UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAÍSO – CHILE

ESTIMACIÓN DE CAUDALES MEDIOS ANUALES DE CUENCAS NIVO-PLUVIALES SIN INFORMACIÓN FLUVIOMÉTRICA

JOSÉ LUIS FLORES FLORES

Memoria para optar al título de
Ingeniero Civil

Profesor Guía
Sr. Ludwig Stowhas Borghetti

Enero de 2017

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAÍSO – CHILE

ESTIMACIÓN DE CAUDALES MEDIOS ANUALES DE CUENCAS NIVO-PLUVIALES SIN INFORMACIÓN FLUVIOMÉTRICA

Memoria de titulación presentada por

JOSÉ LUIS FLORES FLORES

Como requisito parcial para optar al Título de

Ingeniero Civil

Profesor Guía

Sr. Ludwig Stowhas Borghetti

Enero de 2017

AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo simboliza la culminación de mi ciclo universitario y la obtención de mi título profesional, pero más que el cierre de una etapa, celebro que gracias esta, se mostraron nuevos caminos, empezaron otras etapas en mi vida y en cada una de ellas, satisfecho por los valores y conocimientos adquiridos durante la permanencia en la Universidad.

Aprovecho la oportunidad para agradecer profundamente a mi madre, por su apoyo absoluto en cada etapa de mi vida, su coraje y sacrificio me han inspirado para conseguir cada uno de mis logros.

De manera especial quiero agradecer a las personas que han estado presentes durante el proceso de este trabajo, en primer lugar a mi esposa Marcela por su comprensión, ayuda y motivación. A mi amigo Tomás, por su sincera preocupación y colaboración en el estudio.

A mi hermana Luisa

GLOSARIO

A	:	Área tributaria de una cuenca
A_n	:	Área de la cuenca cubierta por nieve
A_Z	:	Orientación de la cuenca
BNA	:	Código oficial de identificación de la estación fluviométrica (DGA)
D	:	Déficit de escorrentía
DGA	:	Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas de Chile
E	:	Evaporación media
E_S	:	Escorrentía
E_T	:	Evapotranspiración media
H	:	Altura media de una cuenca
H_n	:	Altura media del área cubierta por nieve
I	:	Retención de la precipitación por intercepción en la vegetación
Lat	:	Latitud en grados
L_n	:	Línea de nieve
Lon	:	Longitud en grados
P_p	:	Precipitación media
Q_{sa}	:	Gastos superficiales afluentes al sistema
Q_{sa}	:	Gastos subterráneos afluentes al sistema
Q_{se}	:	Gastos superficiales efluentes al sistema
Q_{ze}	:	Gastos subterráneos efluentes al sistema
S	:	Índice de pendiente de la cuenca
T	:	Temperatura media anual
ΔH	:	Desnivel
ΔS_L	:	Variación en el período de los volúmenes de agua almacenada superficialmente
ΔS_N	:	Variación del agua almacenada en nieves y glaciares
ΔS_S	:	Variación de volumen de agua contenida en los suelos no saturados
ΔS_Z	:	Variación de almacenamiento subterráneo en los acuíferos

RESUMEN

Una cuenca hidrográfica es un sistema que conjuga distintos elementos esenciales para el desarrollo de las actividades humanas, entre las cuales y de manera especial, las vinculadas a las actividades agropecuarias, mineras y económicas en general. Considerando este aspecto, es que se desprende la importancia y la utilidad que tiene la estimación de caudales de estos sistemas hídricos, en el ámbito de la ingeniería.

Teniendo presente lo anterior, en el presente estudio se planteó desarrollar una ecuación que permita estimar el caudal medio anual de cuencas de régimen nival o nivo-pluvial sin información fluviométrica, mediante una simple relación de sus variables fisiográficas e hidrológicas generales, y de fácil aplicación. La principal complejidad se debe a considerar cuencas de régimen mixto (nivo-pluvial), lo que en la práctica se traduce en incorporar la superposición de los efectos de ambos regímenes en la fluviometría, caracterizado por los flujos del período invernal, principalmente, producto de las precipitaciones líquidas, y por otro lado, la magnitud del flujo en el período estival, ocurrido entre los meses de septiembre y abril.

La formulación de la ecuación se llevó a cabo en base a la construcción de índices adimensionales, con los cuales fuera posible introducir la información geomorfológica e hidrológica de manera simple, para lo cual se utilizó el procedimiento del Teorema Pi de Buckinham. Posterior a la formación de los índices adimensionales, la generación de la ecuación se realizó siguiendo la metodología para regresiones lineales múltiples.

El estudio configuró como base un conjunto de 10 cuencas, desde las cuales se obtuvieron las variables finalmente seleccionadas por el procedimiento estadístico, corresponden básicamente a características físicas de la cuenca de fácil estimación, como lo son el área total (A), el área cubierta por nieve (An), la altura media (H) y la altura media de la zona cubierta por nieve (Hn). Respecto de las variables meteorológicas incluidas, se consideró a la precipitación media anual (Pp).

En relación a los resultados obtenidos con el modelo, se pudo observar que su aplicación sobre las cuencas del estudio, utilizando las características físicas de las propia cuencas y la estimación de sus precipitaciones medias anuales, en base a estaciones cercanas, arrojó un error relativo (ER) promedio de 27,6%.

Complementariamente y con el objetivo de obtener una mejor medida de la calidad de las estimaciones, se realizó una comparación de la ecuación formulada con otras relaciones. Dicha comparación, consiste en aplicar la ecuación generada en este estudio y los modelos de la comparación, a un conjunto de 23 cuencas, conformado por las 10 cuencas de la base de datos, y por otras 13 cuencas distintas, de las cuales 11 pertenecen al estudio [10] de las relaciones que servirán para la comparación y 2 cuencas del mismo trabajo de donde se obtuvo la base de datos original [2].

Los resultados de aplicar las ecuaciones comparadas sobre el conjunto de las 23 cuencas, fueron muy similares en magnitud, lo que se verificó con el cálculo del error relativo (ER) promedio. El menor ER se consiguió con la fórmula de Turc ajustada, alcanzando un 40,1%, a este lo siguen Turc-Pike ajustado y el modelo de Coutagne ajustado, con un ER de 41,2% y ER de 41,9%, respectivamente.

El resultado con la ecuación seleccionada promedia un ER de 41,9%, levemente superior a los ER promedios obtenidos con los modelos ajustados, sin embargo la diferencia no es significativa. Por otra parte, dicha ecuación presenta el error cuadrático medio (ECM) más bajo de todos, correspondiente a 0,70, en comparación con el 1,55 para Turc-Pike ajustado, 1,65 para Coutagne ajustado y 1,61 obtenido para Turc ajustado. En estos términos, la ecuación elaborada en este trabajo resulta competitiva y recomendable de utilizar.

ABSTRACT

A Hydrographic Basin is a system that combines different essential elements for the development of human activities, especially those linked to farming, mining and economical activities. Taking this aspect into account, we can realize the importance and usefulness of the flow estimations of these water systems in the engineering area.

Considering what was mentioned before, in this study we set out the development of an equation that allows us to estimate the annual average flow of the basins during the rainfall regime or snow-rain regime, without the need of recorded data from streamgage measurements. Just only by a simple connection of its physiographic and hydrological variables, throughout easy application. One of the main complications to consider in mix regime basins (nivo-pluvial), which means, to incorporate the overlapping effects of both regimes in the streamgage measurements, known for the flows during winter season. Mainly, are a product from the rains, and on the other hand, the magnitude of the flow during summer season, which manifests between the months of September and April.

The formulation for the equation was carried out by creating dimensionless indexes, which allow us the possibility of adding geomorphological and hydrological information in a simple way. For this procedure, we used Buckingham's Pi Theorem. After the formation of the dimensionless indexes, the creation of the equation was done per the linear multiple regression theories methodology.

The study included 10 basins, in which from these, we could obtain the variables that were finally selected by the statistical procedure. This basically corresponds to the physical features of the basin, which are easy to estimate. Like the total surface (*A*), the surface covered by snow (*An*), the average height (*H)* and the average height of the area covered by snow (*Hn*). About the meteorological variables that were included, we took into consideration the annual average rainfall (*Pp*).

Per the outcome obtained from our model, we could observe its application in those basins that were part of the research, using the physical features of the basins and the estimation of the annual average rainfall, per the nearest seasons, which gave as relative error (RE) of 27.6% average.

Complementary to this, and with the goal of having a better-quality measurement of the estimations, we did a comparison between the formulated equation and other connections

involved. Such comparison consisted of applying the created equation in this study and the models of comparison in a group of 23 basins, where 10 of these basins were part of our data base, and by other 13 different basins, from which 11 belonged to our study [10] of the connections that will help us to do the comparison; and where two of the basins of this research gave us part of the original data base [2].

The outcome of applying the compared equations on the group of 23 basins, was similar in magnitude, which was verified in the relative error (RE) average calculation. The lowest RE was obtained with the adjusted Turc formula, reaching a 40.1%, which was followed by the adjusted Turc-Pike's and Coutagne's model, with a RE of 41.2% and 41.9% each.

The outcome with the selected equation, gave us an RE average of 41.9%, slightly higher to the RE averages obtained with the adjusted models. However, this is not a significant difference. On the other hand, such equation presents the lowest mean square error (MSE) of them all, corresponding to a 0.70, in comparison with the 1.55 for the Turc-Pike's model; the 1.65 for the adjusted Coutagne's; and the 1.61 obtained to Turc's models. That is why we consider that the equation developed during this study, is highly competitive and recommendable to use.

.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO 2: OBJETIVOS 3

2.1 Objetivo General 3

2.2 Objetivos Específicos 3

CAPÍTULO 3: MARCO TEÓRICO 4

3.1 Ciclo Hidrológico de una Cuenca 4

3.2 Precipitaciones y Escorrentía 5

3.3 Ecuación General de Balance Hidrológico de una Cuenca 6

3.4 Regímenes Hidrológicos 7

3.4.1 Regímenes Simples 7

3.4.2 Regímenes Mixtos 8

3.4.3 Regímenes Complejos 8

CAPÍTULO 4: MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE CAUDALES 9

4.1 Métodos Básicos para la Estimación de Caudales[1] 9

4.1.1 Métodos Basados en la Relación Precipitación Escorrentía 9

4.1.2 Métodos Basados en Estadísticas Fluviométricas 12

4.1.3 Métodos de Simulación Hidrológica 14

CAPÍTULO 5: ANTECEDENTES DISPONIBLES PARA LA FORMULACIÓN DELAECUACIÓN DE ESTIMACIÓN DE CAUDALES 15

5.1 Generalidades 15

5.2 Cuencas Seleccionadas para el Estudio 15

5.3 Información Disponible 17

5.4 Descripción de las variables utilizadas 17

5.4.1 Área tributaria de la cuenca (A) 17

5.4.2 Altura media (H) 17

5.4.3 Área Nival (An) 18
5.4.4 Altura media de la zona cubierta de nieve (Hn) 19
5.4.5 Índice de pendiente de la cuenca (S) 19
5.4.6 Latitud del centro de gravedad de la cuenca (Lat) 20
5.4.7 Longitud del centro de gravedad de la cuenca (Lon) 20
5.4.8 Orientación de la cuenca (Az) 21
5.4.9 Precipitación anual (Pp) 21
5.4.10 Caudal medio anual (Qm) 22
CAPÍTULO 6: GENERACIÓN DE LA ECUACIÓN PARA ESTIMACIÓN DE CAUDALES .. 23
6.1 Metodología propuesta para la formulación de la ecuación 23
6.2 Teorema Pi De Buckinham 25
6.3 Formulación de Números Adimensionales “π” 26
6.4 Variables 26
6.5 Números Adimensionales π Resultantes 28
6.6 Análisis de Números Adimensionales Obtenidos 31
6.7 Metodología de Regresión Lineal Múltiple 33
6.7.1 Metodología General de Regresiones Lineales Múltiples 34
6.7.2 Hipótesis del Modelo Lineal 35
6.7.3 Planteamiento Matricial del Modelo 36
6.7.4 Análisis de la Varianza 38
6.7.5 Coeficiente de Determinación “R^2” 38
6.8 Descripción del Procedimiento para Generación de las Ecuaciones Propuestas 40
CAPÍTULO 7: ECUACIONES RESULTANTES Y SELECCIONADA 41
7.1 Ecuaciones Lineales 41
7.2 Ecuaciones Exponenciales 44
7.3 Análisis de Sensibilidad Ecuaciones Seleccionadas 48
7.4 Ecuación Seleccionada Final 51

CAPÍTULO 8: TRANSPOSICIÓN DE CAUDALES DE CUENCAS NIVO-PLUVIALES MEDIANTE ECUACIÓN SELECCIONADA 53

8.1 Transposición de Caudales Medios Anuales 53

8.2 Análisis de Resultados 56

CAPÍTULO 9: VALIDACIÓN Y COMPARACIÓN DE LA ECUACIÓN GENERADA 58

9.1 Cuencas Utilizadas en la Validación y Comparación de la Ecuación Seleccionada 58

9.1.1 Modelos Utilizados para la Comparación 59

9.1.2 Resultados de la Comparación de Modelos 62

9.1.3 Ecuación de Estimación de Caudales Alternativa Generada Mediante el Ajuste Matemático de la Ecuación Seleccionada 70

CAPÍTULO 10: CONCLUSIONES 73

CAPÍTULO 11: BIBLIOGRAFÍA 77

ANEXO 1 79

ANEXO 2 81

ANEXO 3 110

ANEXO 4 139

INDICE DE TABLAS

Tabla 5-1: Cuencas seleccionadas para el estudio 16

Tabla 6-1: Números adimensionales evaluados en las cuencas seleccionadas..... 32

Tabla 7-1: Resumen Ecuaciones Lineales 41

Tabla 7-2: Ecuaciones Lineales Pre-seleccionadas 44

Tabla 7-3: Resumen Ecuaciones Exponenciales 45

Tabla 7-4: Ecuaciones Exponenciales Pre-seleccionadas 47

Tabla 7-5: Resultados Análisis de Sensibilidad Ecuación Lineal 5 49

Tabla 7-6: Resultados Análisis de Sensibilidad Ecuación Exponencial 3 49

Tabla 7-7: Resultados Análisis de Sensibilidad Ecuación Exponencial 4 50

Tabla 7-8: Resultados Análisis de Sensibilidad Ecuación Exponencial 5 50

Tabla 8-1: Matriz de valores Q estimados v/s Q medidos 55

Tabla 8-2: Análisis de resultados de las transposición de caudales 56

Tabla 9-1: Cuencas utilizadas en la Comparación de Modelos..... 59

Tabla 9-2: Variables Requeridas para la Estimación de Caudales 62

Tabla 9-3: Resumen de Resultados de Comparación de Caudales Medios Anuales Estimados 64

Tabla 9-4: ECM de la Estimación de Caudales Mediante Modelos Comparados..... 68

Tabla 9-5: Resumen de Resultados de Comparación de Caudales Medios Anuales Estimados con Ecuación Seleccionada Modificada 71

INDICE DE FIGURAS

Figura 3-1: Esquema Ciclo hidrológico de una cuenca 5

Figura 5-1: Curva hipsométrica de cuenca Volcán en Queltehues [2] 18

Figura 5-2: Cuenca Volcán en Queltehues [2]..... 21

Figura 6-1: Esquema de pasos considerados para la formulación de la Ecuación..... 24

Figura 7-1: Análisis de Sensibilidad de las Variables Seleccionadas por el Modelo 52

Figura 9-1: Q Medios Anuales Estimados v/s Q Medios Anuales Medidos 67

Figura 9-2: Relación A_n/A para las cuencas analizadas en la comparación 69

CAPÍTULO 1: **INTRODUCCIÓN**

Una “cuenca hidrográfica es una unidad territorial formada por un río con sus afluentes y por un área colectora de aguas. En la cuenca están contenidos los recursos naturales básicos para múltiples actividades humanas, como agua, suelos, vegetación y fauna. Todos ellos mantienen una continua y particular interacción con los aprovechamientos y desarrollos productivos del hombre”; (FAO, 1990).

En la definición anterior, una cuenca hidrográfica es un sistema que conjuga distintos elementos esenciales para el desarrollo de las actividades humanas, entre las cuales y de manera especial, las vinculadas a las actividades agropecuarias, mineras y económicas en general. De ello se desprende la necesidad de cuantificar la generación del agua que produce una cuenca, para lo cual existen organismos públicos, como el Ministerio de Obras Públicas de Chile, el que por medio de su Dirección General de Aguas, contempla en su misión y objetivos, velar por el aprovechamiento de los recursos hídricos en función de la promoción del desarrollo sustentable del país.

El registro de información relacionada con los caudales de los ríos, y en particular, las medias mensuales y anuales de éstos, son variables importantes en la estimación de la producción hídrica de una cuenca, por lo tanto, es de gran relevancia conocer y cuantificar los recursos hídricos disponibles y potenciales de una hoya hidrográfica, dada la relevancia que representa para las diversas actividades socio-económicas desarrolladas, entre estas, la utilización de dichos recursos para la generación de energía eléctrica.

Considerando la utilidad que tiene realizar la estimación de caudales, y basándose en la información registrada y disponible, el presente estudio será una colaboración en la estimación de caudales de cuencas que no cuentan con registros hidrométricos.

Si bien, la estimación de caudales de cuencas sin información fluviométrica es un problema ampliamente estudiado y desarrollado, incluso mediante la utilización de la información obtenida por satélites, existiendo por lo tanto, diferentes métodos que han dado solución al problema, los cuales constituyen métodos de diferentes grados de complejidad dependiendo de las variables y tipo de información requerida para su aplicación. En la presente memoria, se estimarán los caudales generados por cuencas o subcuencas, mediante la construcción de una ecuación de fácil aplicación, que implique relacionar de manera simple aquellas

variables incluidas en el análisis, cuya combinación permita calcular la magnitud del flujo medio anual de una cuenca, con un grado de exactitud adecuado para estudios preliminares de ingeniería.

CAPÍTULO 2: **OBJETIVOS**

2.1 Objetivo General

Para el presente trabajo se define como objetivo general, elaborar una ecuación que permita estimar el caudal medio anual de cuencas de régimen nival o nivo-pluvial sin información fluviométrica, mediante una simple relación de sus variables fisiográficas principales.

2.2 Objetivos Específicos

La metodología de este estudio, considera el desarrollo de los siguientes objetivos específicos:

- Seleccionar cuencas de régimen nivo –pluvial, con estadística suficiente para realizar los análisis.
- Generar una ecuación propia para la estimación de caudales medios anuales, de simple aplicación y cuyos resultados se obtengan con un error de magnitud adecuada.
- Comparar la calidad de la estimación del modelo generado, con otros modelos de estimación de caudales, aplicados en cuencas de régimen nivo-pluvial.

CAPÍTULO 3: **MARCO TEÓRICO**

3.1 Ciclo Hidrológico de una Cuenca

En términos generales, el ciclo hidrológico corresponde a un concepto teórico mediante el cual se idealiza el movimiento del agua en la superficie de la Tierra y desde ella hacia la atmósfera, proceso compuesto por complejos mecanismos de transferencia de agua en sus diferentes estados físicos, tales como la condensación, evaporación, precipitación, sublimación y las interacciones de estos con el resto de los elementos terrestres como las plantas, el suelo y la temperatura originada por la radiación solar, entre otros.

El ciclo hidrológico como fenómeno global es un proceso continuo, que a su vez se encuentra formado por variables continuas como la evaporación, y discontinuas como las precipitaciones. En efecto, la representación y el estudio global del ciclo del agua requerirían la cuantificación adecuada de todos los fenómenos, por ejemplo la evaporación de los océanos, la condensación de dicha humedad y formación de las gotas, y la precipitación de estas últimas. Lo anterior, es uno de los aspectos que hacen que el ciclo hidrológico sea de gran complejidad en su modelación.

Debido a lo complejo de la modelación, ha resultado más práctico enfocarse solo en parte del proceso completo, particularmente en aquellas etapas de más fácil medición como la radiación solar, los volúmenes de almacenamiento y las precipitaciones, entre otras. Las mediciones de las variables involucradas en los subprocesos, han permitido a su vez, la elaboración de un registro estadístico de aquellas etapas del ciclo hidrológico, constituyendo una base para los estudios de pronósticos, particularmente de escurrimientos superficiales.

El interés de este estudio por el ciclo hidrológico de una cuenca, consiste principalmente en indicar los fenómenos existentes en ella, y distinguir entre éstos los que influyen en la escorrentía superficial.

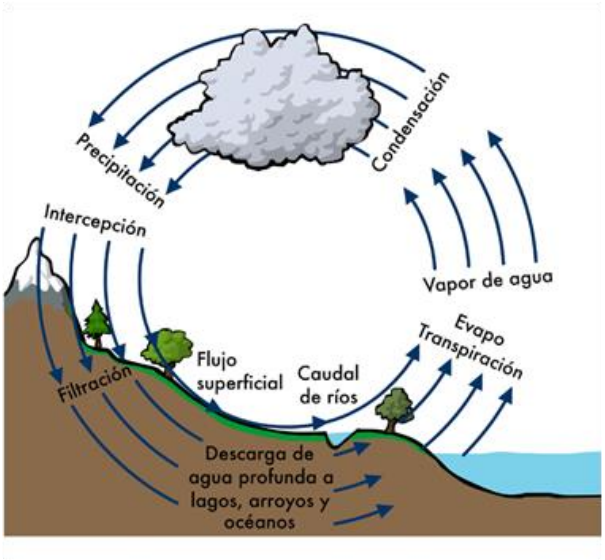


Figura 3-1: Esquema Ciclo hidrológico de una cuenca

Fuente:www.climantica.org

3.2 Precipitaciones y Escorrentía

La diferencia de los caudales entre cuencas, se debe a la influencia e interacción de varios factores, siendo el más determinante las precipitaciones, las cuales a su vez dependen de la influencia del clima y de las condiciones geográficas.

En invierno las precipitaciones pluviales influencian directamente a la fluviometría de una cuenca, además dependiendo de la zona geográfica y la altura media de la cuenca se producen precipitaciones nivales, de las cuales una pequeña porción aporta a la fluviometría. En cambio, una vez iniciado el período estival, el proceso de derretimiento de la nieve produce una alteración en el caudal de un río, lo que constituye un desfase entre precipitación y escorrentía.

Por lo tanto, para estimar el caudal superficial resultante de una cuenca determinada, con precipitaciones nivales, se deben tener presente las variables como el tiempo en que se encuentra almacenada la nieve antes de aportar al escurrimiento superficial, los volúmenes de nieve existente, el porcentaje del área cubierta y la tasa con que ocurre el derretimiento de esta (en directa relación con la radiación solar).

3.3 Ecuación General de Balance Hidrológico de una Cuenca

El balance hidrológico de una cuenca, se puede definir en base a la escorrentía superficial circunscrita a una región topográficamente delimitada por las líneas divisorias de agua, cuya descarga hídrica es única e identificable [1].

El desarrollo de la ecuación de balance hídrico de una cuenca, se plantea mediante la ecuación general de balance de masa, tal como se muestra a continuación:

$$X = Y + \frac{dS}{dt} \qquad \text{Ecuación 3-1}$$

Donde:

X = entradas al sistema por unidad de tiempo.

Y = salidas del sistema por unidad de tiempo.

dS/dt = tasa de variación en el tiempo del volumen de almacenamiento.

A partir de la relación anterior, y referida a un intervalo de tiempo, se construye la ecuación general del balance hídrico:

$$\boldsymbol{P + Q_{sa} + Q_{za} = E + ET + I + Q_{se} + Q_{ze} \pm \Delta S_L \pm \Delta S_S + \Delta S_z + \Delta S_N} \qquad \text{Ecuación 3-2}$$

Donde:

P = precipitación media

Q_{sa} = gastos superficiales afluentes al sistema (naturales y/o artificiales)

Q_{za} = gastos subterráneos afluentes

E = evaporación media desde superficie de agua libre

ET = evapotranspiración media

I = retención de la precipitación por intercepción en la vegetación

Q_{se} = gastos superficiales efluentes al sistema

Q_{ze} = gastos subterráneos efluentes

ΔS_L = variación en el período, de los volúmenes de agua almacenada superficialmente (lagos, lagunas, depresiones superficiales del terreno, etc)

ΔS_Z = variación del almacenamiento subterráneo en los acuíferos

ΔS_N = variación del agua almacenada en nieves y glaciares

ΔS_S = variación del volumen de agua contenida en los suelos no saturados (en forma de humedad del suelo).

La ecuación de balance de una cuenca, puede ser utilizada para conocer algún término o variable de esta, siempre y cuando se conozcan los valores del resto de las variables. Sin embargo, se debe tener presente que la complejidad para medir cada una de sus variables componentes, puede inducir a errores considerables en las estimaciones.

