones totales anuales estaciones Quinta Normal - Santiago y La Florida - La Serena.

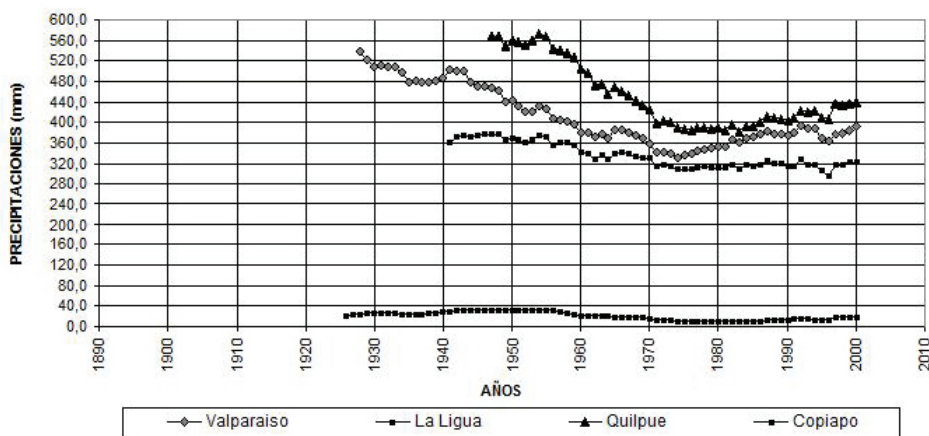


Fig. 3.11b. Medias móviles a 30 años de precipitaciones totales anuales III-V Región.

y sólida como a los flujos superficiales de las sub-cuencas respectivas. De acuerdo a Novoa et al. (1995), el semiárido de la Región de Coquimbo muestra una tendencia a una mayor aridez. Siguiendo esta hipótesis, la Fig. 3.11a (según datos del Anexo Tabla 3.7), muestra las medias móviles de las precipitaciones totales anuales en las estaciones de La Florida-La Serena y de Quinta Normal-Santiago, según registro de 30 años. En ambos casos se puede observar una clara fluctuación de las medias móviles. A fines del siglo 19 existe una tendencia al aumento de las precipitaciones

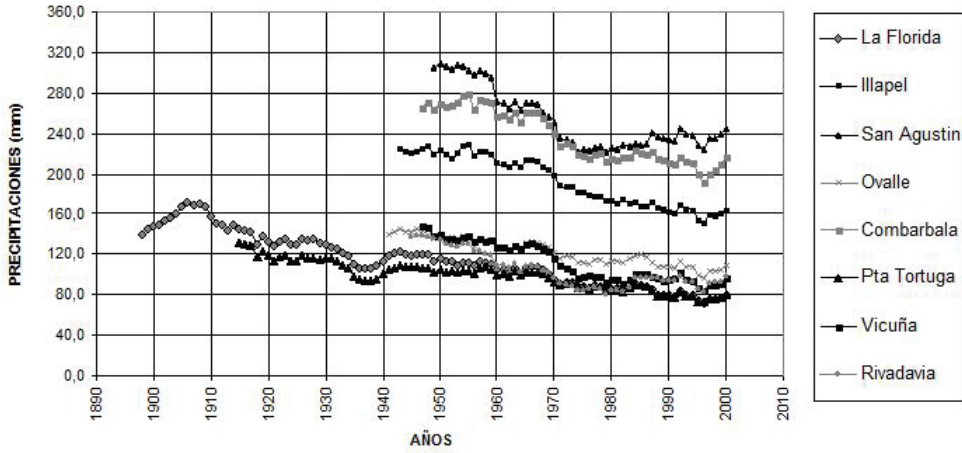


Fig. 3.11c Medias móviles a 30 años de precipitaciones totales anuales en la IV Región.

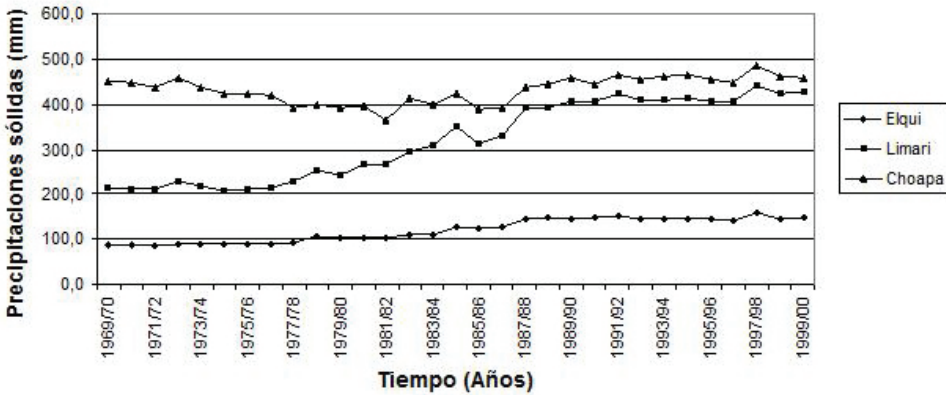


Fig. 3.12 Medias móviles a 20 años de precipitaciones totales anuales sólidas en Elqui-Limari-Choapa.

para alcanzar máximos en torno a 405 mm (Quinta Normal) y 170 mm (La Serena). Posteriormente viene una tendencia al decrecimiento, tendencia que se mantiene en La Serena y que se revierte levemente en Quinta Normal a partir de mediados de los años 1970. En esta última estación la media se mantiene en torno a los 300 mm y luego aumenta hasta llegar a valores muy similares a los que presentaba hacia 1880 (~330 mm). En el caso de La Serena (Anexo Tabla 3.7), la media va del orden de 170 mm a 85 mm, esto es una disminución de la precipitación del orden del 50%. Tendencias similares a la observada en Quinta Normal se han detectado para Copiapó, La Ligua, Quilpue y Valparaíso (Fig. 3.11b). Desde 1990 a 2000, las curvas de medias móviles de precipitación de diferentes localidades de la IV Región muestran

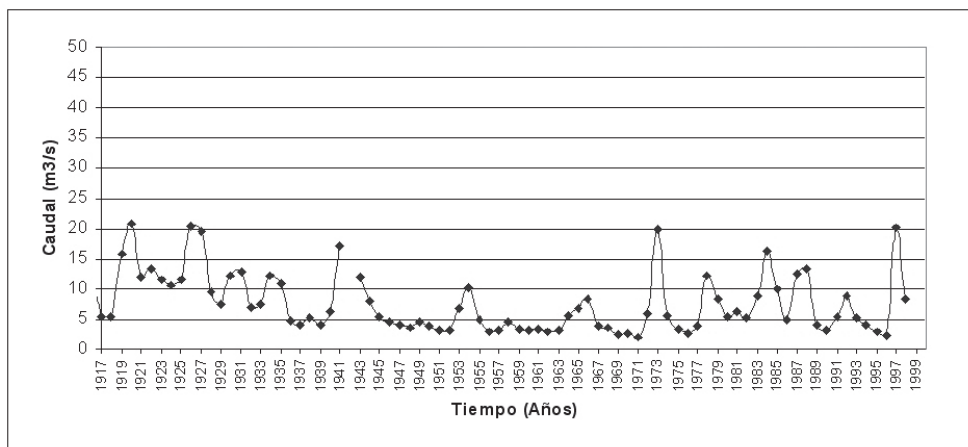


Fig. 3.13 Hidrograma caudales observados medios anuales del Río Turbio en Varillar 1914-1998 (sin información año 1942).

tendencias decrecientes (Fig. 3.11c). El análisis de los registros de precipitaciones sólidas es más breve, pero sin embargo, lo disponible indica que éstas muestran una tendencia ya sea a una condición estática o al aumento (Fig. 3.12). Este aspecto es de gran importancia, ya que por lo que se verá en la sección siguiente, el grueso del volumen de agua que escurre por la cuenca proviene de los deshielos y para estos efectos resulta de importancia la precipitación sólida.

3.5. Escorrentía superficial

Estaciones fluviométricas en la cuenca del Río Elqui. Herramienta 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, con una cierta periodicidad, tanto los niveles de escurrimiento (niveles limnimétricos) como los caudales. 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 instrumento 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 poseen registro computacional el que registra la información cada cierto intervalo



Fig. 3.14 Crecida del Río Elqui bajo influencia del evento ENOS 97 (gentileza de J. Cepeda).

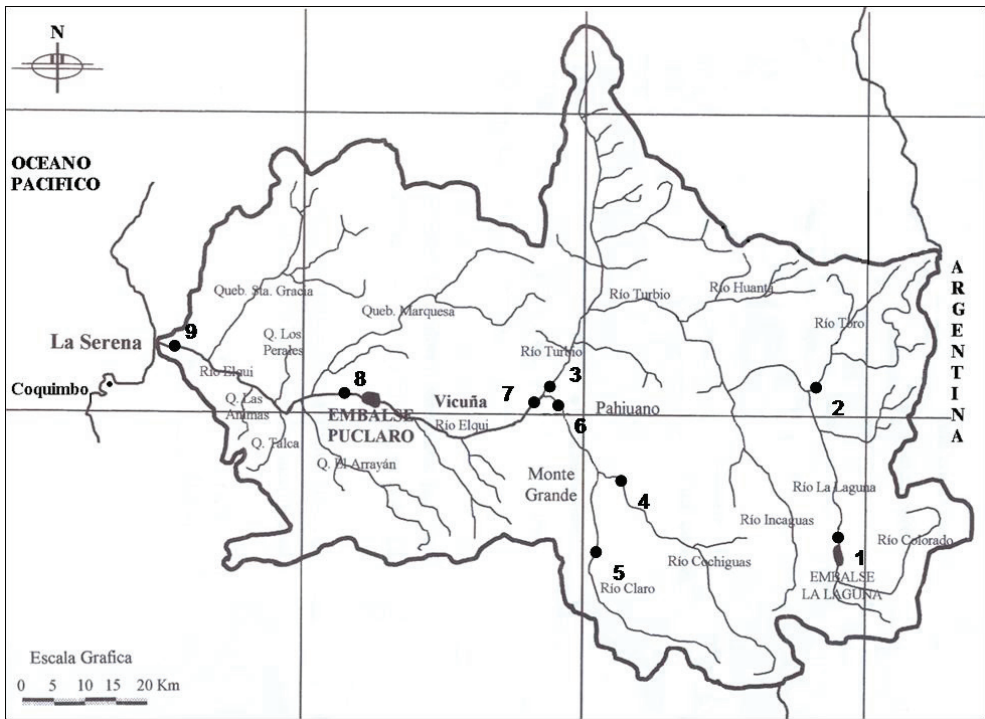


Fig. 3.15. Estaciones fluviométricas existentes cuenca del Río Elqui (numeración según Anexo Tabla 3.8).

temporal (registros discretos, Δt predefinido). Los instrumentos que operan a la fecha 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. 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 (Figs. 3.13 y 3.14). En la Fig. 3.15 se presenta la ubicación de las estaciones fluviométricas a la fecha vigentes en la cuenca del Río Elqui. En el Anexo Tabla 3.8 se entrega para cada una de ellas su ubicación geográfica, altitud, el período de operación y área aportante a la superficie cuenca delimitada por ella. La totalidad de estas estaciones se encuentran a cargo de la DGA. Actualmente estas estaciones están equipadas con limnigrafos, aunque en sus inicios fueron del tipo limnimétrico.

Dada la magnitud de los cauces de mayor interés de la región, la medición directa de tales caudales no es posible, por lo que es necesario aforar, esto es, medir la velocidad en diversos puntos de la sección de escurrimiento y determinar, vía integración de dichos sub-caudales (velocidades por áreas), el 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) calculado mediante la regla limnimétrica instalada en la estación-, conforma lo que se denomina curva de descarga. De este modo, basta con medir dicho nivel de escurrimiento para determinar el caudal. Las características hidráulicas de los cauces de la región corresponden a ríos de montaña. Esto significa que la curva de descarga opera efectivamente como una relación entre caudal (Q) y el nivel (Z_w).

Dado que los caudales medios efluentes de cualquier cuenca son primordialmente consecuencia del área de la cuenca, del régimen de precipitaciones, de las pérdidas de agua vía evaporación, sublimación y uso del agua, las causas de lo que aquí interesa aclarar se deben buscar en las diferencias en alguna o algunas de estas variables. Puesto que las áreas son similares y que se está trabajando con caudales específicos [mm/año], el tamaño de la cuenca no es aspecto relevante. Así, las precipitaciones medias en las estaciones de mayor altitud fluctúan entre 147 y 174 mm/año. Para formarse una idea global de la hidrología del piso superior de la cuenca del Río Elqui

es importante explicar qué elementos podrían justificar la marcada diferencia existente entre los caudales específicos efluentes de las cuatro estaciones fluviométricas que registran los flujos de la parte alta de la cuenca (Anexo Tabla 3.8). Estas estaciones corresponden a: Toro antes junta Río La Laguna, con área aportante de 560 km²; Río La Laguna en salida Embalse La Laguna, con área aportante de 426,7 km²; Río Cochiguaz en El Peñón, con área aportante de 440 km², y Río Derecho en Alcoquaz, con área aportante de 325 km². De acuerdo a los datos del Anexo Tabla 3.9a y según la ecuación 3.1, que correlaciona caudal con precipitación, los caudales rendimientos o caudales medios efluentes expresados en [mm/año], corresponden para estas cuatro estaciones a 54,2 mm/año; 138,7 mm/año; 149,4 mm/año y 235,4 mm/año. La ecuación 3.2 corresponde a la ecuación del balance hídrico de una cuenca. Ella expresa que los flujos entrantes P se igualan a los flujos de salida (Q), a la tasa de evaporación (E) o evapotranspiración (ET), a la sublimación (S), y a la variación ΔV en el volumen almacenado en la cuenca. Para el caso de un período extenso de tiempo, la sumatoria de los ΔV se hace nula, y la sumatoria de flujos entrantes se iguala a la sumatoria de los flujos efluentes. De acuerdo a la ecuación del balance hídrico, el patrón de precipitación puede explicar el caudal de la cuenca del Río del Toro (i.e., 55 mm/año), pero no así el de la cuenca del Río Cochiguaz (i.e., 235 mm/año). Dado que esta última cuenca se ubica hacia el sur, debiera existir un incremento de las precipitaciones en las partes altas de la cuenca (en sectores donde a la fecha no se dispone de registros), Esto es una precipitación media anual superior a los 200 mm/año.

$$Q [m m / A ñ o] = 31540 \frac{Q [m^3 / s]}{A [K m^2]} \quad (ec.3.1)$$

$$P = Q + E + S + \Delta V \quad (ec.3.2)$$

Otra explicación para la diferencia entre los caudales específicos radicaría en la extracción y uso del agua al interior cuenca. En el caso del Río La Laguna, la existencia del embalse altera la distribución temporal de los caudales efluentes, pero no la de los caudales medios o rendimientos medios. La no existencia de extracción de agua al interior de esta cuenca conlleva a que el caudal medio registrado se ajuste al régimen natural de la cuenca. En el caso de las cuencas del Río Cochiguaz y del Estero Derecho, el uso del agua aguas arriba de las estaciones Cochiguaz en El Peñón y Derecho en Alcoquaz, no implican cifras significativas. En el caso de la

cuenca del Río del Toro, la existencia pasada de la actividad minera plantea un uso del agua algo más intensivo, lo que podría explicar, aunque sólo parcialmente, los menores caudales o rendimientos efluentes. En resumen, las notorias diferencias en los rendimientos específicos entre las cuencas del Río del Toro aguas arriba junta Río La Laguna (55 mm/año) por el norte y las restantes 3 sub-cuencas de la parte alta de la cuenca del Río Elqui, entre 130 y 230 mm/año, se puede explicar por menores precipitaciones y mayores extracciones de agua hacia el norte.

La principal estación fluviométrica que existe en la cuenca del Río Elqui es la Estación Elqui en Algarrobal, ubicada en el Río Elqui justo aguas abajo de la junta de los ríos Claro y Turbio, algunos pocos kilómetros aguas arriba del poblado de Rivadavia (Fig. 3.16). Esta estación se encuentra a la fecha conectada a nivel nacional en forma satelital con todas las oficinas de la DGA. Por otro lado, las estaciones recién referidas de Turbio en Varillar y Claro en Rivadavia, son las más antiguas, tanto en implementación como tiempo de operación (a partir de 1914). 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 (e.g., las estaciones de Elqui en Punta de Piedra, Elqui en Gualliguaica y Elqui en Puclaro). La estación limnimétrica Elqui en La Serena, prácticamente en la desembocadura del Río Elqui, se encuentra a la fecha operativa. La ex Compañía Minera El Indio (CMEI) instaló, en la sub-cuenca del Río Toro y a comienzos de los años ochenta, algunas estaciones de aforo. Los cursos de agua controlados de esta forma corresponden a los ríos Malo, Toro Muerto, Estero Tambo y Río Vacas Heladas (Zavala 2006).

Caudales observados medios mensuales y anuales. En esta sección se describen algunas de las principales variables que caracterizan los flujos superficiales observados en las estaciones fluviométricas arriba referidas. La condición observada establece que dichos flujos se encuentran alterados por las extracciones, los flujos de retorno a la red de drenaje y la operación de los embalses. Esto en contraposición a los caudales en régimen natural, los que aluden a los flujos que existirían en caso de nula intervención humana. Para ilustrar la variación temporal de los flujos observados se recurre en esta sección a tablas y a curvas de variación estacional y de duración. Posteriormente se analizan los resultados del trabajo de Alfaro y Honores (2001), referidos a los caudales en régimen natural. Luego, el análisis se centra en examinar alguna posible relación, a nivel anual, entre el régimen pluviométrico y la respuesta

de la cuenca vía la escorrentía superficial. Esto tanto para los años con pluviometría baja como aquellos con pluviometría media y alta. Aspecto de interés pueden ser, por ejemplo, los caudales en época de sequía. Finalmente se analizan algunos cambios en el régimen de escorrentía producto presumiblemente del cambio climático.

En el Anexo Tabla 3.9a se entregan los caudales medios mensuales para las estaciones referidas en el Anexo Tabla 3.8. Se observa en ellos que los caudales medios máximos ocurren en los meses de deshielo (de noviembre a febrero). El Anexo Tabla 3.9a igualmente entrega tanto los caudales medios anuales como los promedios para los períodos estacionales de abril-septiembre y octubre-marzo. Los mayores valores ocurren en el período octubre-marzo para todas las estaciones, lo que reafirma la preponderancia de los flujos de la época de deshielo. En general, la relación entre ambos caudales medios estacionales se ubica en el rango de 1,30-2, con la excepción de la Estación La Laguna en salida embalse, para la cual dicha relación aumenta a 3,35. Situación que se debe a la operación del embalse, reteniendo agua en la época de otoño-invierno y entregando mayor cantidad de agua en la época de primavera-verano. El Anexo Tabla 3.9b entrega los coeficientes de variación (CV) calculados a partir de los datos del Anexo Tabla 3.9a. Tanto las medias como las desviaciones estándar han sido calculados para los períodos de operación correspondiente a cada estación. A mayor coeficiente de variación, mayor variabilidad en los caudales. Se observa que para todas las estaciones, los mayores CV ocurren en los meses de deshielo. Esto se explica al observar posteriormente las curvas de variación estacional, donde se notará que, en la época primavera-verano, cuando ocurren los deshielos, existe una mayor dispersión en los caudales. En otras palabras, la diferencia en dichos flujos entre un año seco y otro húmedo es mucho mayor que en los meses de invierno.

El Anexo Tabla 3.10a presenta los caudales medios anuales recopilados de INA (1987), BF (1992) y DGA (1987). De los tres estudios, los valores planteados por la DGA (1987) son los más bajos; aquellos de BF (1992), los mayores, con diferencias máximas de ~21%. El Anexo Tabla 3.10b amplía la gama de estaciones de trabajo, especialmente aquéllas ubicadas a mayor altitud, las que, salvo Río La Laguna en salida embalse, empezaron a operar en el primer quinquenio de la década de 1980. De la comparación entre valores para una misma estación, surge una marcada diferencia. Por ejemplo, para la estación fluviométrica Río Elqui en Algarrobal, que es la estación



Fig. 3.16a. Vista general de estación fluviométrica Río Elqui en Algarrobal.

que reúne los flujos de los ríos Turbio y Claro, se tiene que, de acuerdo al Anexo Tabla 3.10a y al Balance Hídrico (DGA 1987), el caudal medio es de $7,88 \text{ m}^3/\text{s}$; en cambio el valor entregado por BF (1992) es $9,54 \text{ m}^3/\text{s}$, valores claramente disímiles (con una diferencia de $\sim 20\%$). El estudio de INA (1987) entrega un valor intermedio ($9,05 \text{ m}^3/\text{s}$). Del análisis del período 1916/1917-1930 y 1948/1949-1999/2000 (84 años en total, 13 años sin información, 71 años de registros), se obtiene un caudal medio de $11,84 \text{ m}^3/\text{s}$, valor superior incluso al de BF (1992) (Anexo Tabla 3.10a). La misma tabla muestra el decenio 1980/1981-1989/1990 que, para la totalidad de estaciones, presenta el mayor promedio, producto de un período más húmedo que lo normal. Para el caso de la Estación Elqui en Algarrobal, el caudal medio anual alcanza la cifra de $15,82 \text{ m}^3/\text{s}$, valor que duplica los $7,88 \text{ m}^3/\text{s}$ del Balance Hídrico DGA (1987).

El Anexo Tabla 3.10b incluye otros períodos con datos aparentemente erráticos (e.g., los períodos 1948/1949-1989/1990 y 1948/1949-1999/2000). Aunque menos húmedos que el decenio 1980/1981-1989/1990, igual se registra un aumento en los caudales medios. Esto ocurre para todas las estaciones. Este aspecto será posteriormente abordado en el marco del impacto de posibles cambios climáticos



3.16b. Caseta de medición y equipamiento estación fluviométrica Río Elqui en Algarrobal.

en la hidrología de la cuenca en forma conectada a los cambios ya mostrados en el análisis del régimen de precipitaciones. Para la estación en cuestión, Elqui en Algarrobal: $9,85 \text{ m}^3/\text{s}$ y $9,44 \text{ m}^3/\text{s}$ (4% de diferencia); pero para la Estación Claro en Rivadavia: $5,78 \text{ m}^3/\text{s}$ y $3,78 \text{ m}^3/\text{s}$ (40% de diferencia). El período 1952/1953-1998/1999 se incluye en la tabla para comparaciones posteriores con los caudales en régimen natural, según Alfaro y Honores (2001). Por otra parte, es posible observar que la suma de caudales de Turbio en Varillar y Claro en Rivadavia se equiparan aproximadamente a los flujos del Río Elqui en Algarrobal. Finalmente para este mismo período se determinaron (vía ecuación 1), los rendimientos [mm/Año] en la totalidad de estaciones. Se puede observar que, desde la Estación Elqui en Algarrobal hacia aguas abajo, hasta Elqui en Almendral, no hay una variación significativa en los caudales. La tendencia es a la disminución, aunque como existen extracciones de agua para riego, no es posible deducir que la disminución de caudales, en torno a $1 \text{ m}^3/\text{s}$, tenga un origen natural. En todo caso, al observar posteriormente las curvas de variación estacional, se podrá ver que gran parte del volumen de escurrimiento en la cuenca del Río Elqui se origina en los deshielos. Por lo que el aporte de agua de las quebradas existentes aguas abajo de la junta Turbio y Claro (i.e, las quebradas Arrayán, Talca, Marquesa, Santa Gracia y las restantes sub-cuencas menores) es

prácticamente irrelevante en cuanto a volumen.