3.4 Regímenes Hidrológicos

En cierta medida, las precipitaciones también son un elemento que se considera para determinar el régimen de un curso hídrico, en este aspecto un factor a considerar es el tipo de precipitación, en base a esto se distinguen los siguientes tipos:

3.4.1 *Regímenes Simples*

Los ríos de régimen simple se caracterizan por tener en su hidrograma anual un solo máximo y un solo mínimo. Según el origen de los máximos puede a su vez ser de régimen glacial, nival o pluvial.

Los ríos de régimen glacial se caracterizan por tener pequeños gastos en invierno y crecidas de importancia en primavera y verano. Su alimentación proviene de los deshielos de nieves y glaciares, y por lo tanto, las variaciones de caudales están condicionadas a las variaciones de radiación solar, produciéndose un incremento en los caudales en primavera y verano, y marcadas fluctuaciones diurnas. Los ríos de régimen glacial, justamente por el respaldo de los glaciares, poseen una regularidad bastante marcada de un año a otro.

Los ríos de régimen nival presentan las mismas características de los de régimen glacial, aun cuando la variabilidad de un año a otro es bastante mayor, y es una consecuencia de los volúmenes de deshielos, que a su vez dependen en gran medida de la nieve acumulada en invierno.

3.4.2 ***Regímenes Mixtos***

Los ríos de regímenes mixtos corresponden a la superposición de varios regímenes simples, pudiéndose distinguir así los ríos de régimen nivo-glacial, los de régimen nivo-pluvial, etc. El nombre compuesto se confecciona en general con el régimen principal antecediendo al secundario.

Es de hacer notar en este punto, que un río puede presentar distintos tipos de regímenes en las distintas zonas de su cauce. Es así como en Chile, es común que un río tenga régimen nival a la salida de la cordillera, régimen nivo-pluvial en su curso medio, y régimen pluvio-nival cerca de su desembocadura.

3.4.3 ***Regímenes Complejos***

Los ríos que cuentan con este tipo de régimen, por lo general pertenecen a cuencas de gran extensión, en que cada uno de sus afluentes realiza sus aportes al cauce principal con su propio régimen. Por lo tanto, un río de régimen complejo es una síntesis de los regímenes de sus afluentes.

Cabe destacar, que para los objetivos de este estudio, las cuencas seleccionadas son de régimen nivo-pluvial.

CAPÍTULO 4: **MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE CAUDALES**

Se ha mencionado la importancia de conocer la magnitud del flujo de agua que escurre por una cuenca en una escala de tiempo determinada, en términos generales esa información es de gran utilidad para la hidrología en general y sus aplicaciones, tal como la elaboración de la curva de duración de una cuenca, mediante la cual se puede proyectar la operación de obras hidráulicas existentes y sirve también como información para aquellas que se encuentran en etapa de diseño de ingeniería.

4.1 Métodos Básicos para la Estimación de Caudales[1]

Principalmente, es posible mencionar tres tipos de métodos básicos para la estimación de caudales, a saber los siguientes:

1. Métodos basados en la relación precipitación –escorrentía.
2. Métodos basados en la estadística fluviométrica de otras cuencas hidrográficas que presentan similitud de características.
3. Método de simulación hidrológica.

4.1.1 ***Métodos Basados en la Relación Precipitación Escorrentía***

Si bien la estimación de la fluviometría de una cuenca mediante la utilización de la ecuación de balance hídrico resulta ser un problema complejo, debido a la cantidad de variables que se necesitan medir adecuadamente, existen algunas fórmulas empíricas formuladas como una idealización de la relación precipitación-escorrentía, y basadas en mediciones en diversas cuencas a lo largo del mundo. Entre estas, se pueden considerar las siguientes relaciones:

Grunsky[1]

$$E_S = 0{,}4 \times P^2(m);\ para\ P \leq 1{,}25\ (m)$$ Ecuación 4-1

Donde:

E_S : Escorrentía (m^3/s)

P : Preciitación (m)

Para *P> 1,25 (m)*, toda la precipitación escurre.

Fórmula de Peñuelas[2]

Esta relación fue establecida para la zona central de Chile, su expresión es la siguiente:

$$E_S = 0{,}5 \times P^2(m);\ para\ \ P \leq 1{,}00\ (m)$$ Ecuación 4-2

Donde:

E_S : Escorrentía (m^3/s)

P : Precipitación (m)

Para *P > 1,00 (m)*, toda la precipitación escurre.

[1]Fórmula propuesta a principios del siglo pasado por el hidrólogo estadounidense T. Grunsky.

[2]Elaborada por el ingeniero A. Quintana alrededor del año 1930, basándose en mediciones realizadas en el lago Peñuelas

Además de las relaciones empíricas enunciadas anteriormente, se pueden mencionar otros modelos construidos en base a la precipitación, y además incorporando otras variables, como por ejemplo la temperatura. Dichos modelos, como simplificación de la ecuación de balance hidrológico, consideran el concepto de Déficit (denominado por la letra "D"), en el cual se agrupan todos los factores que intervienen para que la precipitación no se transforme completamente en escorrentía, tales como la evaporación, evapotranspiración e infiltración, entre otros.

Las siguientes dos fórmulas, se utilizan para estimar la escorrentía total anual:

<u>Fórmula de Turc</u>

$$D = \frac{P}{\sqrt{0{,}9+(P/L)^2}} \qquad \text{Ecuación 4-3}$$

Donde:

D: déficit de escorrentía (mm)

P: precipitación media anual (mm)

En que:

$$L = 300 + 25 \cdot T + 0{,}05 \cdot T^2 \qquad \text{Ecuación 4-4}$$

T: Temperatura media anual (°C)

Luego:

$E_S = P - D\ (mm)$

<u>Fórmula de Coutagne</u>

Esta fórmula originada en Francia establece que:

$$D = P - \lambda \cdot P^2 \, (m) \qquad \text{Ecuación 4-5}$$

En consecuencia:

$$E_S = P - D = \lambda \cdot P^2 \, (m) \qquad \text{Ecuación 4-6}$$

En que:

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{0{,}8 + 0{,}14 \cdot T}} \quad ; \quad para \quad \frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda} \qquad \text{Ecuación 4-7}$$

Donde:

T: Temperatura media anual (°C)

Para:

$P \leq \frac{1}{8\lambda}$; No hay escorrentía (D=P)

$P \geq \frac{1}{2\lambda}$; El déficit es independiente de P, por lo tanto:

$$D = 0{,}2 + 0{,}35T \qquad \text{Ecuación 4-8}$$

4.1.2 ***Métodos Basados en Estadísticas Fluviométricas***

En estén punto se presentan los 2 métodos generales más usuales para la estimación del flujo medio anual de una cuenca.

<u>Transposición de Caudales por Gasto Específico</u>

Este método consiste básicamente en considerar que los gastos específicos entre dos puntos son iguales, es decir, el flujo por unidad de área entre dos puntos es igual.

Es requisito para la transposición que las hoyas hidrográficas o subcuencas analizadas, presenten similares características geomorfológicas y topográficas. Respecto de la geomorfología, podría existir una notable distorsión entre precipitaciones y escorrentía. No todos los tipos de rocas poseen la misma capacidad de infiltración y almacenamiento. En

cuanto a la topografía, este método permite comparar el caudal de diversas cuencas, de distintas superficies. Las áreas montañosas proporcionan mayor caudal por unidad de área que las partes más bajas de la misma cuenca.

La utilización de la transposición de caudales, se realiza compararando mediante una regla de tres simple los caudales específicos de las cuencas, entendiendo por ello al caudal aportado por cada unidad de área expresada en (km^2). Entonces, conocido el caudal específico de una cuenca (Q_1/A_1), es posible estimar el caudal producido por otra cuneca (Q_2), si se conoce el área aportante de ésta (A_2). La relación descrita anteriormente es como se muestra a continuación:

$$\frac{Q_1}{A_1} = \frac{Q_2}{A_2} \qquad \text{Ecuación 4-9}$$

<u>Ecuación de Rendimiento de una Cuenca</u>

De la misma forma que en la transposición de caudales, el presente método es útil para estimar la escorrentía de una cuenca en estudio, para la cual no se dispone de información fluviométrica.

En este método, se asume que dos cuencas cercanas con similitud en sus características geomorfológicas, topográficas, climatológicas, metereológicas y vegetación, pueden presentar igualdad en sus gastos específicos, expresados por unidad de precipitación.

Por lo tanto, se tiene lo siguiente:

$$\frac{1}{P_1}\frac{Q_1}{A_1} = \frac{1}{P_2}\frac{Q_2}{A_2} \qquad \text{Ecuación 4-10}$$

Donde:

Q: caudal medio en cierto período de tiempo (mes, año)

A_i: área de la cuenca “i”

P_i: precipitación media de la cuenca “i” en el tiempo considerado

4.1.3 ***Métodos de Simulación Hidrológica***

La obtención del caudal medio de una cuenca, mediante la metodología denominada simulación hidrológica, comprende la modelación matemática del ciclo hidrológico, específicamente de la ecuación de escorrentía, la cual es obtenida de la ecuación de balance hídrico de una cuenca.

La elaboración del modelo se realiza empleando relaciones matemáticas representativas de los subprocesos incluidos en la relación de escorrentía, y la incorporación de algunos parámetros, cuyo rango de variación, corresponde a la variabilidad de valores alcanzados por aquellos componentes hidrológicos difíciles de medir.

Para la formulación de un modelo simulación hidrológica, se debe tener presente, la escala de tiempo empleada en el modelo matemático, dado que esta impacta directamente en el comportamiento físico de las variables involucradas. Otra variable importante en la elaboración del modelo, es la definición de la precisión que se desea conseguir, debido a que esto se relaciona con los recursos empleados en su generación.

En relación al presente estudio, éste se centrará en la obtención de un modelo mediante la utilización de información de estadística fluviométrica.

CAPÍTULO 5: **ANTECEDENTES DISPONIBLES PARA LA FORMULACIÓN DELAECUACIÓN DE ESTIMACIÓN DE CAUDALES**

5.1 Generalidades

En este trabajo, se ha planteado la construcción de una ecuación para la estimación del caudal medio anual de una cuenca, sin embargo, ya se han indicado una serie de modelos que pueden ser utilizados para este fin, la diferencia que se pretende lograr con este estudio, es la estimación de flujos medios anuales en cuencas de régimen nivo-pluvial, que no cuenten con registros o mediciones de sus variables hidrológicas principales.

Sin duda, la elaboración de una relación que permita la estimación de caudales presenta dos complejidades importantes, la primera se debe al considerar cuencas de régimen mixto (nivo-pluvial), lo que en la práctica se traduce en incorporar la superposición de los efectos de ambos regímenes en la fluviometría, caracterizado por los flujos del período invernal, principalmente, producto de las precipitaciones líquidas, y por otro lado, la magnitud del flujo en el período estival, ocurrido entre los meses de septiembre y abril. La segunda complejidad importante, se relaciona en considerar cuencas sin información estadística, lo que implica, entre otras cosas, la imposibilidad de iniciar el análisis por medio del balance hídrico, o en función de la relación precipitación escorrentía. Adicionalmente, se plantea como parte del objetivo que el modelo debe ser de fácil aplicación, es decir, no debe requerir demasiada información para obtener la estimación, por lo tanto las variables involucradas deben ser en un número reducido, pero que con ellas se logre una representatividad o exactitud adecuada en la estimación.

5.2 Cuencas Seleccionadas para el Estudio

Teniendo presente que el objetivo de este estudio comprende la formulación de una ecuación para la estimación de caudales en cuencas nivo-pluviales, la selección de cuencas a considerar en los análisis, se realizó basándose en el trabajo “Estimación de Caudales Medios de Cuencas de Montaña en Función de sus Características Fisiográficas”, presentado por la Sociedad Chilena de Hidráulica, en su V Congreso Nacional [2]. En dicho trabajo, se utilizó un grupo total de 33 cuencas de la Cordillera de Los Andes, con

antecedentes fluviométricos, tributarios a los ríos Elqui, Limarí, Choapa, Petorca, La Ligua, Aconcagua y río Maipo.

Finalmente para este trabajo, del grupo de cuencas se seleccionó un grupo de 10 para realizar el análisis, y su discriminación se realizó descartando aquellas cuencas que hayan sufrido intervenciones (debido a la construcción de centrales hidroeléctricas u otras obras hidráulicas), evitando el riesgo de adicionar mediciones de flujo de los últimos años, que no estén bien correlacionadas con la estadística de años anteriores. La estadística de caudales del estudio original, se extendió en al menos 40 años de mediciones de flujos.

También, se consideró aquellas cuencas, las cuales fue posible completar la información fisiográfica y de precipitaciones.

Finalmente, el grupo de cuencas seleccionadas para este trabajo, se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5-1: Cuencas seleccionadas para el estudio

Estación	Código BNA
Putaendo en Resguardo Los Patos	05414001-0
Juncal en Juncal	05401003-6
Colorado antes junta Olivares	05705001-2
Maipo en Melosas	05701002-9
Olivares antes junta Colorado	05706001-8
Volcán en Queltehues	05702001-6
Río Yeso en Embalse	05703002-k
Sobrante en Piñadero	05100001-3
Pedernal en Tejada	0501001-9
Alicahue en Colliguay	05200001-7

Nota: El código BNA es el código oficial de identificación de la estación, definido por la Dirección General de Agua (DGA).

5.3 Información Disponible

Cada una de las cuencas seleccionadas como base para la elaboración del modelo (indicadas en la tabla anterior), cuentan con información de variables fisiográficas e hidrológicas [2]. Las variables fisiográficas incluidas en la base de datos de este estudio, se relacionan con el tamaño de la cuenca, su ubicación, relieve y orientación. Por otro lado, las variables hidrológicas corresponden a las precipitaciones y a los caudales medidos en una sección de control en la salida de las cuencas.

5.4 Descripción de las variables utilizadas

A continuación, se realiza una breve descripción de las variables utilizadas en la formulación del modelo.

5.4.1 *Área tributaria de la cuenca (A)*

Se entiende por área de una cuenca, a la superficie terrestre en la cual toda el agua proveniente de las precipitaciones, se dirigen al mismo punto de salida o cauce (por lo general el de menor altitud del área), considerando que el suelo es completamente impermeable.

El área, a su vez, cuenta con límites o perímetro bien definido, formado por la divisoria de agua, que corresponde a la línea que se origina en los puntos altos, desde los cuales el agua se divide hacia un lado y otro.

5.4.2 *Altura media (H)*

La altura media se define en función de la curva hipsométrica, y corresponde a la ordenada media de dicha curva.

La curva hipsométrica corresponde a la distribución del área aportante de la cuenca, en porcentaje de su área total, por rangos de altura. Por lo tanto, en las abscisas se encuentra la superficie de la cuenca (en %) que se halla por encima de las cotas de elevación indicadas en las ordenadas.

Es posible considerar esta curva como una especie de perfil de la cuenca, y su pendiente media (en m/km^2) se puede tomar como un elemento de síntesis para la comparación entre hoyas hidrográficas.

A modo de ejemplo, en la figura siguiente se presenta la curva hipsométrica de la cuenca Volcán en Queltehues [2].

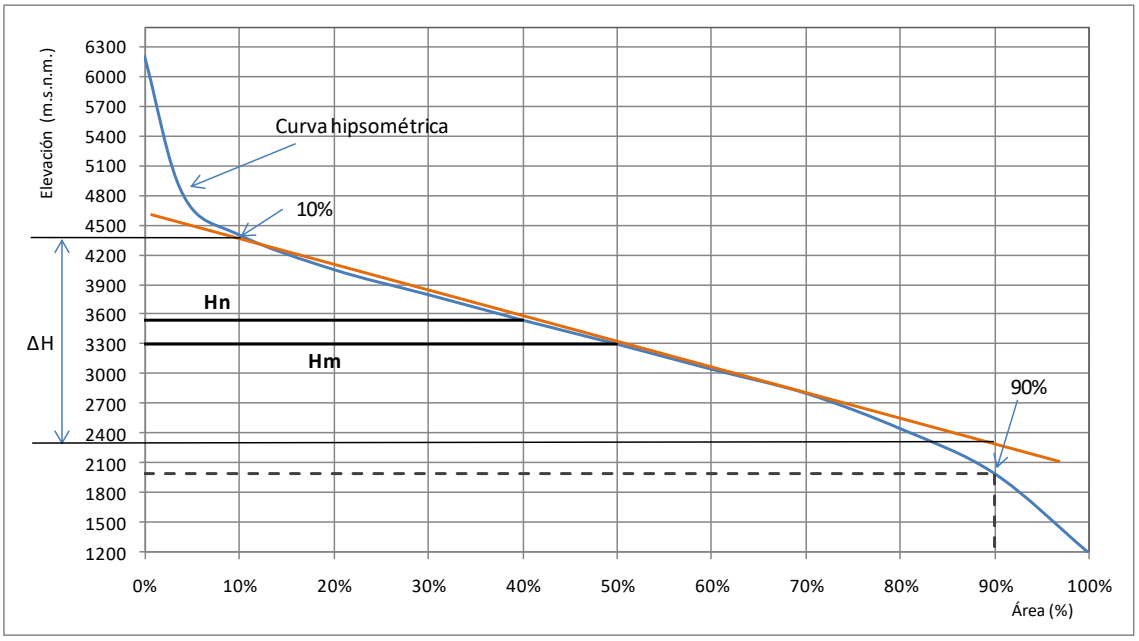


Figura 5-1: Curva hipsométrica de cuenca Volcán en Queltehues [2]

5.4.3 *Área Nival (An)*

Esta corresponde al área de la cuenca que se encuentra cubierta por nieve durante el invierno. Para ello, se realizó la estimación de la elevación de la línea de nieve [2], la cual en base a observaciones se calculó de la siguiente manera:

$$\mathbf{Ln = 3.500 - 325 \cdot (Lat - 30)} \qquad \text{Ecuación 5-1}$$

En que:

Ln: línea de nieve en m.s.n.m. [3]

Lat: latitud en grados

5.4.4 ***Altura media de la zona cubierta de nieve (Hn)***

La altura media de la zona cubierta por nieve, se estimó en base a la altura de nieve, calculada con la ecuación anterior y con la curva hipsométrica.

5.4.5 ***Índice de pendiente de la cuenca (S)***

La pendiente de una cuenca es de gran interés, dado a que influye indirectamente en el tiempo de concentración, a través de la velocidad que alcanza el flujo en su escurrimiento. El tiempo de concentración se define como el período que se demora en llegar a la sección de la salida de la cuenca, el agua que cae en el punto más alejado de esta.

Luego, se puede caracterizar el relieve de una cuenca mediante el índice de pendiente, el cual se obtiene como la media ponderada de todas las pendientes correspondientes a las áreas elementales en las que pudiéramos considerar constante la máxima pendiente [3]. Este procedimiento puede resultar complejo, y puede ser revisado con mayor detalle en la literatura técnica relacionada.[4]

Alternativamente, se puede considerar una simplificación, al reemplazar el índice de la pendiente de una cuenca por la pendiente media del rectángulo equivalente[5] Esto consiste en definir una pendiente media de la curva hipsométrica entre los valores 10% y 90%, y a la longitud del rectángulo equivalente de una cuenca (Figura 5-1), estimándose de la siguiente forma:

$$S = \frac{\Delta H}{0{,}8 \cdot L} \qquad \text{Ecuación 5-2}$$

---

[3]Relación obtenida del estudio “Estimación de Caudales Medios de Cuencas de Montaña en Función de sus Características Fisiográficas” Humberto Peña y Carlos Garín, 1982.

[4]Se recomienda consultar” Manual de Hidrología”, Tomo 1 Principios Básicos en Hidrología, Capítulo 3.2.3 Índices representativos, Rafael Heras, 1972.

[5]Metodología aplicada en estudio “Estimación de Caudales Medios de Cuencas de Montaña En Función de sus Características Fisiográficas” Humberto Peña y Carlos Garín, 1982.

En que:

ΔH: desnivel

L: longitud del rectángulo equivalente

El rectángulo equivalente, se define como una polígono que tiene la misma área y perímetro que una cuenca, y por lo tanto se admite que es análogo a una cuenca hidrológica, debido a la igual distribución de alturas, por tanto igual distribución de terreno e igual distribución de su geomorfología.

Luego, la longitud del rectángulo equivalente se calculó con la siguiente relación:

$$\mathbf{L} = \frac{\mathbf{k_c} \cdot \sqrt{\mathbf{A}}}{\mathbf{1{,}12}} \cdot \left(\mathbf{1} + \sqrt{\mathbf{1} - \left(\frac{\mathbf{1{,}12}}{\mathbf{k_c}}\right)^{\mathbf{2}}}\right)$$ Ecuación 5-3

Donde:

A: área de la cuenca

Kc: coeficiente de compacidad de Gravelius

$$\mathbf{k_c} = \frac{\mathbf{perímetro}}{\mathbf{2} \cdot \sqrt{\boldsymbol{\pi} \cdot \mathbf{A}}}$$ Ecuación 5-4

El coeficiente de compacidad, representa la relación geométrica entre el perímetro de la cuenca y un círculo de área equivalente.

5.4.6 ***Latitud del centro de gravedad de la cuenca (Lat)***

Se considera su magnitud en grados.

5.4.7 ***Longitud del centro de gravedad de la cuenca (Lon)***

Se considera su magnitud en grados.

5.4.8 ***Orientación de la cuenca (Az)***

Se define como el vector que sale del centro de gravedad de la cuenca en dirección al punto de salida, expresado en grados sexagesimales.

La orientación de una cuenca puede ser importante de conocer, debido a la relación que esta tiene con los efectos de la dirección del movimiento de los frentes de lluvia y la dirección de los vientos dominantes.

En el esquema siguiente, se presenta un ejemplo para la estimación de la orientación de la cuenca:

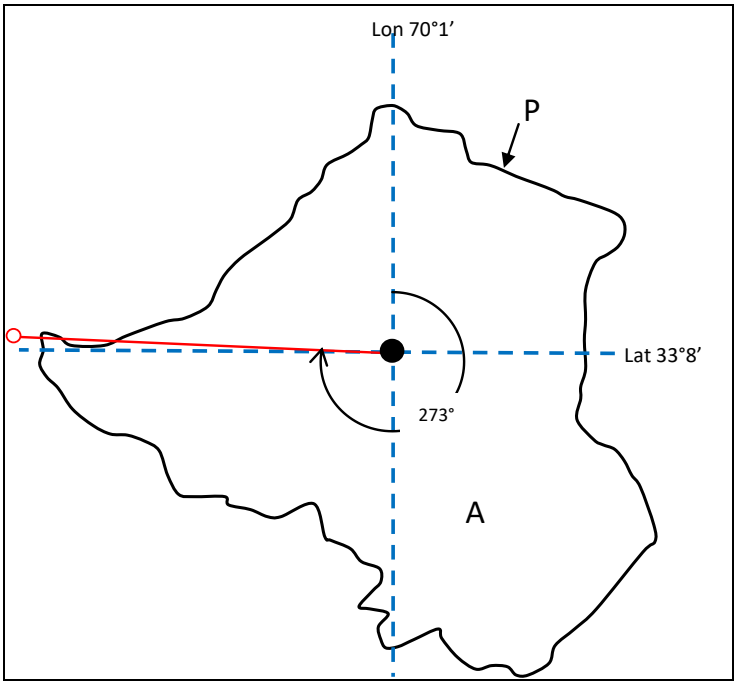


Figura 5-2: Cuenca Volcán en Queltehues [2]

5.4.9 ***Precipitación anual (Pp)***

Se denomina precipitación anual, al valor acumulado de las precipitaciones registradas mensualmente durante el período de un año [4,5,6].

5.4.10 ***Caudal medio anual (Qm)***

El caudal medio anual, se define como el promedio aritmético de los caudales medios mensuales registrados durante ese año hidrológico[4]. El inicio del año hidrológico considerado, corresponde al mes de abril.

CAPÍTULO 6: **GENERACIÓN DE LA ECUACIÓN PARA ESTIMACIÓN DE CAUDALES**

6.1 Metodología propuesta para la formulación de la ecuación

Para obtener una ecuación para la estimación de caudales, construida en base a las variables fisiográficas e hidrológicas de una cuenca, se buscó un método que permitiera discriminar las variables más representativas, entre las disponibles para el análisis, para la estimación del flujo medio anual de una cuenca nivo-pluvial, tratando de evitar que el modelo resultante fuera de exclusiva representatividad del grupo de cuencas seleccionadas, y que tuviera una validez discutible para su aplicación a otras cuencas, no incluidas en el análisis. Por este motivo, se procuró generar un modelo en base a índices o indicadores, que sirvieran como parámetro de comparación entre cuencas, y que permitieran incluso, utilizar información fluviométrica de otras cuencas para la estimación del caudal de otra sin estadística de caudales.

Para la creación de los índices mencionados anteriormente, se decidió construirlos en base a alguna metodología que permitiera su definición como números adimensionales, para lo cual se empleó el teorema Pi de Buckinham [8].