La serie Anexo Figs. 3.2a-h muestra las curvas observadas de variación estacional del caudal en las estaciones ríos La Laguna (salida embalse, Anexo Tabla 3.11a), El Toro (antes de junta con Río La Laguna, Anexo Tabla 3.11b), Cochiguaz (El Peñón, Anexo Tabla 3.11c), Estero Derecho (Alcohuaz, Anexo Tabla 3.11d), Turbio (Varillar, Anexo Tabla 3.11e), Claro (Rivadavia, Anexo Tabla 3.11f), Río Elqui (Algarrobal y Almendral, Anexo Tabla 3.11g-h). La serie de curvas del Anexo Figs. 3.3a-c muestra las curvas de variación estacional en régimen natural de los ríos Turbio (Varillar), Claro (Rivadavia) y Elqui (Algarrobal). Estas curvas indican los caudales medios mensuales para diferentes probabilidades de excedencia y permiten visualizar tanto la variación de caudales para cada mes (en el rango de las probabilidades consideradas) como la variación temporal (mes a mes) de los caudales para cada condición probabilística. En este caso se ha trabajado con las probabilidades de excedencia 10%, 20%, 40%, 50%, 70%, 80% y 90%. En general, éstas presentan un patrón muy similar. Esto corresponde a caudales de elevada probabilidad de excedencia (i.e., probabilidades 70%, 80% y 90%), aproximadamente constantes a lo largo del año. Esto significa que, durante años secos, los caudales no difieren significativamente entre las épocas de invierno y verano. Esta situación difiere en años húmedos (i.e., años de baja probabilidad de excedencia) en que los caudales de deshielo son sustancialmente distintos de aquellos de los períodos de acumulación de nieve. El volumen de agua que ocurre en dichos períodos húmedos es el que explica la diferencia entre las medias y medianas en todas estas estaciones. La Estación La Laguna en salida embalse (Anexo Fig. 3.2a), presenta un comportamiento similar, pero los caudales de alta probabilidad de excedencia, incluso 90%, aumentan claramente en los meses de primavera-verano con respecto a los meses de otoño-invierno, lo que es producto del manejo del embalse que interesa descargar flujos de agua en la época primavera-verano para uso agrícola.

La serie Anexo Figs. 3.4a-h muestra, tanto a nivel anual como de los meses octubre-marzo y abril-septiembre, las curvas de duración del caudal, observado de los ríos La Laguna (salida embalse), Toro (antes de junta con el Río La Laguna), Cochiguaz (El Peñón), Estero Derecho (Alcohuaz), Turbio (Varillar), Claro (Rivadavia) y Elqui (Algarrobal y Almendral). La serie correspondiente al Anexo Figs. 3.5a-c muestra las curvas de duración del régimen natural de los ríos Turbio (Varillar), Claro

(Rivadavia) y Elqui (Almendral). Los datos de respaldo se entregan en la serie Anexo Tablas 3.12a-h. Estas curvas muestran la relación caudal/probabilidad de excedencia y permiten determinar los caudales asociados a cualquier probabilidad y por ende, a cualquier período, de ahí el nombre de curva de duración. La Estación Río La Laguna, en salida embalse, presenta un comportamiento que difiere con respecto a las restantes estaciones producto del efecto del embalse. En general, existe una clara diferencia entre los caudales octubre-marzo y abril-septiembre, y a nivel anual para baja probabilidad de excedencia (años húmedos), la diferencia es despreciable en años secos. En la Estación Río La Laguna, aguas abajo del embalse, los caudales en años secos, en la época primavera-verano, esto es, octubre-marzo, se ubican claramente por sobre las otras dos curvas, nuevamente debido al efecto del manejo del embalse.

En la revisión de las precipitaciones se encontró que el registro de las precipitaciones sólidas en la parte alta de la cuenca es insuficiente. A objeto de caracterizar más específicamente la hidrología de los cursos de agua de la red de drenaje de la parte alta de la cuenca, se revisaron las estaciones fluviométricas de Río Toro antes de Junta (2.050 msnm), Río La Laguna en salida embalse (3.100 msnm), Estero Derecho en Alcohuz (1.645 msnm), y Río Cochiguaz en el Peñón (1.360 msnm), que son las estaciones fluviométricas ubicadas a mayor altitud en los respectivos cursos de agua de la cuenca. En total, las cuencas aportantes a estas estaciones cubren una superficie de 1.752 km², lo que corresponde al 18% del total de la superficie de la cuenca del Río Elqui y dada la altitud a que se localizan, poseen un régimen marcadamente nival. En el Anexo Tabla 3.13 se indican los caudales medios y la probabilidad de excedencia 50% (mediana) para estas cuatro estaciones, tanto en [m³/s] como en [mm/año]. En estas cuatro estaciones los caudales promedios superan a los caudales probabilidad de excedencia 50% (mediana), con variaciones entre 22% (Río del Toro antes junta) y casi 100% (Estero Derecho). Esto se explica por la alta variabilidad de los caudales, con caudales medios y bajos en períodos prolongados de tiempo, por lo que la mediana se ubica en dicho rango y algunos años húmedos de caudales elevados, que conllevan que la media se eleve notoriamente por sobre la mediana. Por otra parte, de tales valores se concluye que el rendimiento de la Estación Toro antes de Junta es claramente el menor de todas las estaciones de la zona, del orden de 50 mm/año, a diferencia de Cochiguaz en El Peñón, con media por sobre los 200 mm/año. Las medias de las estaciones La Laguna en salida embalse y Derecho

en Alcohuaz se ubican en un rango intermedio con valores similares del orden de los 140 mm/año. Dado que el período de registro de estas cuatro estaciones es diferente, Zavala (2006) analizó diversos períodos de trabajo, algo similar a lo presentado en el Anexo Tabla 3.10b, ya comentada, confirmando que dicho aspecto no altera las conclusiones ya enunciadas.

Caudales en régimen natural. Puesto que la cuenca en cuestión se encuentra desde hace muchos años intervenida ya sea por extracción de agua para riego, uso minero, consumo para agua potable y/o la operación del Embalse La Laguna, los registros del caudal medido en la totalidad de las estaciones fluviométricas de la cuenca del Río Elqui, están alterados y por ende, no corresponden a su régimen natural. Es importante precisar que los embalses afectan básicamente la distribución del flujo en el tiempo, no así el volumen de agua, salvo el aumento de las pérdidas de agua por evaporación, por lo que el caudal medio no es prácticamente alterado. Distinto es el caso de las extracciones para riego, cuyo efecto es una disminución neta del caudal en todos los meses en que se materializan. En función de los registros históricos de los caudales extraídos y del manejo del embalse, se pueden aproximadamente reconstruir 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 retornan al cauce aguas abajo. Este retorno obedece a que tanto los canales como las técnicas de riego no operan al ciento por ciento 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 aguas abajo. Algunos estudios han estimado dichos valores, tanto en porcentaje con respecto a los caudales extraídos como en alguna unidad de caudal (e.g., Kleinman y Torres 1964, INA 1987). Alfaro y Honores (2001) estimaron los caudales medios mensuales en régimen natural de los cauces principales en las cuencas de los ríos Elqui, Limarí y Choapa. El Anexo Tabla 3.14a presenta los caudales medios mensuales y sus respectivas desviación estándar para las estaciones que dichos autores trabajaron (i.e., Turbio en Varillar, Claro en Rivadavia, Elqui El Algarrobal y Elqui en Almendral). Asimismo, la Tabla 3.14b presenta las medias anuales en régimen natural para las mismas cuatro estaciones. Se concluye, en general, que los caudales mensuales y anuales en régimen natural

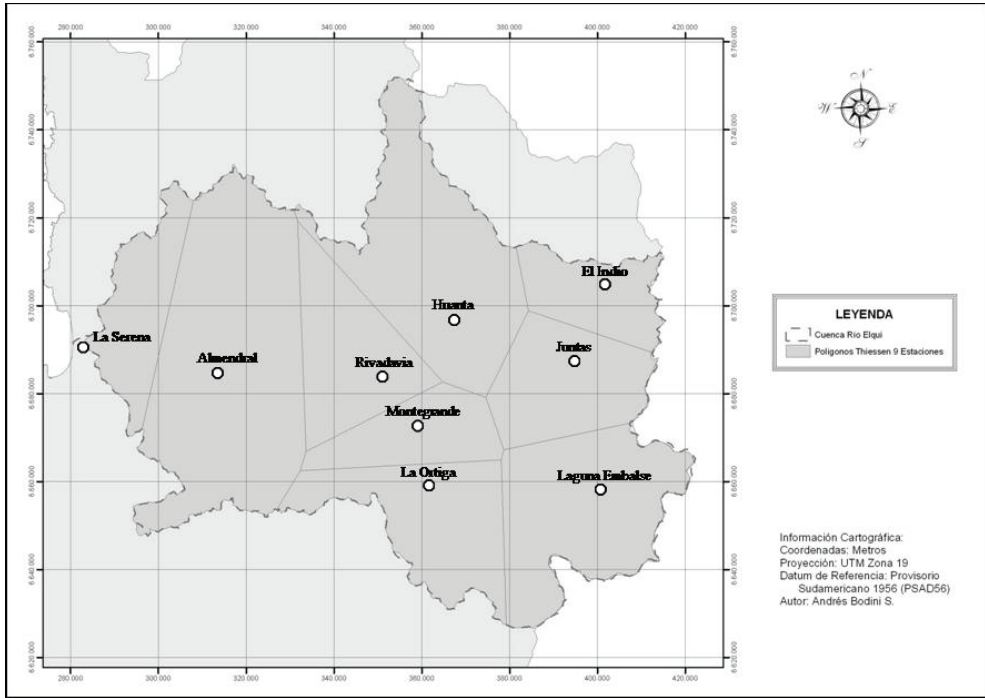


Fig. 3.17. Polígonos de Thiessen cuenca del Río Elqui, período 1980-1999.

estimados para las principales estaciones fluviométricas de la cuenca del Río Elqui son de magnitud superior a los caudales medios anuales observados (Anexo Tablas 3.9 y 3.10). Esta situación se muestra gráficamente en los Anexos Figs. 3a-c (curvas de variación estacional de las estaciones Turbio en Varillar, Claro en Rivadavia y Elqui en Algarrobal) y Figs. 3.5a-c (curvas de duración, tanto anual aquellas correspondientes a los meses octubre-marzo y abril-septiembre)

3.6. Dinámica de caudales observados – precipitación anual en la cuenca del Río Elqui

Análisis de la respuesta de la cuenca vía flujos superficiales. En lo que sigue se analizará la correlación existente entre el régimen pluviométrico y la respuesta de la cuenca Río Elqui vía flujos superficiales. Para el propósito del presente análisis se relacionará el régimen pluviométrico de la cuenca con el escurrimiento en la estación fluviométrica de Turbio en Varillar, calculándose la precipitación media en la cuenca a nivel anual mediante los polígonos de Thiessen (Fig. 3.17, Anexo Tabla 3.15).

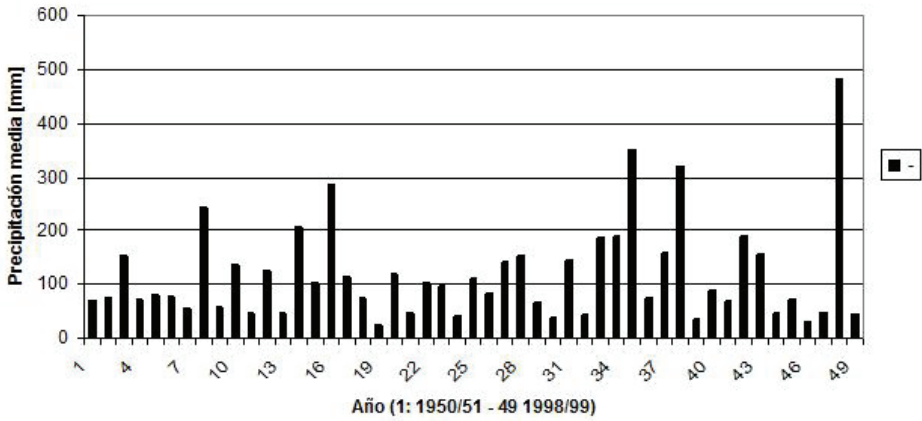


Fig. 3.18a. Precipitación anual media cuenca del Río Elqui, período 1950/51-1998/99.

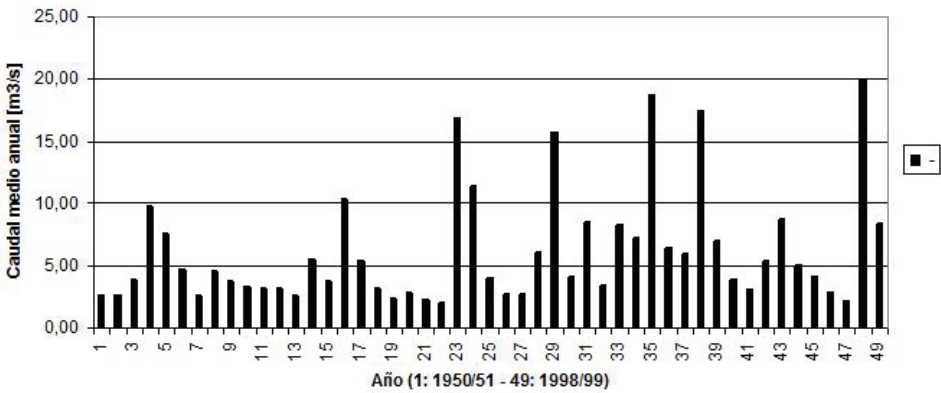
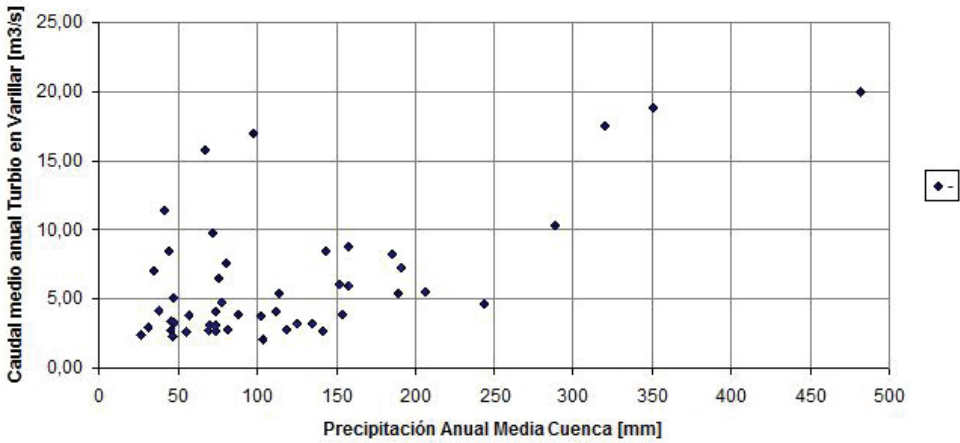


Fig. 3.18b Caudal medio anual observado Estación Río Turbio en Varillar, período 1950/51-1998/99.

Se debe tener presente que el caudal medido no necesariamente corresponde a su condición bajo régimen natural. La Fig. 3.18a presenta la precipitación anual media de la cuenca para el período 1950/1951-1998/1999. La Fig. 3.18b muestra el caudal medio anual observado en el mismo período en la estación Río Turbio en Varillar. Comparando ambas figuras se notará que existen años de precipitación muy baja y caudal elevado. Los dos años que sobresalen en esta dirección son 1972/1973, con precipitación anual media de 97,7 mm y caudal medio de 16,9 m³/s y el año 1978/1979 con precipitación anual media de 67,4 mm y caudal medio de 15,79 m³/s. A efecto de comparación se puede señalar que el punto de mayor precipitación y



3.19. Precipitación anual media cuenca v/s caudales observados Río Turbio en Varillar, período 1950/51-1998/99.

caudal corresponde al año 1984/1985, con una precipitación anual media de 350,8 mm y caudal medio de 18,8 m³/s. De lo anterior se obtiene que la diferencia en caudales es baja en comparación a la enorme diferencia en cantidad de agua caída. Con el objetivo de precisar aún más esta situación, se reducirá el intervalo temporal a 1985/1986-1998/1999. Para este período se cuenta con información en la totalidad de las estaciones (Trigos y Munizaga 2006). Primeramente se clasificaron los años según los polígonos de Thiessen en años de pluviometría baja (<60 mm, APB), alta (>sobre 170 mm, APA) y media (60 a 170 mm, APM). El Anexo Tabla 3.16 entrega las precipitaciones medias anuales para el intervalo temporal de 1985/1986 – 1999/2000. Asimismo señala si el año es de pluviometría media (APM), baja (APB) o alta (APA). De esta forma los años hidrológicos (abril a marzo) 1987/1988, 1991/1992 y 1997/1998 (3 años), son años APA, los que a su vez corresponden a años ENOS. Por su parte, los años hidrológicos 1988/1989, 1993/1994, 1995/1996, 1996/1997 y 1998/1999 (5 años), corresponden a años APB. De estos años, los años 1988/1989, 1995/1996 y 1998/1999, corresponden a años La Niña. Los restantes años (i.e., 1985/1986, 1986/1987, 1989/1990, 1990/1991, 1992/1993 y 1994/1995, 6 años), corresponden a años APM. Se destaca que el período 1985-1999, esto es 15 años, comprende tanto años secos, medios y húmedos, con diversa secuencia entre ellos. Adicionalmente, el Anexo Tabla 3.16 indica para cada año las probabilidades de excedencia y no excedencia. Para estos efectos se procedió a trabajar con el período 1950/1951-1999/2000. Una vez ordenados de mayor a menor dichos valores, se procedió a determinar los períodos de retorno y las probabilidades de excedencia

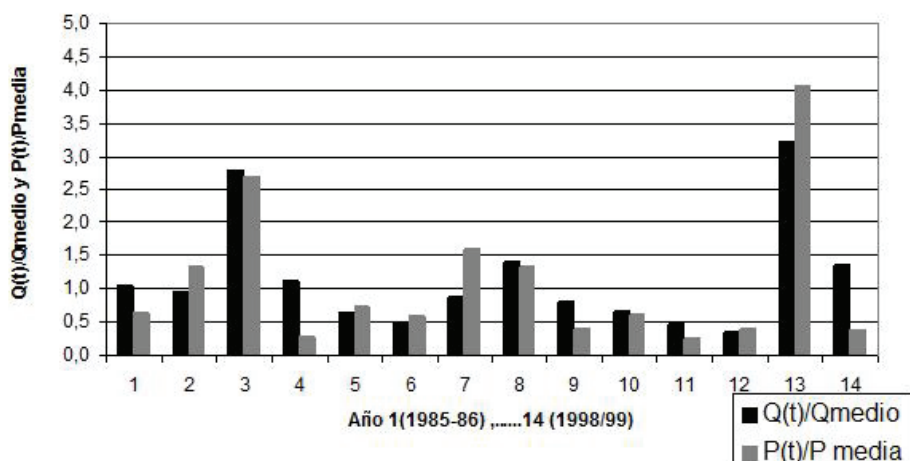


Fig. 3.20a Relación precipitación media cuenca y caudal Río Turbio en Varillar con respecto a valores medios, período 1985/86-1998/99.

y no excedencia de la precipitación media total anual de cada año. Posteriormente, se determinó la probabilidad de no excedencia de la precipitación de cada uno de los años que conforman el período de interés 1950/1951 a 1999/2000. En la Fig. 3.19 se muestran el caudal medio anual en la estación Río Turbio en Varillar y la precipitación anual media de la cuenca. Para ambas variables las correspondientes probabilidades de No-Excedencia se indican en el Anexo Tablas 3.17 y 3.18.

Análisis de la respuesta de la cuenca vía probabilidad de no-excedencia. Otra forma de presentar estos resultados es vía su probabilidad de no excedencia, es decir, según el número de orden en el rango total de trabajo (Fig. 3.20a-c). Del análisis de la Fig. 3.20a se obtiene lo siguiente:

* De los años húmedos, -es decir, 1987/1988, 1991/1992 y 1997/1998 (o años 3,7 y 13 en el orden de 14 años de la referida figura), con precipitación total anual de 320,3 mm, 189,7 mm y 482,3 mm respectivamente-, sólo los caudales de los años 1987/1988 y 1997/1998 son igualmente los dos más altos. En el caso del año 7 (1991/92), el caudal $5,45 \text{ m}^3/\text{s}$, o $Q/Q_m = 0,88$, es inferior al del año siguiente, el año 8 (1992/93), $8,78 \text{ m}^3/\text{s}$, o $Q/Q_m = 1,41$, un 60% mayor.

* De los años secos, -es decir los cinco años de pluviometría baja: 1988/1989, 1993/1994, 1995/1996, 1996/1997 y 1998/1999 (años 4, 9, 11, 12 y 14 en el

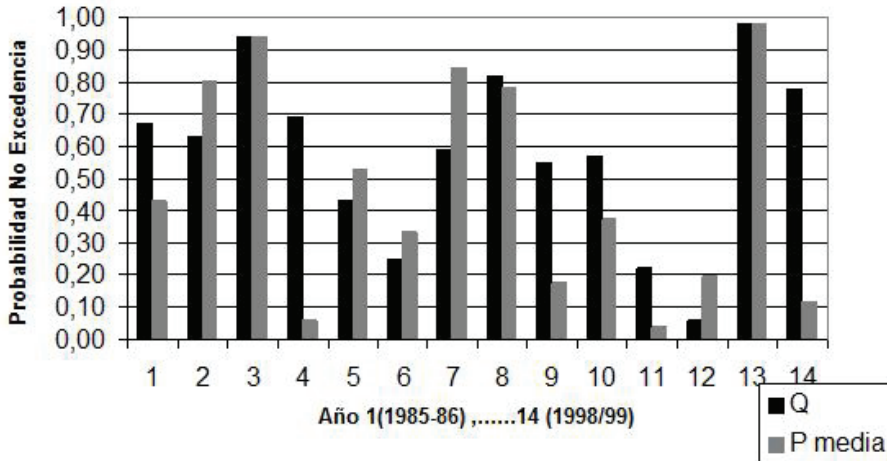


Fig. 3.20b. Probabilidades de no excedencia precipitación media cuenca y caudal Río Turbio Varillar, período 1985/86-1998/99.

orden de 14 años de la Fig. 3.20a), con precipitaciones de 35,3 mm, 47,4 mm, 31,1 mm, 47,1 mm y 44,9 mm, respectivamente-, los caudales observados en los años 4 y 14, se ubican por sobre la media. Esto debido a que están a continuación de un año muy lluvioso, por lo que el agua efluente se origina en descargas de agua almacenada y no del agua caída durante dicho año. Los otros tres años de pluviometría baja (años 9, 11 y 12), resultan casi en secuencia, separados por el año 10 (1994/1995, APM, con 73,9 mm). Estos cuatro años arrojan caudales iguales a 5,10 m³/s, 4,15 m³/s, 2,93 m³/s y 2,23 m³/s, respectivamente, con una clara tendencia decreciente. Esta tendencia se quiebra al año siguiente por efecto del año 13 (i.e, 1997/1998), el que fue un año sumamente lluvioso y el caudal aumentó significativamente a 20,04 m³/s.