Los pasos generales considerados, para la formulación de la ecuación para estimar caudales medios anuales, objeto de este trabajo, se presenta en el siguiente esquema:

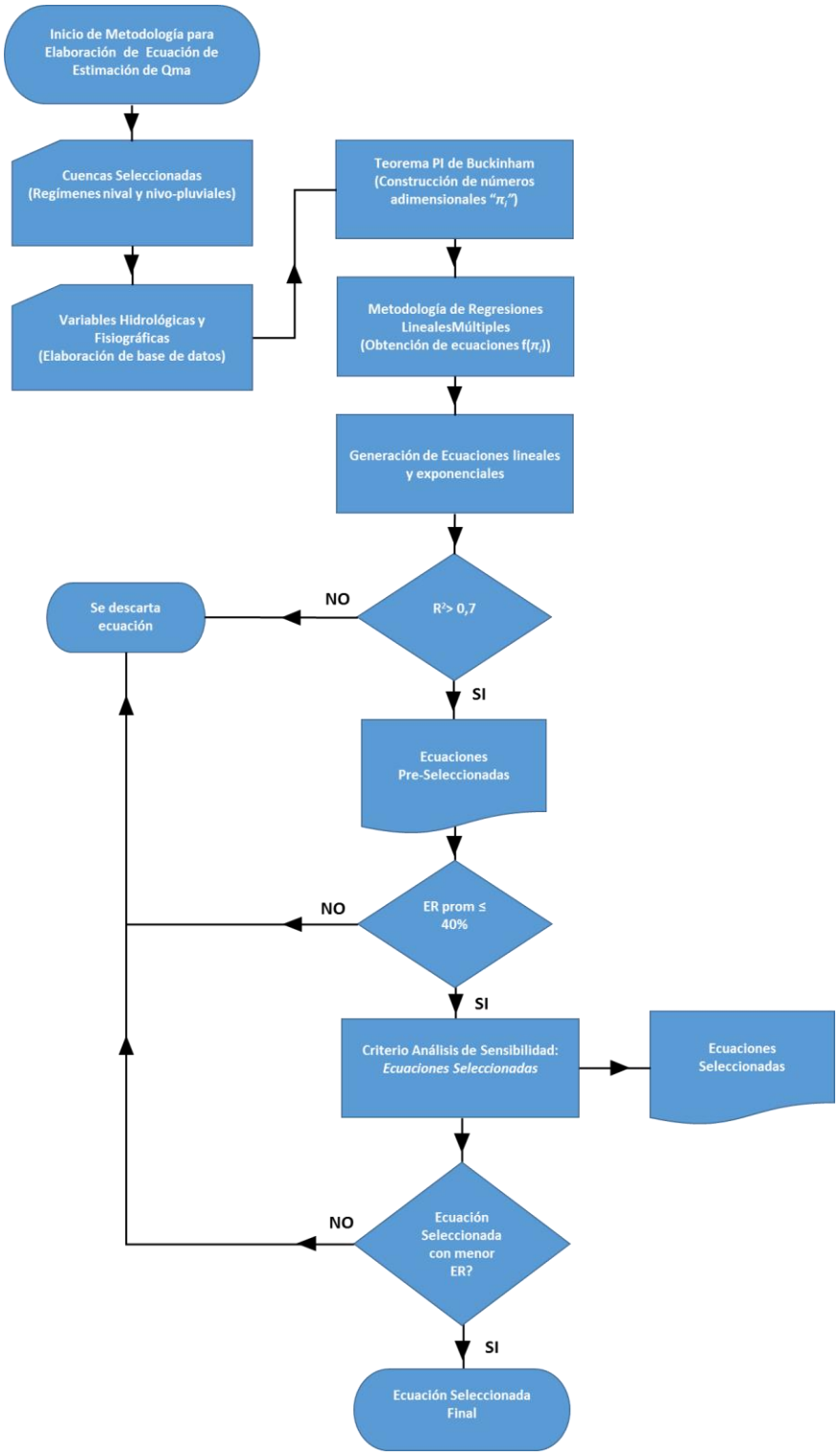


Figura 6-1: Esquema de pasos considerados para la formulación de la Ecuación

6.2 Teorema Pi De Buckinham

Si se considera que la similitud hidrológica entre dos cuencas es análoga a resolver un problema de semejanza de un fenómeno físico, es factible la utilización del Teorema Pi de Buckinham [8] para encontrar las relaciones entre las variables.

Por lo tanto, suponiendo que existe una relación entre "n" medidas de magnitudes físicas, que permiten representar el comportamiento de un sistema, y que hay "m" unidades fundamentales presentes en el modelo a representar, de manera que cada una de las magnitudes se puede expresar de la forma:

$$\mathbf{F}(\mathbf{R}_1, \cdots, \mathbf{R}_n) = \mathbf{0} \qquad \text{Ecuación 6-1}$$

Como se indicó anteriormente, cada magnitud física se relaciona con las unidades fundamentales como se indica a continuación:

$$\begin{array}{c} \mathbf{R}_1 \mathbf{u}_1^{\alpha_{11}} \cdots \mathbf{u}_m^{\alpha_{1m}} \\ \mathbf{R}_2 \mathbf{u}_1^{\alpha_{21}} \cdots \mathbf{u}_m^{\alpha_{2m}} \\ \hline \mathbf{R}_n \mathbf{u}_1^{\alpha_{n1}} \cdots \mathbf{u}_m^{\alpha_{nm}} \end{array} \qquad \text{Ecuación 6-2}$$

Donde:

R_i: corresponden a las medidas de las magnitudes

u_i : son las unidades fundamentales (por ejemplo Q = 5 m^3/s).

El teorema π muestra que el número máximo de combinaciones adimensionales que se pueden formar con las "n" magnitudes físicas es (n-p), donde "p" es el rango de la matriz siguiente:

$$\begin{pmatrix} \alpha_{11} & \cdots & \alpha_{1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \alpha_{n1} & \cdots & \alpha_{nm} \end{pmatrix} \qquad \text{Ecuación 6-3}$$

Como consecuencia, la Ecuación 6-1, es equivalente a:

$$\mathbf{f_1(\pi_1 \dots \pi_{n-p}) = 0} \qquad \text{Ecuación 6-4}$$

En que:

π_i: parámetros que corresponden a las combinaciones adimensionales que se pueden formar con las "n" magnitudes asociadas a las medidas R_i

En los siguientes puntos, se indican las principales características y condiciones para la matriz (Ecuación 6-3), para una adecuada formulación del teorema:

- El rango de la matriz es el orden del determinante distinto de cero de mayor orden que se puede formar con las filas y columnas que la componen. En la mayoría de los casos, el rango de una matriz viene dado por el número de columnas.
- Las filas de la matriz están asociadas a las magnitudes físicas y las columnas a las unidades fundamentales.
- Que el determinante sea distinto de cero implica que ninguna de sus filas ni de sus columnas es combinación lineal de otras.
- Que el rango de la matriz sea "p" quiere decir que hay "p" magnitudes físicas que son dimensionalmente independientes y que "p" es el número máximo de unidades que necesitamos para medir esas magnitudes físicas. Generalmente "p" suele ser igual a "m" (unidades fundamentales).

6.3 Formulación de Números Adimensionales "π"

Mediante la formulación de parámetros adimensionales se elaborará una relación matemática para la estimación de caudales, la cual permitirá comparar las cuencas del estudio y verificar el supuesto de similitud hidrológica entre estas, mediante la semejanza resultante entre las variables analizadas.

6.4 Variables

En la representación geométrica e hidrológica de una hoya hidrográfica, están presentes una gran cantidad de variables, gracias a las cuales es posible caracterizar de mejor manera a una cuenca, dada la cantidad de información aportante por cada una de dichas variables.

Teniendo presente la complejidad para implementar sistemas de medición de variables y la obtención de una base de datos significativa de éstas en las hoyas hidrográficas existentes, en la formulación de los números adimensionales a utilizar en este estudio, se utilizarán aquellas variables con información adecuada disponible, según lo indicado en el Capítulo 5.

A continuación, se indican las variables con sus respectivas dimensiones:

Variables (magnitudes físicas "n")		Descripción	Dimensiones (unidades fundamentales "m")
A	:	área de la cuenca	L^2
An	:	área con nieve	L^2
H	:	altura media	L
Hn	:	altura de nieve	L
Pp	:	precipitación pluvial	L
Q	:	caudal	L^3/T
S	:	pendiente media	
Lat	:	latitud	
Lon	:	longitud	
Az	:	azimut	

Se pueden observar que las variables anteriores se caracterizan por las siguientes unidades fundamentales "m":

- Tiempo : [T]
- Longitud: [L]

Es importante señalar que el análisis realizado no incluye a todas las variables enunciadas en el punto anterior, dado que cuatro de éstas (Az, S, Lat, Lon) corresponden a variables adimensionales por sí solas, por lo tanto pueden considerarse como un número adimensional sin requerir de incorporarlas en la metodología.

Debido a lo anterior, de las 10 variables con información disponible para caracterizar una cuenca, se determinan 6 de ellas como variables para la configuración de los parámetros adimensionales (A, An, H, Hn, Pp, Q).

6.5 Números Adimensionales π Resultantes

Considerando que de las variables analizadas se pudo obtener sólo 2 dimensiones principales ([T] y [L]), la cantidad de parámetros π a construir se determinan como sigue:

N° de parámetros π = N° de Variables estudiadas (“n”) – N° unidades fundamentales (“m”)

N° de parámetros π = 6 – 2 = 4

Para este caso en particular, empleando el teorema π de Buckingham, se requiere de la selección de 2 variables que contengan entre sus dimensiones las dimensiones principales, pero que no constituyan parámetros adimensionales por sí solos. Para esta aplicación se eligen las siguientes variables, las cuales se denominarán variables base:

- A: área de la cuenca [L^2]
- Q: caudal [L^3/T]

Se seleccionaron el Caudal (Q) y el Área de la cuenca (A), dado que dichas variables aportan con las dimensiones T y L, respectivamente.

Dado que cada variable es medida y presentada convenientemente con diferentes escalas de unidades fundamentales, se deben expresar todas las variables en las mismas escalas de unidades, para ello se ha seleccionado el “m” para la longitud y el “s” para la unidad de tiempo.

Luego, para obtener cada uno de los parámetros π se debe multiplicar las variables base por cada una de las variables restantes elevadas a un exponente tal, de manera que resulte un parámetro sin dimensiones.

Tal como se indicó anteriormente se deben construir 4 parámetros PI, a saber los siguientes:

Parámetro π_1:

$$\pi_1 = Q^{u1} \cdot A^{u2} \cdot A_n$$

$$L^{3 \cdot u1} \cdot T^{-u1} \cdot L^{2 \cdot u2} \cdot L^2 = L^0 \cdot T^0$$

$$3 \cdot u1 + 2 \cdot u2 + 2 = 0$$
$$u1 = 0$$

$$u2 = -1$$

$$\pi_1 = \frac{A_n}{A} \qquad \text{Ecuación 6-5}$$

Parámetro π_2:

$$\pi_2 = Q^{u1} \cdot A^{u2} \cdot H$$

$$L^{3 \cdot u1} \cdot T^{-u1} \cdot L^{\cdot u2} \cdot L^{\cdot 1} = L^0 \cdot T^0$$

$$3 \cdot u1 + 2 \cdot u2 + 1 = 0$$
$$u1 = 0$$

$$u2 = \frac{-1}{2}$$

$$\pi_2 = \frac{H}{\sqrt{A}} \qquad \text{Ecuación 6-6}$$

Parámetro π_3:

$$\pi_3 = Q^{u1} \cdot A^{u2} \cdot H_n$$

$$L^{3 \cdot u1} \cdot T^{-u1} \cdot L^{\cdot u2} \cdot L^{\cdot 1} = L^0 \cdot T^0$$

$$3 \cdot u1 + 2 \cdot u2 + 1 = 0$$
$$u1 = 0$$

$$u2 = \frac{-1}{2}$$

$$\pi_3 = \frac{H_n}{\sqrt{A}} \qquad \text{Ecuación 6-7}$$

Parámetro π_4:

$$\pi_4 = Q^{u1} \cdot A^{u2} \cdot P_p$$

$$L^{3 \cdot u1} \cdot T^{-u1} \cdot L^{2 \cdot u2} \cdot L^1 \cdot T^{-1} = L^0 \cdot T^0$$

$$3 \cdot u1 + 2 \cdot u2 + 1 = 0$$
$$-u1 - 1 = 0$$
$$u1 = -1$$

$$u2 = 1$$

$$\pi_4 = \frac{A \times P_p}{Q} \qquad \text{Ecuación 6-8}$$

Por otro lado, se debe recordar que además de los parámetros obtenidos anteriormente, se cuenta con las variables que por sí mimas pueden ser consideradas parámetros adimensionales, las cuales para poder identificarlas en el análisis se denominan de la siguiente manera:

$$\pi_5 = S \qquad \text{Ecuación 6-9}$$

$$\pi_6 = Lat \qquad \text{Ecuación 6-10}$$

$$\pi_7 = Lon \qquad \text{Ecuación 6-11}$$

$$\pi_8 = A_z \qquad \text{Ecuación 6-12}$$

Adicionalmente, y con el objeto de lograr que el modelo contenga entre sus variables el flujo medio anual, se construyen otros números adimensionales mediante la combinación de los ya obtenidos con el teorema Pi de Buckinham, utilizando como base π_4. Los parámetros adimensionales son los siguientes:

$$\pi_9 = \frac{\pi_1 \times \pi_3}{\pi_4} = \frac{Q \times A_n \times H_n}{A^{\frac{5}{2}} \times P_p} \qquad \text{Ecuación 6-13}$$

$$\pi_{10} = \frac{\pi_1 \times \pi_2}{\pi_4} = \frac{Q \times A_n \times H}{A^{\frac{5}{2}} \times P_p}$$ Ecuación 6-14

$$\pi_{11} = \frac{\pi_1}{\pi_4 \times \pi_3 \times \pi_2} = \frac{Q \times A_n}{A \times P_p \times H_n \times H}$$ Ecuación 6-15

$$\pi_{12} = \frac{\pi_3 \times \pi_2}{\pi_4} = \frac{Q \times H_n \times H}{A^2 \times P_p}$$ Ecuación 6-16

Finalmente, se obtuvieron 12 parámetros π, donde 4 de ellos son números adimensionales por si solos, 4 fueron construidos mediante el teorema Pi de Buckinham, y 4 se lograron como combinación de los anteriores (π_1, π_2, π_3 y π_4) usando como base π_4.

6.6 Análisis de Números Adimensionales Obtenidos

En primer lugar, se transformó cada variable a la misma escalas de unidades fundamentales, es decir se expresaron en “m” y “s”, según corresponda, posteriormente se evaluó cada π obtenido en cada una de las cuencas incluidas en este estudio. A continuación, se presentan los resultados de los 12 números π configurados en el numeral 6.5, calculados con los valores de cada cuenca de la base de dato de este trabajo.

Dada la característica adimensional de cada π, es posible revisar la variabilidad que presentan entre una cuenca y otra, y de esta manera si estos presentan una magnitud similar, podría verificarse si existe alguna relación entre las variables relacionadas.

Respecto de lo indicado anteriormente y de los resultados obtenidos, los números π presentaron una variabilidad considerable entre cuencas, por ejemplo para los π_4, π_9, π_{10}, π_{11} y π_{12}, los cuales contienen la variable Q, presentaron una variación en el rango entre 54% y 123%, por lo tanto no es posible indicar que los números adimensionales son comparables entre cuencas y de esta manera encontrar alguna relación entre los caudales de las cuencas.

Las magnitudes de dichos parámetros se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 6-1: Números adimensionales evaluados en las cuencas seleccionadas

Estación	π1	π2	π3	π4	π5	π6	π7	π8	π9	π10	π11	π12
Putaendo en Resguardo Los Patos	0,570	0,095	0,110	2,594	40,500	32,270	70,258	271,000	0,024	0,021	20,976	0,004
Juncal en Juncal	0,950	0,252	0,264	1,159	142,000	32,558	70,060	327,000	0,216	0,207	12,301	0,057
Colorado antes Junta Olivares	0,920	0,125	0,129	1,097	59,400	33,250	69,580	242,000	0,108	0,105	52,079	0,015
Maipo en Melosas	0,950	0,083	0,087	1,108	23,200	34,018	70,072	332,000	0,074	0,071	118,927	0,007
Olivares antes Junta Colorado	0,910	0,159	0,162	1,267	48,700	33,150	70,078	182,000	0,116	0,114	27,865	0,020
Volcán en Queltehues	0,900	0,145	0,153	1,711	57,400	33,492	70,012	273,000	0,081	0,076	23,729	0,013
Río Yeso en Embalse	0,970	0,189	0,193	1,200	85,300	33,390	69,582	250,000	0,156	0,152	22,139	0,030
Sobrante en Piñadero	0,590	0,187	0,222	3,878	132,000	32,132	70,348	260,000	0,034	0,028	3,676	0,011
Pedernal en Tejada	0,190	0,251	0,368	3,550	176,000	32,060	70,438	300,000	0,020	0,013	0,580	0,026
Alicahue en Colliguay	0,210	0,133	0,186	2,075	86,300	32,192	70,348	261,000	0,019	0,013	4,091	0,012
Promedio	0,716	0,162	0,187	1,964	85,080	32,851	70,078	269,800	0,085	0,080	28,636	0,019
Desv. Estand.	0,309	0,058	0,082	1,046	49,749	0,692	0,299	43,604	0,066	0,065	35,130	0,016
Coef. Var.	43,1%	36,0%	44,0%	53,3%	58,5%	2,1%	0,4%	16,2%	77,5%	81,3%	122,7%	80,4%

6.7 Metodología de Regresión Lineal Múltiple

Teniendo presente que el objetivo principal es la obtención de una ecuación para la estimación de caudales, en base a las variables de caracterización de una cuenca, éste se realizará mediante una formulación matemática que relacione dichas variables, a través de los parámetros adimensionales construidos con la aplicación del Teorema PI de Buckingham.

Por lo tanto la función de predicción de caudales se expresa de la siguiente manera:

$$F_T = f(A, A_n, H, H_n, Az, Q, Lat, Lon, S, Pp) = 0 \rightarrow \varphi = f(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \pi_5, \pi_6, \pi_7, \pi_8) = 0$$

Ecuación 6-17

Como ya fue indicado, F_T y f corresponden a funciones, *A, An, H, Hn, Pp y Q* variables dimensionales, y π_i, donde $i = 1 \ldots 8$; variables adimensionales.

En términos prácticos la función a determinar $f(\pi)$, se formulará por medio de las siguientes regresiones matemáticas:

<u>Regresión Lineal Múltiple</u>

$$\varphi = a_1 \cdot \pi_1 + a_2 \cdot \pi_2 + a_3 \cdot \pi_3 + a_4 \cdot \pi_4 + a_5 \cdot \pi_5 + a_6 \cdot \pi_6 + a_7 \cdot \pi_7 + a_8 \cdot \pi_8$$

Ecuación 6-18

<u>Regresión Potencial</u>

$$\varphi = b_0 \cdot \pi_1^{b1} \cdot \pi_2^{b2} \cdot \pi_3^{b3} \cdot \pi_4^{b4} \cdot \pi_5^{b5} \cdot \pi_6^{b6} \cdot \pi_7^{b7} \cdot \pi_8^{b8}$$

Ecuación 6-19

Luego de algunas pruebas preliminares, y en base a la experiencia los modelos de pronósticos elaborados en otros estudios [12], se consideró incluir ecuaciones basadas en una regresión potencial, dado que con ese modelo se han obtenido mejores resultados [6].

Para simplificar la resolución de los coeficientes *"bi"* de la fórmula (Ecuación 6-19), se aplicará a ambos lados de la regresión de la función logaritmo natural, la cual transformará la regresión potencial en una regresión lineal multivariada, tal como se indica a continuación:

$$Ln(\varphi) = Ln(b_0) + b_1 \cdot Ln(\pi_1) + b_2 \cdot Ln(\pi_2) + b_3 \cdot Ln(\pi_3) + b_4 \cdot Ln(\pi_4) + b_5 \cdot Ln(\pi_5) + b_6 \cdot Ln(\pi_6) + b_7 \cdot \mathrm{Ln}(\pi_7) + b_8 \cdot Ln(\pi_8)$$

Ecuación 6-20

Con la aplicación de la función logaritmo natural, se transformó la regresión potencial en una regresión lineal, la cual es mucho más simple de manejar.

Para la resolución de la ecuación anterior, se propone emplear la metodología general para regresiones lineales múltiples.

6.7.1 ***Metodología General de Regresiones Lineales Múltiples***

La regresión lineal múltiple [9], tiene por objetivo analizar un modelo que busca explicar el comportamiento de una variable *(Q)*, utilizando la información proporcionada por un conjunto de variables explicativas *(A, An, H, Hn, Pp, S, Lat, Lon, Az),* lo anterior por medio del manejo de los parámetros adimensionales π_i, considerados como variables explicativas.

El modelo lineal múltiple es representado por la siguiente ecuación general:

$$\mathrm{Y} = \mathrm{b}_0 + \mathrm{b}_1\mathrm{X}_1 + \mathrm{b}_2\mathrm{X}_2 + \cdots + \mathrm{b}_\mathrm{k}\mathrm{X}_\mathrm{k} + \mathrm{u}$$

Ecuación 6-21

En la ecuación anterior se distinguen los siguientes componentes:

Y: Corresponde a la variable explicada o dependiente

X_k: Son las variables explicativas o independientes

b_k: Corresponden a los parámetros que denotan la magnitud del efecto que producen las variables independientes en la variable explicadas o dependiente

b_0: Consiste en el llamado término constante del modelo

u: Se denomina término de error del modelo.

Si se considera que se cuenta con un conjunto de "T" observaciones para cada una de las variables, explicada (endógena) y explicativa (exógenas), el modelo se puede escribir de la siguiente forma:

$$Y_t = b_0 + b_1 X_{1t} + b_2 X_{2t} + \cdots + b_k X_{kt} + u_t \quad ; t = 1,2,3 \ldots . T$$ Ecuación 6-22

Suponiendo que el comportamiento y la relación entre las variables endógena y exógenas es bien representado por el modelo, y que además se cuenta con un conjunto de "T" observaciones, el problema radica en estimar los valores que alcanzan los parámetros b_0, b_1, b_2,…b_k.

6.7.2 *Hipótesis del Modelo Lineal*

Luego de que se obtengan valores tentativos para los parámetros del modelo b_k y teniendo evaluaciones de las variables X_k, es posible efectuar estimaciones de la variable Y, siempre y cuando se verifique el cumplimiento de las siguientes hipótesis:

- Las variables X_1, X_2,…, X_k son deterministas, es decir no son variables aleatorias, debido a que su valor es constante y es originado de mediciones tomadas.
- El término de error del modelo "u_t" es una variable aleatoria con esperanza nula y matriz de covarianzas constante y diagonal. Es decir, para todo t, la variable u tiene media cero y varianza σ^2 no dependiente de t, y además $Cov(u_i,u_j) = 0$ para todo i y para todo j distintos entre sí.
- El hecho de que la varianza de u_t sea constante para todo t se denomina **hipótesis de homoscedasticidad**.

- El hecho de que Cov(ui,uj) = 0 para todo i distinto de j se denomina **hipótesis de no autocorrelación.**
- La variable Y es aleatoria debido a que depende de la variable u_t.
- Se supone la ausencia de errores de especificación, es decir que se supone que todas las variables X son relevantes para la explicación de la variable Y
- Las variables X_1, X_2,…, X_k son linealmente independientes, lo que implica que no hay relación lineal exacta entre ellas, esta condición se conoce como **hipótesis de independencia**.

6.7.3 *Planteamiento Matricial del Modelo*

Considerando que la resolución del problema involucra diversas cuencas, con la respectiva estadística de sus variables, se plantea el modelo lineal múltiple indicado en la Ecuación 6-22, como un sistema de forma matricial. Las ecuaciones se agrupan de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_{11} & X_{21} & \dots X_{k1} \\ 1 & X_{21} & X_{22} & \dots X_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & X_{1T} & X_{2T} & \dots X_{kT} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ u_t \end{bmatrix} \qquad \text{Ecuación 6-23}$$

En la ecuación anterior, el parámetro “T” corresponde al número de observaciones, es decir al número de mediciones de una variable realizados para una cuenca.

Simplificadamente, se puede escribir de la siguiente forma:

$$[Y] = [X] \cdot \{B\} + \{u\} \qquad \text{Ecuación 6-24}$$

Es fundamental para el modelo, la estimación de los valores numéricos de los coeficientes “b”, los cuales se pueden obtener basándose en la información proporcionada por la muestra.