* En el caso de los años de pluviometría media (e.g., año 10, 1994/1995), el flujo efluente es producto tanto de la precipitación del año como de lo que acontece en los años anteriores. Los años 1 y 2 (i.e., años 1985/1986 y 1986/1987) muestran flujos efluentes que son función de la precipitación del año 1984, que fue un año muy lluvioso (350,8 mm). Los años 5 y 6 presentan caudales inferiores al año 4, aunque la precipitación fue mayor, producto de la recesión referida. Finalmente el año 8, ya fue comentado en conexión con el año 7 APA.

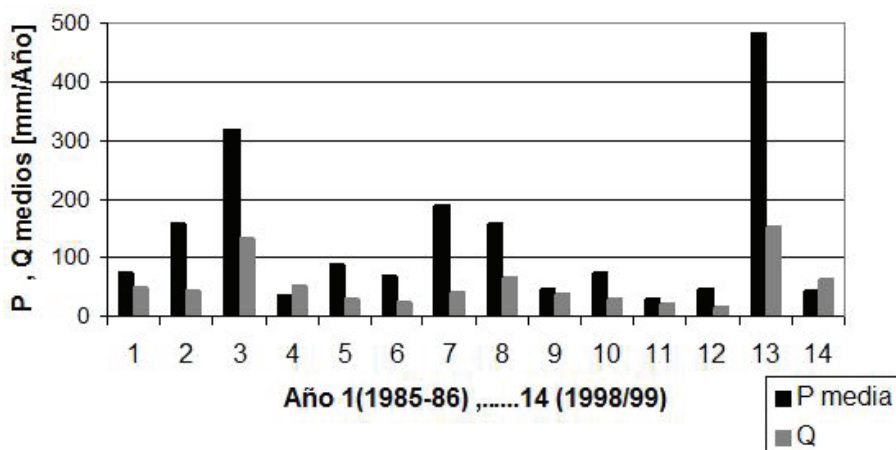


Fig. 3.20c. Precipitación media cuenca y caudal Río Turbio en Varillar [mm/año], período 1985/86-1998/99.

La Fig. 3.20b es otra forma de presentar estos resultados vía su Probabilidad de No Excedencia, en otras palabras el número de orden en el rango total de trabajo. Aquí se visualiza en forma más clara la recesión que comienza al año siguiente de un año muy lluvioso, en este caso los años 3 y 13. Es importante precisar que esta forma de expresar la precipitación y caudal no es en cantidad, sino número de orden. Finalmente la Fig. 3.20c, expresa en cantidad, en este caso en [mm/Año], que para la precipitación es “su” unidad de medida y en el caso del caudal, es su rendimiento. Observando la Tabla 3.18, se tiene que para este período la precipitación media es de 130,3 mm, que en relación a la media del período 1985/1986-1998/1999 118,33 mm, o relación entre ambas de $130,3 \text{ mm} / 118,33 \text{ mm} = 1,10$. En cuanto al caudal este es de $7,23 \text{ m}^3/\text{s}$, mayor al caudal medio 1985/1986-1998/1999, $6,21 \text{ m}^3/\text{s}$, $7,23 \text{ m}^3/\text{s} / 6,21 \text{ m}^3/\text{s} = 1,16$ y expresado en rendimiento 55 mm. En otras palabras a la cuenca del Río Turbio en Varillar entró un promedio de 130 mm y el flujo efluente medio fue de 55 mm. La diferencia 75,3 mm, corresponde a la evapotranspiración, a extracciones para riego o a consumo humano o industrial. Al igual que las Figs. 3.20a-b, la Fig. 3.20c presenta la curva de recesión. Lo relevante de comentar es que sólo los años 4 y 14, del período aquí considerado, la cuenca estuvo en déficit absoluto, sin considerar la evapotranspiración que aumenta estos déficit (ver ecuación 2) y que por ello, los años en déficit pueden ser más. En el caso de los años 4 y 14, justo años secos posteriores a años húmedos, la precipitación media fue de 35,4 mm y 44,9 mm respectivamente y los flujos efluentes iguales a 53,4 mm ($> 35,3 \text{ mm}$) y

64,4 mm (> 44,9 mm), respectivamente. En función de lo anterior se puede precisar que existe una mayor correlación entre precipitación-caudal en años de pluviometría elevada (APA) que en años de pluviometría media (APM) o baja (APB). Por ejemplo se puede observar los años de menor pluviometría en el período 1985-1999, estos son los años hidrológicos 1988/1989 (justo el año siguiente a un APA); 1995/1996 y 1998/1999 (igualmente al año siguiente de un APA), con 21,7 mm, 14,3 mm y 23,7 mm respectivamente. Estos años, además de ser los años de menor pluviometría en el período 1985-1999, son los años de menor pluviometría en los 50 años 1950-1999. Adicionalmente para la estación pluviométrica con mayor extensión de registros de la cuenca, La Florida-La Serena, que opera desde el año 1869, esto es 132 años, los años referidos igualmente son de pluviometría muy baja, 9,5 mm, 12,5 mm y 18 mm, y se ubican en la escala ascendente en los lugares números 4, 6 y 9 respectivamente o en términos estadísticos, asociados a probabilidades de no excedencia iguales a 3%, 4,5% y 6,8% respectivamente. Pero sin embargo, a pesar de la bajísima precipitación anual de estos tres años, muy similar tanto en cantidad como probabilísticamente, los caudales medios anuales observados en Turbio en Varillar, presentan comportamientos muy disímiles.

Los caudales medios anuales de los años 1988/1989, 1995/1996 y 1998/1999 fueron iguales a 7,03 m³/s, 2,93 m³/s y 8,47 m³/s, esto es probabilidades de no excedencia iguales a 69%, 22% y 78% respectivamente. En otras palabras, tres años de similar pluviometría bajísima, en dos de ellos el caudal se ubicó muy por sobre la mediana, y en otro, efectivamente el caudal fue pequeño. Esto se debe a que tanto los años 1988/1989 y 1998/1999 fueron justo posteriores a años de pluviometría elevada (años El Niño) y por lo tanto el caudal respuesta de la cuenca proviene tanto de la precipitación del año respectivo, como fundamentalmente, en esos años, del agua almacenada en ella en épocas antecedentes de abundancia. En una mirada más global a las restantes estaciones fluviométricas, la Tabla 3.19 presenta los caudales observados medios anuales en la totalidad estaciones fluviométricas en el período referido. A continuación, y con el objetivo de tener una mirada a una escala temporal menor a un año, se pasará a revisar los respectivos hidrogramas

Hidrogramas. A continuación, y con el objetivo de tener una mirada a una escala temporal menor a un año, se pasará a revisar los respectivos hidrogramas (Fig. 3.21). La Fig. 3.21a presenta los hidrogramas de las estaciones La Laguna en salida embalse

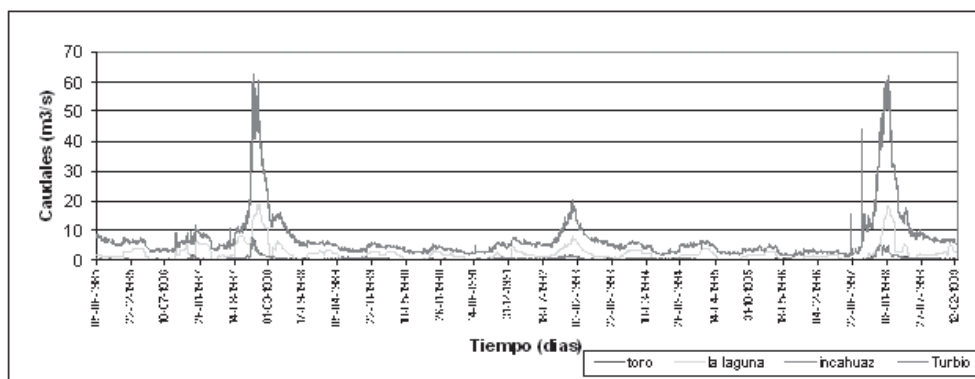


Fig. 3.21a Caudales observados estaciones ríos La Laguna, Toro, Incahuaz y Turbio en Varillar, período 1985-1999.

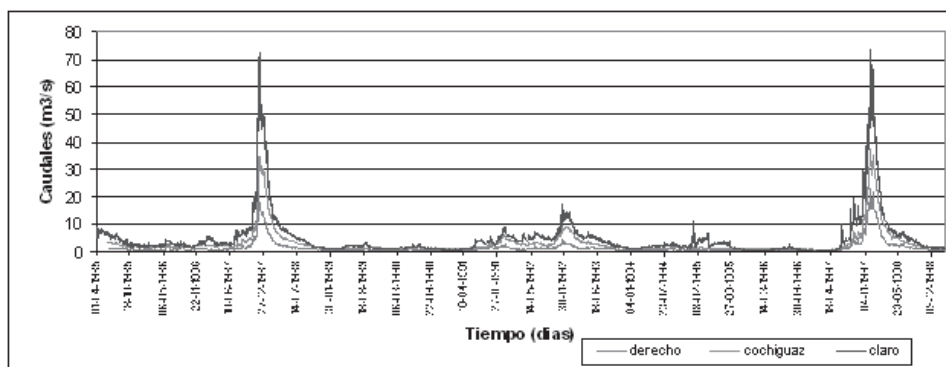


Fig. 3.21b. Caudales observados estaciones Ríos Cochiguaz, Derecho y Claro en Rivadavia, período 1985-1999.

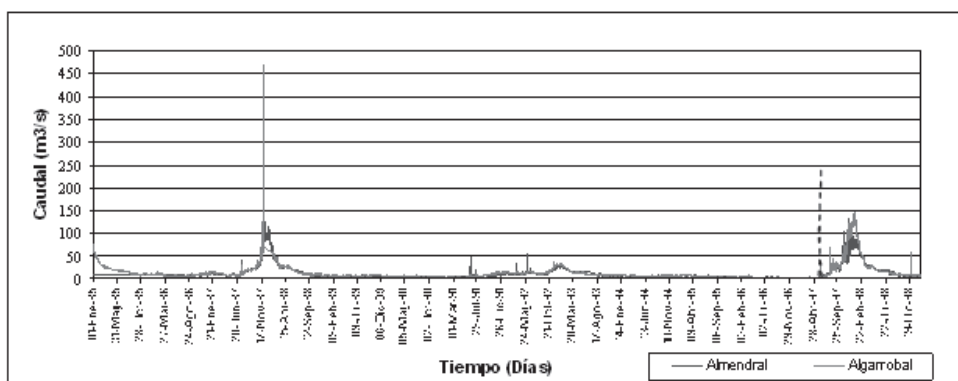


Fig. 3.21c. Caudales observados estaciones Ríos Almendral y Algarrobal, período 1985-1999.

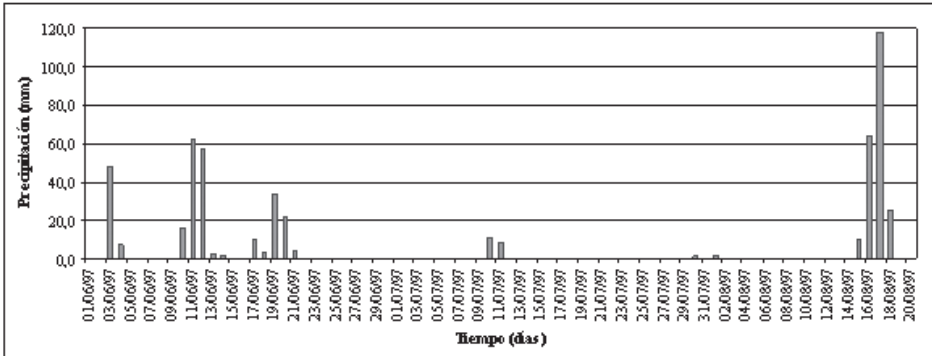


Fig. 3.22. Precipitaciones medias ponderadas, período junio 1997 a agosto 1997, cuenca del Río Claro en Rivadavia.

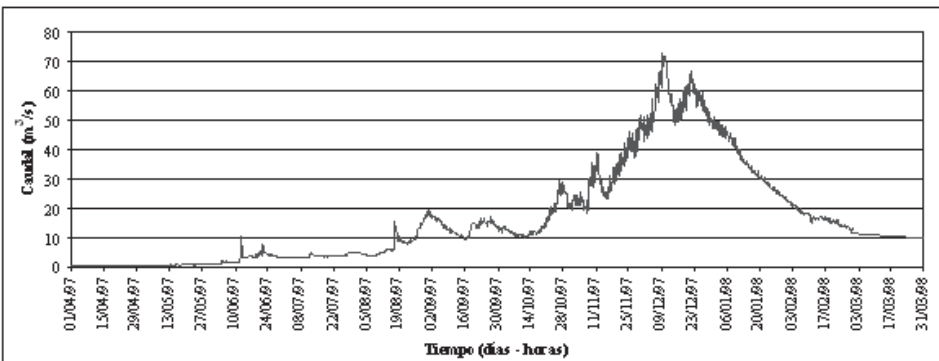


Fig. 3.23. Caudales instantáneos, período abril 1997 a febrero 1998, Estación Río Claro en Rivadavia.

y Toro antes de Junta, con áreas aportantes de 560 km² y 426,7km², respectivamente. La estación La Laguna en salida embalse presenta para todos los años un aumento en las épocas de verano. Estos son coincidentes en tiempo con los deshielos, pero cuyo origen es más bien artificial, producto del manejo del embalse. Esta alteración del flujo igualmente se observa en la respectivas curvas de duración y variación estacional (Anexo Fig. 2a). La Fig. 3.21b presenta los hidrogramas de las estaciones Cochiguaz en El Peñón y Estero Derecho en Alcohuz, con áreas aportantes de 440 km² y 325 km², respectivamente. En dicha figura se puede observar que, en general, los caudales corresponden al flujo base, salvo los períodos de deshielo

1987-1988 y 1997-1998, cuando los caudales tienen un marcado aumento, por lo que los volúmenes son importantes y también los períodos de deshielo de los años 1991-1992 y 1992-1993, aunque en menor grado. Claramente, estos períodos de aumento de caudal corresponden a crecidas de deshielo, de mayor o menor magnitud. No se observan crecidas de origen pluvial, ya que ambas cuencas son de régimen marcadamente nival. La Fig. 3.21c presenta los hidrogramas de las estaciones Elqui (en Algarrobal y Almendral), con áreas aportantes de 5.729 km² y 6.681 km², respectivamente. En dicha figura se puede observar un comportamiento similar al relatado para las estaciones de las Figs. 3.21a-b en cuanto a las crecidas asociadas a deshielos años lluviosos. La particularidad se tiene por parte de la Estación Elqui en Almendral con una crecida pluvial de importancia (Fig. 3.14), el mayor caudal del período (agosto de 1997), de 250 m³/s (caudal máximo instantáneo, Zavala 1997).

A continuación se presentarán algunos ejemplos de los tipos APA, APB y APM de pluviometría, según Trigos y Munizaga (2006).

1. Ejemplo de pluviometría alta (año 1997/1998, Estación Claro en Rivadavia): Tal como se ha dicho anteriormente, en años de pluviometría elevada, los caudales medios anuales son igualmente elevados, lo que significa que los volúmenes de agua disponibles vía escorrentía superficial son igualmente elevados. Lo que ahora interesa precisar es la forma en que dichos volúmenes se distribuyen en el tiempo. Esto es vía aumentos de caudal en época de lluvias, otoño-invierno o vía deshielos en primavera-verano. Para el período de análisis considerado, el año 1997/1998 constituye el año con los mayores registros del total de agua caída anual para el área de la cuenca del Río Claro, con 515,3 mm. La Fig. 3.22 presenta el hidrograma de precipitaciones de 1997. Estas se concentran en la época de otoño-invierno. La respuesta de la cuenca la muestra el hidrograma de la Estación Claro en Rivadavia (Fig. 3.23). Los caudales registrados en dicha estación muestran dicha condición de humedad, registrándose en promedio 18,17 m³/s. Para los eventos de precipitación de 1997/1998 se observan tres crecidas netamente pluviales, de menor magnitud. La crecida ocurrida el 12/06/1997 (10,24 m³/s); la del 21/06/1997 (7,96 m³/s) y la del 17/08/1997 (16,17 m³/s). Por el contrario, el 9 de diciembre de 1997 se registró un caudal máximo de 73,42 m³/s, producto de los deshielos.

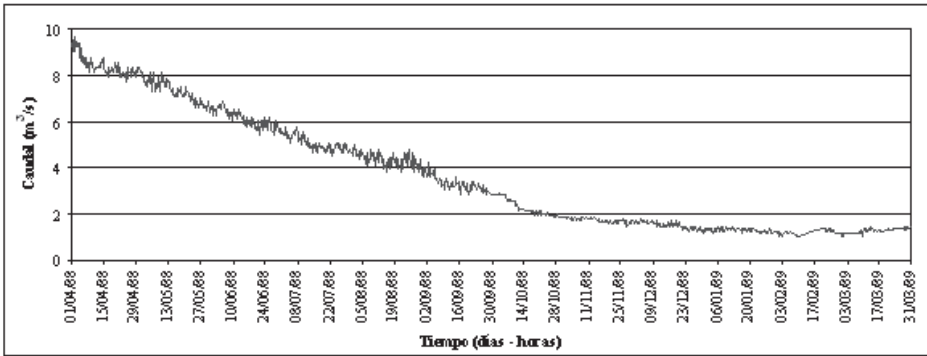


Fig. 3.24. Caudales observados instantáneos, período abril 1988 a marzo 1989. Estación Río Claro en Rivadavia (Elqui, Región de Coquimbo).

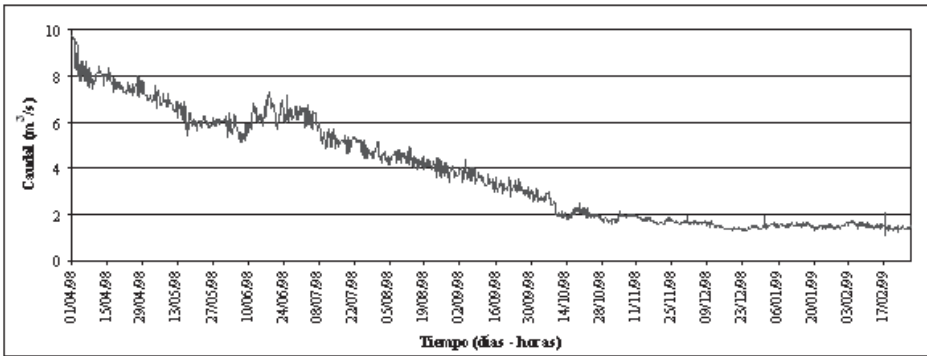


Fig. 3.25 Caudales observados instantáneos, período abril 1988 a febrero 1989. Estación Río Claro en Rivadavia (Elqui, Región de Coquimbo).

2. Ejemplo de baja pluviometría (años 1988/1989 y 1998/1999, Estación Claro en Rivadavia). Los años 1988/1989 y 1998/1999 están dentro de la categoría de años de baja pluviometría (16,05 mm y 36,16 mm respectivamente). La condición de antecedente de período muy húmedo generó un comportamiento muy similar en cuanto a los hidrogramas de los caudales efluentes. En los hidrogramas Figs. 3.24 y 3.25 se observa una curva con tendencia descendente en el caudal efluente de la sub-cuenca, comenzando en $10 \text{ m}^3/\text{s}$ a principios de abril y disminuyendo gradualmente hasta aproximadamente mediados de octubre donde la curva toma cierta horizontalidad con un caudal constante de $\sim 1,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Esto se debe principalmente al vaciamiento paulatino del agua almacenada en los suelos del sector en los períodos precedentes (que presentaron precipitaciones abundantes), evidenciando el consumo del sistema

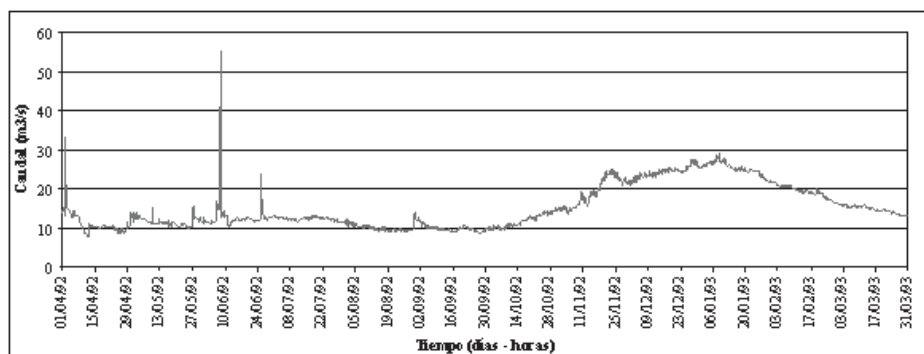


Fig. 3.26. Caudales observados instantáneos, período abril 1992 a marzo 1993, Estación Río Elqui en Almendral.

debido a la carencia del recurso hídrico por la escasez de precipitaciones en el año en curso correspondiente.

3. Año de pluviometría media (año 1992/1993, Estación Elqui en Almendral). Con respecto a la pluviometría se puede destacar el agua caída durante los días 5, 6 y 7 de junio de 1992 (16,0 mm; 17,3 mm y 19,2 mm respectivamente) en la respectiva zona. En la Fig. 3.26 se observa una crecida pluvial de gran magnitud ocurrida el 7 de junio de 1992, alcanzando como caudal máximo 54,76 m³/s, valor superior al caudal máximo instantáneo registrado para el período de deshielo (i.e., 29,1 m³/s). De lo que se infiere que, en esta cuenca, las crecidas de importancia son del tipo pluvial, las cuales pueden llegar a magnitudes significativas superando las crecidas originadas por el derretimiento de la nieve acumulada en las cuencas cabeceras y áreas intermedias. Esto debido a que se trata en su mayoría de una cuenca de régimen pluvial. Esta situación es menos frecuente en las sub-cuencas de los ríos Turbio y Claro, ya que por ser cuencas con régimen nival, la precipitación sólida es más acentuada en estos sectores, lo que implica que las crecidas de deshielos sean frecuentemente de mayor magnitud que las registradas en época de lluvias.

3.7. Tendencias de los caudales medios anuales

En la sección 3.4 se presentaron los posibles cambios en el régimen de precipitaciones totales anuales en la cuenca Río Elqui, según análisis de Mall (2005), vía medias móviles. Esta labor se llevó a cabo tanto para la precipitación líquida como sólida.