Por lo tanto, si se cuenta con un vector de estimaciones $\hat{B}$ de los coeficientes, se puede escribir:

$$\hat{Y} = X\hat{B} = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 X_1 + \hat{b}_2 X_2 + \cdots + \hat{b}_k X_k \qquad \text{Ecuación 6-25}$$

$$\hat{Y}_t = \hat{b}_0 + \hat{b}_1 X_{1t} + \hat{b}_2 X_{2t} + \cdots + \hat{b}_k X_{kt} \quad ; t = 1,2,3 \ldots . T \qquad \text{Ecuación 6-26}$$

Por definición, los residuos corresponden a la diferencia entre los verdaderos valores de la variable Y_t y los valores estimados para ésta, es decir:

$$\hat{u} = Y_t - \hat{Y}_t \quad ; \text{para todo t} \qquad \text{Ecuación 6-27}$$

De la relación anterior, se puede despejar la variable Y en función de su estimación $\hat{Y}_t$, y el error asociado a ello quedando de la siguiente manera:

$$Y_t = \hat{Y}_t + \hat{u} \quad = X\hat{B} + \hat{u} \qquad \text{Ecuación 6-28}$$

Teniendo en cuenta que el modelo original es: $Y = XB + u$

Y el modelo estimado corresponde a: $\hat{Y}_t = X\hat{B} + \hat{u}$

La estimación de los parámetros puede calcularse mediante el método de los mínimos cuadrados, consistente en minimizar la suma de los cuadrados de los residuos, también llamada suma residual (SR), cuya expresión es la siguiente:

$$SR = \hat{u}'\hat{u} = \sum_{t=1}^{T} \hat{u}_t^{\,2} = \sum_{t=1}^{T} \left(Y_t - \hat{Y}_t\right)^2 \qquad \text{Ecuación 6-29}$$

6.7.4 ***Análisis de la Varianza***

Para la explicación de la varianza del modelo, se presentan los siguientes conceptos:

Suma total $ST = \sum_{t=1}^{T}(Y_t - \bar{Y})^2 = Y'Y - T\bar{Y}^2$ Ecuación 6-30

Suma explicada $SE = \sum_{t=1}^{T}(\ddot{Y}_t - \bar{Y})^2 = \ddot{Y}'Y - T\bar{Y}^2$ Ecuación 6-31

Suma residual $SR = \sum_{t=1}^{T}(Y_t - \ddot{Y})^2 = \hat{u}'\hat{u}$ Ecuación 6-32

En que $\bar{Y}$ representa el valor medio.

Entonces, la suma total es la varianza muestral de la variable endógena o explícita, y es por tanto una medida del tamaño de las fluctuaciones experimentadas por dicha variable alrededor de su valor medio.

La suma explicada es el grado de fluctuación de la variable $\ddot{Y}_t$ (estimación de la variable Y), alrededor del promedio de Y ($\bar{Y}$). Por lo tanto, corresponde al nivel de fluctuación de la variable Y, que el modelo explica o representa.

La suma residual, vista anteriormente, es un indicador del nivel del error del modelo en el intento de explicar el comportamiento de la variable Y.

6.7.5 ***Coeficiente de Determinación "R^2"***

Se define el coeficiente de determinación "R^2", como una medida descriptiva del ajuste global del modelo, cuyo valor es el cociente entre la variabilidad explicada (o suma explicada (SE)) y la variabilidad total (o suma total (ST)), es decir:

$$R^2 = \frac{SE}{ST} = 1 - \frac{SR}{ST}$$ Ecuación 6-33

Entonces, un modelo será mejor cuanto mayor sea R^2, aunque esta afirmación no sea demasiado inflexible, ya que este coeficiente depende mucho de nuevas variables introducidas en el modelo, aunque éstas no empeoren la calidad de la regresión. Este problema se arregla calculando el coeficiente de determinación corregido, el cual para muestras grandes, ya no depende del número de variables del modelo.

Se define el coeficiente de correlación múltiple como la raíz cuadrada del coeficiente de determinación, y su valor es “R”.

6.8 Descripción del Procedimiento para Generación de las Ecuaciones Propuestas

El método de la regresión lineal múltiple, busca determinar los coeficientes de la ecuación lineal (b_k) asociadas a las variables independientes (X_k). Para el caso de este estudio, se generaron regresiones lineales múltiples considerando como variable dependiente o explicada, a aquellos números adimensionales constituidos en base al caudal medio anual (Q), esto permite, obtener la una relación para "Q", despejando dicha variable del modelo obtenido para cada uno de los números adimensionales indicados (π_4, π_9,π_{10},π_{11}, π_{12}).

Como variables independientes, se tomó el resto de los números adimensionales formulados y algunas combinaciones de estos (π_1,π_2,π_3,π_5, π_6,π_7, π_8,π_1/π_3,π_2/π_3, π_2/π_1,π_3/π_1,π_1/π_3,$\pi_3 x \pi_2/\pi_1$), que pudieran mejorar el ajuste.

De acuerdo a lo anterior, para la selección del modelo se analizaron 5 relaciones lineales múltiples (1 por cada π configurado con la variable "Q") para cada tipo de modelo (lineal o exponencial), obteniéndose un total de 10 modelos resultantes para realizar la selección final.

Una vez definidas las opciones a analizar, se decidió realizar los cálculos de las ecuaciones mediante el procedimiento *"Paso a Paso"*. Este procedimiento se basa en ir añadiendo o eliminando parámetros (b_k) en el modelo lineal (Ecuación 6-22), y analizando el ajuste de las ecuaciones lineales múltiples resultantes. En este método, se puede partir del modelo más sencillo y se van añadiendo cada vez más parámetros, procedimiento que se denomina "método paso a paso hacia adelante", por el contario, cuando se parte del modelo más completo y se van eliminando parámetros paso a paso, se le conoce como el modelo "paso a paso hacia atrás".

En este trabajo se utilizó el procedimiento "hacia atrás", debido a que varios autores [11] lo consideran como más seguro. Una estrategia alternativa consiste en tomar el modelo saturado como punto de partida, y luego ir eliminando los términos que no satisfacen el criterio de permanencia en el modelo (se encuentra incorporado en los paquetes del software SPSS, utilizado en esta memoria).

CAPÍTULO 7: **ECUACIONES RESULTANTES Y SELECCIONADA**

En este capítulo se presenta un resumen de las ecuaciones resultantes, luego de la aplicación de los procedimientos matemáticos explicados en los puntos anteriores y mediante la metodología descrita en la Figura 6-1.Se realiza una selección de las ecuaciones generadas, para finalmente determinar entre éstas, la que resulte más adecuada para realizar las estimaciones de caudales medios anuales de cuencas nivo-pluviales.

7.1 Ecuaciones Lineales

En base a la metodología de regresiones lineales múltiples, se utilizó como variables dependientes los números adimensionales constituidos en función de la variable "Q" (π_4, π_9,π_{10}, π_{11}, π_{12}), y como variables independientes el resto de los números adimensionales y combinaciones de éstos. En el cuadro siguiente, se presenta un resumen de los resultados obtenidos y los valores de los coeficientes que constituyen la relación lineal que mejor se ajusta a la base de datos modelada:

Tabla 7-1: Resumen Ecuaciones Lineales

N° Ecuación	Variable Dependiente	Variables Predictoras	R	R^2	Coeficientes Estandarizados	
EL1	π_4	π_6	0,761	0,579	a_0	39,762
					a_1	-1,151
EL2	π_9	π_1 π_2	0,914	0,836	a_0	-0,138
					a_1	0,181
					a_2	0,575
EL3	π_{10}	π_1 π_2	0,916	0,840	a_0	-0,139
					a_1	0,182
					a_2	0,550
EL4	π_{11}	π_1/ π_2 π_2/ π_1	0,966	0,934	a_0	-58,625
					a_1	14,272
					a_2	41,292
EL5	π_{12}	π_2 π_3	0,910	0,828	a_0	-0,021
					a_1	0,489
					a_2	-0,208

Más detalles de las ecuaciones lineales generadas, pueden ser revisados en los anexos de este trabajo.

Siguiendo el procedimiento indicado en la Figura 6-1, a priori, se descarta la ecuación lineal 1 (EL1), debido a que presenta un coeficiente de correlación R^2= 0,58; inferior al valor mínimo aceptado para este estudio (R^2 mínimo = 0,7). Por otra parte, se puede observar que el resto de las ecuaciones lineales resultantes presentan coeficientes de correlación aceptables, obteniéndose para la relación que considera a π_{11} como variable dependiente, el coeficiente más alto del este grupo, el cual alcanza una magnitud de R= 0,966 (R^2=0,934).

Para la formulación de las *Ecuaciones Lineales Pre-seleccionadas*, se considera la relación mostrada en la Ecuación 6-18, la que para el caso particular de la ecuación lineal 2 (EL2), se obtiene lo siguiente:

$$\boldsymbol{\pi_9 = a_0 + a_1\pi_1 + a_2\pi_2} \qquad \text{Ecuación 7-1}$$

Luego, se reemplazan los valores de los coeficientes indicados en la tabla anterior, y las variables que conforman los números adimensionales *π,* para finalmente obtener la siguiente ecuación de estimación de caudal:

EL2: $$Q = \frac{A^{2,5} \cdot Pp}{A_n \cdot H_n} \cdot \left(0{,}575\frac{H}{\sqrt{A}} + 0{,}181\frac{A_n}{A} - 0{,}138\right) \qquad \text{Ecuación 7-2}$$

De manera similar, se obtuvieron el resto de las ecuaciones lineales Pre-seleccionadas:

EL3: $$Q = 0{,}550\frac{A^2 \cdot Pp}{A_n} + 0{,}182\frac{A^{1,5}Pp}{H} - 0{,}139\frac{A^{2,5} \cdot Pp}{A_n \cdot H} \qquad \text{Ecuación 7-3}$$

EL4: $$Q = A \cdot Pp \cdot H_n\left(41{,}292 \cdot \sqrt{A} \cdot \left(\frac{H}{A_n}\right)^2 + \frac{14{,}272}{\sqrt{A}} - 58{,}625 \cdot \frac{H}{A_n}\right) \qquad \text{Ecuación 7-4}$$

EL5: $$Q = A^{1,5} \cdot Pp\left(\frac{0,489}{H_n} - 0,021\frac{\sqrt{A}}{H_n \cdot H} - \frac{0,208}{H}\right)$$ Ecuación 7-5

Las variables utilizadas en las ecuaciones anteriores, se describen a continuación:

A: Área de la cuenca (m^2)

A_n: Área nival (m^2)

H: Altura media de la cuenca (m)

H_n: Altura media del área cubierta con nieve (m)

P_p : Precipitación media anual (m/s) (a partir de mm/año)

Q: Caudal medio anual (m^3/s)

Utilizando las 4 ecuaciones lineales *Pre seleccionadas* y determinadas anteriormente, se estiman los caudales medios anuales de las cuencas de la base de datos de este trabajo y se calculan los errores relativos (respecto de los caudales medidos). Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 7-2: Ecuaciones Lineales Pre-seleccionadas

Caudales medios Anuales Estimados y Errores Relativos

Cuencas	Q_med (m^3/h)	Ecuación Lineal 2		Ecuación Lineal 3		Ecuación Lineal 4		Ecuación Lineal 5	
		Q_est (m^3/h)	ER	Q_est (m^3/h)	ER	Q_est (m^3/h)	ER	Q_est (m^3/h)	ER
Putaendo en Resguardo Los Patos	8,35	6,89	17,5%	6,83	18,2%	13,41	60,6%	5,58	33,2%
Juncal en Juncal	5,85	4,85	17,1%	4,89	16,5%	2,88	50,8%	4,85	17,2%
Colorado antes junta Olivares	16,56	15,32	7,5%	15,37	7,2%	16,63	0,4%	14,77	10,8%
Maipo en Melosas	42,34	46,43	9,6%	47,34	11,8%	38,58	8,9%	9,82	76,8%
Olivares antes junta Colorado	9,30	9,46	1,7%	9,29	0,2%	10,07	8,2%	10,61	14,1%
Volcán en Queltehues	15,89	21,35	34,4%	21,79	37,1%	24,58	54,7%	22,06	38,9%
Río Yeso en Embalse	9,30	8,69	6,6%	8,62	7,3%	9,57	2,9%	9,49	2,0%
Sobrante en Piñadero	1,04	2,33	125,3%	2,59	150,1%	-0,12	111,6%	2,33	125,4%
Pedernal en Tejada	0,27	0,56	105,3%	0,68	149,0%	3,14	1047,3%	0,26	4,2%
Alicahue en Colliguay	1,32	-1,64	224,3%	-2,69	303,6%	-3,21	342,7%	0,62	53,3%
Promedio			54,93%		70,10%		168,81%		37,57%

ER: Errores relativos

Q_med: Caudal promedio anual medido

Q_est: Caudal promedio anual estimado

De acuerdo a la metodología definida (Figura 6-1) y los resultados obtenidos (Tabla 7-2), las ecuaciones lineales anteriores EL2, EL3 y EL4 se consideran descartadas, dado a que sus ER alcanzan valores muy superiores al definido como criterio en este trabajo. Solo la EL5 presenta un error relativo promedio inferior a un 40%, por lo tanto se selecciona para los análisis de sensibilidad.

7.2 Ecuaciones Exponenciales

Se aplicó la función logaritmo natural a todas las variables independientes (π_4, π_9, π_{10}, π_{11}, π_{12}) y a las variables dependientes (resto de números adimensionales creados y combinaciones de estos), linealizando las ecuaciones exponenciales, y de esta manera se trataron con la misma metodología para relaciones lineales múltiples vista anteriormente. El resumen de las ecuaciones exponenciales resultantes se presenta en la tabla siguiente:

Tabla 7-3: Resumen Ecuaciones Exponenciales

N° Ecuación	Variable Dependiente	Variables Predictoras	R	R^2	Coeficientes Estandarizados	
EE1	Ln (π_4)	Ln (π_6)	0,784	0,615	b_0	64,408
					b_1	-18,285
EE2	Ln (π_9)	Ln (π_3 / π_2) Ln (π_2 / π_1)	0,963	0,927	b_0	0,101
					b_1	-11,374
					b_2	1,038
EE3	Ln (π_{10})	Ln (π_3 / π_2) Ln (π_1 / π_2)	0,971	0,943	b_0	0,101
					b_1	-12,374
					b_2	-1,038
EE4	Ln (π_{11})	Ln (π_2 / π_1)	0,969	0,939	b_0	-0,004
					b_1	-1,851
EE5	Ln (π_{12})	Ln (π_2) Ln (π_6)	0,934	0,873	b_0	-51,249
					b_1	2,146
					b_2	14,631

De las cinco (5) ecuaciones exponenciales generadas con las combinaciones de los números adimensionales, se obtuvo cuatro (4) ecuaciones distintas, debido a que EE2 y EE3, presentan la misma configuración (las mismas variables explicativas y los mismos coeficientes), por lo tanto entre estas dos (2), preliminarmente se descartó del procedimiento de selección la ecuación EE2, por presentar menor coeficiente de correlación que el obtenido para EE3.

Luego, siguiendo con lo propuesto en la Figura 6-1, se descarta la ecuación exponencial 1 (EE1), debido a que el coeficiente de correlación obtenido es inferior a 0,70. Por lo tanto, las ecuaciones EE3, EE4 y EE5, se consideran pre-seleccionadas, y se calcularán los errores relativos (ER) asociados a sus estimaciones.

Para la formulación de las *Ecuaciones Exponenciales Pre-seleccionadas*, se considera la relación de la Ecuación 6-19. A continuación, se desarrolla la formulación para la ecuación exponencial 3 (EE3), obteniéndose lo siguiente:

$$\ln(\pi_{10}) = b_0 + b_1 . Ln\left({}^{\pi_3}/_{\pi_2}\right) + b_2 \cdot Ln\left({}^{\pi_1}/_{\pi_2}\right)$$ Ecuación 7-6

Luego de aplicar la función exponencial a ambos lados de la relación, se obtiene:

$$\pi_{10} = \mathrm{K} \cdot \left({}^{\pi_3}/_{\pi_2}\right)^{b_1} \cdot \left({}^{\pi_1}/_{\pi_2}\right)^{b_2}$$ Ecuación 7-7

Se reemplaza los números adimensionales π de la regresión por las variables que los conforman, los valores de los coeficientes (indicados en Tabla 7-2), y se despeja el caudal, obteniéndose la siguiente relación:

EE3: $$Q = 1,110 \cdot P_p \cdot A^{3,02} \cdot H_n{}^{-12,37} \cdot A_n{}^{-2,04} \cdot H^{12,41}$$ Ecuación 7-8

Análogamente, se obtienen las formulaciones para el resto de las *Ecuaciones Exponenciales Pre-seleccionadas*:

EE4: $$Q = 0,996 \cdot P_p \cdot \left(\frac{A_n}{H}\right)^{0,85} \cdot H_n \cdot A^{0,074}$$ Ecuación 7-9

EE5: $$Q = 5,53x10^{-23} \cdot P_p \cdot \frac{H^{1,146} . A^{0,93} . Lat^{14,63}}{H_n}$$ Ecuación 7-10

A continuación, se describen las variables empleadas en las ecuaciones anteriormente expuestas:

A: Área de la cuenca (m^2)

A_n: Área nival (m^2)

H: Altura media de la cuenca (m)

H_n: Altura media del área cubierta con nieve (m)

P_p : Precipitación media anual (m/s) (a partir de mm/año)

Lat: Latitud (°)

Q: Caudal medio anual (m^3/s)

Mediante las expresiones anteriores, se estimaron los caudales medios anuales de las cuencas de la base de datos de este trabajo y se calculan los errores relativos (respecto de los caudales medidos). Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 7-4: Ecuaciones Exponenciales Pre-seleccionadas

Caudales medios Anuales Estimados y Errores Relativos

Cuencas	Q_med (m^3/h)	Ecuación Exponencial 3		Ecuación Exponencial 4		Ecuación Exponencial 5	
		Q_est (m^3/h)	ER	Q_est (m^3/h)	ER	Q_est (m^3/h)	ER
Putaendo en Resguardo Los Patos	8,35	11,22	34%	10,88	30%	8,76	5%
Juncal en Juncal	5,85	4,42	24%	5,51	6%	3,98	32%
Colorado antes junta Olivares	16,56	13,68	17%	12,81	23%	13,18	20%
Maipo en Melosas	42,34	28,65	32%	32,32	24%	44,35	5%
Olivares antes junta Colorado	9,30	11,63	25%	8,37	10%	8,65	7%
Volcán en Queltehues	15,89	16,88	6%	19,62	23%	21,99	38%
Río Yeso en Embalse	9,30	8,72	6%	8,66	7%	9,25	1%
Sobrante en Piñadero	1,04	1,38	33%	2,37	106%	1,63	58%
Pedernal en Tejada	0,27	0,25	9%	0,28	3%	0,32	18%
Alicahue en Colliguay	1,32	1,09	18%	0,75	44%	0,93	30%
Promedio			20,61%		27,55%		21,31%

Los errores relativos obtenidos son inferiores al 40%, para las tres (3) ecuaciones exponenciales evaluadas, por lo tanto las ecuaciones EE3, EE4 y EE5, son consideradas para el análisis de sensibilidad (según lo definido en Figura 6-1).

7.3 Análisis de Sensibilidad Ecuaciones Seleccionadas

Se realiza un análisis de sensibilidad a las ecuaciones seleccionadas, con el fin de evitar que los errores en las mediciones de las variables involucradas en las ecuaciones, impacten en forma significativa en los caudales estimados por estas.

El análisis de sensibilidad, se realizó a las *Ecuaciones Seleccionadas* en los puntos desarrollados anteriormente, estas son:

- Ecuación Lineal: EL5
- Ecuaciones Exponenciales: EE3, EE4 y EE5

La metodología empleada para este análisis, consiste en lo siguiente:

1. Se mantienen invariables los coeficientes constantes y los exponentes de las ecuaciones seleccionadas.
2. Se calculan los valores medios de cada variable explicativa incluidas en las ecuaciones seleccionadas (obtenidos de los valores de la base de datos).
3. Con cada una de las ecuaciones, se estiman los caudales medios anuales, utilizando los valores medios de las variables explicativas.
4. Se calculan los caudales medios anuales, pero se impone una variación de una de las variables entre un -25% y un 25% (respecto de su valor medio), manteniendo el resto de las variables fijas entorno a su valor medio calculado inicialmente. Esto último se realiza para cada una de las variables explicativas.
5. Finalmente, se calculan los errores relativos respecto de los caudales medios anuales estimados con los valores medios de las variables, y los resultados obtenidos con las variaciones.

Siguiendo la metodología enunciada en los puntos anteriores, se obtuvieron los errores relativos de todos los caudales estimados para cada una de las cuatro ecuaciones seleccionadas (EL5, EE3, EE4 y EE5), y considerando la variación propuesta para cada una de las variables involucradas en dichas ecuaciones. Los resultados se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 7-5: Resultados Análisis de Sensibilidad Ecuación Lineal 5

Variación de las variables de la ecuación	Errores Relativos - Ecuación Lineal 5 (EL5)			
	A	H	Hn	Pp
-25%	21,3%	130,4%	111,1%	25,0%
-20%	16,5%	97,8%	83,3%	20,0%
-15%	12,0%	69,0%	58,8%	15,0%
-10%	7,7%	43,5%	37,0%	10,0%
-5%	3,7%	20,6%	17,5%	5,0%
0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
+5%	3,4%	18,6%	15,9%	5,0%
+10%	6,5%	35,6%	30,3%	10,0%
+15%	9,2%	51,0%	43,5%	15,0%
+20%	11,7%	65,2%	55,6%	20,0%
+25%	13,7%	78,2%	66,7%	25,0%

Promedio total: 31,5%

Tabla 7-6: Resultados Análisis de Sensibilidad Ecuación Exponencial 3

Variación de las variables de la ecuación	Errores Relativos - Ecuación Exponencial 3 (EE3)				
	A	H	An	Hn	Pp
-25%	67,3%	118,3%	33,8%	28,2%	28,2%
-20%	68,1%	106,6%	41,4%	36,7%	36,7%
-15%	68,9%	96,2%	48,9%	45,3%	45,3%
-10%	69,6%	86,9%	56,3%	53,8%	53,8%
-5%	70,3%	78,5%	63,6%	62,4%	62,4%
0%	70,9%	70,9%	70,9%	70,9%	70,9%
+5%	71,5%	64,0%	78,2%	79,5%	79,5%
+10%	72,1%	57,6%	85,3%	88,0%	88,0%
+15%	72,7%	51,8%	92,5%	96,6%	96,6%
+20%	73,2%	46,4%	99,6%	105,1%	105,1%
+25%	73,8%	41,4%	106,6%	113,7%	113,7%

Promedio total: 71,5%

Tabla 7-7: Resultados Análisis de Sensibilidad Ecuación Exponencial 4

Variación de las variables de la ecuación	Errores Relativos - Ecuación Exponencial 4 (EE4)				
	A	H	An	Hn	Pp
-25%	2,1%	27,7%	21,7%	25,0%	25,0%
-20%	1,6%	20,9%	17,3%	20,0%	20,0%
-15%	1,2%	14,8%	12,9%	15,0%	15,0%
-10%	0,8%	9,4%	8,6%	10,0%	10,0%
-5%	0,4%	4,5%	4,3%	5,0%	5,0%
0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
+5%	0,4%	4,1%	4,2%	5,0%	5,0%
+10%	0,7%	7,8%	8,4%	10,0%	10,0%
+15%	1,0%	11,2%	12,6%	15,0%	15,0%
+20%	1,4%	14,4%	16,8%	20,0%	20,0%
+25%	1,7%	17,3%	20,9%	25,0%	25,0%

Promedio total: 10,4%

Tabla 7-8: Resultados Análisis de Sensibilidad Ecuación Exponencial 5

Variación de las variables de la ecuación	Errores Relativos - Ecuación Exponencial 5 (EE5)				
	A	H	An	Hn	Pp
-25%	23,5%	28,1%	33,3%	98,5%	25,0%
-20%	18,7%	22,6%	25,0%	96,2%	20,0%
-15%	14,0%	17,0%	17,6%	90,7%	15,0%
-10%	9,3%	11,4%	11,1%	78,6%	10,0%
-5%	4,7%	5,7%	5,3%	52,8%	5,0%
0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
+5%	4,6%	5,8%	4,8%	104,2%	5,0%
+10%	9,3%	11,5%	9,1%	303,3%	10,0%
+15%	13,9%	17,4%	13,0%	672,7%	15,0%
+20%	18,5%	23,2%	16,7%	1340,2%	20,0%
+25%	23,1%	29,1%	20,0%	2516,9%	25,0%

Promedio total: 108,6%

Los resultados mostrados anteriormente, indican que la EE4 presenta el ER promedio más bajo de 10,4%, seguida de la EL5 con 31,5%, posterior a estas se encuentra la EE3 con 71,5%, y finalmente la EE5 con el ER igual a 108,6%, el promedio más alto entre las ecuaciones evaluadas.

7.4 Ecuación Seleccionada Final

Previo a la selección final de la ecuación, se presenta un resumen de los resultados conseguidos luego de utilizar la metodología de selección definida en la Figura 6-1:

- Mediante la construcción de los números adimensionales *π*, y la aplicación de la metodología para ecuaciones lineales múltiples, se obtuvo cinco (5) ecuaciones lineales (EL1, EL2, EL3, EL4 y EL5) y cuatro (4) ecuaciones exponenciales diferentes (EE1, EE3, EE4, y EE5).