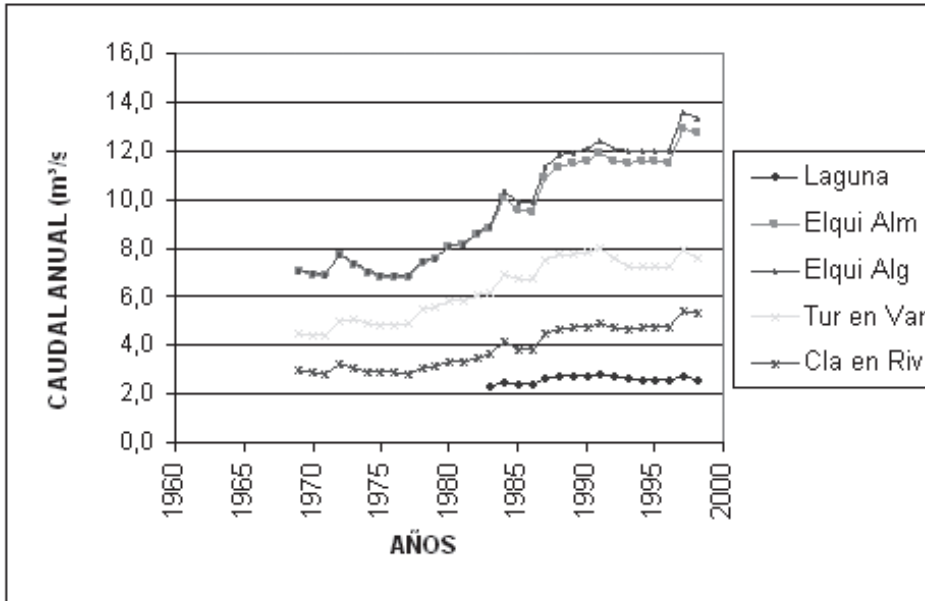


Fig. 3.27 Medias móviles caudales medios anuales observados en algunas estaciones fluviométricas, cuenca del Río Elqui.

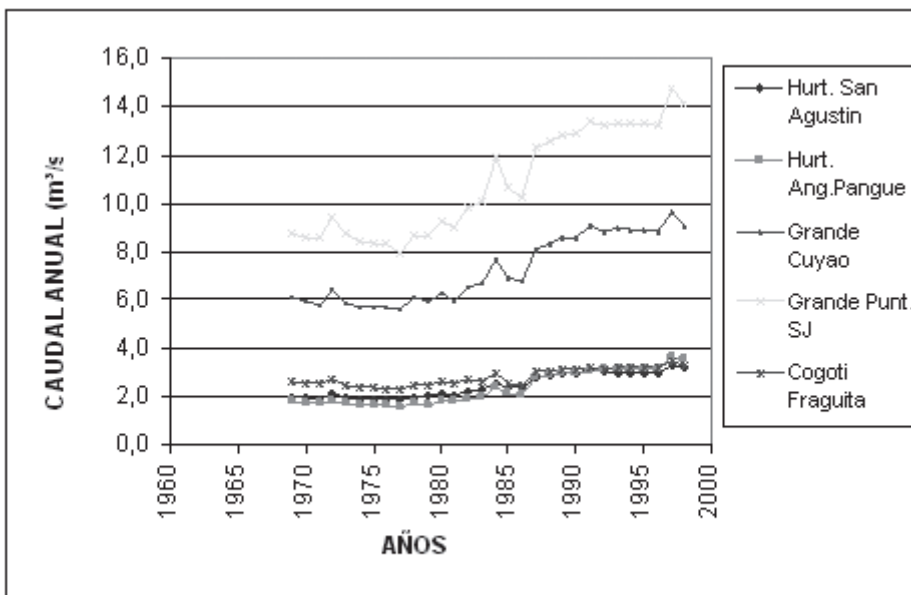


Fig. 3.28. Medias Móviles Caudales Medios Anuales Observados Algunas Estaciones Fluviométricas Cuenca Río Limarí.

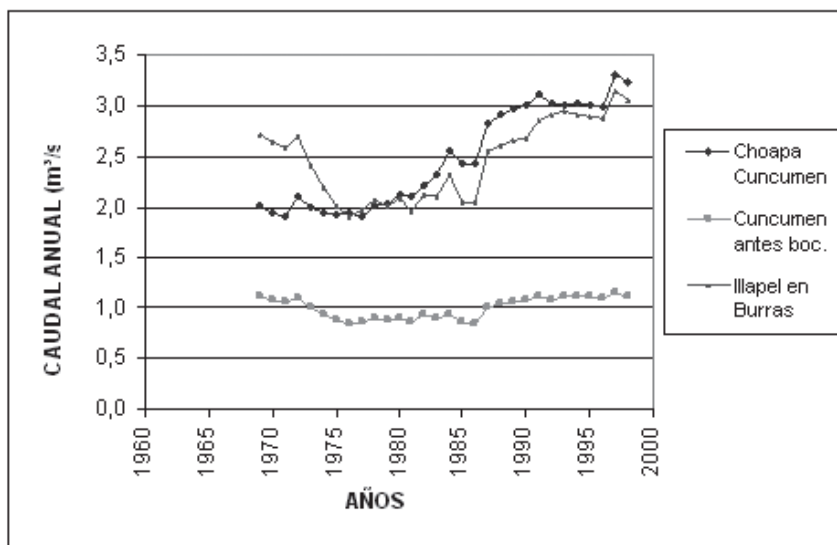


Fig. 3.29. Medias móviles caudales medios anuales observados algunas estaciones fluviométricas cuenca del Río Choapa.

Las principales conclusiones fueron i) las precipitaciones líquidas, que corresponden a los sectores medios y bajos de la cuenca, presentan una tendencia a la disminución; ii) las precipitaciones sólidas, que corresponden a los sectores altos de la cuenca, presentan una tendencia al aumento.

Adicionalmente, el análisis de la fluviometría de la cuenca, vía caudales medios mensuales, curvas de variación estacional y curvas de duración, tanto de los caudales observados como de los caudales en régimen natural, deja en claro que el grueso de la escorrentía se manifiesta en el período de primavera-verano, época de deshielo. Lo anterior significa que, a efectos de establecer la relación entre volumen de escorrentía y aporte vía precipitaciones, lo relevante son las precipitaciones sólidas, no las líquidas.

Ahora se procederá a revisar posibles tendencias en la escorrentía superficial observada a partir de lo desarrollado por Mall (2005). La Fig. 3.27 presenta, vía medias móviles, la tendencia de los caudales en diversas estaciones de la cuenca Río Elqui (i.e., La Laguna en salida embalse; Turbio en Varillar; Claro en Rivadavia; Elqui en Algarrobal, y Elqui en Almendral). Se observa una tendencia al aumento de

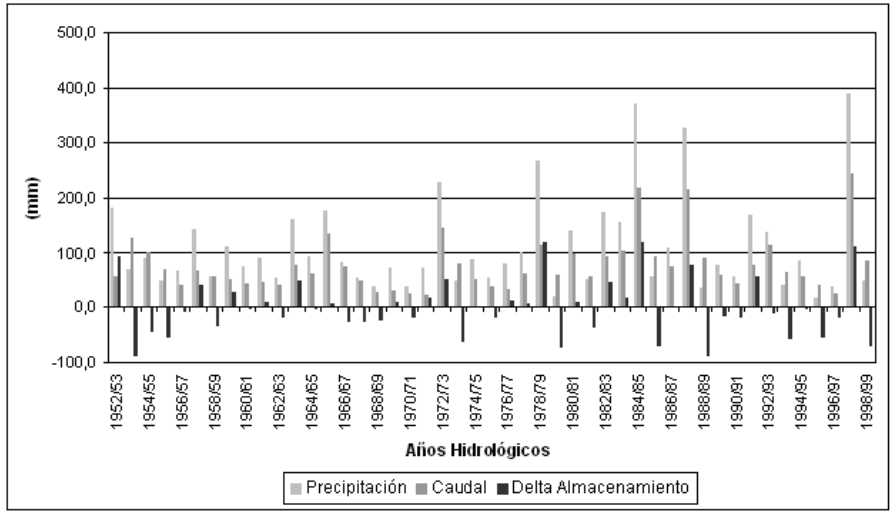


Fig. 3.30 Balance hídrico cuenca del Río Elqui en Algarrobal.

los caudales. La Fig. 3.28 presenta, vía medias móviles, la tendencia de los caudales en diversas estaciones de la cuenca Río Limarí (i.e., ríos Hurtado en San Agustín; Hurtado en Angostura de Pangué, Grande en El Cuyano, Grande en Puntilla San Juan; Cogote en Fragueta; Combarbalá en Ramadilla y Mostazal en Carén). La Fig. 3.29 presenta similar trabajo, en diversas estaciones fluviométricas de la cuenca Río Choapa, (i.e., ríos Choapa en Cuncumén; Cuncumén antes Bocatoma de Canales e Illapel en Las Burras). La conclusión es similar, se observa una tendencia al aumento de caudales. Por lo que existe coherencia entre la tendencia en la precipitación sólida y la respuesta de la cuenca vía aumento en la escorrentía. Adicionalmente, y con el objetivo de validar las cantidades en que aumentaban los flujos, Mall (2005) procedió a revisar vía Balances Hídricos (ecuación 3.2) la relación entre precipitación y caudal. Como ejemplo, la Fig. 3.30 (Anexo Tabla 3.19) presenta los resultados del balance hídrico para dicha estación.

3.8. Conclusiones

Las principales conclusiones relativas a la hidrología de la cuenca del Río Elqui son:

1. La pendiente altitudinal de la cuenca varía, en un tramo de ~170 km, entre 0 msnm (Playa La Serena) y 6.255 msnm (Cerro Olivares).
2. En términos de almacenamiento de agua superficial, la cuenca posee en forma natural un único glaciar (El Tapado), el que se ubica en la parte alta de la sub-cuenca del Río La Laguna, con una superficie de 3,6 km² y una profundidad máxima de ~40 m.
3. El rango de la línea de nieve estaría entre 3.000 a 3.500 msnm. Por lo que la superficie nival variaría entre 35% y 45%, respectivamente. Esto hace que la cuenca tenga un régimen nivo-pluvial. Es relevante, en consecuencia, caracterizar tanto los regímenes de precipitación líquida como sólida.
4. Las características agro-climáticas de la cuenca del Río Elqui, un pujante desarrollo agro-frutícola y precipitaciones escasas, altamente variables año a año, hacen que el conocimiento de la hidrología de la cuenca sea un elemento clave hacia el manejo sustentable actual y futuro de la misma.
- 5 La cuenca referida no posee a la fecha ni ha poseído en ninguna época histórica aportes de agua externos a ella, ni vía trasvase de aguas desde cuencas vecinas ni tampoco sistemas de desalinización, por lo que la única fuente de agua son las precipitaciones tanto líquidas como sólidas. En la mirada inversa, existe trasvase de agua desde la cuenca hacia la zona de Pan de Azúcar vía el Canal Bellavista y mediante el abastecimiento de Agua Potable a las ciudades de La Serena y Coquimbo, las que se ubican al exterior de la cuenca.
6. Existen a la fecha dos embalses artificiales, el Embalse La Laguna, ubicado en el curso de agua del Río La Laguna, construido en la década del cuarenta, con una capacidad de 40 millones de metros cúbicos y el Embalse Renán Fuentealba (Embalse Puclaro), con una capacidad de 200 millones de metros cúbicos, ubicado en el curso medio del Río Elqui, el que entró en operación el año 1999.

Respecto del régimen de precipitaciones, se puede señalar que:

1. Entre estaciones existe una marcada similitud en el comportamiento tanto de las precipitaciones líquidas como sólidas. En otras palabras, en años de pluviometría baja, el agua caída es escasa en todas las estaciones y viceversa para los años medios y húmedos.
2. Se observa una tendencia hacia precipitaciones mayores en las estaciones ubicadas a mayor altitud. Esta tendencia es leve en la parte baja y media de la cuenca (entre 60 mm/año y ~170 mm/año), con un marcado aumento en las precipitaciones en la parte alta de ella.
3. Aunque los trabajos en el tema entregan curvas isoyetas similares a cotas medias y bajas; a cotas superiores (>2.500 msnm), las diferencias son muy marcadas. Esto debido a la insuficiente información que existe de la parte alta de la cuenca.
4. A nivel temporal se puede indicar que, del total de agua caída en un año, ésta se concentra en pocos eventos, incluso ocurre que un evento de lluvia (de uno o más días de duración) puede superar la media anual de la estación. Por otra parte, estos eventos ocurren en la época de otoño-invierno. Se ha detectado una alta variabilidad interanual. Por ejemplo, en el caso de la estación pluviométrica más antigua de la cuenca (i.e., La Serena - La Florida, con registros desde el año 1869), la precipitación total anual varía en el rango de menos de 10 mm/año y más de 500 mm/año.
5. Se ha encontrado en todas las estaciones pluviométricas que la precipitación media es mayor a la precipitación con probabilidad de excedencia 50% (la mediana).
6. La literatura señala al evento Niño como responsable de la fase húmeda de la cuenca y al evento La Niña como responsable de la fase árida. De la revisión de los registros que se tienen para la cuenca, se ha observado que, del total de años El Niño, aproximadamente la mitad de ellos corresponde a año húmedo. Ocurre algo similar en lo relativo a los años La Niña, en

aproximadamente la mitad de ellos se tiene año seco.

En relación al régimen de escorrentía superficial se tiene que:

1. Los registros de caudal medido en la totalidad de las estaciones fluviométricas de la cuenca del Río Elqui están alterados y por ende no corresponde a su régimen natural.
2. Los embalses afectan básicamente la distribución del flujo en el tiempo, no así el volumen de agua, salvo el aumento de las pérdidas de agua por evaporación, por lo que el caudal medio esta prácticamente inalterado. Distinto es el caso de las extracciones de uso consuntivo, cuyo efecto es una disminución neta del caudal.
3. En todas las estaciones fluviométricas, en términos volumétricos, la mayor cantidad de agua escurre en los meses de deshielo (noviembre a febrero). Se encuentra que, en la época de primavera-verano, cuando ocurren los deshielos, existe una mayor dispersión en los caudales. Adicionalmente, la diferencia de flujo entre un año seco y otro húmedo es mucho mayor que en los meses de invierno.
4. Se observa en relación a los caudales medios anuales que, para una misma estación al trabajar con diferentes períodos de años, pueden existir marcadas diferencias (por sobre el 20%). Esto es producto de intervalos temporales, décadas por ejemplo, que en promedio son húmedas o bien del impacto de posibles cambios climáticos en la hidrología de la cuenca.
5. En relación a los caudales en régimen natural, restituidos a partir de la información disponible, éstos presentan tanto a nivel mensual como anual, magnitudes superiores a los caudales observados respectivos.
6. Pese al tamaño del área aportante, a partir de la Estación Elqui en Algarrobal hacia aguas abajo, hasta Elqui en Almendral, no hay una variación significativa en los caudales medios anuales en régimen natural,. Lo mismo se estima desde la Estación Elqui en Almendral hacia aguas abajo.

7. La contribución volumétrica de las quebradas Arrayán, Talca, Marquesa, Santa Gracia y otras sub-cuencas menores, es reducida. No así en cuanto a las crecidas pluviales donde dicha área aportante puede jugar un papel importante.

8. En lo relativo a la relación, a nivel anual, existente entre el régimen pluviométrico y la respuesta de la cuenca Río Elqui vía su flujo superficial, se ha encontrado que en años extremadamente húmedos, la escorrentía es igualmente elevada. Sin embargo, en años de pluviometría extremadamente baja, los flujos superficiales, no necesariamente son bajos. Cuando el año de precipitación baja es posterior a años húmedos, la escorrentía puede ser del tipo medio. Los años de sequía hidrológica (i.e., años de escorrentía extremadamente baja), son producto de una serie de años precedentes con precipitación muy baja, baja o media, y no de que la cantidad de agua caída en el año en curso sea bajísima. El régimen de escorrentía en años de pluviometría media es función tanto del año en cuestión, como de los años precedentes inmediatos. Esto es reflejo de la capacidad de la cuenca para almacenar agua. En años húmedos, el sistema se recarga y el vaciamiento ocurre en forma gradual durante las series de años de precipitaciones media baja, baja o muy baja.

En el marco del cambio climático se concluye lo siguiente:

1. De la revisión de los registros tanto en la cuenca del Río Elqui, como de otras cuencas de la Región de Coquimbo, de la III, V y Región Metropolitana, se ha encontrado que estos presentan una tendencia a la disminución de las precipitaciones. Es importante precisar que, al final del siglo XIX, existió un aumento de las precipitaciones líquidas, lo que queda reflejado en las estaciones pluviométricas de La Florida- La Serena y Quinta Normal-Santiago. El descenso registrado en el siglo XX puede deberse, en cierto modo, a una tendencia decreciente hacia valores medios de mayor extensión temporal.

2. Aunque la información disponible es de menor data que la correspondiente a la precipitación líquida, para la precipitación sólida se ha encontrado, tanto

en la cuenca del Río Elqui como en las cuencas de los ríos Limarí y Choapa, una tendencia al aumento.

3. En lo relativo a la escorrentía superficial, del análisis tanto de los caudales observados en las diversas estaciones de la IV Región, como aquellas ubicadas en las cuencas de los ríos Limarí y Choapa, se ha detectado una tendencia al aumento.

4. Para la cuenca en estudio y puesto que el grueso de la escorrentía se manifiesta en la época de deshielo (período de primavera-verano), a efectos de establecer la relación entre volumen de escorrentía y aporte vía precipitación, lo relevante es la precipitación sólida, no la líquida. Se puede precisar, por lo tanto, que existe coherencia entre la tendencia en la precipitación sólida y la respuesta de la cuenca vía aumento en la escorrentía.

3.9. Agradecimientos

El financiamiento para la elaboración de este trabajo fue proporcionado por el Proyecto Institutional Adaptations to climate change: comparative study of dryland river basins in Canada and Chile (Convenio Universidad de Regina, Canadá-Universidad de La Serena, Chile). Los autores agradecen los comentarios y aportes de Jorge Cepeda, Carlos Zuleta y Rodrigo Castillo en la edición final del documento.

3.10. Referencias

ACEITUNO P & GARREAUD R (1995) Impacto de los fenómenos El Niño y La Niña en regímenes fluviométricos andinos. Revista Chilena de Ingeniería Hidráulica. 10 (3): 33-43.

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. La Serena, Chile.

ANDERSON M, M KAVVAS & M MIERZWA (2001) Probabilistic/ensemble forecasting: a case study using hydrologic response distributions associated with El Niño/southern Oscillation (ENSO). *Journal of Hydrology* 249: 134-147.

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. La Serena, Chile.

ARRAU DEL CANTO L (2001) Modelo de simulación mensual para la operación del sistema de recursos hidráulicos del Río Elqui, Provincia del Elqui, Cuarta Región. **INGENIEROS CONSULTORES**. Dirección de Obras Hidráulicas, MOP IV Región. La Serena, Chile.

ARRAU DEL CANTO L (1997) Factibilidad embalse Piuquenes, estero Derecho Paihuano, IV Región. Informe Final. Dirección Regional de Obras Hidráulicas (ex-Dirección de Riego), Ministerio de Obras Públicas IV Región. La Serena, Chile.

BENDIX A & J BENDIX (2006) Heavy rainfall episodes in Ecuador during El Niño events and associated regional atmospheric circulation and SST patterns. *Advances in Geosciences* 6: 43-49.

BF (BROWN Y FERRER) (1992) Análisis Estadístico de Caudales en los Ríos de Chile. **INGENIEROS CIVILES** Etapa II. Dirección General de Aguas. Departamento de Hidrología. Ministerio de Obras Públicas. Santiago, Chile.

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

BRAS R (1990) *Hydrology: An Introduction to Hydrologic Science*. Editorial Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts Institute of Technology. Massachusetts, USA.

CADE IDEPE (2004) Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad, cuenca del Río Elqui. **CONSULTORES EN INGENIERIA**. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas. Santiago, Chile.

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

CEPEDA J & J NOVOA (2006) La Cordillera Altoandina del Valle del Elqui. En: Cepeda PJ (ed) Geoecología de los Andes Desérticos. La Alta Montaña del Valle del Elqui: 41-63. Ediciones Universidad de La Serena. La Serena, Chile.

CIREN-CNR (1996) Atlas Agroclimático de Chile. Comisión Nacional de Riego. CENTRO DE INFORMACIÓN DE RECURSOS NATURALES. Santiago, Chile.

DGA (1987) Balance Hídrico de Chile. Departamento de Hidrología. Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas. Santiago, Chile.

DGA (1989) Precipitaciones Máximas en 24, 48 y 72 horas. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. Santiago, Chile.

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

DGA (1995) Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin Información Pluviométrica. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. Santiago. Chile.

DIAZ F (2001) El Niño y los efectos en Chile. Oficina Nacional de Emergencia. ONEMI. Santiago, Chile.

DIJKSTRA H (2006) The ENSO phenomenon: theory and mechanisms. Advances in Geosciences 6: 3-15.

DIRECCIÓN DE VIALIDAD (2002). Manual de Carreteras. Dirección de Vialidad, Ministerio de Obras Públicas. Santiago, Chile.

DOMÍNGUEZ M & W ROMERO (1999). Estructuración y Aplicación Metodologica 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. La Serena, Chile.

ESCOBAR F & PACEITUNO (1998) Influencia del fenómeno del **ENSO** sobre la precipitación nival en el sector andino de Chile Central durante el invierno”. Bulletin Institute Francais Études andines. 27(3): 753-759.

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. Santiago, Chile.

ESPILDORA B (1968) Consideraciones hidrológicas sobre la sequía de Chile. Jornadas sobre la sequía. Universidad de Chile, Santiago. Chile.

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

ESPILDORA B, E BROWN, P ISENSEE & G CABRERA (1975). Elementos de Hidrología. Centro de Recursos Hidráulicos. Universidad de Chile. Santiago. Chile.

ESPINOZA P & J LEYTON (2007) Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia de Precipitaciones de la IV Región. Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil. Universidad de La Serena. La Serena, Chile.

FALVEY M & R GERRAUD (2007) Wintertime precipitation episodes in Central Chile: Associated meteorological conditions and orographic influences. Journal of Hydrometeorology 8 (2): 171-193.

FREIXAS G (2002) Variabilidad de la línea media de las nieves en la zona central de Chile. Dirección General de Aguas. Departamento de Hidrología. Sub-departamento Meteorología y Nieves. Ministerio de Obras Públicas. Santiago, Chile.

GARREAUD R (1993) Impacto de la variabilidad de la línea de nieve en crecidas invernales en cuencas pluvio-nivales de Chile Central. XI Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica. Concepción, Chile.

GINOT P, C KULL, U SCHOTTERER, M SCHWIKOWSKI & HW GÄGGELER (2006) Glacier mass balance reconstruction by sublimation induced enrichment of chemical species on Cerro Tapado (Chilean Andes). *Climate of the Past* 2: 21-30.

INA IPLA LTDA, NOGUERA Y ASOCIADOS Y AGROINGENIERÍA LTDA (1987). Estudio Integral de Riego. Valle del Elqui. Comisión Nacional de Riego. Santiago, Chile.

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. Santiago, Chile.

INGENDESA-EDIC (1992) Proyecto Puclaro. Capacidad de Embalse y Tipo de Presa. Consorcio de Ingeniería INGENDESA-EDIC LTDA. Dirección de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas. Santiago, Chile.

INPROA (1969) Plan de Área de La Serena. Corporación de la Reforma Agraria. Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile.

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

ISENSEE P, B ESPÍLDORA & G AHUMADA (1977) Modelo de Pronóstico de Caudales de Deshielo en la Cuenca del Río Elqui. Centro de Recursos Hidráulicos, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Publicación CRH 77-5-1. Santiago, Chile.

KLEIMAN P & J TORRES (1964). Río Elqui-Embalse Puclaro. Recuperaciones y Retornos de Riego. Dirección de Obras Hidráulicas. Ministerio de Obras Públicas. Santiago, Chile.

MALLE (2005) Balance Hídrico en Cuencas Nivo-Pluviales de los ríos Elqui, Limarí y Choapa. Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de

La Serena. La Serena, Chile.

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

MINGO S & E VARAS (1999) Aspectos generales de El Niño, su predicción y sus efectos en el medio ambiente. Revista Chilena de Ingeniería Hidráulica. 14(1): 25-38.

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. La Serena, Chile

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. La Serena, Chile.

NOVOA J, R CASTILLO & J DEBONIS (1995) Tendencia de cambio climático mediante análisis de caudales naturales; cuenca del Río La Laguna (Chile Semi-Arido). XVI Congreso Nacional de Geografía - VII Jornada de Cartografía Temática, Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas - Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.

NYENSI B & P LEFALE (2006) El Niño Southern Oscillation (ENSO) and global warming. Advances in Geosciences. (6): 95-101.

PETTERSEN S (1976) Introducción a la Meteorología. Quinta Edición, Espasa-Calpe S.A. Barcelona, España.

PEÑA H & H VIDAL (1989) Estimación de crecidas de deshielo, análisis de las crecidas de noviembre/diciembre de 1987. IX Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica. Santiago, Chile.

PEÑA H & H VIDAL (1991) Estimación estadística de la línea de nieves durante los eventos de precipitación entre las latitudes 28 y 38 grados Sur. XI Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica. Valparaíso, Chile.

PRISMA INGENIERÍA LTDA. (1992) Estudio, actualización de la estadística meteorológica. Evaporación y recorrido del viento. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Hidrología. Santiago, Chile.

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

REG (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. RICARDO EDWARDS GANA INGENIEROS CONSULTORES. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Santiago, Chile.

REG (1991) Estudio de Síntesis de Catastros de Usuarios de Agua e Infraestructuras de Aprovechamiento. RICARDO EDWARDS GANA INGENIEROS Ltda. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, Departamento de Estudios, SIT N-6. Santiago, Chile.

RODRIGUEZ P (1999). Impacto del ENSO en Chile. I. Encuentro de Universidades del Pacífico Sur, 14-16 octubre. Piura, Perú.

TAPIA J (2006) Análisis de Aluviones de Origen Pluvial Cuenca Río Elqui, IV Región. Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de La Serena. La Serena, Chile.

TRENBERTH KE (1997) The definition of El Niño. Bulletin of the American Meteorological Society. 78(12): 2771-2777.

TRIGOS H & I MUNIZAGA (2006) Análisis de modelos hidrológicos de bases físicas para cuencas semi-áridas y estructuración sistema de simulación cuenca Río Elqui. Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil, Universidad de La

Serena. La Serena, Chile.

VEN TE CHOW, D MAIDMENT & L MAYS (1988) Applied Hydrology. McGraw-Hill Publishing Co. New York, USA.

VUILLE M, R BRADLEY & F KEIMIG (2000) Climate variability in the Andes of Ecuador and its relation to Tropical Pacific and Atlantic Sea Surface Temperature Anomalies. Journal of Climate (13): 2520-2535.

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

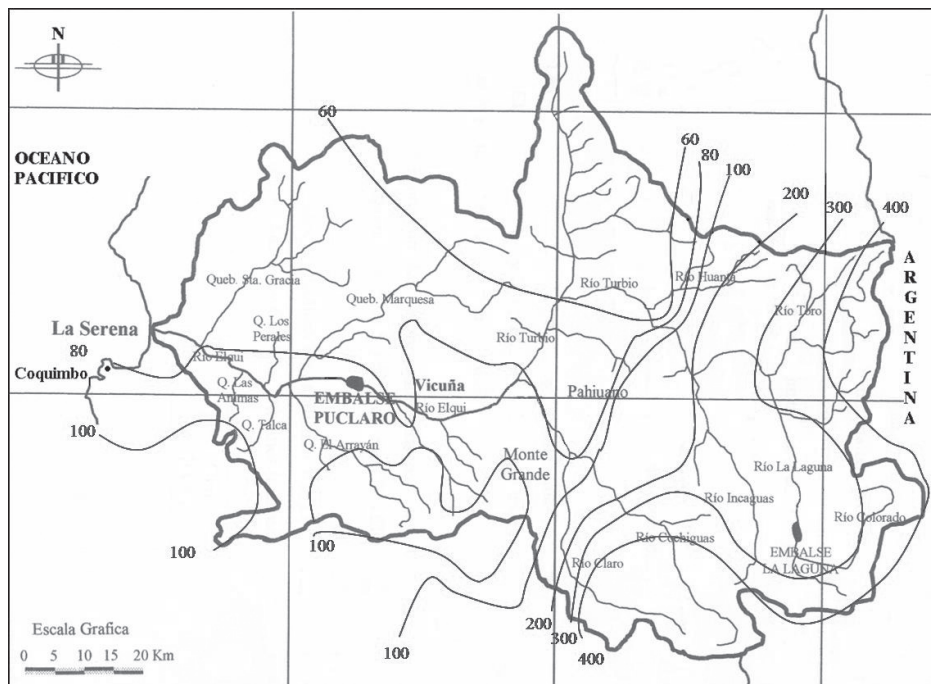
ZAVALA H. (2006) Hidrología del Humedal Tambo-Puquíos. En: Cepeda P, J (ed) Geoecología de los Andes desérticos. La Alta Montaña del Valle del Elqui: 287- 321. Ediciones Universidad de La Serena. La Serena, Chile.

ZAVALA H. (1997) Cálculo del Período de Retorno Crecida Río Elqui en Puclaro, Agosto 1997. Departamento Ingeniería Obras Civiles, Universidad de La Serena. La Serena, Para Constructora Valle Del Elqui, S.A., Consorcio Empresas Mendes Junior (Brasil) y Dividag (Alemania).

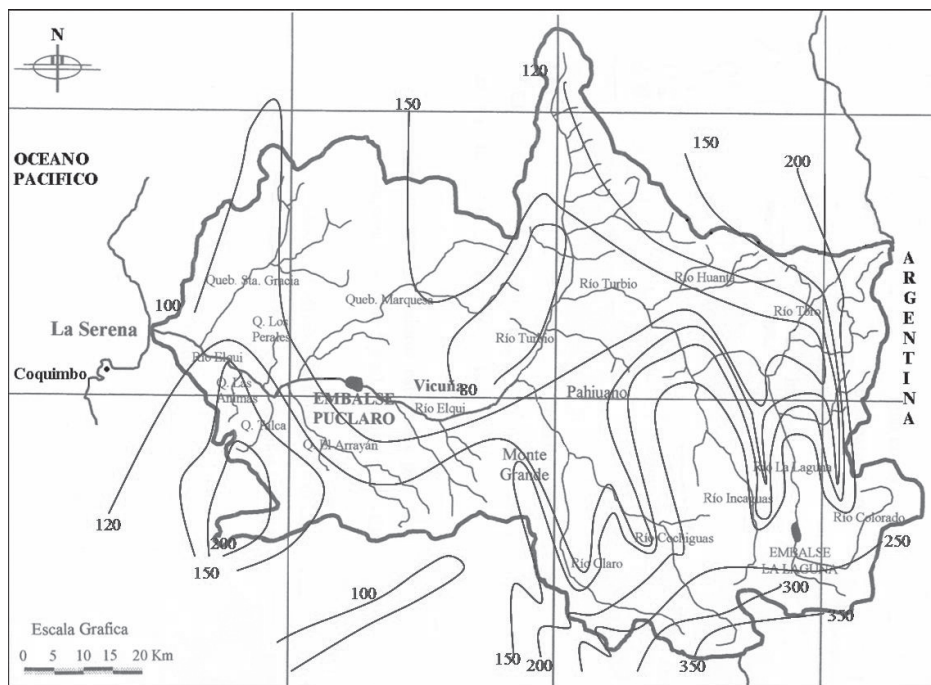
INTERNET

DMC (2006) Meteorología de Chile, pronósticos, imágenes y organización. Dirección meteorológica de Chile. Dirección Aeronáutica Civil de Chile. Ministerio de Defensa Chile. (Consulta: 20 de junio de 2006). Disponible en:<http://www.meteochile.cl>.

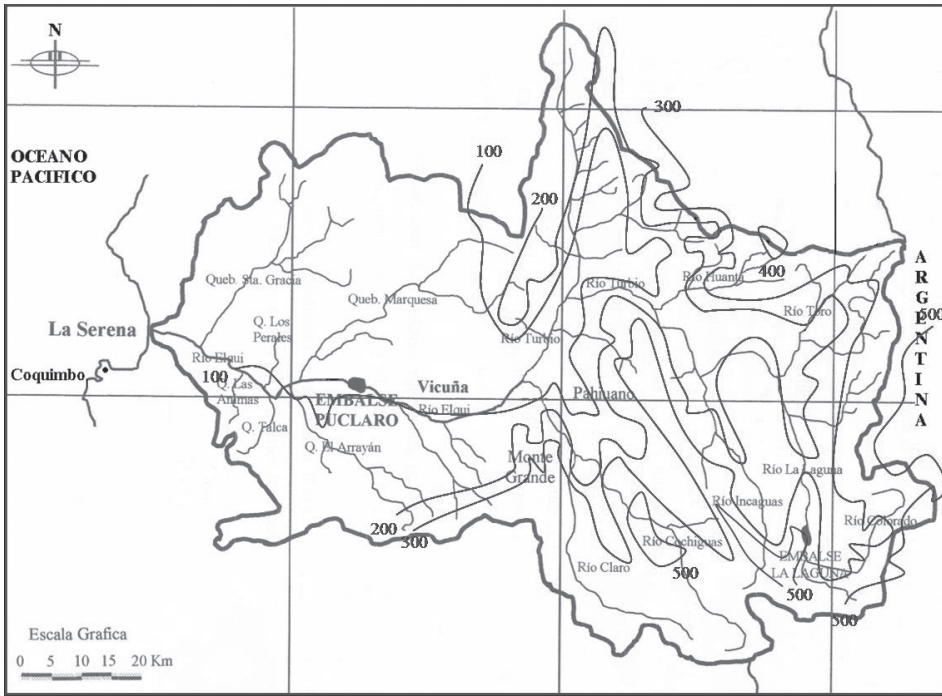
3.10. Anexos



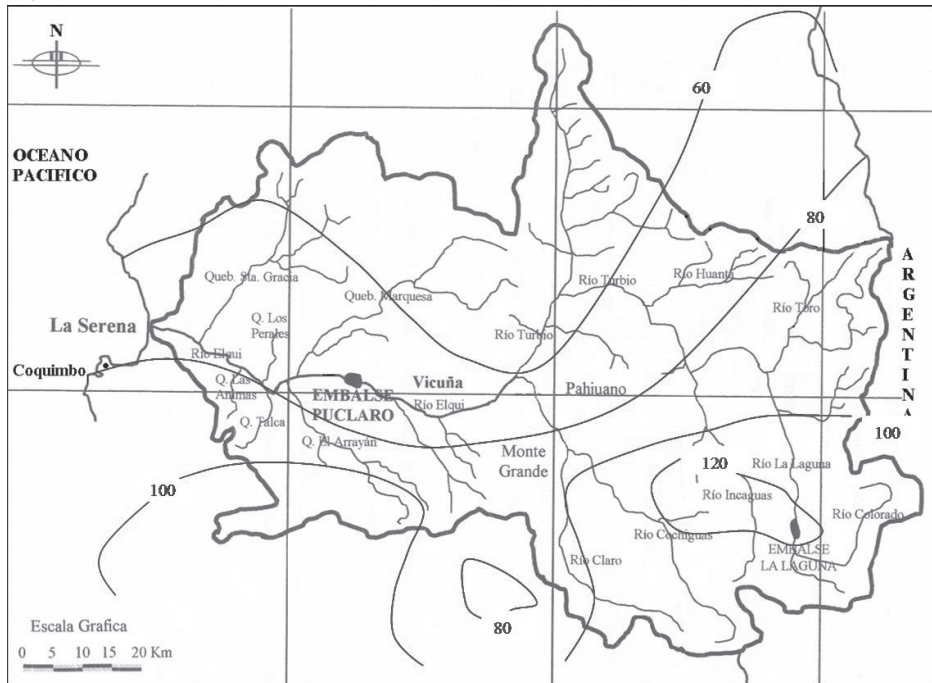
Anexo Fig. 3.1a Mapa de isoyetas cuenca Río Elqui, precipitaciones totales anuales probabilidad de excedencia 50% INA (1987).



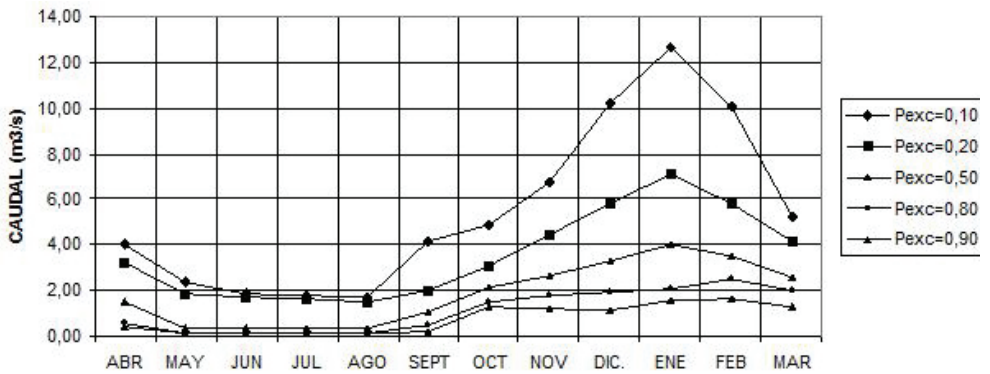
Anexo Fig. 3.1b Mapa de isoyetas cuenca Río Elqui, precipitaciones totales anuales probabilidad de excedencia 50%. Wood (1971).



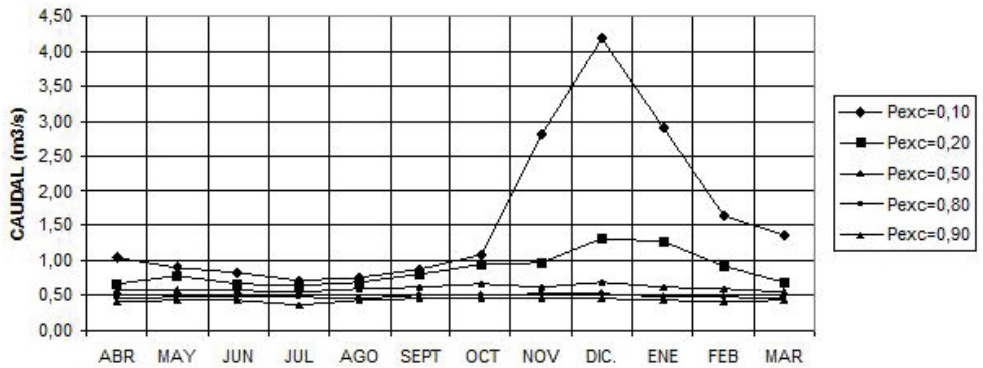
Anexo Fig. 3.1c. Mapa de isoyetas cuenca Río Elqui, precipitaciones medias anuales. Balance Hídrico de Chile (1987).



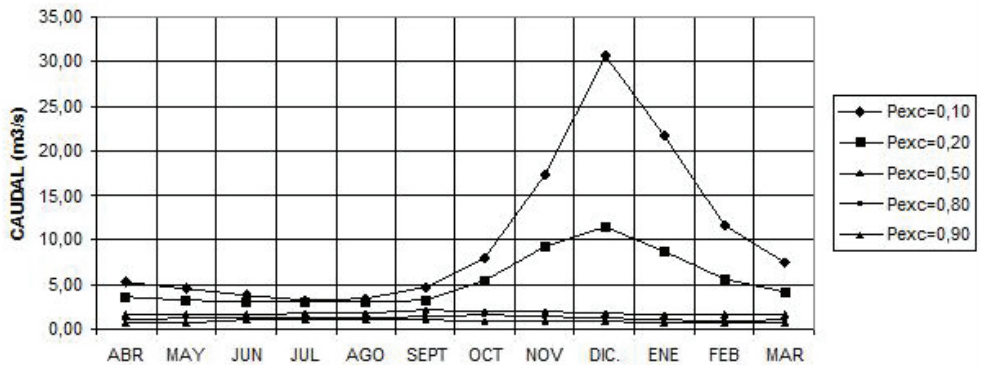
Anexo Fig. 3.1d. Mapa de isoyetas cuenca Río Elqui, precipitaciones totales anuales probabilidad de excedencia 50%. Castillo y Norero (1990).



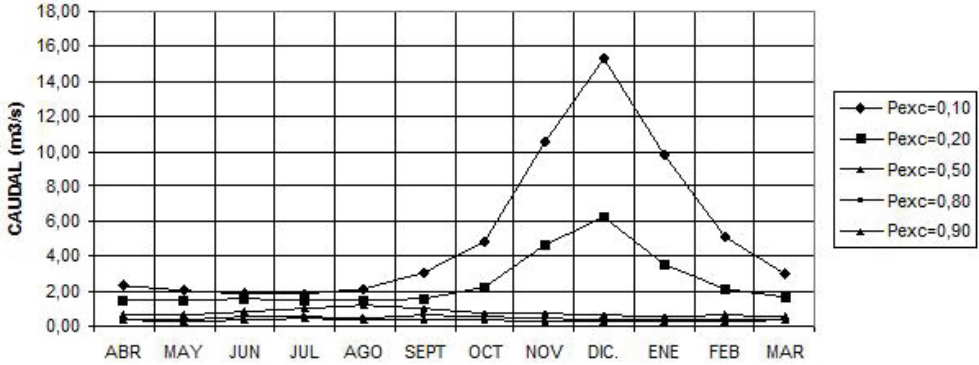
Anexo Fig. 3.2a Curvas de variación estacional caudal observado Río La Laguna en salida embalse.



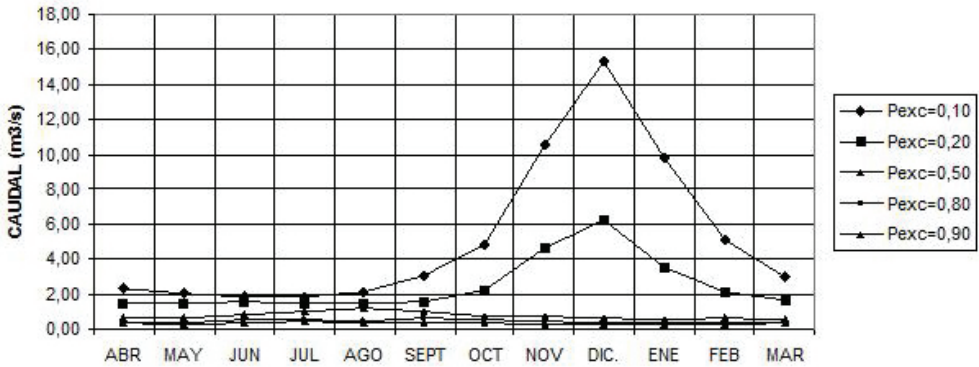
Anexo Fig. 3.2b. Curvas de variación estacional caudal observado Río Toro antes de junta Río La Laguna.



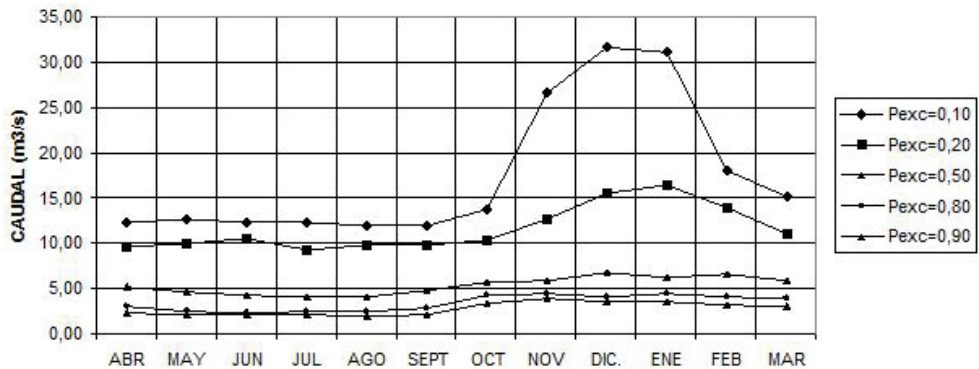
Anexo Fig. 3.2c. Curvas de variación estacional caudal observado Río Cochiguaz en El Peñón.



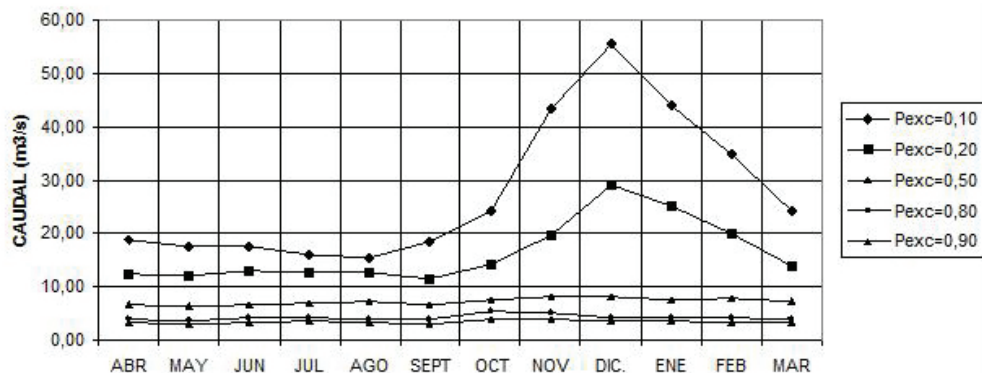
Anexo Fig. 3.2d. Curvas de variación estacional caudal observado Estero Derecho en Alcohuz.



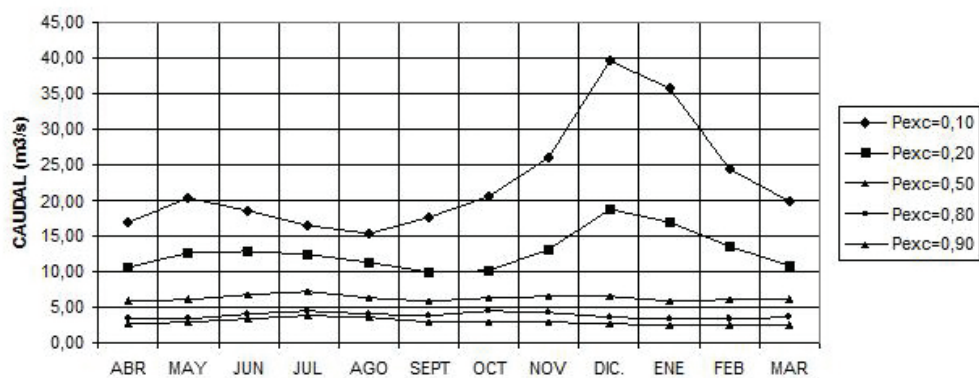
Anexo Fig. 3.2e. Curvas de variación estacional caudal observado Río Turbio en Varillar.