- Se verificó el cumplimiento del criterio impuesto para el coeficiente de correlación ($R^2 \geq 0{,}70$) de las ecuaciones inicialmente generadas, quedando las siguientes *Ecuaciones Pre-seleccionadas*: EL2, EL3, EL4, EL5, EE3, EE4, y EE5

- Con las *Ecuaciones Pre-seleccionadas* se estimaron los caudales medios anuales y se calcularon los ER promedios, comparando los valores obtenidos con el criterio impuesto de ER ≤ 40%. Las *Ecuaciones Seleccionadas* fueron las siguientes: EL5, EE3, EE4 y EE5.

- Se realizó un análisis de sensibilidad a las *Ecuaciones Seleccionadas*, verificando que la ecuación exponencial 4 (EE4), es la que presenta un comportamiento más estable, obteniendo un ER promedio (10,4%) mucho más bajo que el resto de las ecuaciones.

- Finalmente, en base a los resultados de la metodología de selección, la ecuación *Seleccionada Final corresponde a la ecuación exponencial 4 (EE4)*, cuya relación es la mostrada a continuación:

EE4: $$Q = 0{,}996 \cdot P_p \cdot \left(\frac{A_n}{H}\right)^{0{,}85} \cdot H_n \cdot A^{0{,}074}$$ Ecuación 7-9

En que:

Q: caudal estimado en (m^3/s)

P_p: precipitación acumulada anual en (m/s)

A_n: área nival en (m^2)

H: altura media de una cuenca en m.s.n.m.

H_n: altura media del área cubierta con nieve m.s.n.m.

A: área total de una cuenca en (m^2)

Mediante el valor del error relativo, se evaluó el impacto de la variabilidad en los parámetros físicos seleccionados para la ecuación de estimación, en el cálculo de los caudales medios anuales.

Se puede observar que el comportamiento de la ecuación es más sensible a la variabilidad de los parámetros físicos Hn (altura media de la zona cubierta por nieve), H (altura media de la cuenca) y Pp (precipitación anual), variando proporcionalmente con estos. La ecuación se muestra menos sensible a variaciones del área total de la cuenca (A). En la figura siguiente, se graficó el análisis de sensibilidad realizado para la ecuación finalmente seleccionada:

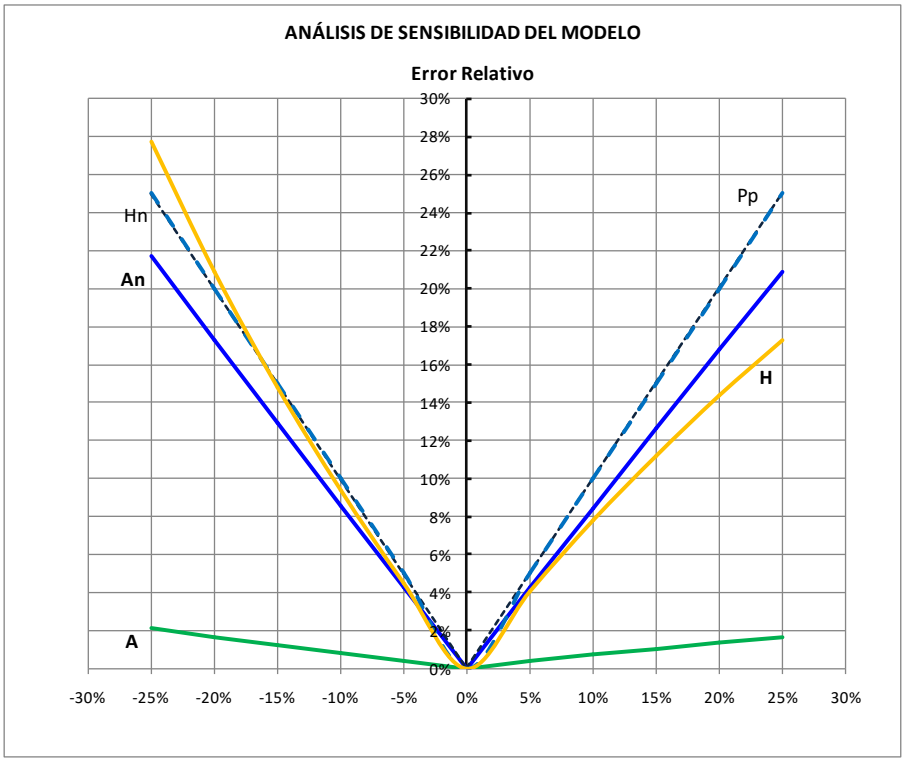


Figura 7-1: Análisis de Sensibilidad de las Variables Seleccionadas por el Modelo

CAPÍTULO 8: **TRANSPOSICIÓN DE CAUDALES DE CUENCAS NIVO-PLUVIALES MEDIANTE ECUACIÓN SELECCIONADA**

8.1 Transposición de Caudales Medios Anuales

Si bien mediante la ecuación finalmente seleccionada (Ecuación 7-9), es posible estimar directamente los caudales medios anuales de una cuenca, por medio de la información de las variables incorporadas (H, A_n, A, P_p), dicha relación matemática también podría utilizarse para realizar una transposición de caudales, aunque esto no forma parte del objetivo principal de su formulación, en este capítulo se presentan los resultados de los caudales estimados por transposición de las cuencas consideradas en la base de datos de este trabajo.

El procedimiento considera utilizar la información fluviométrica conocida de una cuenca de similares características, a una cuenca sin información fluviométrica, aplicando la ecuación para estimación de caudales a ambas cuencas, definiéndose como "Q_{medido}" la relación evaluada en la cuenca de datos conocidos, y como "$Q_{estimado}$" la ecuación aplicada a la cuenca sin datos fluviométricos, luego suponiendo similitud hidrológica entre cuencas es factible considerar lo siguiente:

$$\frac{Q_estimado}{Q_medido} = \frac{0{,}996 \cdot P_{p_est} \cdot \left(\frac{A_{n_est}}{H_{est}}\right)^{0{,}85} \cdot H_{n_est} \cdot A_{est}^{0{,}074}}{0{,}996 \cdot P_{p_med} \cdot \left(\frac{A_{n_med}}{H_{med}}\right)^{0{,}85} \cdot H_{n_med} \cdot A_{med}^{0{,}074}} \qquad \text{Ecuación 8-1}$$

De la ecuación anterior se despeja "$Q_{estimado}$":

$$Q_estimado = Q_medido \cdot \frac{P_{p_est}}{P_{p_med}} \cdot \left(\frac{A_{n_est}}{A_{n_med}} \cdot \frac{H_{med}}{H_{est}}\right)^{0{,}85} \cdot \frac{H_{n_est}}{H_{n_med}} \cdot \left(\frac{A_{est}}{A_{med}}\right)^{0{,}074} \qquad \text{Ecuación 8-2}$$

En la tabla siguiente se presentan los resultados de los "caudales transpuestos", calculados con la ecuación 8-2, en función de los datos fluviométricos y fisiográficos de las otras

cuencas de la base de datos, indicadas en las columnas de la misma tabla. Por ejemplo, la fila 1 considera la cuenca “Putaendo en Resguardo Los Patos”, y su caudal medio anual transpuesto con la cuenca “Volcán en Queltehues”, alcanza el valor de 8,81 m^3/s (columna 7). De manera similar se expresan los resultados para las otras cuencas incluidas en cada fila y transpuestas con las cuencas de cada columna. La diagonal de la tabla corresponde a los caudales medidos, debido a que la cuenca de $Q_{estimado}$ es la misma cuenca de Q_{medido}.

Tabla 8-1: Matriz de valores Q estimados v/s Q medidos

	Q medidos (m^3/s)									
Q estimados (m^3/s)	Putaendo en Resguardo Los Patos	Juncal en Juncal	Colorado antes junta Olivares	Maipo en Melosas	Olivares antes junta Colorado	Volcán en Queltehues	Río Yeso en Embalse	Sobrante en Piñadero	Pedernal en Tejada	Alicahue en Colliguay
Putaendo en Resguardo Los Patos	8,35	11,54	14,07	14,27	12,08	8,81	11,67	4,75	10,52	19,22
Juncal en Juncal	4,24	5,85	7,14	7,24	6,13	4,47	5,92	2,41	5,34	9,75
Colorado antes junta Olivares	9,83	13,58	16,56	16,80	14,22	10,37	13,73	5,60	12,38	22,62
Maipo en Melosas	24,78	34,24	41,75	42,34	35,85	26,14	34,61	14,11	31,22	57,02
Olivares antes junta Colorado	6,43	8,89	10,84	10,99	9,30	6,78	8,98	3,66	8,10	14,80
Volcán en Queltehues	15,06	20,81	25,38	25,74	21,79	15,89	21,04	8,58	18,98	34,66
Río Yeso en Embalse	6,66	9,20	11,22	11,38	9,63	7,02	9,30	3,79	8,39	15,32
Sobrante en Piñadero	1,82	2,51	3,07	3,11	2,63	1,92	2,54	1,04	2,29	4,19
Pedernal en Tejada	0,22	0,30	0,37	0,37	0,31	0,23	0,30	0,12	0,27	0,50
Alicahue en Colliguay	0,57	0,79	0,97	0,98	0,83	0,61	0,80	0,33	0,72	1,32

8.2 Análisis de Resultados

De los valores obtenidos para los caudales transpuestos, para cada cuenca considerada, se observa que el ER promedio de todas las cuencas alcanza un valor de 30,4%, sin embargo cuando se revisan los valores para cada cuenca, el ER varía entre 0,1% (Juncal en Juncal) y 142,5% (Sobrante en Piñadero), lo que demuestra una gran variabilidad en los resultados. Los valores comentados, se pueden ver en la tabla siguiente:

Tabla 8-2: Análisis de resultados de las transposición de caudales

Cuenca	Q trans. prom (m^3/s)	Q trans. máx. (m^3/s)	Q trans. mín. (m^3/s)	Q medido (m^3/s)	ER prom.	ER con Q trans máx.	ER con Q trans mín.	Desv. Est.	Coef. Var.
Putaendo en Resguardo Los Patos	11,53	19,22	4,75	8,35	38,0%	130,1%	75,6%	3,98	34,5%
Juncal en Juncal	5,85	9,75	2,41	5,85	0,1%	66,5%	142,7%	2,11	36,0%
Colorado antes junta Olivares	13,57	22,62	5,60	16,56	18,1%	36,6%	195,9%	4,76	35,1%
Maipo en Melosas	34,21	57,02	14,11	42,34	19,2%	34,7%	200,2%	11,94	34,9%
Olivares antes junta Colorado	8,88	14,80	3,66	9,30	4,6%	59,1%	154,1%	3,19	36,0%
Volcán en Queltehues	20,79	34,66	8,58	15,89	30,9%	118,2%	85,3%	7,26	34,9%
Río Yeso en Embalse	9,19	15,32	3,79	9,30	1,2%	64,7%	145,4%	3,31	36,0%
Sobrante en Piñadero	2,51	4,19	1,82	1,04	142,5%	304,2%	43,1%	0,72	28,6%
Pedernal en Tejada	0,30	0,50	0,12	0,27	9,5%	82,6%	121,3%	0,11	35,9%
Alicahue en Colliguay	0,79	0,98	0,33	1,32	40,0%	25,7%	304,2%	0,21	26,0%
Promedios	**10,76**	**17,91**	**4,52**	**11,02**	**30,4%**	**92,2%**	**146,8%**	**3,76**	**33,8%**

Los resultados de la transposición de caudales mediante la ecuación generada en este estudio, dependen de la cuenca con la cual se esté efectuando la transposición, entre los valores de la Tabla 8-1 se distinguen claramente los pares de cuencas para los cuales se obtuvo una calidad aceptable en las estimaciones, por ejemplo: Putaendo en Resguardo Los

Patos con Volcán en Queltehues, Juncal en Juncal con Río Yeso en Embalse, Colorado antes Junta Olivares con Maipo en Las Melosas, Olivares antes Junta Colorado con Río Yeso en Embalse.

Las estimaciones obtenidas con la transposición indicados en la tabla anterior, se compararon con los resultados conseguidos con la aplicación directa de la ecuación presentados en la Tabla 7-4, observándose que para esta última, el promedio de los caudales estimados alcanza el valor de 27,55%, por lo tanto la estimación mediante la aplicación directa de la ecuación presenta mejores resultados.

CAPÍTULO 9: **VALIDACIÓN Y COMPARACIÓN DE LA ECUACIÓN GENERADA**

Luego de elaborar la ecuación para la estimación de caudales medios anuales y evaluar los resultados, se realizó una validación de este modelo mediante cálculos complementarios, consistentes en la aplicación de la ecuación obtenida a cuencas no incluidas en el estudio, para finalmente calcular el error relativo de la estimación, y con ello, formarse una idea de los errores reales a obtener con su utilización. Relacionado con esto último, también se realizó una comparación con otros modelos de estimación de caudales.

Para esta validación, la evaluación de la ecuación se realizó con cuencas no incluidas en la base de datos utilizada para la formulación, y el objetivo principal de esto es obtener una apreciación de la calidad de la estimación o de la divergencia alcanzada luego de utilizar la ecuación.

9.1 Cuencas Utilizadas en la Validación y Comparación de la Ecuación Seleccionada

Hasta este punto, se examinó el comportamiento de la ecuación generada por medio de un análisis de sensibilidad, identificando las variables que producen mayor impacto en el resultado de las estimaciones. Posteriormente, y con el objetivo de obtener una mejor medida de la calidad de las estimaciones, se realizó una validación y comparación de la ecuación formulada con otras relaciones. Dicha comparación, consiste en aplicar la ecuación generada en este estudio y los modelos de la comparación, a un conjunto de 23 cuencas, conformado por las 10 cuencas de la base de datos, y por otras 13 cuencas distintas, 2 de las cuales se obtuvieron del estudio de referencia [2] y las 11 restantes pertenecientes al estudio de las relaciones que servirán para la comparación [10]. Finalmente, se calculan los errores relativos de cada ecuación, respecto de los caudales medidos.

En la tabla siguiente se indican las 13 cuencas que sumaron a la base de datos para la comparación de los modelos:

Tabla 9-1: Cuencas utilizadas en la Comparación de Modelos

Cuencas
Río Grande en las Ramadas (*)
Arrayán en la Montosa (*)
Río Tránsito en Angostura Pinte
Río Conay en las Lozas
Estero Derecho en Alcohuaz
Río Cochiguaz en el Peñón
Rio Toro antes junta Rio la Laguna
Embalse Laguna
Río Illapel en las Burras
Río Chalinga en la Palmilla
Río Choapa en Cuncumen
Río Colorado en Colorado
Estero Pocuro en el Sifón

(*) Indica cuencas seleccionadas del estudio [2]. El resto de las cuencas incluidas en la tabla se obtuvieron del trabajo de Ramírez Perretti[10].

9.1.1 ***Modelos Utilizados para la Comparación***

Para la comparación realizada, se utilizaron modelos clásicos de la hidrología, formulados en base a la relación precipitación escorrentía, los cuales fueron ajustadas para responder adecuadamente a las estimaciones de escorrentía de cuencas de régimen nivo-pluvial de las regiones de Chile III, IV y V. El ajuste mencionado, se obtuvo del trabajo realizado por Leandro Ramírez Perretti[10].

Los modelos utilizados se presentan a continuación:

Fórmula de Turc-ajustada

$$D = \frac{0{,}715 \cdot P}{\sqrt{0{,}9 + (0{,}715 \cdot \frac{P}{L})^2}}$$ Ecuación 9-1

Donde:

D: déficit de escorrentía (mm)

P: precipitación media anual (mm)

En que:

$$L = 53{,}365 \cdot T + 0{,}052 \cdot T^3 + 3{,}655 \cdot T^4 + 0{,}743 \cdot T^5$$ Ecuación 9-2

T: Temperatura media anual (°C)

Luego:

$E_s = P - D\ (mm)$

Fórmula de Coutagne-ajustada

$$D = 0{,}79 \cdot P - \lambda \cdot P^2\ (m)$$ Ecuación 9-3

En que:

$$\lambda = \frac{1}{261 \cdot T^2 + 63 \cdot T^3}\ ;\ para \frac{1}{8\lambda} < P < \frac{1}{2\lambda}$$ Ecuación 9-4

Donde:

T: Temperatura media anual (°C)

Para:

$P \leq \frac{1}{8\lambda}$; No hay escorrentía (D=P)

$P \geq \frac{1}{2\lambda}$; El déficit es independiente de P, por lo tanto:

$$D = 0{,}2 + 0{,}35T$$ Ecuación 9-5

<u>Fórmula de Turc-Pike-ajustada</u>

$$D = \frac{0{,}727 \cdot P}{\sqrt{1+(0{,}727 \cdot \frac{P}{L})^2}}$$ Ecuación 9-6

Donde:

D: déficit de escorrentía (mm)

P: precipitación media anual (mm)

En que:

$$L = ETP + 0{,}0005 \cdot ETP^3$$ Ecuación 9-7

T: Temperatura media anual (°C)

ETP: Evapotranspiración potencial (mm)

Luego:

$E_s = P - D \ (mm)$

9.1.2 ***Resultados de la Comparación de Modelos***

Para realizar la comparación de los modelos, fue necesario completar la base de datos utilizada en el presente estudio, con la información de las variables requeridas por los otros modelos, como la temperatura media anual de la cuenca (T) y la evapotranspiración potencial (ETP). Esta información se levantó del mismo estudio [10] de donde se obtuvo los modelos, para aquellas cuencas coincidentes, y para el resto se utilizó el documento de la Comisión Nacional de Riego, "Cálculo y Cartografía de la Evapotranspiración Potencial en Chile" y el "Balance Hídrico Nacional", de la Dirección General de Aguas.

Los valores medidos de las variables involucradas en las estimaciones, se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 9-2: Variables Requeridas para la Estimación de Caudales

Cuencas	A (km^2)	An (km^2)	An/A	H (m.s.n.m)	Hn (m.s.n.m)	Pp (mm/año)	T (°C)	ETP (mm/año)
Putaendo en Resguardo Los Patos	852	486	0,57	2.780	3.210	802	5,4	305
Juncal en Juncal	223	212	0,95	3.770	3.940	960	2,2	70
Colorado antes junta Olivares	834	767	0,92	3.600	3.730	687	4,8	356
Maipo en Melosas	1.487	1.413	0,95	3.200	3.350	995	8,5	460
Olivares antes junta Colorado	531	483	0,91	3.670	3.730	700	5,3	372
Volcán en Queltehues	535	482	0,9	3.350	3.540	1.603	8,3	495
Río Yeso en Embalse	352	341	0,97	3.540	3.630	1.000	5,2	411
Sobrante en Piñadero	208	123	0,59	2.690	3.200	550	6,6	396
Pedernal en Tejada	75	14	0,19	2.170	3.190	409	7,1	429
Alicahue en Colliguay	288	60	0,21	2.262	3.150	300	8,2	512
Río Grande en las Ramadas	697	275	3.220	3.960	283	15,5	1.180	4,37
Arrayán en la Montosa	218	144	2.501	2.850	371	11,8	1.103	1,65
Río Tránsito en Angostura Pinte	2.833	1.177	0,42	3.598	4.286	99	6,8	1.231
Río Conay en las Lozas	1.815	794	0,44	3.739	4.334	101	5,5	1.201
Estero Derecho en Alcohuaz	415	262	0,63	3.411	3.819	161	1,1	1.231
Río Cochiguaz en el Peñón	595	399	0,67	3.494	3.860	162	0,9	1.224

Cuencas	A (km^2)	An (km^2)	An/A	H (m.s.n.m)	Hn (m.s.n.m)	Pp (mm/año)	T (°C)	ETP (mm/año)
Rio Toro antes junta Rio la Laguna	424	308	0,73	3.898	4.202	166	-1,9	1.131
Embalse Laguna	522	159	0,31	4.198	4.828	170	-3,9	1.064
Río Illapel en las Burras	618	383	0,62	3.022	3.406	435	3,9	729
Río Chalinga en la Palmilla	206	148	0,72	3.190	3.484	451	2,9	692
Río Choapa en Cuncumen	1.134	822	0,73	3.101	3.455	441	3,4	710
Río Colorado en Colorado	849	654	0,80	2.991	3.242	990	3,8	191
Estero Pocuro en el Sifón	171	11	0,06	1.738	2.922	595	12,1	798

Utilizando la información de la tabla anterior, se calcularon los caudales medios anuales obtenidos por los diferentes modelos a comparar, los resultados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 9-3: Resumen de Resultados de Comparación de Caudales Medios Anuales Estimados

Cuencas		Q medido (m^3/s)	Turc ajustado		Coutagne ajustado		Turc-Pike ajustado		Ecuación seleccionada	
			Q estimado (m^3/s)	ER	Q estimado (m^3/s)	ER	Q estimado (m^3/s)	ER	Q estimado (m^3/s)	ER
1	Putaendo en Resguardo Los Patos	8,35	5,40	35,3%	5,56	33,4%	5,93	29,0%	10,88	30,28%
2	Juncal en Juncal	5,85	5,15	12,1%	4,80	18,1%	5,16	11,8%	5,51	5,89%
3	Colorado antes junta Olivares	16,56	4,59	72,3%	4,82	70,9%	4,96	70,0%	12,81	22,66%
4	Maipo en Melosas	42,34	11,56	72,7%	10,68	74,8%	12,81	69,7%	32,32	23,67%
5	Olivares antes junta Colorado	9,30	2,94	68,4%	2,99	67,9%	3,22	65,4%	8,37	10,00%
6	Volcán en Queltehues	15,89	6,70	57,8%	6,53	58,9%	7,43	53,3%	19,62	23,46%
7	Río Yeso en Embalse	9,30	2,82	69,7%	3,06	67,1%	3,05	67,2%	8,66	6,84%
8	Sobrante en Piñadero	1,04	0,99	4,4%	0,93	10,5%	1,10	5,9%	2,14	106,23%
9	Pedernal en Tejada	0,27	0,24	12,5%	0,22	21,3%	0,27	3,1%	0,28	2,92%
10	Alicahue en Colliguay	1,32	0,67	48,9%	0,59	55,2%	0,75	43,4%	0,75	43,53%
11	Río Grande en las Ramadas	4,37	1,54	64,8%	1,32	69,8%	1,71	60,9%	2,54	41,90%
12	Arrayán en la Montosa	1,65	0,44	73,1%	0,38	76,9%	0,49	70,2%	1,57	4,93%
13	Río Tránsito en Angostura Pinte	4,03	2,20	45,4%	1,90	52,7%	2,44	39,5%	3,36	16,64%
14	Río Conay en las Lozas	2,14	1,43	33,3%	1,25	41,6%	1,58	26,1%	2,30	7,67%
15	Estero Derecho en Alcohuaz	1,35	1,37	1,8%	1,34	0,9%	0,58	57,2%	1,22	9,33%
16	Río Cochiguaz en el Peñón	2,96	2,18	26,2%	2,66	10,0%	0,83	71,9%	1,79	39,52%
17	Río Toro antes junta Río la Laguna	0,70	1,39	98,9%	1,19	69,7%	0,61	12,8%	1,43	103,90%
18	Embalse Laguna	2,27	2,24	1,4%	1,95	14,1%	0,77	66,2%	0,91	59,87%
19	Río Illapel en las Burras	2,81	2,23	20,8%	2,29	18,4%	2,35	16,5%	4,65	65,62%
20	Río Chalinga en la Palmilla	1,06	1,06	0,4%	0,99	6,9%	0,81	24,0%	1,93	82,37%

Cuencas		Q medido (m^3/s)	Turc ajustado		Coutagne ajustado		Turc-Pike ajustado		Ecuación seleccionada	
			Q estimado (m^3/s)	ER	Q estimado (m^3/s)	ER	Q estimado (m^3/s)	ER	Q estimado (m^3/s)	ER
21	Río Choapa en Cuncumen	10,17	4,50	55,8%	4,61	54,6%	4,33	57,4%	9,39	7,67%
22	Río Colorado en Colorado	6,60	8,40	27,2%	9,21	39,5%	7,64	15,8%	16,42	148,77%
23	Estero Pocuro en el Sifón	0,98	0,80	18,8%	0,69	29,4%	0,88	10,0%	0,38	60,75%
			Promedio	40,1%		41,9%		41,2%		41,9%

En la tabla anterior, las cuencas numeradas de 1 a 10 son las cuencas seleccionadas en la presente memoria, las 11 y 12 se obtuvieron de la referencia [2], mientras que las numeradas desde el 13 al 21 corresponden a las incluidas para la comparación [10].

De la aplicación de los modelos ajustados, se aprecia que al calcular el ER promedio total de las estimaciones en el conjunto de cuencas, los valores obtenidos son muy similares en magnitud. El menor ER se consiguió con la fórmula de Turc ajustada, alcanzando un 40,1%, a este lo siguen Turc-Pike ajustado ajustado y el modelo de Coutagne ajustado, con un ER de 41,2% y ER de 41,9%, respectivamente.