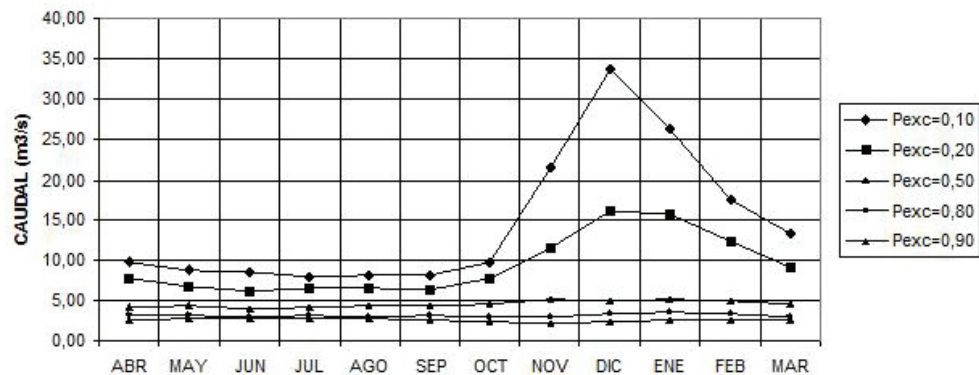
Anexo Fig. 3.2f. Curvas de variación estacional caudal observado Río Claro en Rivadavia.



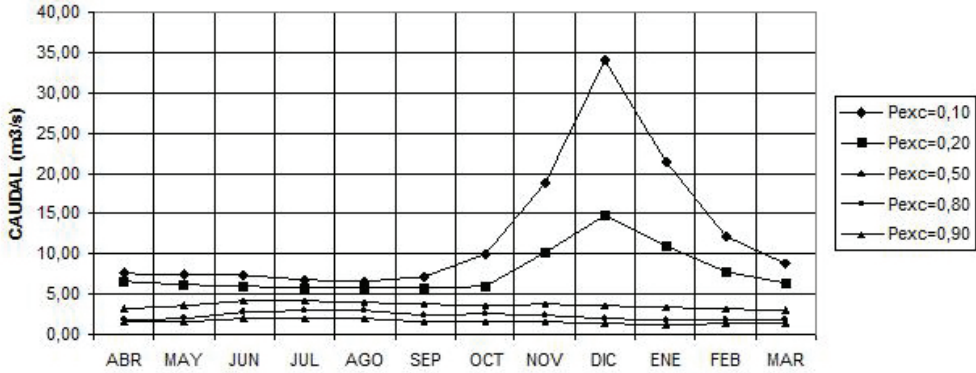
Anexo Fig. 3.2g. Curvas de variación estacional caudal observado Río Elqui en Algarrobal.



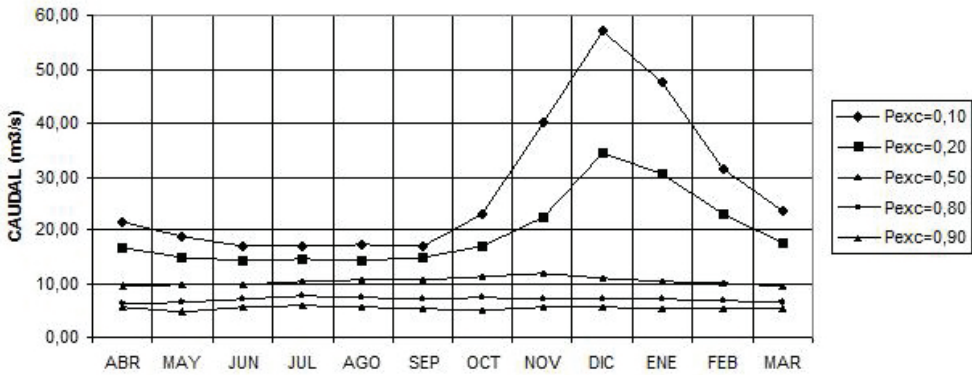
Anexo Fig. 3.2h. Curvas de variación estacional caudal observado Río Elqui en Almendral.



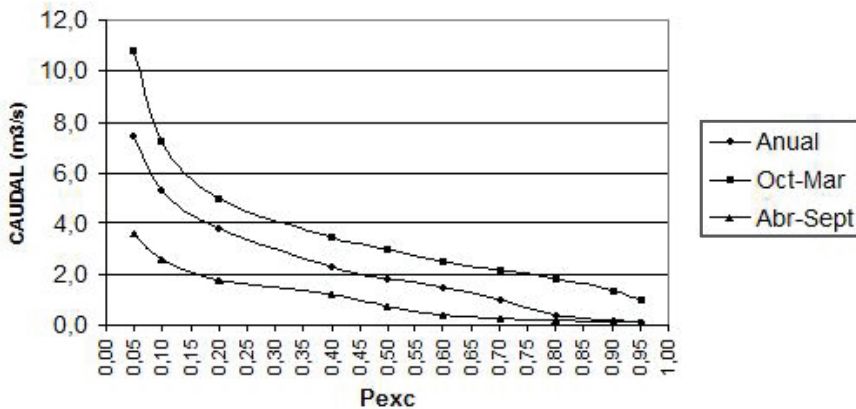
Anexo Fig. 3.3a. Curvas de variación estacional caudal régimen natural Río Turbio en Varillar.



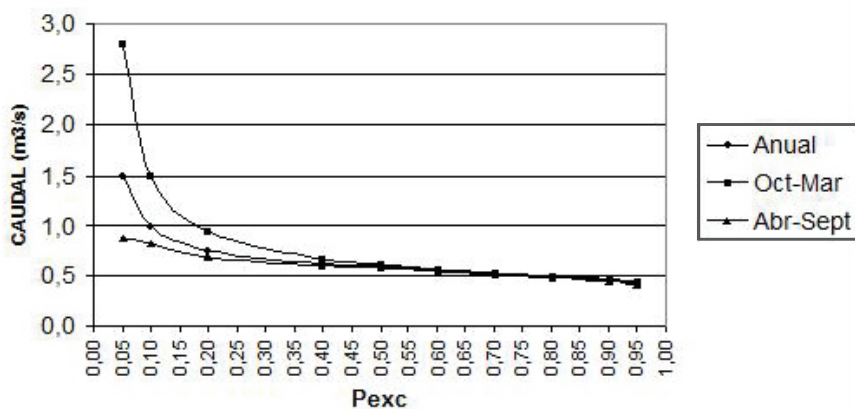
Anexo Fig. 3.3b. Curvas de variación estacional caudal régimen natural Río Claro en Rivadavia.



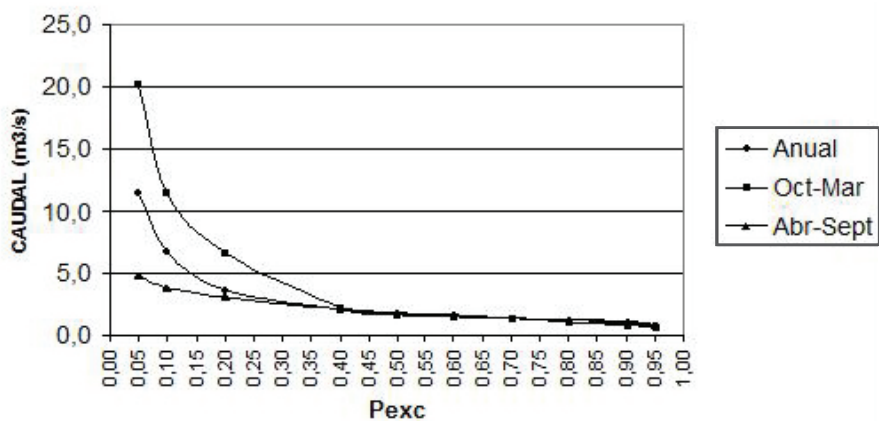
Anexo Fig. 3.3c. Curvas de variación estacional caudal régimen natural Río Elqui en Algarrobal.



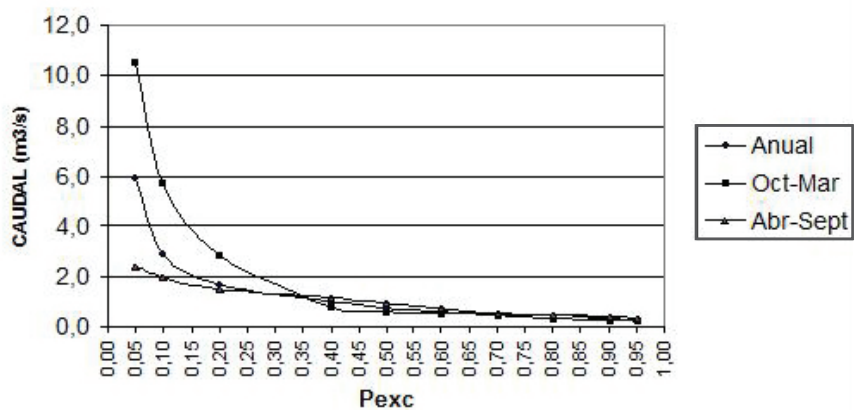
Anexo Fig. 3.4a. Curvas de duración caudal observado Río La Laguna salida embalse.



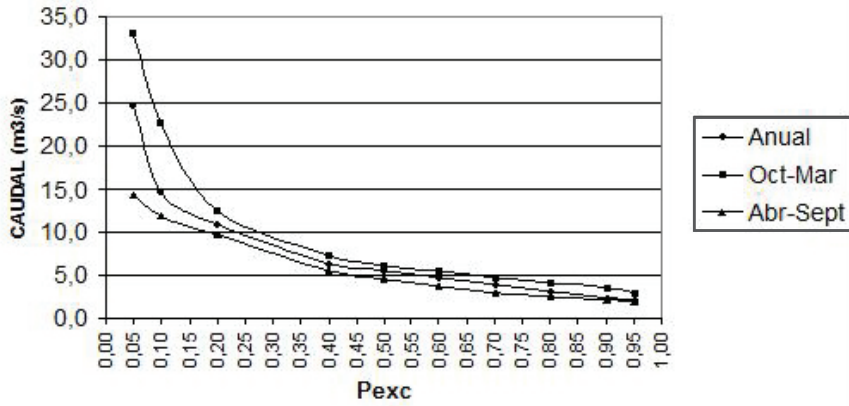
Anexo Fig. 3.4b. Curvas de duración caudal observado Río Toro antes de junta Río La Laguna.



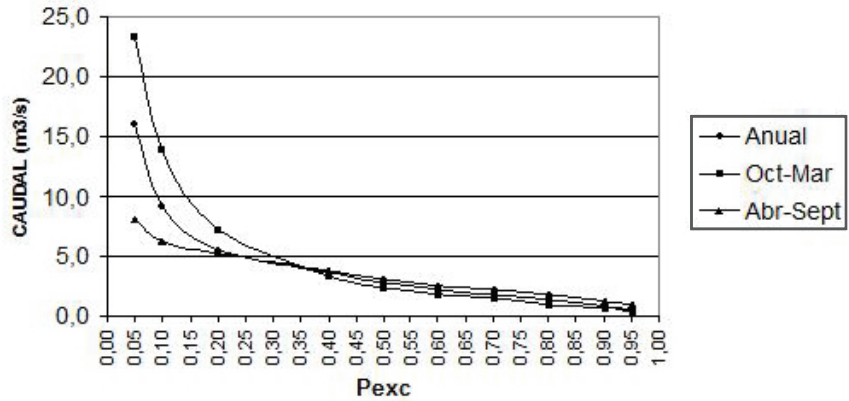
Anexo Fig. 3.4c. Curvas de duración caudal observado Río Cochiguaz en El Peñón.



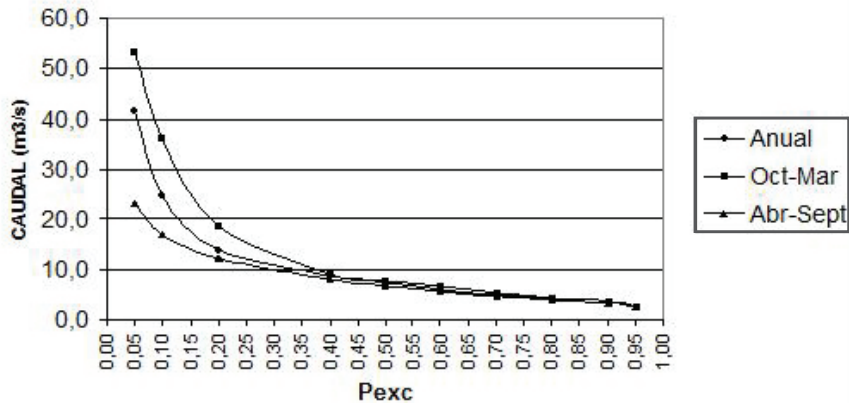
Anexo Fig. 3.4d. Curvas de duración caudal observado Estero Derecho en Alcohuaz.



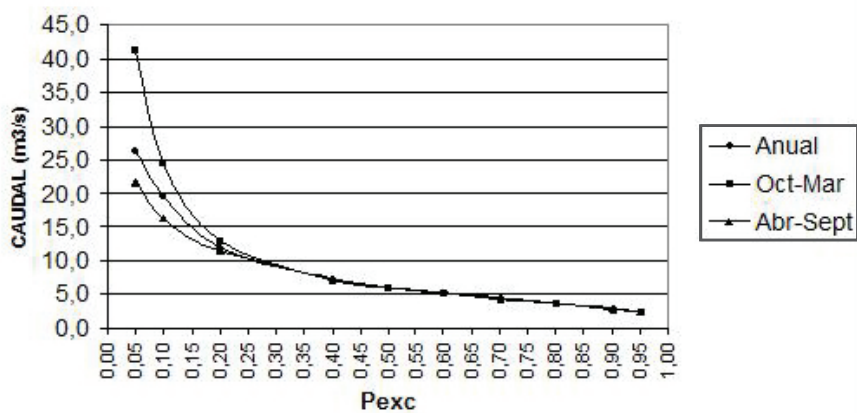
Anexo Fig. 3.4e. Curvas de duración caudal observado Río Turbio en Varillar.



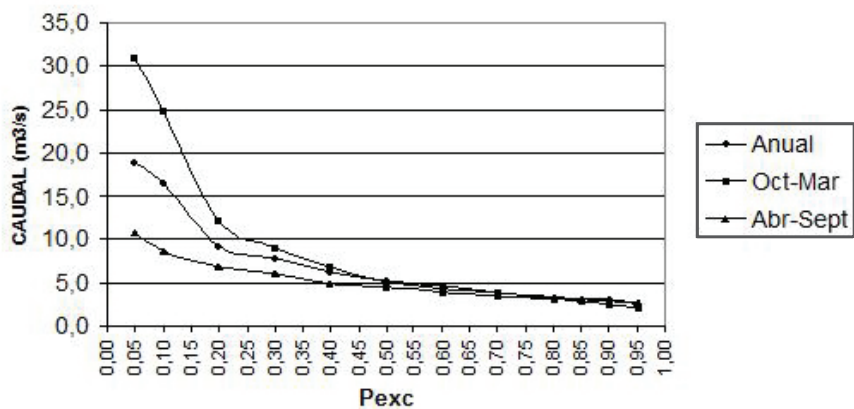
Anexo Fig. 3.4f. Curvas de duración caudal observado Río Claro en Rivadavia.



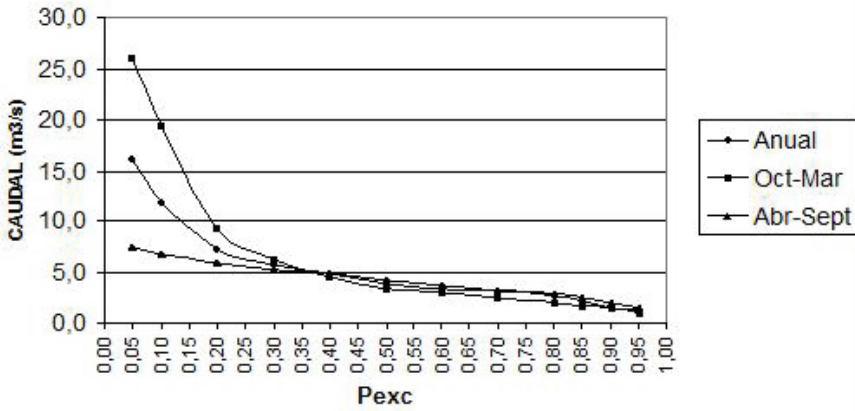
Anexo Fig. 3.4g. Curvas de duración caudal observado Río Elqui en Algarrobal.



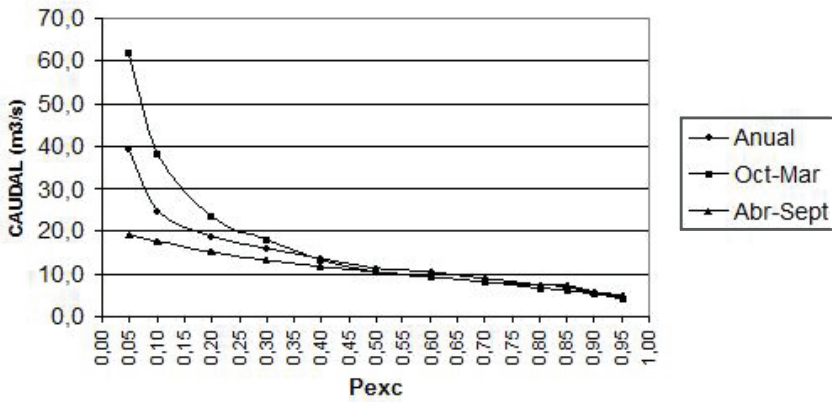
Anexo Fig. 3.4h. Curvas de duración caudal observado Río Elqui en Almendral.



Anexo Fig. 3.5a. Curvas de duración caudal régimen natural Río Turbio en Varillar.



Anexo Fig. 3.5b. Curvas de duración caudal régimen natural Río Claro en Rivadavia.



Anexo Fig. 3.5c. Curvas de duración caudal régimen natural Río Elqui en Algarrobal.

Anexo Tabla 3.1. Resumen características de los sectores cuenca Río Elqui.

Número Sector	Descripción	Nº Canales	Acciones Netas	Acciones Brutas	Capacidad l/s
1	Río Turbio hasta la junta con Río Claro	20	2.086	2.091	1.460
2	Río Cochiguaz, hasta antes de junta con Río Claro	16	1.037	1.037	474
3	Río Claro entre junta con Cochiguaz y Quebrada de Paihuano.	12	1.916	1.916	893
4	Río Claro entre Quebrada de Paihuano y junta con Río Turbio	9	891	901	400
5	Río Elqui desde inicio junta de Río Turbio y Río Claro hasta Embalse Puclaro	31	5.821	6.147	3.617
6	Río Elqui desde Embalse Puclaro hasta Quebrada Marquesa	7	1.706	1.727	1.164
7 - 8 - 9	Río Elqui desde Quebrada Marquesa hasta Punta de Piedra	13	10.556	10.860	6.857
10	Río Elqui desde Punta de Piedra hasta desembocadura	4	647	647	647
TOTALES		112	24.660	25.328	15.512

Anexo Tabla 3.2. Promedio mensual líneas nivales observadas en controles nivométricos.

HOYA	ELQUI	
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

Anexo Tabla 3.3. Estaciones pluviométricas zonas media y alta de la cuenca del Río Elqui y zonas vecinas.

NUM	CUENCA RÍO ELQUI	Período de Operación	Organismo	Altitud	Coord. Geog.	
			Controlador	(msnm)	Lat. (S)	Long. (W)
Estaciones pluviométricas de mayor relevancia cuenca Río Elqui						
2	La Laguna Embalse	1955 – Func.	DGA	3100	30° 12'	70° 02'
3	Huanta	1989 – Func.	DGA	1240	29° 50'	70° 23'
4	Rivadavia	1937 – 1942 1953 – Func.	DGA	850	29° 58'	70° 34'
5	Pisco Elqui	1977 – Func.	DMC	1300	30° 07'	70° 29'
6	Los Nichos	1977 – Func.	DGA	1350	30° 09'	70° 30'
7	La Ortiga	1979 – Func.	DGA	1560	30° 12'	70° 29'
8	Cochiguaz	1989 – Func.	DGA	1560	30° 08'	70° 24'
9	Monte Grande	1958 – Func.	DGA	1155	30° 05'	70° 30'
10	Vicuña	1945 – Func.	INIA	730	30° 02'	70° 41'
11	Puclaro Embalse	1962 – 1966	DOH	460	30° 01'	70° 51'
12	Almendral	1958 – Func.	DGA	430	30° 09'	70° 54'
13	Molino Yaco	1958 – 1965	DGA	1200	29° 57'	70° 17'
14	San Antonio Fundo	1961 – 1963	DGA	1250	29° 51'	71° 05'
15	La Serena Escuela Agrícola	1869 – Func.	DGA	15	29° 54'	71° 15'
18	Juntas Del Toro	1990 – Func.	DGA	2155	29° 58'	70° 05'
19	La Florida	1945 – Func.	DMC	142	29° 54'	71° 12'
20	Andacollo ¹	1963 – Func.	DMC	1100	30° 14'	71° 06'
Algunas estaciones pluviométricas vecinas a cuenca Río Elqui.						
1	El Trapiche	1979 – Func.	DGA	460	29° 21'	71° 07'
16	Pan De Azúcar	1978 – Func.	INIA	100	30° 00'	71° 14'
17	Cerrillos Pobres	1961 – 1969	DGA	150	30° 18'	71° 23'
21	Pta. Tortuga, Coqbo.	1899 – 1968	DMC	25	29° 56'	71° 21'
Estaciones meteorológicas a cargo de CEAZA						
22	Rumpa	2004– Func.	CEAZA	198	6682116	299523
23	Tara ²	2004	CEAZA	300	6686994	311701
24	Pingo	2004– Func.	CEAZA	1212	6667246	356623
25	Puya	2004– Func.	CEAZA	500	6674515	355973
26	Copao	2004– Func.	CEAZA	638	6676272	336792
27	Pacul	2004– Func.	CEAZA	1600	6693258	353467

(¹): Inicialmente a cargo DMC, actualmente operada por Minera Dayton (Andacollo).

(²): Término de funcionamiento en diciembre de 2004

Anexo Tabla 3.4. Precipitación total anual media y probabilidad de excedencia de 20%, 50% (mediana) y 80%, para estaciones de tipo pluvial, nival y rutas de nieve ubicadas en la cuenca Río Elqui.

Tipo	Estaciones	Altura (msnm.)	Precipitación (mm)			
			Pexc			Media Anual
			80%	50%	20%	
Pluvial	La Serena Esc. Agrícola	15	36.7	53.3	149	77.3
	La Florida	142	33.6	67.8	161	84.7
	Almendral	430	24.0	65.5	125	80.9
	Vicuña (INIA)	730	33.9	78.9	165	97.0
	Rivadavia	850	28.0	70.4	156	93.1
	Andacollo	1100	43.0	89.5	201	132
	Monte grande	1155	21.5	52.4	137	74.4
	Molino yaco	1200	14.4	34.2	95.6	49.8
	Huanta	1240	20.4	53.8	114	67.2
	Pisco Elqui DMC	1250	38.5	53.9	208	124
	Los Nichos	1350	47.9	118	293	169
	La Ortiga	1560	43.0	102	215	143
	Cochiguaz	1560	40.7	79.7	175	105
	Juntas del Toro	2155	59.7	105	244	143
	Indio	2800	63.0	110	366	174
La Laguna Embalse	3100	74.5	124	287	170	
Nival	La Laguna Embalse	3100	63.0	166	437	271
	Cerro Olivares (RN)	3550	47.0	122	411	223
	El Indio (RN)	3800	74.0	162	377	231

Anexo Tabla 3.5a. Eventos fenómeno del Niño en el siglo 20: Años y precipitación total anual. Estaciones pluviométricas Quinta Normal (Santiago) y La Florida (La Serena).

Año	Estación Pluviométrica	
	Quinta Normal	La Serena
	Precipitación (mm)	Precipitación (mm)
1902	506	170
1905	616	307
1911	170	32.6
1914	700	254
1918	377	41.6
1925	259	40.3
1929	354	116
1939	323	119
1941	672	210
1953	583	42.3
1957	310	271
1965	413	207
1972	573	188
1976	200	44.2
1982	623	79.6
1986	311	36.3
1992	464	194
1997	709	199
Prep. Media Anual 1900-2000 (mm)	312	104

Anexo Tabla 3.5b. Eventos fenómeno La Niña en el siglo 20, años y precipitación total anual. Estaciones pluviométricas Quinta Normal (Santiago) y La Florida (La Serena).

Año	Estación Pluviométrica	
	Quinta Normal	La Serena
	Precipitación (mm)	Precipitación (mm)
1904	687	271
1908	202	92.3
1910	270	70.5
1916	2225	29.1
1924	66.3	22.0
1928	341	206
1938	202	114
1950	293	80.8
1955	194	44.1
1964	186	25.4
1970	328	31.0
1973	172	58.7
1975	184	68.3
1988	140	9.50
1995	172	12.5
1998	89.3	18.0
Prep. Media Anual 1900-2000 (mm)	312	104

Anexo Tabla 3.5c. Listado de eventos El Niño período 1950-1996, definidos de acuerdo a SST en región 3.4 que exceden umbral aumento de 0.4°C. Según Trenberth (1997).

EVENTOS EL NIÑO					EVENTOS LA NIÑA					
Inicio		Término		Duración		Inicio		Término		Duración
Año	Mes	Año	Mes			Año	Mes	Año	Mes	
1951	Agosto	1951	Febrero	7		1950	Marzo	1951	Febrero	12
1953	Marzo	1953	Noviembre	9		1954	Junio	1956	Marzo	22
1957	Abril	1958	Enero	15		1956	Mayo	1956	Noviembre	7
1963	Junio	1964	Febrero	9		1964	Mayo	1965	Enero	9
1965	Mayo	1966	Junio	14		1970	Julio	1972	Enero	19
1968	Septiembre	1970	Marzo	19		1973	Junio	1974	Junio	13
1972	Abril	1973	Marzo	12		1974	Septiembre	1976	Abril	20
1976	Agosto	1977	Marzo	8	*	1984	Septiembre	1985	Junio	10
1977	Julio	1978	Enero	7	*	1988	Mayo	1989	Junio	14
1979	Octubre	1980	Abril	7		1995	Septiembre	1996	Marzo	7
1982	Abril	1983	Julio	16		1998	-	-	-	-
1986	Agosto	1988	Febrero	19						
1991	Marzo	1992	Julio	17	*					
1993	Febrero	1993	Septiembre	8	*					
1994	Julio	1995	Marzo	10	*					
1997	-	-	-	-						
Promedio Meses Evento :				11,8						13,3

Anexo Tabla 3.5d. Listado de eventos El Niño período 1950-1996, definidos de acuerdo a SST en región 3.4 que exceden umbral aumento de 0.4°C. Según Trenberth (1997).

		EVENTOS EL NIÑO			EVENTOS LA NIÑA				
AÑOS		Mes	Duración	Años	AÑOS	Inicio	Mes	Duración	Años
Inicio	Termino	Inicio	[meses]	Evento	Inicio	Termino	Inicio	[meses]	Evento
1951		Agosto	7	1951	1950		Marzo	12	1950
1953		Marzo	9	1953	1954	1956	Junio	30	1954/55/56
1957		Abril	15	1957	1964		Mayo	9	1964
1963		Junio	9	1963	1970	1972	Julio	19	1970/71
1965	1966	Mayo	14	1965/66	1973	1976	Junio	25	1973/74/75
1968		Septiembre	19	1969	1984		Septiembre	10	1984
1972		Abril	12	1972	1988		Mayo	14	1988
1976	1978	Agosto	18	1976/77	1995		Septiembre	7	1995
1979		Octubre	7	1979	1998		-	-	1998
1982	1983	Abril	16	1982/83					
1986	1987	Agosto	19	1986/87					
1991	1992	Marzo	17	1991/92					
1993		Febrero	8	1993					
1994		Julio	10	1994					
1997		-	-	1997					
Promedio Meses Evento :			12,86					15,75	

(*) Eventos en que el intervalo temporal entre el fin de un evento y el inicio del siguiente es inferior a algunos meses

Anexo Tabla 3.5e. Años con fenómeno El Niño y precipitaciones anuales en algunas estaciones y media cuenca. Comparación con valores medios y medianas periodo 1950-1999.

AÑO	PRECIPITACION TOTAL ANUAL [mm]					MEDIA	MEDIANA
	LA LAGUNA	RIVADAVIA	FLORIDA LA SER.	MEDIA (/4)	MEDIA POLIG. E-Alm.		
1951	124	65,5	45,7	78,5	74,1	NINGUNO	NINGUNO
1953	108	56,0	42,3	69,0	72,7	NINGUNO	NINGUNO
1957	380	199	273	274	243	TODOS	TODOS
1963	357	191	177	238	207	TODOS	TODOS
1965	290	214	208	230	288	TODOS	TODOS
1966	99,0	108	112	113	114		
1969	170	23,5	13,2	55,8	119		
1972	234	138	188	177	97,7	TODOS	TODOS
1976	172	89,5	44,2	98,5	141		
1977	235	68,6	84,8	110	153	TODOS	TODOS
1978	529	104	46,1	186	67,4		
1979	96,0	14,0	3,90	29,5	37,7		
1982	323	115	79,6	151	186	TODOS	TODOS
1983	174	207	161	185	191	TODOS	TODOS
1986	168	70,4	38,2	88,6	158		
1987	388	199	197	245	320	TODOS	TODOS
1991	198	225	118	191	190	TODOS	TODOS
1992	120	148	180	151	158		
1993	74,5	24,9	67,7	51,7	47,4	NINGUNO	NINGUNO
1994	133	56,0	33,6	64,1	73,9	NINGUNO	NINGUNO
1997	423	328	199	305	482	TODOS	TODOS
MEDIA [mm]	170	93,1	84,7	111	118		
MEDIANA (50%) [mm]	124	68,6	67,7	82,8	82,3		

Anexo Tabla 3.5f. Años con fenómeno La Niña y precipitaciones anuales. Algunas estaciones y media cuenca. Comparación con valores medias y medianas periodo 1950-1999.

AÑO	PRECIPITACION TOTAL ANUAL [mm]					MEDIA	MEDIANA
	LA LAGUNA	RIVADAVIA	FLORIDA LA SER.	MEDIA (/4)	MEDIA POLIG. E-Alm.		
1950	92,3	48,8	80,8	70,2	69,6	TODOS	TODOS
1954	147	76,2	89,1	101	81,4	NINGUNO	NINGUNO
1955	150	52,7	76,8	93,8	77,8		
1956	99,0	60,6	63,2	71,5	55,5	TODOS	TODOS
1964	182	75,2	25,4	93,0	103		
1970	86,5	19,5	26,3	39,0	47,0	TODOS	TODOS
1971	86,0	82,0	80,1	82,8	104		
1973	96,8	74,9	58,7	71,8	42,4		
1974	185	42,0	49,7	81,6	112		
1975	124	75,0	68,3	94,0	82,3	TODOS	
1984	353	337	178	279	351	NINGUNO	NINGUNO
1988	48,5	19,8	8,60	21,7	35,3	TODOS	TODOS
1995	41,0	2,00	12,7	14,3	31,1	TODOS	TODOS
1998	26,0	23,5	19,3	23,7	44,9	TODOS	TODOS
MEDIA [mm]	170	93,1	84,7	111	118		
MEDIANA (50%) [mm]	124	68,6	67,7	82,8	82,3		

Anexo Tabla 3.6a. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (I-D-F). Estación pluviométrica Rivadavia de acuerdo a Manual de Carreteras (2002).

Periodo Retorno	Duración (horas)									
	1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
10	9.73	8.35	7.10	6.49	6.03	5.55	5.05	4.53	3.92	3.38
25	11.97	10.30	8.78	8.08	7.55	6.96	6.35	5.70	4.96	4.29
50	13.62	11.74	10.03	9.26	8.68	8.01	7.32	6.57	5.73	4.96
100	15.27	13.18	11.28	10.43	9.80	9.06	8.28	7.44	6.49	5.63

Anexo Tabla 3.6b. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (I-D-F) Estación pluviométrica Rivadavia de acuerdo a Leyton & Espinoza (2007).

Periodo Retorno	Duración (horas)											
	0.25	0.50	0.75	1	2	3	4	6	8	10	12	24
100	22.37	16.37	14.96	14.67	13.24	11.72	10.74	9.78	8.81	8.40	7.86	6.10
75	21.34	15.70	14.37	14.06	12.66	11.20	10.26	9.33	8.40	7.9	7.47	5.77
50	19.89	14.77	13.53	13.21	11.85	10.48	9.59	8.70	7.82	7.42	6.92	5.30
25	17.40	13.17	12.10	11.74	10.45	9.25	8.44	7.62	6.83	6.43	5.97	4.50
10	14.11	11.06	10.21	9.81	8.61	7.62	6.92	6.20	5.51	5.13	4.72	3.45
5	11.63	9.46	8.78	8.35	7.22	6.39	5.77	5.12	4.52	4.15	3.78	2.66
2	8.34	7.35	6.89	6.42	5.38	4.75	4.25	3.70	3.20	2.85	2.53	1.60

Anexo Tabla 3.6c. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (I-D-F) Estación pluviométrica Pan de Azúcar (estación fuera de los límites cuenca Río Elqui) de Acuerdo a Leyton & Espinoza (2007).

Periodo Retorno	Duración (horas)											
	0.25	0.50	0.75	1	2	3	4	6	8	10	12	24
100	37.52	29.60	27.80	26.30	21.65	20.19	18.60	16.56	14.42	13.26	12.07	8.78
75	35.65	28.17	26.43	24.98	20.55	19.12	17.60	15.64	13.60	12.51	11.37	8.26
50	33.01	26.15	24.49	23.13	18.99	17.62	16.18	14.34	12.46	11.44	10.39	7.52
25	28.49	22.70	21.18	19.96	16.34	15.05	13.77	12.11	10.50	9.62	8.72	6.27
10	22.53	18.14	16.81	15.78	12.83	11.65	10.57	9.17	7.92	7.21	6.52	4.61
5	18.01	14.69	13.50	12.61	10.17	9.09	8.15	6.94	5.96	5.39	4.85	3.36
2	12.04	10.13	9.13	8.42	6.66	5.69	4.95	4.00	3.38	2.98	2.64	1.70

Anexo Tabla 3.7. Precipitaciones totales anuales y medias móviles, estación La Serena en La Florida 1914-1999.

PRECIPITACIONES TOTALES ANUALES							
ESTACIÓN :		LA FLORIDA - LA SERENA		MEDIAS MOVILES (mm/año)			
Latitud :		30°36' S		Longitud :		71°12' O	
		Elevación :				220 m	
						Per. 1914-1999	
Período en Años	Media Móvil a 30 Años	Período en Años	Media Móvil a 30 Años	Período en Años	Media Móvil a 30 Años	Período en Años	Media Móvil a 30 Años
1869-1898	139.5	1895-1924	130.2	1921-1950	116.1	1947-1976	87.7
1870-1899	144.7	1896-1925	129.9	1922-1951	113.3	1948-1977	89.4
1871-1900	148.4	1897-1926	135.4	1923-1952	114.0	1949-1978	88.5
1872-1901	149.7	1898-1927	133.7	1924-1953	109.8	1950-1979	85.6
1873-1902	153.0	1899-1928	136.0	1925-1954	112.0	1951-1980	85.9
1874-1903	156.3	1900-1929	131.1	1926-1955	112.2	1952-1981	86.7
1875-1904	161.1	1901-1930	130.0	1927-1956	108.7	1953-1982	83.9
1876-1905	168.2	1902-1931	127.9	1928-1957	113.1	1954-1983	87.8
1877-1906	171.2	1903-1932	126.4	1929-1958	111.5	1955-1984	90.8
1878-1907	169.2	1904-1933	122.1	1930-1959	110.9	1956-1985	90.5
1879-1908	169.9	1905-1934	119.0	1931-1960	104.7	1957-1986	88.5
1880-1909	167.5	1906-1935	111.2	1932-1961	105.6	1958-1987	86.0
1881-1910	157.6	1907-1936	107.1	1933-1962	102.6	1959-1988	81.0
1882-1911	150.8	1908-1937	106.3	1934-1963	106.8	1960-1989	79.7
1883-1912	149.8	1909-1938	107.0	1935-1964	101.6	1961-1990	79.9
1884-1913	144.3	1910-1939	109.3	1936-1965	106.2	1962-1991	78.9
1885-1914	149.2	1911-1940	112.9	1937-1966	107.9	1963-1992	84.3
1886-1915	145.5	1912-1941	118.8	1938-1967	107.4	1964-1993	80.5
1887-1916	143.3	1913-1942	122.0	1939-1968	104.7	1965-1994	80.9
1888-1917	142.6	1914-1943	123.9	1940-1969	101.0	1966-1995	74.4
1889-1918	130.2	1915-1944	120.3	1941-1970	96.1	1967-1996	72.2
1890-1919	137.8	1916-1945	119.5	1942-1971	91.8	1968-1997	76.1
1891-1920	133.1	1917-1946	121.0	1943-1972	93.3	1969-1998	75.6
1892-1921	128.6	1918-1947	119.8	1944-1973	92.4	1970-1999	77.2
1893-1922	132.8	1919-1948	120.8	1945-1974	89.2	1971-2000	79.7
1894-1923	135.7	1920-1949	113.6	1946-1975	88.7		

Anexo Tabla 3.8. Estaciones fluviométricas cuenca Río Elqui.

Nº	Estación	Fecha inst.	Altitud (msnm)	Lat. (S)	Long. (W)	Área (km²)	Tipo Instr.
1	Río La Laguna en Salida Embalse La Laguna	dic-28	3130	30° 12'	70° 2'	560	Lg
2	Río Toro Antes Junta Río La Laguna	may-66	2050	29° 58'	70° 5'	426,7	Lg
3	Río Turbio en Varillar	dic-14	860	29° 57'	70° 32'	4148	Lg Dig
4	Río Cochiguaz en El Peñón	dic-83	1360	30° 7'	70° 25'	440	Lg
5	Estero Derecho en Alcohuaz	dic-83	1645	30° 13'	70° 29'	325	Lg
6	Río Claro en Rivadavia	dic-14	820	29° 59'	70° 33'	1502	Lg Dig
7	Río Elqui en Algarrobal	dic-16	760	30° 0'	70° 35'	5729	Sat
8	Río Elqui en Almendral	dic-18	395	29° 59'	70° 54'	6681	Lg Dig
9	Río Elqui en La Serena	dic-85	20	29° 53'	70° 15'	9794	Lm

Anexo Tabla 3.9a. Caudales observados medios mensuales, medios anuales y estacionales [m³/s]. Estaciones fluviométricas cuenca Río Elqui.

ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA	MES												PERÍODO ANUAL - ESTAC.		
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL	A-S	O-M
Toro en Junta Río La Laguna	0,61	0,60	0,59	0,56	0,60	0,64	0,71	0,95	1,18	0,97	0,73	0,67	0,73	0,60	0,87
La Laguna en salida Embalse	1,87	1,00	0,79	0,78	0,75	1,63	2,60	3,40	4,39	4,92	4,36	3,06	2,46	1,14	3,79
Turbio en Varillar	6,76	6,22	5,98	5,93	5,92	6,37	8,34	10,1	12,2	11,8	10,2	8,61	8,20	6,20	10,2
Cochiguaz en El Peñón	2,26	2,15	2,03	2,04	2,21	2,44	3,16	4,98	7,01	5,09	3,36	2,62	3,28	2,19	4,37
Derecho en Alcohuaz	0,92	0,93	1,02	1,07	1,17	1,28	1,47	2,54	3,52	2,24	1,35	0,97	1,54	1,07	2,01
Claro en Rivadavia	3,36	3,73	4,02	4,10	3,99	3,80	4,29	6,58	8,71	6,58	4,36	3,48	4,75	3,83	5,67
Elqui en Algarrobal	9,16	9,08	9,38	9,30	9,06	9,25	11,1	15,3	20,2	16,3	13,5	10,3	11,8	9,20	14,4
Elqui en Almendral	7,68	8,41	8,98	9,18	8,11	8,18	9,18	11,0	14,5	12,9	10,2	8,33	9,72	8,42	11,0

Anexo Tabla 3.10a. Caudales observados medios anuales obtenidos de estudios anteriores.

ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA	MES											
	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Toro en Junta Río La Laguna	0,43	0,38	0,21	0,19	0,19	0,23	0,31	0,87	1,11	0,94	0,55	0,48
La Laguna en salida Embalse	0,71	1,12	1,05	0,93	0,94	1,08	0,71	0,74	0,84	0,82	0,70	0,54
Turbio en Varillar	0,86	0,86	0,84	0,84	0,89	0,81	0,85	0,96	1,12	1,08	1,07	1,05
Cochiguaz en El Peñón	0,70	0,63	0,53	0,46	0,46	0,52	0,77	1,15	1,47	1,39	1,10	0,87
Derecho en Alcohuaz	0,76	0,70	0,62	0,51	0,56	0,72	1,14	1,37	1,64	1,58	1,29	0,96
Claro en Rivadavia	0,90	0,75	0,67	0,73	0,85	0,85	1,18	1,25	1,41	1,54	1,17	1,07
Elqui en Algarrobal	0,86	0,87	0,86	0,86	0,86	0,83	0,91	1,08	1,35	1,14	0,94	0,90
Elqui en Almendral	0,79	0,78	0,74	0,77	0,82	0,86	0,97	1,03	1,33	1,27	0,94	0,83

Anexo Tabla 3.9b. Coeficientes de variación de caudales observados medios mensuales, estaciones fluviométricas cuenca Río Elqui.

ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA	INA (1987)	BF (1992)	Balance Hídrico
	Período 1940/41-1980/81	Período 1950/51-1989/90	
La Laguna en Salida Embalse	-	2,24	2.00
Turbio en Huanta	6,19	-	5.26
Turbio en Varillar	5,89	6,13	5.05
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	4,10	-	3.10

Anexo Tabla 3.10b. Caudales medios anuales. Distintos periodos de datos.

ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA	PERIODOS						
	TODO EL PERIODO	1948/49	1948/49	1952/53	1980/81	1985/86	1985/86
		-	-	-	-	-	-
		1989/90	1999/00	1998/99	1989/90	1998/99	1998/99
(FUNCIÓN ESTACIÓN)				(10 años)			
	[m3/s]					[mm/Año]	
Toro en Junta Río La Laguna						0,74	54,9
La Laguna en salida Embalse	2,38			2,17	3,00	2,33	131
Turbio en Varillar	8,32	6,01	6,13	6,34	8,72	7,32	55,7
Cochiguaz en El Peñón						3,09	221
Derecho en Alcohuaz						1,43	139
Claro en Rivadavia	4,75	3,78	4,10	4,27	6,16	5,02	105
Elqui en Algarrobal	11,8	9,44	9,86	10,2	15,8	12,8	70,3
Elqui en Almendral	10,0	8,45	8,77	9,28	14,6	12,0	56,8

Anexo Tabla 3.11a. Curvas variación estacional Q observados Río La Laguna.

PROB. EXCEDENC.	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SET	OCT.	NOV	DIC.	ENERO	FEB	MARZO
0,05	4.19	3.74	2.71	1.99	2.16	7.26	7.10	9.95	14.2	16.1	11.1	6.06
0,10	4.00	2.36	1.84	1.83	1.72	4.19	4.86	6.73	10.2	12.6	10.0	5.21
0,20	3.23	1.87	1.69	1.68	1.49	2.03	3.10	4.47	5.79	7.14	5.79	4.19
0,40	1.77	0.94	0.45	0.43	0.62	1.52	2.50	3.38	4.14	4.24	3.98	3.19
0,50	1.49	0.37	0.33	0.35	0.39	1.09	2.16	2.66	3.31	4.03	3.49	2.55
0,60	1.29	0.29	0.25	0.30	0.29	0.96	2.01	2.54	2.7	3.12	3.29	2.45
0,70	1.09	0.24	0.20	0.22	0.25	0.61	1.77	2.09	2.13	2.57	2.86	2.25
0,80	0.54	0.18	0.17	0.17	0.18	0.49	1.49	1.80	1.94	2.05	2.48	2.02
0,90	0.40	0.11	0.13	0.14	0.13	0.21	1.32	1.19	1.18	1.54	1.62	1.32
0,95	0.12	0.10	0.10	0.10	0.11	0.16	1.00	0.45	0.37	1.27	1.01	0.76

Anexo Tabla 3.11b. Curvas variación estacional Q observados Río Toro.

PROB. EXCEDENC.	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SET	OCT.	NOV	DIC.	ENERO	FEB	MARZO
0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,10	1,044	0,909	0,835	0,727	0,776	0,879	1,082	2,802	4,180	2,890	1,642	1,370
0,20	0,676	0,790	0,675	0,656	0,693	0,805	0,959	0,972	1,326	1,266	0,919	0,693
0,40	0,586	0,594	0,616	0,591	0,644	0,680	0,723	0,676	0,763	0,691	0,600	0,602
0,50	0,570	0,570	0,587	0,566	0,612	0,628	0,667	0,624	0,689	0,620	0,595	0,564
0,60	0,530	0,521	0,530	0,540	0,550	0,541	0,591	0,620	0,575	0,555	0,545	0,534
0,70	0,496	0,484	0,502	0,531	0,484	0,513	0,539	0,602	0,558	0,517	0,515	0,497
0,80	0,461	0,480	0,490	0,477	0,468	0,504	0,515	0,530	0,533	0,489	0,486	0,475
0,90	0,414	0,434	0,434	0,378	0,446	0,468	0,466	0,459	0,468	0,444	0,428	0,449
0,95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Anexo Tabla 3.11c. Curvas variación estacional Q observados Río Cochiguaz.