El resultado con la ecuación seleccionada promedia un ER de 41,9%, levemente superior a los ER promedios obtenidos con los modelos ajustados, sin embargo es prácticamente comparable a los resultados de dichos modelos, debido a que la diferencia en los resultados de los promedios totales no es significativa.

Cabe señalar, que al revisar los resultados individuales del conjunto de cuencas, la ecuación seleccionada y generada en este trabajo, presenta el menor ER en 10 de las 23 cuencas estudiadas, y en otras 2 cuencas sus ER son los segundos de menor valor entre las relaciones comparadas. Sin embargo, presenta las estimaciones individuales de mayor ER, las que corresponden a 148,8% y 106,2%, para la cuencas Rio Colorado en Colorado y Sobrante en Piñadero, respectivamente. Dejando fuera del análisis estas últimas cuencas, el ER promedio de las 21 cuencas restantes alcanza el 31,9%.

En el gráfico siguiente, se presentan los caudales estimados por las relaciones comparadas, versus los caudales medidos, para las 23 cuencas del conjunto.

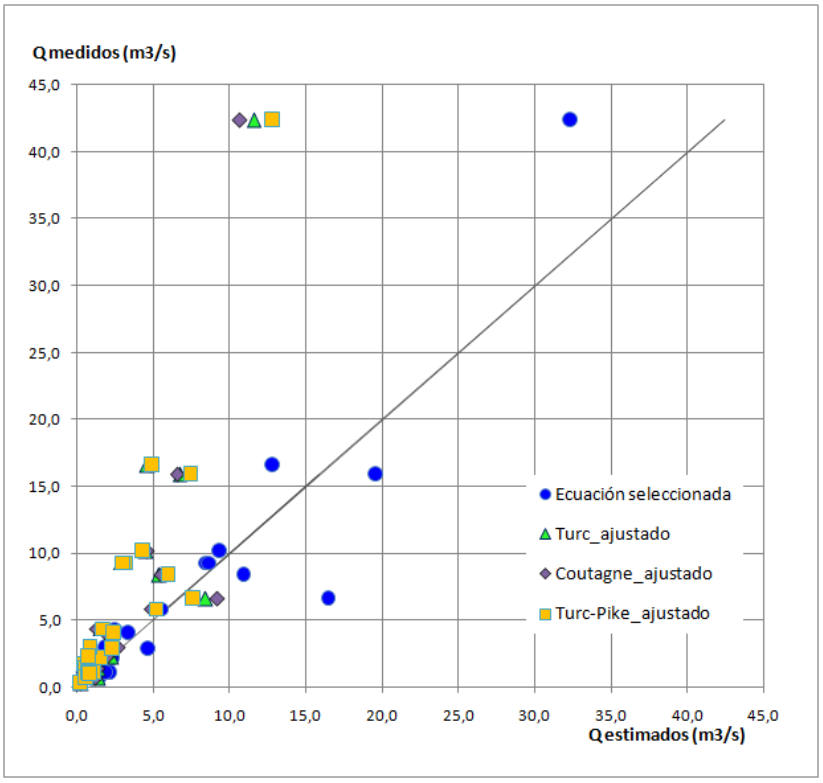


Figura 9-1: Q Medios Anuales Estimados v/s Q Medios Anuales Medidos

Gráficamente, se puede observar que los caudales estimados con la ecuación seleccionada, se encuentran cercanos a la recta de igualdad entre caudales medidos y caudales estimados, lo que verifica el buen ajuste logrado, sin embargo, a pesar de que los cálculos con la ecuación elaborada en este estudio presenta un ER algo mayor que los modelos ajustados utilizados en la comparación, dicha ecuación presenta el error cuadrático medio (ECM) más bajo de todos, correspondiente a 0,70, en comparación con el 1,55 para Turc-Pike ajustado, 1,65 para Coutagne ajustado y 1,61 obtenido para Turc ajustado. En estos términos, la ecuación elaborada en este trabajo resulta competitiva y recomendable de utilizar.

En la tabla siguiente, se presenta el resumen de los cálculos del ECM:

Tabla 9-4: ECM de la Estimación de Caudales Mediante Modelos Comparados

Cuencas	$Di^2 = (Q_{medido_i} - Q_{estimado_i})^2$			
	Turca justado	Coutagne ajustado	Turc-Pike ajustado	Ecuación seleccionada
Putaendo en Resguardo Los Patos	8,70	7,77	5,87	6,39
Juncal en Juncal	0,50	1,12	0,48	0,12
Colorado antes junta Olivares	143,18	137,81	134,47	14,08
Maipo en Melosas	947,49	1002,37	872,00	100,46
Olivares antes junta Colorado	40,54	39,87	37,03	0,86
Volcán en Queltehues	84,36	87,51	71,62	13,89
Río Yeso en Embalse	41,99	38,96	39,08	0,40
Sobrante en Piñadero	0,00	0,01	0,00	1,21
Pedernal en Tejada	0,00	0,00	0,00	0,00
Alicahue en Colliguay	0,42	0,53	0,33	0,33
Río Grande en las Ramadas	8,02	9,32	7,10	3,36
Arrayán en la Montosa	1,45	1,61	1,34	0,01
Río Tránsito en Angostura Pinte	3,35	4,52	2,53	0,45
Río Conay en las Lozas	0,51	0,79	0,31	0,03
Estero Derecho en Alcohuaz	0,00	0,00	0,60	0,02
Río Cochiguaz en el Peñón	0,60	0,09	4,53	1,37
Río Toro antes junta Río la Laguna	0,48	0,24	0,01	0,53
Embalse Laguna	0,00	0,10	2,26	1,85
Río Illapel en las Burras	0,34	0,27	0,21	3,40
Río Chalinga en la Palmilla	0,00	0,01	0,06	0,76
Río Choapa en Cuncumen	32,20	30,86	34,10	0,61
Río Colorado en Colorado	3,23	6,79	1,08	96,41
Estero Pocuro en el Sifón	0,03	0,08	0,01	0,35
ECM = $\sqrt{\frac{\sum Di^2}{n(n-1)}}$	1,61	1,65	1,55	0,70

Revisando los resultados de las estimaciones, se identificó que en los casos de mayor ER (valores superiores al ER total promedio de 41,9%), las cuencas presentaban menor relación entre el área nival (A_n) y el área total de la cuenca (A). Sin embargo, no se detectó una correlación entre el ER y la relación A_n/A, por lo tanto no es posible afirmar que constituye una regla general, en este estudio, pero a pesar de ello se distingue una influencia. Se graficó los valores de A_n/A para cada una de las cuencas, y se marcaron con un círculo de

color verde las cuencas en las cuales se obtuvo un ER mayor al promedio total, se aprecia que todas presentan valores de la relación entre áreas inferior a 0,8. También se puede observar, que la mayoría de las 10 cuencas base del presente trabajo (10 primeras de izquierda a derecha en el gráfico), tienen valores superiores a 0,9 para la relación de las áreas

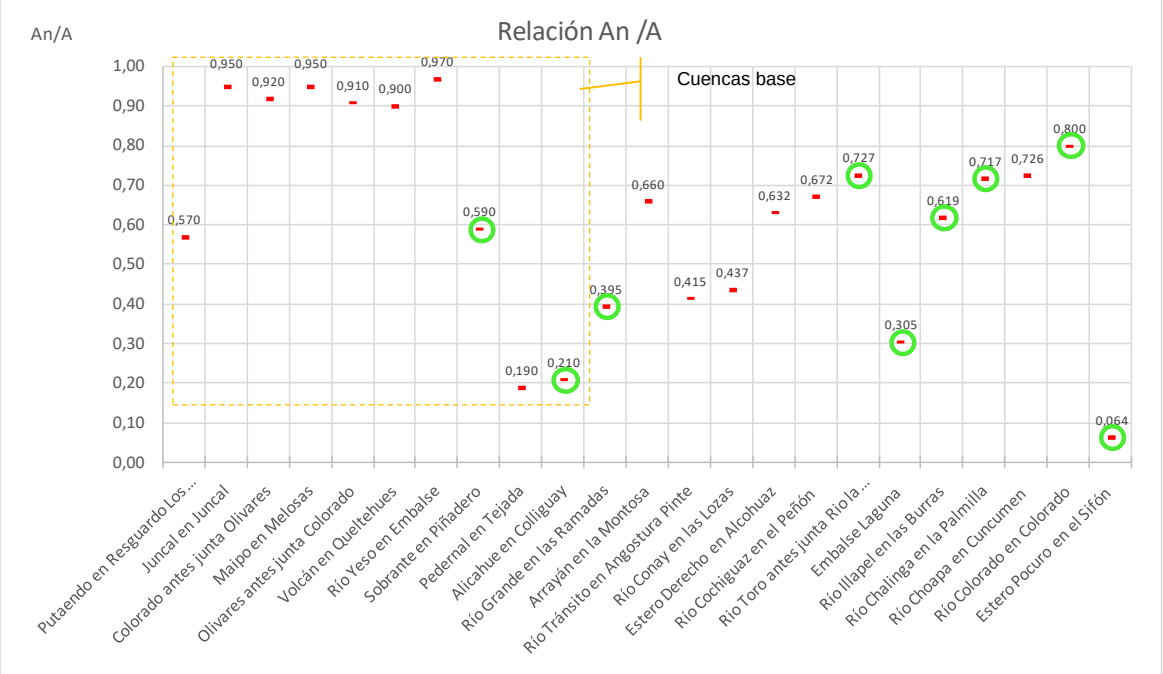


Figura 9-2: Relación A_n/A para las cuencas analizadas en la comparación

Otra observación, tiene relación con el cálculo de las precipitaciones consideradas, en este trabajo la pluviometría media anual de una cuenca, corresponde a un valor aproximado, obtenido como el valor interpolado de las isoyetas cercanas al centro de gravedad de cada cuenca. Las precipitaciones estimadas para las cuencas incluidas en el estudio de comparación [10], fueron calculadas en función de los registros de las estaciones cercanas, definiendo una distribución por altura geográfica y ponderando con las áreas asociadas a cada altura media (curva hipsométrica) con los valores de precipitación correspondiente. Comparativamente, con este último método se obtienen precipitaciones mayores, respecto de la aproximación empleada en este estudio, lo que influiría en los resultados de las estimaciones de caudales y en los ER asociados, de acuerdo a lo planteado en el numeral 7.4 (análisis de sensibilidad de ecuación seleccionada).

9.1.3 *Ecuación de Estimación de Caudales Alternativa Generada Mediante el Ajuste Matemático de la Ecuación Seleccionada*

Aprovechando la información proporcionada por el otros estudios de la comparación [10] y el análisis adimensional realizado, alternativamente se plantea una fórmula de estimación de caudales formulada en base a la ecuación seleccionada y generada en el presente trabajo (Ecuación 7-9), mediante un ajuste de esta, por medio de la modificación de los coeficientes constantes incluidos en su configuración, los cuales variaron su magnitud en función de minimizar el error relativo promedio total del conjunto de 23 cuencas considerado en la comparación. Igualmente a lo realizado para los modelos modificados de la comparación [10], el ajuste se hizo utilizando la herramienta “Solve” de Excel.

En base a lo indicado anteriormente, la ecuación se presenta de la siguiente forma:

$$Q = c_0 \cdot {P_p}^{c1} \cdot \left(\frac{A_n}{H}\right)^{c_2} \cdot {H_n}^{c3} \cdot A^{c_4} \qquad \text{Ecuación 9-8}$$

Minimizando el ER promedio total de las estimaciones, los coeficientes “c_i“ calculados con “Solver”, modificaron la ecuación seleccionada quedando de la siguiente forma:

$$Q = 0{,}60 \cdot P_p^{1{,}137} \cdot \left(\frac{A_n}{H}\right)^{0{,}098} \cdot {H_n}^{0{,}028} \cdot A^{1{,}036} \qquad \text{Ecuación 9-9}$$

Con la ecuación modificada (Ecuación 9-9), se recalcularon los caudales medios anuales y se estimaron los ER respectivos.

Tabla 9-5: Resumen de Resultados de Comparación de Caudales Medios Anuales Estimados con Ecuación Seleccionada Modificada

Cuencas	Q_est (m^3/h)	Q_med (m^3/h)	Error Relativo
Putaendo en Resguardo Los Patos	10,07	8,35	20,58%
Juncal en Juncal	2,77	5,85	52,63%
Colorado antes junta Olivares	8,46	16,56	48,93%
Maipo en Melosas	25,12	42,34	40,68%
Olivares antes junta Colorado	5,16	9,30	44,51%
Volcán en Queltehues	13,44	15,89	15,40%
Río Yeso en Embalse	4,90	9,30	47,27%
Sobrante en Piñadero	1,33	1,04	28,83%
Pedernal en Tejada	0,27	0,27	0,01%
Alicahue en Colliguay	0,89	1,32	32,60%
Río Grande en las Ramadas	2,35	4,37	46,34%
Arrayán en la Montosa	0,91	1,65	44,69%
Río Tránsito en Angostura Pinte	3,49	4,03	13,43%
Río Conay en las Lozas	2,14	2,14	0,00%
Estero Derecho en Alcohuaz	0,71	1,35	47,15%
Río Cochiguaz en el Peñón	1,08	2,96	63,41%
Rio Toro antes junta Rio la Laguna	0,76	0,70	8,74%
Embalse Laguna	0,90	2,27	60,19%
Río Illapel en las Burras	3,50	2,81	24,52%
Río Chalinga en la Palmilla	1,06	1,06	0,04%
Río Choapa en Cuncumen	7,16	10,17	29,57%
Río Colorado en Colorado	13,03	6,60	97,45%
Estero Pocuro en el Sifón	0,98	0,98	0,00%
		Promedio	**33,35%**

El ajuste permitió reducir el ER promedio total de 41,9% a 33,35%, sin embargo y como era de esperarse, se produjo un aumento en el ER promedio en la estimación considerando solo las 10 cuencas de la base de este trabajo, el cual pasó de 27,6% a 33,1%.

CAPÍTULO 10: **CONCLUSIONES**

Para la elaboración de la ecuación, se debe tener presente que se está simplificando la principal complejidad presente en este tipo de sistemas, que corresponde al desfase temporal de los flujos máximos registrados en el período estival, período en el que se produce el derretimiento de la nieve y que influye directamente en la escorrentía. Por lo tanto, la estimación no representa la variabilidad de los caudales asociados a las características estacionales de una hoya hidrográfica. De acuerdo a esto, es recomendable para estudios posteriores, analizar el problema a una escala temporal menor, como la estacional o mensual, con el objeto de representar el efecto de la variación de los caudales medios cuencas de régimen mixto.

La generación de una ecuación para la estimación de caudales, que sea capaz de considerar la estadística fluviométrica de otras cuencas, para estimar el caudal medio de otras sin información, supone la similitud de sus características fisiográficas e hidrológicas, condición muy difícil de encontrar entre cuencas reales, sobre todo con una separación considerable entre estas, debido entre otras razones, a las diferencias climáticas que se acentúan a lo largo del territorio de Chile, la variación de la geográfica debido a la presencia de las cordillera de los Andes y de la Costa, lo que influye en los tipos de suelo y de roca, no todos los tipos de rocas poseen la misma capacidad de infiltración y almacenamiento. Sin duda, dichos aspectos, que dificultan la generación de relaciones matemáticas capaces de representar las diferentes características presentes en grandes extensiones de territorio, pueden ser suplidos por la modelación sectorizada, que involucre condiciones climáticas particulares, reduciendo el riesgo de no representar las condiciones específicas de las cuencas que se evalúan.

En cuanto a la selección de cuencas para la realización del análisis, se procuró elegir aquellas que presentaran una mayor cantidad de años de mediciones realizadas, en que los datos de los últimos años, no se encuentren influenciados por la presencia de obras hidráulicas que modifiquen las magnitudes de flujos aguas arriba de las secciones de medición.

Se consideró conveniente realizar la formulación de la ecuación para la estimación de caudales, mediante la utilización de índices adimensionales, lo que presentó la ventaja de

poder combinar dichos índices de manera sencilla, para construir varias formulaciones distintas para la ecuación propuesta.

Complementariamente, la metodología de selección propuesta y la utilización del software estadístico SPSS, permitió seleccionar adecuadamente entre las diferentes alternativas de ecuaciones generadas, aquella, que si bien no presentaba el coeficiente de correlación más alto (R^2= 0,94), demostró ser más estable frente a las variaciones en sus variables dependientes, según lo observado en el análisis de sensibilidad realizado.

En relación a la configuración de la ecuación, ninguna de las variables consideradas como números adimensionales por sí solas (Latitud, Longitud, Az, S) presentaron una correlación importante para ser incluidas en la ecuación generada, particularmente las relacionadas con la ubicación del centro de gravedad, Latitud y Longitud, debido a que presentan una pequeña variación entre cuencas, dada la cercanía de estas. Las variables finalmente seleccionadas por el procedimiento estadístico, corresponden básicamente a características físicas de la cuenca de fácil estimación, como lo son el área (A), el área cubierta por nieve (An), la altura media (H) y la altura media de la zona cubierta por nieve (Hn). Respecto de las variables meteorológicas incluidas, se consideró a la precipitación media anual (Pp), parámetro de fácil estimación, si se tiene presente la disponibilidad de información de la red de estaciones meteorológicas existentes actualmente en Chile [4]. En base a lo indicado anteriormente, es posible concluir que la ecuación elaborada en este trabajo cumple con el objetivo planteado inicialmente, consistente en construir una ecuación para la estimación de caudales medios anuales de fácil aplicación.

La forma exponencial de la ecuación seleccionada, y la magnitud de sus exponentes, implica que el impacto en el resultado del caudal estimado frente a una variación en los valores de sus variables, se presenta proporcionalmente con la magnitud de dicho cambio. Al respecto, las variables que muestran dicho comportamiento corresponden a la precipitación anual (Pp), el área nival (An), la altura media (H) y la altura media del área nival (Hn), dado que a que sus exponentes tienen el valor de 1 o cercano a 1. Respecto del área total de la cuenca (A), el caudal estimado se presenta menos sensible a la variación de esta variable, debido a que su exponente es menor a 1.

Se considera menos factible que el error asociado a la medición de las variables fisiográficas (An, H y Hn), influya considerablemente en las estimaciones de la ecuación, esto debido a la simpleza del procedimiento para su obtención, además es posible contrastar sus valores con

otras fuentes alternativas de información. En relación a la estimación de la precipitación (Pp), podría resultar más probable cometer errores de magnitudes significativas en el cálculo de esta, lo que impactaría en la misma proporción el valor resultante de caudal medio anual de la cuenca bajo análisis, por lo que se recomienda especial cuidado en la estimación de dicha variable.

La aplicación de la ecuación finalmente seleccionada (Ecuación 7-9), arrojó un error relativo promedio de 27,6%, respecto de los caudales medidos de todas las cuencas de la base de datos.

En general, es posible verificar que el ER de las estimaciones no superan el valor promedio (Tabla 7-4), salvo para las cuencas Alicahue en Collihuay (43,5%) y Sobrante en Piñadero (106,2%), obteniéndose para esta última el ER máximo, cuyo valor eleva el promedio global en 10%.

Respecto de la transposición de caudales mediante la ecuación seleccionada, se calculó el caudal estimado de cada cuenca, obtenido como el promedio de las transposiciones realizadas con las otras cuencas de la base (ver Tabla 8-2). De los resultados obtenidos, el ER promedio total de todas las transposiciones alcanzó un valor de 30,4%, sin embargo, se pudo verificar gran variabilidad de los resultados, lo que no permite verificar la validez de la transposición. Por lo tanto, en relación a la ecuación elaborada en este trabajo, se recomienda realizar las estimaciones de caudales mediante la aplicación directa de la fórmula, dado a que se obtienen mejores resultados que con la transposición.

De los resultados de la transposición, se concluye que el aumento del ER, respecto de las estimaciones con información de la propia cuenca, puede ser atribuible a la complejidad para obtener similitud hidrológica entre cuencas, especialmente si se consideran la variabilidad de tipos de suelos, vegetación y topografía, existentes en zonas no muy extensas del territorio nacional.

Al realizar la comparación de modelos para la estimación de caudales medios anuales, se aprecia que al calcular el ER promedio total de las estimaciones en el conjunto de cuencas, los valores obtenidos son muy similares en magnitud. El menor ER se consiguió con la fórmula de Turc ajustada, alcanzando un 40,1%, a este lo siguen Turc-Pike ajustado y el modelo de Coutagne ajustado, con un ER de 41,2% y ER de 41,9%, respectivamente.

El resultado con la ecuación seleccionada promedia un ER de 41,9%, levemente superior a los ER promedios obtenidos con los modelos ajustados, sin embargo es prácticamente comparable a los resultados de dichos modelos, debido a que la diferencia no es significativa.

Cabe señalar, que al revisar los resultados individuales del conjunto de cuencas, la ecuación seleccionada y generada en este trabajo, presenta el menor ER en 10 de las 23 cuencas estudiadas, y en otras 2 cuencas sus ER son los segundos de menor valor entre las relaciones comparadas. Sin embargo, presenta las estimaciones individuales de mayor ER, las que corresponden a 148,8% y 106,2%, para la cuencas Rio Colorado en Colorado y Sobrante en Piñadero, respectivamente. Dejando fuera del análisis estas últimas cuencas, el ER promedio de las 19 cuencas restantes alcanza el 31,9%.

Sin embargo, se observó que los caudales estimados con la ecuación de este trabajo, presenta menor sesgo que los modelos clásicos ajustados, dado a que sus valores se distribuyen más cercanos a la recta de 45° que representa la igualdad entre caudales medidos y estimados. Para verificar lo anterior, se calculó el ECM para cada ecuación comparada, obteniéndose el menor valor para la ecuación generada en esta memoria, alcanzando el valor de 0,70, versus los 1,55 para Turc -Pike ajustado, 1,65 para Coutagne ajustado y 1,61 obtenido para Turc ajustado. Con dicho antecedente, se considera la ecuación competitiva y recomendable de utilizar.

La formulación de una ecuación de estimación alternativa, elaborada en base al análisis adimensional y la información aprovechada de los otros estudios, permitió obtener un ER promedio de 33,4% (inferior al 41,9% de la ecuación original) para el conjunto de 23 cuencas, sin embargo y como era de esperarse, se produjo un aumento en el ER promedio en la estimación considerando solo las 10 cuencas de la base de este trabajo, el cual pasó de 27,6% a 33,1%.

Se debe considerar, que en función de las cuencas empleadas en este trabajo, se recomienda la aplicación de la fórmula propuesta para la estimación de caudales medios anuales en cuencas de la zona central de Chile.

CAPÍTULO 11: **BIBLIOGRAFÍA**

[1] **ESPÍLDORA, B.** Elementos de Hidrología.: Universidad de Chile, 1975.

[2] **PEÑA, H. Y GARÍN, C.** Estimación de Caudales Medios de Cuencas de Montaña en Función de sus Características Fisiográficas.: Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica, V Congreso Nacional, 1982.

[3] **HERAS, R.** Manual de Hidrología, Tomo 1, Principios Básicos en Hidrología, Dirección General de Obras Hidráulicas Centro de Estudios Hidrográficos, España, 1972.

[4] **INFORMACIÓN OFICIAL HIDROMETEOROLÓGICA Y DE CALIDAD DE AGUAS EN LÍNEA –DGA-MOP.** Reportes Fluviométricos y Reportes Meteorológicos. 2008.

[5] **BALANCE HÍDRICO NACIONAL**. Dirección General de Aguas, 1988.

[6] **ANDRE JUSTINIANO, M. A.** Similitud Hidrológica y Transferencia de Información Fluviométrica en Cuencas de la Zona Central de Chile.: Universidad Técnica Federico Santa María, 2009.

[7] **CÁLCULO Y CARTOGRAFÍA DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL EN CHILE.** Comisión Nacional de Riego, 1997.

[8] **POTTER, M.C Y WIGGERT, D. C**. Mecánica de Fluidos.: Prentice Hall, 1997.

[9] **PÉREZ, C.** Técnicas Estadísticas de SPSS12 Aplicaciones al Análisis de Datos, Pearson-Prentice Hall, 2005.

[10] **RAMÍREZ PERRETTI, L. E.** Análisis de los Modelos de Precipitación-Escorrentía para Cuencas Nivo-Pluviales de la 3°, 4° y 5° Región de Chile, Universidad de Valparaíso, 2013.

[11] **MARIA JOSE RODRIGUEZ JAUME, M.J. Y MORAR CATALA, R.**Estadística Informática: Casos y Ejemplos con el Spss, Universidad de Alicante, 2001.

[12] **MARIA JOSE RODRIGUEZ JAUME, M.J. Y MORAR CATALA, R.**Manual de Cálculo de Crecidas y Caudales Mínimos en Cuencas sin Información Fluviométrica.