PROB. EXCEDENC.	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SET	OCT.	NOV	DIC.	ENERO	FEB	MARZO
0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,10	5,318	4,528	3,770	3,228	3,457	4,716	7,936	17,24	30,57	21,70	11,64	7,522
0,20	3,612	3,248	3,148	3,096	3,092	3,200	5,442	9,272	11,452	8,716	5,720	4,194
0,40	2,082	2,080	1,916	2,080	2,434	2,382	2,246	2,564	2,832	2,294	2,160	2,068
0,50	1,550	1,690	1,670	1,790	1,905	2,105	2,040	1,945	1,785	1,610	1,550	1,550
0,60	1,460	1,392	1,452	1,664	1,784	1,830	1,926	1,800	1,486	1,376	1,382	1,376
0,70	1,262	1,324	1,384	1,516	1,394	1,784	1,751	1,711	1,446	1,194	1,164	1,214
0,80	1,095	1,258	1,280	1,292	1,306	1,518	1,636	1,498	1,233	1,066	0,994	1,102
0,90	0,814	0,766	1,092	1,018	1,113	1,118	0,950	0,852	0,828	0,740	0,738	0,646
0,95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Anexo Tabla 3.11d. Curvas variación estacional Q observados Río Derecho.

PROB. EXCEDENC.	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SET	OCT.	NOV	DIC.	ENERO	FEB	MARZO
0,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,10	2,37	2,07	1,91	1,89	2,16	3,09	4,84	10,5	15,2	9,83	5,10	3,00
0,20	1,47	1,47	1,58	1,46	1,53	1,62	2,27	4,69	6,22	3,59	2,16	1,64
0,40	0,67	0,97	1,17	1,22	1,37	1,19	0,94	1,10	1,15	0,79	0,68	0,59
0,50	0,65	0,67	0,83	1,04	1,17	1,04	0,77	0,76	0,61	0,55	0,62	0,56
0,60	0,54	0,55	0,66	0,98	1,05	0,94	0,69	0,73	0,54	0,52	0,47	0,49
0,70	0,50	0,49	0,58	0,67	0,78	0,86	0,60	0,53	0,51	0,40	0,40	0,39
0,80	0,40	0,41	0,53	0,55	0,50	0,65	0,53	0,46	0,39	0,33	0,33	0,35
0,90	0,39	0,32	0,33	0,45	0,41	0,37	0,35	0,29	0,26	0,25	0,27	0,33
0,95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Anexo Tabla 3.11e. Curvas variación estacional Q observados Río Turbio en Varillar.

PROB. EXCEDENC.	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SET	OCT.	NOV	DIC.	ENERO	FEB	MARZO
0,05	18,1	15,4	13,2	13,4	13,1	19,4	28,6	33,2	49,7	43,4	32,9	25,3
0,10	12,4	12,6	12,4	12,2	11,9	12,0	13,7	26,6	31,6	31,1	18,1	15,2
0,20	9,73	9,95	10,5	9,37	9,79	9,82	10,3	12,7	15,6	16,5	13,9	11,0
0,40	6,23	5,67	5,08	5,59	5,25	5,47	6,65	7,83	8,50	9,27	8,01	7,24
0,50	5,13	4,60	4,31	4,19	4,10	4,78	5,70	5,87	6,78	6,26	6,56	5,92
0,60	4,28	3,79	3,52	3,47	3,48	3,94	5,26	5,41	5,51	5,64	5,54	5,26
0,70	3,43	3,01	2,90	2,82	2,83	3,60	4,86	5,04	4,82	4,88	4,83	4,57
0,80	3,01	2,47	2,37	2,44	2,44	2,90	4,36	4,38	4,04	4,38	4,17	3,84
0,90	2,41	2,20	2,17	2,13	1,99	2,22	3,48	3,85	3,66	3,66	3,28	2,97
0,95	2,18	1,87	1,89	1,91	1,77	1,93	2,98	3,24	3,00	2,79	2,89	2,55

Anexo Tabla 3.11f. Curvas variación estacional Q observados Río Claro en Rivadavia.

PROB. EXCEDENC.	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SET	OCT.	NOV	DIC.	ENERO	FEB	MARZO
0,05	7,55	8,20	7,89	7,14	8,40	11,82	16,29	31,11	50,80	34,32	17,10	9,62
0,10	6,02	6,52	6,53	5,69	6,28	7,49	11,02	22,60	27,18	16,02	10,54	7,35
0,20	5,10	5,41	5,35	5,35	4,89	4,82	5,97	10,80	13,46	9,92	6,42	5,08
0,40	3,05	3,90	3,99	4,14	3,93	3,23	2,87	3,70	4,43	3,69	3,45	3,20
0,50	2,53	3,11	3,52	3,48	3,21	2,64	2,32	2,53	2,75	2,39	2,56	2,48
0,60	1,94	2,49	2,92	3,07	2,56	2,28	1,92	1,88	1,68	1,75	1,77	1,90
0,70	1,56	1,91	2,67	2,64	2,42	2,03	1,70	1,68	1,48	1,42	1,38	1,41
0,80	1,13	1,55	2,04	2,31	2,06	1,73	1,45	1,24	1,00	0,89	0,92	0,93
0,90	0,89	1,26	1,65	1,98	1,73	1,37	0,97	0,69	0,62	0,54	0,55	0,67
0,95	0,47	0,64	1,16	1,45	1,28	0,97	0,79	0,49	0,40	0,36	0,35	0,52

Anexo Tabla 3.11g. Curvas variación estacional Q observados Río Elqui en Algarrobal.

PROB. EXCEDENC.	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SET	OCT.	NOV	DIC.	ENERO	FEB	MARZO
0,05	25,10	24,48	31,73	22,13	19,98	25,40	34,73	60,48	81,86	64,74	45,30	28,22
0,10	18,82	17,65	17,65	16,20	15,40	18,40	24,25	43,45	55,40	43,94	34,75	24,16
0,20	12,42	12,20	13,00	12,60	12,80	11,54	14,30	19,70	28,96	25,28	20,00	13,94
0,40	8,51	8,79	8,36	8,74	8,31	8,12	8,24	9,66	11,96	9,87	9,96	8,76
0,50	6,66	6,35	6,69	7,08	7,30	6,80	7,59	8,28	8,05	7,56	7,82	7,40
0,60	5,58	5,09	5,74	5,86	6,17	6,20	6,98	7,37	6,69	6,15	6,15	6,06
0,70	4,73	4,35	4,86	5,47	4,62	5,50	5,99	6,07	5,52	5,17	5,14	4,92
0,80	3,89	3,57	4,26	4,25	4,01	3,96	5,47	5,28	4,33	4,30	4,31	4,03
0,90	3,26	2,94	3,28	3,55	3,34	3,15	3,89	3,81	3,67	3,65	3,45	3,47
0,95	2,62	2,40	2,68	2,80	2,52	2,58	3,43	2,90	2,42	2,42	2,55	2,51

Anexo Tabla 3.11h. Curvas variación estacional Q observados Río Elqui Almendral.

PROB. EXCEDENC.	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SET	OCT.	NOV	DIC.	ENERO	FEB	MARZO
0,05	22,9	23,5	21,3	22,4	16,7	24,7	32,2	45,1	79,4	75,5	40,7	26,2
0,10	17,0	20,3	18,5	16,4	15,4	17,6	20,5	25,9	39,7	35,7	24,4	19,9
0,20	10,7	12,6	13,0	12,4	11,3	9,97	10,1	13,2	18,7	17,0	13,7	10,9
0,40	6,77	7,63	8,64	7,94	7,65	6,78	6,99	7,27	7,88	7,09	7,04	7,30
0,50	5,90	6,03	6,68	7,26	6,22	5,97	6,22	6,46	6,45	5,84	6,09	6,18
0,60	5,02	5,15	5,49	6,11	5,33	5,13	6,01	5,65	5,13	4,87	4,73	4,93
0,70	4,02	3,91	4,91	5,51	4,75	4,48	5,29	5,01	4,53	4,12	4,09	4,35
0,80	3,40	3,41	4,16	4,52	4,17	3,82	4,47	4,28	3,57	3,45	3,29	3,51
0,90	2,65	2,93	3,33	3,83	3,70	2,97	2,94	2,90	2,80	2,52	2,48	2,57
0,95	2,42	2,35	2,86	2,96	2,62	2,54	2,57	2,45	2,07	2,17	2,31	2,38

Anexo Tabla 3.12a. Curvas de duración Q observados Río La Laguna.

P.EXC.	ANUAL	OCT-MARZ	ABR-SET.
0,05	7,41	10,8	3,59
0,10	5,35	7,20	2,60
0,20	3,81	5,00	1,79
0,40	2,32	3,49	1,25
0,50	1,81	2,98	0,74
0,60	1,47	2,55	0,40
0,70	1,03	2,19	0,29
0,80	0,39	1,82	0,20
0,90	0,20	1,37	0,14
0,95	0,14	1,02	0,11

Anexo Tabla 3.12b. Curvas de duración Q observados Río Toro.

P.EXC.	ANUAL	OCT-MARZ	ABR-SET.
0,05	1,49	2,80	0,87
0,10	0,99	1,49	0,82
0,20	0,76	0,94	0,69
0,40	0,62	0,67	0,61
0,50	0,59	0,61	0,58
0,60	0,56	0,57	0,54
0,70	0,52	0,54	0,51
0,80	0,49	0,50	0,48
0,90	0,46	0,46	0,45
0,95	0,43	0,44	0,41

Anexo Tabla 3.12c. Curvas de duración Q observados Río Cochiguaz.

P. EXC.	ANUAL	OCT- MARZO	ABRIL- SEPT.
0,05	11,45	20,19	4,865
0,10	6,860	11,44	3,785
0,20	3,730	6,666	3,080
0,40	2,180	2,274	2,160
0,50	1,790	1,770	1,805
0,60	1,620	1,610	1,650
0,70	1,390	1,388	1,395
0,80	1,240	1,158	1,310
0,90	0,940	0,838	1,085
0,95	0,795	0,723	0,868

Anexo Tabla 3.12d. Curvas de duración Q observados Río Derecho.

P.EXC.	ANUAL	OCT- MARZO	ABRIL- SEPT.
0,05	5,902	10,50	2,369
0,10	2,940	5,740	1,958
0,20	1,726	2,860	1,484
0,40	1,040	0,811	1,168
0,50	0,770	0,643	0,947
0,60	0,620	0,560	0,727
0,70	0,530	0,489	0,577
0,80	0,444	0,367	0,504
0,90	0,350	0,301	0,383
0,95	0,291	0,263	0,346

Anexo Tabla 3.12e. Curvas de duración Q observados Río Turbio en Varillar.

P.EXC.	ANUAL	OCT- MARZ	ABR-SET.
0,05	24,73	32,92	14,30
0,10	14,80	22,63	11,99
0,20	11,00	12,50	9,670
0,40	6,390	7,410	5,580
0,50	5,520	6,120	4,490
0,60	4,730	5,480	3,750
0,70	3,980	4,840	3,050
0,80	3,250	4,190	2,560
0,90	2,470	3,560	2,200
0,95	2,170	2,970	1,900

Anexo Tabla 3.12f. Curvas de duración Q observados Río Claro en Rivadavia.

P.EXC.	ANUAL	OCT-MARZ	ABR-SET.
0,05	16,0	23,2	8,16
0,10	9,24	13,9	6,30
0,20	5,59	7,22	5,27
0,40	3,65	3,40	3,85
0,50	2,83	2,47	3,08
0,60	2,31	1,87	2,62
0,70	1,85	1,52	2,25
0,80	1,43	1,01	1,81
0,90	0,90	0,68	1,28
0,95	0,60	0,48	0,95

Anexo Tabla 3.12g. Curvas de Duración Q Observados Río Elqui Algarrobal.

P.EXC.	ANUAL	OCT-MARZ	ABR-SET.
0,05	41,5	53,2	23,1
0,10	24,7	36,1	17,0
0,20	13,9	18,6	12,2
0,40	8,91	9,27	8,31
0,50	7,39	7,76	6,86
0,60	6,17	6,65	5,78
0,70	5,21	5,57	4,80
0,80	4,24	4,44	4,01
0,90	3,46	3,71	3,31
0,95	2,70	2,82	2,62

Anexo Tabla 3.12h. Curvas de Duración Q Observados Río Elqui Almendral.

P.EXC.	ANUAL	OCT-MARZ	ABR-SET.
0,05	26,4	41,1	21,6
0,10	19,8	24,5	16,5
0,20	12,0	12,9	11,6
0,40	7,32	7,10	7,50
0,50	6,21	6,21	6,20
0,60	5,36	5,31	5,42
0,70	4,55	4,44	4,59
0,80	3,87	3,85	3,89
0,90	2,96	2,84	3,11
0,95	2,50	2,45	2,65

Tabla 3.13. Caudales observados medios y medianas parte alta de la cuenca Río Elqui.

ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA	MEDIA		MEDIANA	
	PROB. EXC. 50 %			
	[m³/s]	[mm/Año]	[m³/s]	[mm/Año]
Toro en Junta Río La Laguna	0,72	54,2	0,60	44,0
La Laguna en salida Embalse	2,46	139	1,81	102
Cochiguaz en El Peñón	3,28	235	1,79	128
Derecho en Alcohuz	1,54	149	0,77	76,9

Anexo Tabla 3.14a. Caudales medios mensuales (m³/s) y desviación estandar en régimen natural.

ESTACION	AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	A-S	O-M	ANUAL
ELQUI EN ALMENDRAL	Prom	11,7	11,4	12,0	12,3	12,0	11,8	13,1	16,3	22,1	19,6	15,1	12,3	11,9	16,4	14,1
	Desv	6,69	5,62	5,06	5,02	4,45	5,36	8,74	15,6	24,5	22,2	13,7	8,26	4,72	14,7	8,37
ELQUI EN ALGARROBAL	Prom	11,7	11,1	10,8	10,9	11,1	11,4	13,2	17,9	23,2	20,2	15,2	12,6	11,2	17,1	14,1
	Desv	6,36	5,38	4,13	3,91	4,21	5,24	8,61	17,9	26,4	23,2	12,9	8,22	4,18	15,7	8,80
TURBIO EN VARILLAR	Prom	5,66	5,28	4,80	4,91	5,06	5,48	6,10	8,77	11,7	10,6	8,30	6,64	5,23	8,70	6,96
	Desv	3,52	2,98	2,46	2,52	2,44	3,93	4,94	9,45	13,5	12,0	8,64	5,70	2,54	8,41	4,67
CLARO EN RIVADAVIA	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	4,27	6,45	5,36
	Desv	2,49	2,22	1,93	1,62	1,77	2,47	3,98	8,54	13,7	9,04	4,72	3,15	1,76	6,99	3,91

Anexo Tabla 3.14b. Caudales medios anuales en régimen natural. Algunas estaciones fluviométricas cuenca Río Elqui, período 1952/53 – 1998/99. Según Honores & Alfaro.

ESTACIÓN FLUVIOMÉTRICA	CAUDAL MEDIO ANUAL (m³/s)
Turbio en Varillar	6.96
Claro en Rivadavia	5.36
Elqui en Algarrobal	14.1
Elqui en Almendral	14.1

Anexo Tabla 3.15. Estaciones pluviométricas utilizadas en método de Polígonos de Thiessen según períodos.

Período	Estaciones Pluviométricas
1980-1990	1.- El Indio 2.- Laguna Embalse 3.- La Ortiga 4.-Montegrande 5.-Rivadavia 6.-Almendral 7.-La Serena
1990-1999	1.-El Indio 2.-Laguna Embalse 3.-Juntas del Toro 4.-Huanta 5.-La Ortiga 6.-Montegrande 7.-Rivadavia 8.-Almendral 9.-La Serena

Anexo Tabla 3.16. Precipitación Media Anual Cuenca Río Elqui Período 1985/86 - 1999/00.

Año	Precipitación	Tipo Año	Probabilidades	
	Anual	Pluviométrico	Excedencia	No Excedencia
	[mm]		Período 1950/51- 99/2000	
1985/86	75,7	APM	0,57	0,43
1986/87	158	APM	0,20	0,80
1987/88	320	APA	0,06	0,94
1988/89	35,3	APB	0,94	0,06
1989/90	88,4	APM	0,47	0,53
1990/91	70,8	APM	0,67	0,33
1991/92	190	APA	0,16	0,84
1992/93	158	APM	0,22	0,78
1993/94	47,4	APB	0,82	0,18
1994/95	73,9	APM	0,63	0,37
1995/96	31,1	APB	0,96	0,04
1996/97	47,1	APB	0,80	0,20
1997/98	482	APA	0,02	0,98
1998/99	44,9	APB	0,88	0,12

Anexo Tabla 3.17. Caudal Río Turbio en Varillar y precipitación media cuenca, valores, relaciones C/R, su valor medio y probabilidades de no excedencia, período 1985/86 - 1998/99.

AÑO	CAUDAL	Q/Qm	PROB.		PRECIPITACION	P/Pm	PROB.
	TURBIO		NO EXC.		MEDIA		NO EXC.
	VARILLAR				CUENCA		
1985/86	6,47	1,04	0,67		75,7	0,64	0,43
1986/87	6,00	0,97	0,63		158	1,34	0,80
1987/88	17,5	2,81	0,94		320	2,71	0,94
1988/89	7,03	1,13	0,69		35,3	0,30	0,06
1989/90	3,96	0,64	0,43		88,4	0,75	0,53
1990/91	3,14	0,51	0,25		70,8	0,60	0,33
1991/92	5,45	0,88	0,59		190	1,60	0,84
1992/93	8,78	1,41	0,82		158	1,33	0,78
1993/94	5,10	0,82	0,55		47,4	0,40	0,18
1994/95	4,15	0,67	0,57		73,9	0,62	0,37
1995/96	2,93	0,47	0,22		31,1	0,26	0,04
1996/97	2,23	0,36	0,06		47,1	0,40	0,20
1997/98	20,0	3,22	0,98		482	4,07	0,98
1998/99	8,47	1,36	0,78		44,9	0,38	0,12

Anexo Tabla 3.18. Caudales medios anuales [m3/s]. Período 1985/86 - 1998/99. Estaciones fluviométricas cuenca Río Elqui.

AÑO	La Laguna En Salida Emb.	Toro Antes Junta Río L.L.	Cochiguaz En El Peñón	Derecho En Alcohuz	Turbio En Varillar	Claro En Rivadavia	Elqui En Algarrobal	Elqui En Almendral
1985/86	2,25	0,46	2,49	0,97	6,89	4,02	12,3	13,0
1986/87	2,34	0,62	1,98	0,96	5,71	2,98	8,35	8,36
1987/88	6,12	1,43	8,93	4,10	17,3	15,4	33,4	32,8
1988/89	2,52	0,65	2,54	1,16	7,72	3,92	11,8	11,7
1989/90	1,57	0,75	1,35	0,58	4,23	1,79	6,58	5,66
1990/91	1,38	0,50	1,14	0,37	3,50	1,35	4,79	4,80
1991/92	1,06	0,65	2,62	1,11	4,19	3,82	8,64	7,45
1992/93	3,15	0,85	4,37	1,79	8,81	7,07	16,5	15,3
1993/94	2,00	0,59	1,97	0,91	5,89	2,98	8,52	8,86
1994/95	1,49	0,64	1,54	0,63	4,39	2,64	6,45	6,06
1995/96	1,30	0,48	1,09	0,42	3,19	1,66	4,60	4,62
1996/97	0,97	0,49	0,78	0,32	2,23	0,70	3,19	2,79
1997/98	4,03	1,56	9,77	5,38	20,0	16,9	39,9	33,8
1998/99	2,46	0,74	2,72	1,30	8,47	5,00	13,5	13,4

Anexo Tabla 3.19. Resultados Balance Hídrico en Sub-cuenca Elqui en Algarrobal.

Hidroológico	PML (mm/año)	PMS (mm/año)	PMT (mm/año)	QMAN (m³/seg)	QMAN (mm/año)	ET ± Δ Alm (mm/año)	Δ Alm t=∞ (mm/año)
1950/51	60.0	66.3	63.1	s.i.			
1951/52	70.1	89.0	79.4	s.i.			
1952/53	155	212	183	10.4	58.0	125	92.9
1953/54	65.3	77.4	71.3	22.8	126	-55.1	-87.1
1954/55	79.2	105	91.9	18.5	103	-10.7	-42.7
1955/56	72.9	25.0	49.3	12.9	71.5	-22.2	-54.2
1956/57	55.6	80.0	67.6	7.5	41.9	25.7	-6.30
1957/58	223	60.0	143	12.4	69.0	74.0	42.0
1958/59	50.7	65.5	58.0	10.5	58.4	-0.40	-32.4
1959/60	133	92.0	113	9.40	52.0	61.1	29.1
1960/61	39.7	111	74.8	8.00	44.6	30.2	-1.80
1961/62	115	66.0	91.0	8.50	47.2	43.9	11.9
1962/63	38.5	72.0	55.0	7.40	41.0	14.0	-18.0
1963/64	201	122	162	14.2	78.9	83.3	51.3
1964/65	84.4	105	94.5	11.4	63.4	31.1	-0.90
1965/66	218	133	176	24.2	135	41.8	9.80
1966/67	98.1	71.0	84.8	13.8	76.9	7.90	-24.1
1967/68	69.7	42.0	56.1	8.80	49.1	7.00	-25.0
1968/69	34.1	44.0	39.0	5.30	29.7	9.20	-22.8
1969/70	46.1	101	73.1	5.60	31.0	42.2	10.2
1970/71	32.5	49.0	40.6	4.80	26.5	14.1	-17.9
1971/72	71.9	77.0	74.4	4.30	23.8	50.6	18.6
1972/73	146	314	229	26.2	145	83.5	51.5
1973/74	56.5	44.0	50.3	14.4	79.8	-29.5	-61.5
1974/75	67.1	110	88.2	9.70	53.7	34.5	2.50
1975/76	70.4	38.0	54.4	7.20	39.9	14.6	-17.4
1976/77	88.1	73.5	80.9	6.30	34.9	46.0	14.0
1977/78	97.5	109	103	11.2	62.1	40.9	8.9
1978/79	177	360	267	20.5	114	153	121
1979/80	25.7	18.5	22.1	11.0	61.0	-38.8	-70.8
1980/81	139	142	140	17.7	98.2	42.3	10.3
1981/82	39.6	67.4	53.3	10.3	57.4	-4.20	-36.2
1982/83	163	186	175	17.1	95.0	79.7	47.7
1983/84	178	132	156	19.0	105	50.4	18.4
1984/85	288	457	371	39.3	218	152	120
1985/86	54.8	61.7	58.2	16.9	93.9	-35.7	-67.7
1986/87	84.0	135	109	13.8	76.4	32.7	0.70
1987/88	239	419	328	39.0	216	111	79.1
1988/89	18.9	54.0	36.1	16.5	91.6	-55.4	-87.4
1989/90	68.0	88.1	77.9	10.7	59.5	18.4	-13.6
1990/91	47.3	69.5	58.2	8.00	44.4	13.8	-18.2
1991/92	189	148	169	14.2	78.8	90.2	58.2
1992/93	105	172	138	20.7	115	23.1	-8.90
1993/94	27.5	58.0	42.5	11.8	65.7	-23.2	-55.2
1994/95	56.7	117	86.4	10.2	56.6	29.8	-2.20
1995/96	9.30	30.5	19.7	7.40	41.3	-21.6	-53.6
1996/97	40.6	41.0	40.8	4.60	25.6	15.2	-16.8
1997/98	341	437	388	43.8	243	145	113
1998/99	31.6	67.7	49.3	15.6	86.4	-37.0	-69.0
1999/00	47.6	75.0	61.1				
PROMEDIO			107.9	14.1	78.4	32.0	
SUMATORIA							-0.2