ANEXOS

ANEXO 1:ResumenParámetros Físicos e Hidrológicos de Cuencas Base del Estudio

INDICES FISIOGRAFICOS Y CAUDALES ANUALES

N	Estación	A Km²	Lat º	Lon º	H msnm	Az º	An/A	Hn msnm	S
1	Laguna en Embalse	546,00	30,27	70,03	4.440,00	336,00	0,87	4.500,00	33,10
2	Turbio en Huanta	2.980,00	30,03	70,15	3.410,00	334,00	0,57	4.170,00	27,50
3	Claro en M. Grande	1.480,00	30,27	70,33	3.090,00	321,00	0,38	3.970,00	56,30
4	Hurtado en San Ag.	434,00	30,55	70,38	3.090,00	297,00	0,32	3.520,00	42,70
5	Palomo en Vertedero	188,00	30,63	70,50	3.430,00	246,00	0,60	3.860,00	139,00
6	Molles en O. de Ag.	145,00	30,72	70,37	4.020,00	236,00	0,91	4.120,00	129,00
7	Mostazal en Chacay	131,00	30,80	70,38	3.430,00	313,00	0,60	3.770,00	84,20
8	Gde. En L. Ramadas	697,00	30,98	70,45	3.220,00	244,00	0,40	3.960,00	99,90
9	Cogotí en 18	381,00	31,22	70,72	2.710,00	311,00	0,32	3.430,00	72,20
10	Toscadero en Desemb.	174,00	31,10	70,58	3.160,00	336,00	0,51	3.550,00	50,10
11	Illapel en las Burras	542,00	31,42	70,67	3.010,00	234,00	0,60	3.390,00	44,20
12	Chalinga en Sn. Agustín	453,00	31,67	70,70	2.260,00	248,00	0,22	3.460,00	59,10
13	Cuncumen en B.T.	231,00	31,75	70,55	2.230,00	213,00	0,65	3.460,00	68,00
14	Totoral a. j. Leiva	450,00	31,95	70,37	3.700,00	252,00	0,86	3.800,00	55,90
15	Leiva a. j. Totoral	452,00	32,12	70,43	2.930,00	322,00	0,80	3.400,00	81,10
16	Choapa S. R. Valle	902,00	32,03	70,40	3.310,00	290,00	0,83	2.560,00	68,50
17	Tejada en Pedernal	75,00	32,10	70,73	2.170,00	300,00	0,19	3.190,00	176,00
18	Alicahue en Collihuay	288,00	32,32	70,58	2.262,00	261,00	0,21	3.150,00	86,30
19	Sobrante en Peñadero	208,00	32,22	70,58	2.690,00	260,00	0,59	3.200,00	132,00
20	Putaendo en R. L. Patos	852,00	32,45	70,43	2.780,00	271,00	0,57	3.210,00	40,50
21	Colorado en Colorado	866,00	32,58	70,27	3.095,00	228,00	0,72	3.550,00	38,70
22	Juncal en Juncal	223,00	32,93	70,10	3.770,00	327,00	0,95	3.940,00	142,00
23	Blanco en Blanco	382,00	33,03	70,23	3.600,00	331,00	0,90	3.740,00	79,70
24	Aconcagua en R. Blanco	875,00	31,95	70,18	3.540,00	292,00	0,87	3.700,00	42,80
25	Arrayán en. L. Montosa	215,00	33,18	70,42	2.370,00	190,00	0,66	2.850,00	162,00
26	Map. en. L. Almendros	620,00	33,30	70,32	2.690,00	244,00	0,55	3.330,00	64,60
27	Olivares a. j. Colorado	531,00	33,25	70,13	3.670,00	182,00	0,91	3.730,00	48,70
28	Colorado a. j. Olivares	834,00	33,42	69,97	3.600,00	242,00	0,92	3.730,00	59,40
29	Colorado en Desemb.	1.696,00	33,38	69,83	3.300,00	231,00	0,80	3.650,00	35,60
30	Yeso en Embalse	352,00	33,65	69,97	3.540,00	250,00	0,97	3.630,00	85,30
31	Volcán en Queltehues	535,00	33,82	70,02	3.350,00	273,00	0,90	3.540,00	57,40
32	Maipo en Melosas	1.487,00	34,03	70,12	3.200,00	332,00	0,95	3.350,00	23,20
33	Maipo en Sn. Alfonso	2.857,00	33,90	70,07	3.090,00	313,00	0,84	3.300,00	21,10

Extracto de estudio "Estimación de Caudales Medios de Cuencas de Montaña en Función de sus Características Fisiográficas", Humberto Peña - Carlos Garín; V Congreso Nacional - Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica

ANEXO 2: Caudales Medios Mensuales y Precipitaciones Medias Anuales del Balance Hídrico Nacional – Ministerio de Obras Públicas

CAUDALES MEDIOS MENSUALES m³/s

RÍO JUNCAL EN JUNCAL

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Abr-Sep	Oct-Mar	Anual
1950/51	3,92	2,88	1,91	1,62	1,69	1,83	3,48	6,44	12,39	11,37	8,84	6,63	2,31	8,19	5,25
1951/52	4,30	2,53	2,41	2,03	1,87	2,01	3,44	7,02	10,82	11,56	8,59	6,28	2,53	7,95	5,24
1952/53	4,02	2,85	2,39	1,80	1,74	2,01	3,63	7,84	12,20	11,59	10,15	7,24	2,47	8,78	5,62
1953/54	4,80	3,21	2,72	1,92	2,16	2,62	4,72	13,11	19,96	19,05	15,04	9,20	2,91	13,51	8,21
1954/55	4,97	2,84	2,37	1,74	1,72	1,94	3,50	7,82	10,87	12,52	9,65	6,74	2,60	8,52	5,56
1955/56	4,02	2,97	2,64	1,95	1,82	1,99	3,53	7,62	10,47	10,70	9,20	6,68	2,57	8,03	5,30
1956/57	3,84	3,24	1,97	1,69	1,69	1,87	3,38	5,83	8,25	10,35	8,58	6,66	2,38	7,18	4,78
1957/58	3,92	3,52	2,64	1,83	1,79	1,91	3,60	6,57	11,02	11,41	8,36	6,89	2,60	7,98	5,29
1958/59	4,16	2,46	2,61	1,85	1,71	1,92	4,56	6,57	9,16	9,97	8,82	6,82	2,45	7,65	5,05
1959/60	3,94	4,02	2,46	1,84	1,85	2,04	3,71	7,14	11,84	11,22	9,40	6,58	2,69	8,32	5,50
1960/61	3,94	1,90	2,48	1,86	1,85	2,04	3,96	9,17	12,73	11,20	9,19	8,06	2,35	9,05	5,70
1961/62	4,24	2,32	2,36	1,85	1,81	2,01	5,07	10,20	13,71	11,96	11,32	7,56	2,43	9,97	6,20
1962/63	4,50	2,48	2,30	1,91	1,82	1,97	4,24	9,81	11,51	11,03	9,28	6,74	2,50	8,77	5,63
1963/64	4,09	2,27	2,24	2,01	1,88	2,34	3,91	5,85	17,48	20,05	13,21	8,29	2,47	11,47	6,97
1964/65	4,69	2,65	1,99	1,65	1,58	1,75	2,84	4,16	7,38	9,69	8,36	6,74	2,39	6,53	4,46
1965/66	4,72	2,01	1,99	1,89	2,23	2,40	5,19	10,99	12,36	16,10	11,15	7,52	2,54	10,55	6,55
1966/67	4,50	2,50	2,18	1,89	1,80	2,07	3,93	7,29	10,15	11,65	9,94	6,68	2,49	8,27	5,38
1967/68	4,06	2,06	1,94	1,72	1,62	1,79	3,04	4,62	8,76	9,78	8,32	5,60	2,20	6,69	4,44
1968/69	3,39	1,56	1,85	1,73	1,71	1,85	2,34	4,05	7,28	9,58	7,98	4,72	2,02	5,99	4,00
1969/70	2,93	1,29	2,04	1,74	1,77	1,95	2,45	5,71	11,79	10,97	9,23	6,34	1,95	7,75	4,85
1970/71	4,10	2,17	1,74	1,79	1,87	1,77	2,95	5,75	7,66	6,55	6,75	4,58	2,24	5,71	3,97
1971/72	2,39	1,50	1,47	1,54	1,49	2,82	4,00	9,36	9,58	10,60	8,40	4,57	1,87	7,75	4,81
1972/73	3,21	2,28	2,01	1,92	1,78	2,11	3,95	6,79	20,20	25,00	18,80	13,40	2,22	14,69	8,45
1973/74	7,20	4,14	2,84	2,01	1,58	1,94	3,37	8,38	11,90	15,00	11,50	7,81	3,29	9,66	6,47

CAUDALES MEDIOS MENSUALES m³/s

RÍO JUNCAL EN JUNCAL

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Abr-Sep	Oct-Mar	Anual
1974/75	5,31	2,99	1,93	1,59	2,18	2,20	5,41	9,04	11,20	16,40	11,80	8,55	2,70	10,40	6,55
1975/76	4,05	2,48	1,99	1,82	1,66	2,54	3,33	4,46	9,64	10,70	7,78	5,84	2,42	6,96	4,69
1976/77	4,03	3,00	2,02	1,76	1,66	2,43	2,34	6,78	9,76	12,20	8,87	7,31	2,48	7,88	5,18
1977/78	4,15	2,64	2,29	2,09	1,94	2,49	6,51	12,70	22,40	19,80	14,80	8,76	2,60	14,16	8,38
1978/79	5,65	3,86	2,83	2,60	1,98	2,12	5,40	10,70	24,00	30,00	15,80	8,36	3,17	15,71	9,44
1979/80	4,60	2,86	2,29	2,03	1,96	1,93	3,53	4,58	8,84	16,10	10,50	9,07	2,61	8,77	5,69
1980/81	5,00	3,20	2,54	2,16	2,38	3,89	3,98	8,75	21,80	17,20	15,30	8,04	3,20	12,51	7,85
1981/82	4,27	2,62	2,12	1,95	2,83	3,29	4,57	7,62	9,27	10,50	7,69	5,69	2,85	7,56	5,20
1982/83	4,24	3,00	2,68	2,57	2,57	2,95	4,24	8,93	20,30	25,60	20,50	9,38	3,00	14,83	8,91
1983/84	6,07	4,71	4,10	3,82	1,95	2,00	5,35	8,92	16,20	14,40	10,30	6,00	3,78	10,20	6,99
1984/85	3,81	2,46	2,10	1,89	1,81	1,88	4,10	6,43	11,30	12,30	12,00	10,40	2,33	9,42	5,87
1985/86	6,00	4,04	3,43	2,85	2,55	2,31	3,09	9,31	12,80	12,20	10,12	8,06	3,53	9,26	6,40
1986/87	4,56	2,73	5,69	2,38	2,23	2,28	5,22	9,32	13,70	19,70	14,10	12,00	3,31	12,34	7,83
1987/88	6,10	3,33	2,90	2,64	2,37	2,36	3,94	11,30	16,50	19,70	15,00	11,80	3,28	13,04	8,16
1988/89	7,57	3,94	2,73	2,16	1,87	2,17	3,74	7,17	8,91	9,66	9,63	6,44	3,41	7,59	5,50
1989/90	3,91	2,21	1,87	1,70	1,51	2,00	4,57	9,11	9,69	8,90	6,80	4,81	2,20	7,31	4,76
1990/91	2,74	1,85	1,55	1,41	1,56	1,60	2,86	10,87	8,25	7,22	6,12	5,59	1,79	6,82	4,30
1991/92	2,92	2,11	1,75	1,65	1,58	1,94	4,20	8,23	10,46	9,15	12,39	9,53	1,99	8,99	5,49
1992/93	4,97	3,29	2,53	2,36	2,29	2,69	4,95	8,54	10,20	10,90	10,91	9,56	3,02	9,18	6,10
1993/94	5,64	5,13	2,75	2,38	2,46	2,97	4,62	7,52	8,09	10,53	7,23	5,76	3,55	7,29	5,42
1994/95	2,65	2,23	1,99	1,84	1,79	2,31	3,34	8,35	11,69	10,05	7,80	5,73	2,14	7,83	4,98
1995/96	4,01	2,73	2,04	1,70	1,57	2,24	3,28	8,26	9,10	7,00	6,79	6,01	2,38	6,74	4,56
1996/97	3,19	2,44	1,64	1,45	1,57	1,80	2,34	3,62	4,47	6,19	5,36	3,98	2,02	4,33	3,17
1997/98	2,78	1,76	1,34	1,35	1,59	2,14	3,10	6,53	12,19	17,66	12,66	7,90	1,83	10,01	5,92

CAUDALES MEDIOS MENSUALES m³/s

RÍO JUNCAL EN JUNCAL

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Abr-Sep	Oct-Mar	Anual
Prom	4,33	2,78	2,35	1,96	1,89	2,20	3,89	7,82	12,09	13,19	10,42	7,35	2,58	9,13	5,85
Desv	1,08	0,81	0,70	0,42	0,31	0,43	0,92	2,18	4,32	5,07	3,21	1,97	0,48	2,55	1,39
C.Var.	0,25	0,29	0,30	0,21	0,17	0,20	0,24	0,28	0,36	0,38	0,31	0,27	0,19	0,28	0,24
Máximo	7,57	5,13	5,69	3,82	2,83	3,89	6,51	13,11	24,00	30,00	20,50	13,40	3,78	15,71	9,44
Mínimo	2,39	1,29	1,34	1,35	1,49	1,60	2,34	3,62	4,47	6,19	5,36	3,98	1,79	4,33	3,17

CAUDALES MEDIOS MENSUALES m³/s

RIO COLORADO ANTES JUNTA OLIVARES

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Abr-Sep	Oct-Mar	Anual
1950/51	11,48	9,32	8,18	7,28	7,20	7,62	10,91	11,72	24,52	20,63	14,84	15,21	8,51	16,31	12,41
1951/52	12,08	9,80	8,52	7,66	8,12	8,83	9,56	15,68	22,10	32,37	19,64	18,50	9,17	19,64	14,41
1952/53	11,25	10,35	8,54	7,78	7,60	8,74	10,08	15,04	27,44	25,45	21,41	16,20	9,04	19,27	14,16
1953/54	12,44	10,19	9,01	8,41	8,83	11,20	13,78	23,23	34,35	37,26	29,74	24,59	10,01	27,16	18,59
1954/55	18,29	11,73	9,67	8,05	8,18	8,21	9,13	17,36	21,78	19,40	15,74	14,40	10,69	16,30	13,50
1955/56	11,27	8,86	8,30	7,63	6,71	6,20	7,61	13,52	15,38	18,35	14,95	13,23	8,16	13,84	11,00
1956/57	10,33	8,95	7,86	7,10	6,95	7,59	10,28	15,17	17,07	14,99	14,67	15,81	8,13	14,67	11,40
1957/58	10,69	8,75	8,11	7,29	7,14	7,37	8,93	13,32	19,48	22,48	18,24	18,19	8,23	16,77	12,50
1958/59	12,15	9,67	8,67	7,81	7,63	8,16	11,59	15,36	20,48	17,04	16,40	17,17	9,02	16,34	12,68
1959/60	11,59	9,58	8,31	8,12	8,10	9,17	11,26	16,62	23,68	24,74	19,62	18,58	9,15	19,08	14,11
1960/61	13,55	10,31	8,71	7,90	8,24	9,87	12,94	22,06	31,89	30,30	20,47	22,21	9,76	23,31	16,54
1961/62	14,60	10,71	9,89	8,59	8,27	9,05	14,74	21,88	31,80	31,98	24,59	22,67	10,19	24,61	17,40
1962/63	15,67	10,96	8,63	7,89	7,83	8,59	13,58	26,38	31,00	29,99	22,34	15,24	9,93	23,09	16,51
1963/64	12,58	8,52	7,76	7,07	6,94	8,74	12,15	15,64	49,29	56,65	37,83	26,59	8,60	33,03	20,81
1964/65	15,99	11,36	9,19	8,01	8,10	8,68	9,60	11,38	13,26	17,36	15,86	14,17	10,22	13,61	11,91
1965/66	10,66	8,41	7,09	6,89	9,27	11,16	17,09	29,50	39,91	48,12	33,69	23,26	8,91	31,93	20,42
1966/67	15,40	11,70	9,87	8,55	7,56	9,22	13,06	20,68	27,88	30,31	26,44	17,29	10,38	22,61	16,50
1967/68	12,53	9,85	8,98	7,81	6,77	6,76	7,88	9,19	17,27	16,65	16,77	12,07	8,78	13,31	11,04
1968/69	9,04	7,17	6,14	5,05	4,75	4,51	4,27	7,72	7,97	11,91	11,51	9,55	6,11	8,82	7,47
1969/70	5,94	5,35	5,10	4,11	4,28	4,92	5,90	12,79	33,20	31,35	25,23	16,41	4,95	20,81	12,88
1970/71	10,39	8,82	7,70	6,99	6,88	6,89	10,23	11,01	16,43	12,88	13,11	10,87	7,95	12,42	10,18
1971/72	7,36	7,07	6,74	6,86	7,12	8,89	11,81	19,28	20,11	20,36	15,55	11,40	7,34	16,42	11,88
1972/73	9,28	9,53	10,34	9,52	9,84	10,63	12,64	19,90	54,34	73,14	50,31	33,02	9,86	40,56	25,21

CAUDALES MEDIOS MENSUALES m³/s

RIO COLORADO ANTES JUNTA OLIVARES

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Abr-Sep	Oct-Mar	Anual
1973/74	23,01	16,55	11,15	9,01	8,58	8,67	9,94	16,90	21,31	30,49	21,07	18,19	12,83	19,65	16,24
1974/75	12,93	9,88	9,04	8,38	8,19	8,82	13,05	18,29	27,62	36,48	21,36	17,93	9,54	22,46	16,00
1975/76	12,50	9,20	8,21	7,59	7,50	7,83	9,98	11,97	19,09	20,53	12,66	11,95	8,81	14,36	11,58
1976/77	10,17	8,32	8,10	7,18	6,71	6,69	8,15	13,00	15,83	16,87	14,59	12,87	7,86	13,55	10,71
1977/78	10,63	8,50	7,86	7,28	6,82	10,44	16,86	28,06	46,67	34,25	20,89	15,32	8,59	27,01	17,80
1978/79	12,51	10,23	8,63	8,69	8,95	8,64	16,50	23,10	40,35	49,42	25,14	24,36	9,61	29,81	19,71
1979/80	17,56	13,88	11,11	9,27	8,80	9,07	11,88	14,73	20,11	29,80	23,65	19,88	11,62	20,01	15,81
1980/81	17,46	13,24	10,84	10,70	9,75	9,68	15,12	21,93	43,72	42,16	33,27	23,02	11,95	29,87	20,91
1981/82	13,32	9,83	10,38	9,32	9,59	9,46	10,28	14,76	17,91	20,94	16,52	11,69	10,32	15,35	12,83
1982/83	10,29	9,66	16,19	10,71	11,28	14,86	16,43	29,74	57,57	32,24	54,94	35,95	12,16	37,81	24,99
1983/84	27,47	17,81	12,71	14,80	12,90	11,90	17,60	29,00	48,90	47,70	40,60	19,60	16,26	33,90	25,08
1984/85	15,50	12,10	10,30	9,55	9,63	10,40	16,50	23,00	38,40	53,10	33,30	24,40	11,25	31,45	21,35
1985/86	14,80	12,10	10,60	9,27	8,31	7,53	9,38	20,77	34,20	31,40	25,10	17,90	10,44	23,13	16,78
1986/87	12,43	11,33	14,40	12,80	11,10	11,60	15,40	26,30	46,50	56,90	41,10	29,70	12,28	35,98	24,13
1987/88	19,30	14,30	17,70	15,30	12,90	19,30	14,80	46,60	75,70	82,30	52,70	36,90	16,47	51,50	33,98
1988/89	26,60	12,51	8,59	6,87	6,20	6,39	12,10	20,00	21,40	23,50	24,80	14,50	11,19	19,38	15,29
1989/90	11,00	9,29	8,05	7,49	8,24	9,21	13,10	29,70	35,10	31,00	22,90	16,80	8,88	24,77	16,82
1990/91	11,90	9,79	8,72	8,12	7,82	8,07	10,00	19,10	20,70	17,50	17,00	14,30	9,07	16,43	12,75
1991/92	10,40	10,20	11,01	12,96	10,44	10,74	13,57	26,84	36,46	55,01	33,58	28,42	10,96	32,31	21,64
1992/93	14,12	10,91	9,77	8,37	8,05	9,44	15,00	23,25	37,62	46,76	31,06	18,68	10,11	28,73	19,42
1993/94	14,83	16,04	11,12	9,39	8,65	9,11	12,27	18,97	43,67	52,53	26,00	20,38	11,53	28,97	20,25
1994/95	10,66	8,23	7,28	6,67	7,17	7,69	10,04	22,63	37,95	33,26	26,68	16,37	7,95	24,49	16,22
1995/96	11,03	8,45	7,55	6,74	6,34	8,12	9,45	20,30	33,17	26,00	22,21	17,21	8,04	21,39	14,71
1996/97	9,67	7,48	6,52	5,79	7,49	4,82	4,78	7,49	11,19	13,74	11,63	16,03	6,96	10,81	8,89

CAUDALES MEDIOS MENSUALES m^3/s

RIO COLORADO ANTES JUNTA OLIVARES

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Abr-Sep	Oct-Mar	Anual
1997/98	6,34	6,59	22,62	12,62	14,06	18,51	18,98	36,95	60,22	70,87	38,38	23,44	13,46	41,47	27,46
Prom	13,15	10,28	9,58	8,48	8,29	9,13	11,88	19,75	31,08	33,30	24,79	19,01	9,82	23,30	16,56
Desv	4,35	2,47	3,01	2,20	1,89	2,79	3,33	7,58	14,32	16,72	10,63	6,29	2,18	9,07	5,32
C.Var.	0,33	0,24	0,31	0,26	0,23	0,31	0,28	0,38	0,46	0,50	0,43	0,33	0,22	0,39	0,32
Máximo	27,47	17,81	22,62	15,30	14,06	19,30	18,98	46,60	75,70	82,30	54,94	36,90	16,47	51,50	33,98
Mínimo	5,94	5,35	5,10	4,11	4,28	4,51	4,27	7,49	7,97	11,91	11,51	9,55	4,95	8,82	7,47

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m^3/s)

RÍO MAIPO EN LAS MELOSAS

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Abr-Sep	Oct-Mar	Anual
1950/51	23,19	13,65	11,38	14,23	13,79	12,64	25,40	42,81	84,18	56,79	38,04	32,58	14,81	46,63	30,72
1951/52	20,88	17,75	17,87	17,88	17,30	17,80	27,79	52,27	77,80	64,46	35,13	26,91	18,25	47,39	32,82
1952/53	22,44	17,76	16,95	17,97	16,75	19,31	23,14	44,67	74,69	61,06	45,21	30,29	18,53	46,51	32,52
1953/54	13,68	17,47	17,83	17,42	18,76	28,01	34,18	89,08	130,57	126,77	86,78	57,56	18,86	87,49	53,18
1954/55	31,60	25,50	27,67	23,33	22,92	25,16	40,56	75,90	73,71	58,44	39,92	33,05	26,03	53,60	39,81
1955/56	23,51	17,09	12,91	11,10	10,15	11,58	18,15	49,06	55,98	48,86	37,01	25,73	14,39	39,13	26,76
1956/57	22,88	15,33	17,49	17,19	16,41	17,64	25,37	60,34	55,24	46,44	32,35	27,65	17,82	41,23	29,53
1957/58	20,94	17,28	13,94	11,99	11,41	12,93	26,58	60,03	78,85	82,76	45,73	32,35	14,75	54,38	34,57
1958/59	27,39	21,62	20,53	16,51	11,39	20,70	45,94	57,26	74,13	49,39	36,06	30,28	19,69	48,84	34,27
1959/60	22,60	19,29	18,04	19,16	19,71	21,67	30,19	70,36	115,98	77,39	35,81	28,51	20,08	59,71	39,89
1960/61	23,46	18,97	19,37	17,12	16,62	20,78	30,64	64,83	78,52	55,73	33,54	34,17	19,39	49,57	34,48
1961/62	26,25	22,44	25,12	23,52	23,53	23,86	50,65	82,25	142,96	100,85	62,65	45,55	24,12	80,82	52,47
1962/63	29,57	20,23	17,32	16,03	15,67	18,22	31,20	67,61	72,13	40,40	31,10	29,65	19,51	45,35	32,43
1963/64	12,49	11,25	8,12	10,25	9,92	15,37	23,80	48,30	129,40	165,40	107,70	57,10	11,23	88,62	49,93
1964/65	34,30	24,37	20,40	14,67	14,10	16,49	25,53	41,93	45,57	53,70	40,60	29,60	20,72	39,49	30,11
1965/66	26,00	20,08	20,31	16,67	22,25	27,00	41,46	91,60	96,60	137,30	80,70	52,50	22,05	83,36	52,71
1966/67	39,60	12,35	22,62	22,90	8,24	11,14	41,10	72,70	86,30	87,40	52,27	37,20	19,48	62,83	41,15
1967/68	27,90	13,14	10,45	9,12	12,71	14,02	24,34	42,70	66,30	43,70	38,50	26,03	14,56	40,26	27,41
1968/69	17,76	13,31	11,22	10,06	9,39	9,12	9,75	21,47	18,74	22,33	25,98	16,77	11,81	19,17	15,49
1969/70	11,71	11,29	15,56	10,58	10,73	13,43	16,56	48,60	125,30	62,10	33,30	34,30	12,22	53,36	32,79
1970/71	17,36	14,16	11,95	11,41	11,47	12,94	19,68	37,90	45,00	46,69	34,34	25,56	13,22	34,86	24,04
1971/72	15,17	10,09	8,86	12,13	12,39	16,91	37,10	82,90	75,70	56,90	34,28	27,91	12,59	52,47	32,53
1972/73	20,16	28,52	37,00	19,40	25,60	30,77	43,40	77,50	131,44	189,25	97,73	74,29	26,91	102,27	64,59
1973/74	46,00	28,18	22,07	20,95	16,43	16,03	26,33	60,83	86,14	88,82	49,96	36,51	24,94	58,10	41,52

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m^3/s)

RÍO MAIPO EN LAS MELOSAS

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Abr-Sep	Oct-Mar	Anual
1974/75	22,05	16,40	16,03	19,12	13,48	13,00	40,39	78,14	90,62	102,78	59,30	36,40	16,68	67,94	42,31
1975/76	26,24	15,22	14,42	13,82	12,80	15,75	25,11	42,90	79,30	54,44	40,05	31,01	16,38	45,47	30,92
1976/77	18,13	12,13	13,19	12,83	11,47	14,90	21,00	47,30	57,70	68,60	31,58	18,77	13,78	40,83	27,30
1977/78	17,56	16,58	16,28	23,41	20,05	27,60	60,20	92,50	131,22	101,15	58,52	41,73	20,25	80,89	50,57
1978/79	21,83	18,49	16,53	20,82	20,11	20,81	36,40	77,90	157,00	180,88	75,10	43,70	19,77	95,16	57,46
1979/80	30,51	19,98	15,02	14,11	17,36	18,55	30,00	45,80	88,80	124,30	73,50	49,30	19,26	68,62	43,94
1980/81	48,05	41,53	34,04	30,70	20,50	29,01	40,70	84,70	161,10	113,20	78,38	45,74	33,97	87,30	60,64
1981/82	32,71	25,38	21,71	17,87	16,77	18,76	31,29	62,56	69,23	64,40	41,67	32,16	22,20	50,22	36,21
1982/83	22,20	17,92	24,31	35,72	28,86	45,75	48,28	101,30	232,18	272,82	156,23	101,17	29,13	152,00	90,56
1983/84	48,96	34,70	25,82	24,74	21,69	20,74	43,27	89,07	121,31	100,39	64,79	48,03	29,44	77,81	53,63
1984/85	28,00	19,21	16,31	17,95	16,44	20,98	44,52	73,24	129,00	141,12	82,98	69,09	19,82	89,99	54,90
1985/86	39,73	26,85	22,60	19,85	16,13	16,15	26,27	65,47	80,65	67,45	45,97	34,83	23,55	53,44	38,50
1986/87	29,51	20,60	63,04	23,76	23,51	26,35	44,07	59,53	154,26	140,28	101,12	57,41	31,13	92,78	61,95
1987/88	34,37	23,72	22,31	33,65	28,27	28,47	47,28	114,73	175,01	168,85	103,18	69,48	28,47	113,09	70,78
1988/89	41,49	25,36	20,11	17,31	16,54	17,82	31,09	62,45	61,10	56,63	45,74	31,55	23,11	48,09	35,60
1989/90	21,18	15,73	13,50	12,50	15,67	19,32	35,04	83,17	109,31	60,46	40,52	26,91	16,32	59,23	37,78
1990/91	19,05	15,83	13,59	12,14	12,29	16,49	28,39	55,56	60,20	46,95	33,01	23,87	14,90	41,33	28,11
1991/92	18,20	22,70	37,20	30,40	24,04	29,12	37,12	89,52	108,70	118,84	83,70	56,50	26,94	82,40	54,67
1992/93	29,40	23,35	21,34	18,96	17,75	21,91	48,24	92,60	114,70	101,40	71,98	59,68	22,12	81,43	51,78
1993/94	39,36	26,43	32,87	27,19	24,65	25,79	38,02	80,78	98,45	111,93	54,49	45,41	29,38	71,51	50,45
1994/95	26,85	19,76	19,59	23,72	19,11	23,41	33,63	101,92	116,29	87,67	54,79	41,15	22,07	72,58	47,32
1995/96	29,54	21,55	21,27	17,48	15,94	23,42	36,02	79,17	96,36	59,55	41,64	33,74	21,53	57,75	39,64
1996/97	20,32	14,21	12,73	11,75	11,12	9,09	13,23	40,92	40,25	27,82	26,68	23,45	13,20	28,73	20,96
1997/98	17,28	8,81	27,34	19,15	21,76	33,93	39,25	77,93	139,79	205,19	86,89	51,47	21,38	100,09	60,73

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m^3/s)

RÍO MAIPO EN LAS MELOSAS

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Abr-Sep	Oct-Mar	Anual
Prom	26,24	19,45	20,13	18,34	16,96	20,22	33,28	67,54	97,79	91,67	56,39	40,10	20,22	64,46	42,34
Desv	9,06	6,33	9,26	6,22	5,13	7,07	10,55	20,16	40,30	51,56	27,06	16,37	5,55	25,10	14,42
C.Var.	0,35	0,33	0,46	0,34	0,30	0,35	0,32	0,30	0,41	0,56	0,48	0,41	0,27	0,39	0,34
Máximo	48,96	41,53	63,04	35,72	28,86	45,75	60,20	114,73	232,18	272,82	156,23	101,17	33,97	152,00	90,56
Mínimo	11,71	8,81	8,12	9,12	8,24	9,09	9,75	21,47	18,74	22,33	25,98	16,77	11,23	19,17	15,49

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m^3/s)

RIO OLIVARES ANTES JUNTA COLORADO

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Abr-Sep	Oct-Mar	Anual
1950/51	5,16	3,62	3,01	2,75	2,89	3,33	5,53	5,94	13,92	14,65	14,43	9,45	3,46	10,65	7,06
1951/52	5,42	3,80	3,12	2,83	3,25	4,08	4,70	8,41	12,68	20,41	16,98	11,17	3,75	12,39	8,07
1952/53	5,06	4,04	3,13	2,85	3,05	4,03	5,00	8,06	15,39	17,14	17,78	9,96	3,69	12,22	7,96
1953/54	5,56	3,95	3,25	2,98	3,52	5,68	7,40	13,45	18,79	22,64	21,55	14,36	4,16	16,37	10,26
1954/55	8,01	4,54	3,42	2,90	3,28	3,69	4,42	9,52	12,54	14,37	14,98	9,00	4,31	10,81	7,56
1955/56	5,07	3,45	3,06	2,82	2,70	2,50	3,52	7,06	9,22	13,46	14,39	8,36	3,27	9,34	6,30
1956/57	4,67	3,48	2,95	2,71	2,79	3,33	5,13	8,09	10,12	11,70	14,38	9,77	3,32	9,87	6,59
1957/58	4,38	3,41	3,01	2,75	2,87	3,18	4,29	6,92	11,36	15,68	16,28	11,03	3,27	10,93	7,10
1958/59	5,45	3,76	3,16	2,86	3,05	3,66	6,34	8,21	11,88	12,83	15,32	10,50	3,66	10,85	7,25
1959/60	5,21	3,72	3,07	2,92	3,24	4,31	5,75	9,00	13,52	16,82	16,99	11,25	3,75	12,22	7,98
1960/61	6,04	4,00	3,17	2,88	3,29	4,79	6,83	12,71	17,54	19,42	17,39	13,14	4,03	14,51	9,27
1961/62	6,47	4,15	3,48	3,01	3,30	4,23	8,06	12,52	17,54	20,26	19,31	13,38	4,11	15,18	9,64
1962/63	6,92	4,25	3,15	2,87	3,13	3,94	7,35	15,69	17,89	20,59	18,93	10,83	4,04	15,21	9,63
1963/64	5,82	3,32	2,89	2,83	2,88	3,99	11,52	12,67	23,21	27,75	20,28	12,08	3,62	17,92	10,77
1964/65	7,15	4,56	3,08	2,62	2,77	2,89	3,05	3,94	6,51	11,53	14,00	11,40	3,85	8,41	6,13
1965/66	4,55	2,84	2,72	3,21	2,65	4,01	8,05	12,42	14,36	22,02	15,38	9,34	3,33	13,60	8,46
1966/67	4,85	3,89	3,56	3,42	3,32	4,01	5,48	9,13	11,33	15,28	18,18	9,92	3,84	11,55	7,70
1967/68	6,45	3,92	3,07	2,64	2,36	2,72	3,31	4,25	12,33	18,42	18,18	8,73	3,53	10,87	7,20
1968/69	3,80	2,39	2,20	2,07	1,98	1,93	2,02	5,54	11,38	17,40	17,44	7,85	2,40	10,27	6,33
1969/70	3,50	2,20	2,13	2,33	2,04	2,20	2,75	6,81	15,57	12,61	17,49	9,80	2,40	10,84	6,62
1970/71	6,53	3,93	3,14	3,49	3,85	4,71	5,58	7,51	10,63	10,56	12,10	8,10	4,28	9,08	6,68
1971/72	3,91	2,70	2,42	2,43	2,44	2,98	6,73	11,82	18,49	23,59	19,51	7,99	2,81	14,69	8,75
1972/73	4,12	2,79	2,80	2,66	3,46	5,23	7,99	12,33	24,05	30,66	26,83	17,91	3,51	19,96	11,74

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m^3/s)

RIO OLIVARES ANTES JUNTA COLORADO

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Abr-Sep	Oct-Mar	Anual
1973/74	9,30	5,98	4,11	3,08	3,43	3,98	4,91	9,22	12,31	19,50	17,58	11,03	4,98	12,43	8,70
1974/75	5,77	3,83	3,25	2,97	3,27	4,07	6,91	10,10	15,45	22,26	17,73	10,89	3,86	13,89	8,88
1975/76	5,60	3,58	3,03	2,81	3,00	3,45	4,95	6,08	11,15	14,60	13,21	7,64	3,58	9,61	6,59
1976/77	4,61	3,24	3,01	2,73	2,70	2,78	3,84	6,75	9,47	12,58	15,24	13,62	3,18	10,25	6,71
1977/78	5,09	3,92	3,38	3,69	4,01	7,13	10,75	15,65	22,69	22,40	20,22	11,02	4,54	17,12	10,83
1978/79	6,71	4,78	3,82	4,28	4,48	4,41	8,43	15,18	24,24	28,85	20,84	10,84	4,75	18,06	11,41
1979/80	6,63	4,64	3,59	2,99	2,87	2,98	5,51	8,33	14,65	19,01	15,18	13,93	3,95	12,77	8,36
1980/81	7,34	4,98	4,55	4,55	5,00	5,10	5,83	9,27	22,05	20,20	22,38	15,36	5,25	15,85	10,55
1981/82	5,26	4,04	3,18	1,98	3,23	3,17	3,94	7,35	13,05	22,25	20,81	11,77	3,48	13,20	8,34
1982/83	7,02	4,29	3,63	6,71	3,98	9,10	11,23	19,49	35,66	37,08	30,42	14,76	5,79	24,77	15,28
1983/84	7,47	5,14	4,88	5,34	3,99	4,39	8,18	12,70	24,50	28,20	22,80	12,30	5,20	18,11	11,66
1984/85	3,74	1,79	2,64	3,57	3,88	4,71	8,67	12,20	18,40	23,00	19,40	13,00	3,39	15,78	9,58
1985/86	6,22	4,81	4,07	3,68	3,32	3,18	5,13	11,40	17,50	23,60	18,90	13,30	4,21	14,97	9,59
1986/87	4,77	3,51	5,34	4,50	3,54	4,76	6,90	8,50	22,60	29,40	27,60	15,80	4,40	18,47	11,43
1987/88	6,14	4,97	4,62	5,03	5,53	6,05	11,00	23,70	27,60	39,60	26,70	16,40	5,39	24,17	14,78
1988/89	9,00	6,16	3,08	2,66	2,71	0,76	5,10	9,73	23,10	35,40	22,52	18,00	4,06	18,97	11,52
1989/90	6,26	2,94	2,23	3,86	4,33	5,90	8,21	19,30	25,10	35,00	27,20	11,50	4,25	21,05	12,65
1990/91	4,06	3,04	2,81	3,19	3,72	4,65	5,83	9,78	16,70	26,60	24,40	16,30	3,58	16,60	10,09
1991/92	4,78	6,30	2,93	3,14	3,04	6,99	9,00	12,23	18,00	24,89	21,81	17,54	4,53	17,24	10,89
1992/93	9,15	7,45	6,24	5,46	5,26	6,20	9,37	13,71	18,65	27,72	19,35	14,86	6,62	17,28	11,95
1993/94	8,17	7,84	6,59	5,95	5,71	5,91	7,49	11,16	13,93	21,23	18,61	17,23	6,69	14,94	10,82
1994/95	7,14	5,61	4,96	5,03	4,86	5,36	6,49	12,49	21,43	18,79	16,66	11,84	5,49	14,62	10,05
1995/96	7,73	5,75	4,98	4,49	4,25	5,31	6,11	12,44	17,63	14,85	15,55	12,06	5,42	13,11	9,26
1996/97	6,13	4,88	4,09	3,68	2,19	3,51	3,66	5,83	10,30	15,51	13,92	10,12	4,08	9,89	6,99

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m^3/s)

RIO OLIVARES ANTES JUNTA COLORADO

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Abr-Sep	Oct-Mar	Anual
1997/98	3,43	2,56	7,29	4,98	5,83	11,05	11,14	20,48	31,36	39,45	24,57	13,83	5,86	23,47	14,66
Prom	5,87	4,14	3,57	3,44	3,46	4,38	6,45	10,73	17,04	21,50	18,99	12,09	4,14	14,47	9,30
Desv	1,49	1,25	1,10	1,05	0,92	1,76	2,37	4,24	6,11	7,51	4,20	2,83	0,96	4,06	2,32
C.Var.	0,25	0,30	0,31	0,31	0,27	0,40	0,37	0,40	0,36	0,35	0,22	0,23	0,23	0,28	0,25
Máximo	9,30	7,84	7,29	6,71	5,83	11,05	11,52	23,70	35,66	39,60	30,42	18,00	6,69	24,77	15,28
Mínimo	3,43	1,79	2,13	1,98	1,98	0,76	2,02	3,94	6,51	10,56	12,10	7,64	2,40	8,41	6,13

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m^3/s)

RIO VOLCÁN EN QUELTEHUES

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Abr-Sep	Oct-Mar	Anual
1950/51	8,66	7,63	6,87	6,68	6,89	6,86	9,17	15,40	28,83	23,32	17,85	13,61	7,27	18,03	12,65
1951/52	8,77	7,38	7,98	8,08	7,93	7,61	9,98	17,53	27,41	25,37	16,93	11,66	7,96	18,15	13,05
1952/53	8,91	8,07	7,78	8,12	7,76	8,04	8,42	17,42	28,53	23,86	20,02	13,58	8,11	18,64	13,38
1953/54	6,49	7,55	7,51	7,23	8,47	10,58	12,23	26,26	38,82	43,07	32,06	22,17	7,97	29,10	18,54
1954/55	12,00	10,89	10,18	10,26	9,70	9,66	14,05	22,78	26,37	23,51	18,22	13,59	10,45	19,75	15,10
1955/56	9,42	7,93	6,91	5,40	5,72	5,91	6,78	18,73	22,81	21,04	17,48	11,25	6,88	16,35	11,62
1956/57	9,06	7,83	6,88	6,42	6,78	6,91	8,87	23,52	24,14	27,56	25,44	16,42	7,31	20,99	14,15
1957/58	10,51	6,80	6,72	6,31	6,68	7,23	10,17	19,83	29,25	22,75	14,58	11,49	7,38	18,01	12,69
1958/59	8,63	7,60	7,33	7,08	6,78	11,20	15,86	18,53	31,04	24,90	19,50	13,03	8,10	20,48	14,29
1959/60	9,38	8,68	8,03	8,51	8,58	9,60	13,05	28,90	39,50	34,55	30,20	18,80	8,80	27,50	18,15
1960/61	9,01	7,64	6,77	6,94	6,90	6,73	10,30	22,70	30,53	23,45	17,52	13,75	7,33	19,71	13,52
1961/62	11,38	8,38	7,95	7,57	7,37	7,57	14,87	24,46	45,20	34,70	27,05	22,85	8,37	28,19	18,28
1962/63	10,31	8,62	8,08	7,55	7,21	7,50	11,98	21,50	27,55	19,50	16,37	11,86	8,21	18,13	13,17
1963/64	9,16	7,14	6,93	7,03	6,42	8,35	10,78	15,36	44,08	56,00	42,65	26,25	7,51	32,52	20,01
1964/65	16,97	11,09	9,03	8,02	7,20	7,20	8,85	15,15	18,95	20,90	18,23	13,32	9,92	15,90	12,91
1965/66	10,06	8,31	8,04	7,74	9,51	10,07	14,86	24,75	28,55	43,65	28,25	19,45	8,96	26,59	17,77
1966/67	12,66	9,61	9,09	8,54	7,98	8,66	12,72	22,45	25,10	20,35	16,89	12,43	9,42	18,32	13,87
1967/68	9,23	7,86	9,56	6,04	5,44	5,64	7,85	12,46	22,60	18,90	15,93	12,27	7,30	15,00	11,15
1968/69	9,17	6,72	6,59	5,43	5,06	4,84	5,67	9,87	14,77	14,24	13,78	7,93	6,30	11,04	8,67
1969/70	4,96	5,40	7,22	6,23	5,56	6,71	7,73	15,03	33,45	26,05	19,20	11,37	6,01	18,81	12,41
1970/71	8,88	7,19	6,72	5,75	5,66	6,47	8,75	16,03	23,16	10,37	11,70	10,13	6,78	13,36	10,07
1971/72	6,67	7,18	6,18	5,98	6,16	6,73	14,09	23,73	25,09	21,31	16,09	12,23	6,48	18,76	12,62
1972/73	8,08	12,63	10,89	7,87	9,06	10,23	12,34	17,28	33,70	61,67	33,65	27,57	9,79	31,03	20,41

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m^3/s)

RIO VOLCÁN EN QUELTEHUES

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Abr-Sep	Oct-Mar	Anual
1973/74	17,33	10,21	9,04	9,50	7,77	8,20	9,88	19,49	27,66	30,48	20,95	14,56	10,34	20,50	15,42
1974/75	11,00	9,34	7,63	8,72	6,79	6,32	14,88	25,02	32,05	47,03	24,61	16,27	8,30	26,64	17,47
1975/76	10,34	7,21	7,25	6,51	6,56	7,10	9,93	15,51	28,26	21,66	14,42	13,14	7,50	17,15	12,32
1976/77	7,48	6,40	6,47	6,31	6,07	6,26	7,55	16,91	24,84	26,13	17,13	16,24	6,50	18,13	12,32
1977/78	9,32	7,15	6,47	10,19	5,98	11,12	16,43	28,78	43,04	35,60	26,57	16,19	8,37	27,77	18,07
1978/79	10,15	9,01	7,82	13,08	9,11	8,86	12,65	20,82	43,60	42,19	25,68	18,26	9,67	27,20	18,44
1979/80	12,83	11,31	8,61	8,09	7,93	7,22	12,20	14,28	28,42	41,52	26,51	22,75	9,33	24,28	16,81
1980/81	17,51	16,69	11,57	13,17	10,16	10,70	13,69	22,45	47,51	43,48	33,95	17,73	13,30	29,80	21,55
1981/82	12,52	10,96	8,89	8,13	7,81	7,63	11,49	17,85	24,11	24,17	21,81	13,35	9,32	18,80	14,06
1982/83	8,83	8,13	9,59	14,71	12,55	14,42	13,98	22,47	58,06	84,67	52,63	35,75	11,37	44,59	27,98
1983/84	23,07	14,30	10,73	9,77	9,03	8,81	13,13	24,81	39,89	35,68	28,41	19,45	12,62	26,90	19,76
1984/85	12,35	9,21	8,04	7,81	8,17	9,42	15,60	21,34	37,00	47,64	33,64	25,66	9,17	30,15	19,66
1985/86	13,57	11,59	10,17	9,40	8,40	7,75	8,50	21,54	29,20	25,72	19,58	13,86	10,15	19,73	14,94
1986/87	10,44	9,17	18,11	11,84	8,72	9,67	13,06	20,95	43,34	46,13	37,04	24,86	11,33	30,90	21,11
1987/88	13,94	10,51	10,30	14,64	12,84	10,19	15,44	33,03	55,47	49,49	38,55	25,72	12,07	36,28	24,18
1988/89	15,97	11,03	9,08	8,05	7,74	5,87	10,64	21,20	25,65	24,79	23,00	12,69	9,62	19,66	14,64
1989/90	9,05	7,34	6,42	5,82	7,27	8,36	11,95	27,02	33,26	28,97	20,45	13,37	7,38	22,50	14,94
1990/91	9,63	7,96	6,93	6,40	6,41	7,57	8,79	16,44	19,77	22,52	17,56	11,94	7,48	16,17	11,83
1991/92	9,26	11,28	9,69	13,92	10,70	12,95	15,06	24,49	24,94	44,19	31,44	22,87	11,30	27,17	19,23
1992/93	13,45	10,88	9,61	10,20	8,51	9,65	16,93	25,07	34,55	40,75	29,95	20,65	10,39	27,98	19,18
1993/94	15,41	14,59	13,88	10,37	10,71	10,81	15,87	24,07	32,06	38,88	22,26	13,14	12,63	24,38	18,50
1994/95	11,57	9,32	8,83	8,42	8,55	7,95	11,85	29,45	39,65	31,15	20,95	15,38	9,11	24,74	16,92
1995/96	11,37	9,01	8,29	7,57	7,21	9,27	11,46	22,65	34,95	23,45	19,06	14,51	8,79	21,01	14,90
1996/97	10,16	7,83	6,97	6,30	5,91	5,71	6,40	8,83	12,32	14,95	14,12	10,48	7,15	11,18	9,16

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m^3/s)

RIO VOLCÁN EN QUELTEHUES

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Abr-Sep	Oct-Mar	Anual
1997/98	7,69	5,18	10,02	8,82	9,38	12,28	13,65	23,40	41,32	65,42	31,74	20,18	8,89	32,62	20,76
Prom	10,89	9,04	8,53	8,39	7,81	8,42	11,67	20,78	31,88	32,87	23,78	16,58	8,85	22,93	15,89
Desv	3,31	2,33	2,13	2,40	1,73	2,05	2,92	5,07	9,59	14,64	8,50	5,67	1,79	6,78	5,03
C.Var.	0,30	0,26	0,25	0,29	0,22	0,24	0,25	0,24	0,30	0,45	0,36	0,34	0,20	0,30	0,29
Máximo	23,07	16,69	18,11	14,71	12,84	14,42	16,93	33,03	58,06	84,67	52,63	35,75	13,30	44,59	31,74
Mínimo	4,96	5,18	6,18	5,40	5,06	4,84	5,67	8,83	12,32	10,37	11,70	7,93	6,01	11,04	7,37

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m^3/s)

RIO YESO EN EMBALSE EL YESO

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Abr-Sep	Oct-Mar	Anual
1950/51	5,3	3,41	3,38	3,07	2,35	2,73	3,31	4,84	10,01	12,9	6,97	7,05	3,37	7,51	5,44
1951/52	5,21	3,84	3,47	3,29	3,55	3,34	4,28	9,5	12,41	12,43	9,65	9,08	3,78	9,56	6,67
1952/53	6,69	4,62	4,12	3,89	3,28	3,89	4,63	6,73	14,25	12,48	11,28	8,15	4,42	9,59	7,00
1953/54	6,59	5,83						21,02	42,12	27,5	20,74	14,7	6,21	25,22	19,79
1954/55	8,95	6,19	4,95	4,46	4,43	4,22	5,3	12,31	13,5	14,83	10,92	8,37	5,53	10,87	8,20
1955/56	4,59	4,13	3,33	3,48	2,55	2,92	3,8	9,14	11,03	11,6	10,03	7,15	3,50	8,79	6,15
1956/57	5,21	4,63	4,29	3,2	2,94	3,72	4,79	7,39	8,55	8,54	13,64	6,33	4,00	8,21	6,10
1957/58	3,7	3,57	3,37	3,7	3,12	3,45	4,58	9,49	20,21	21,1	15,78	11,54	3,49	13,78	8,63
1958/59	9,1	7,58		6,71	6,37	7,42	15,01	14,58					7,44	14,80	9,54
1962/63	8,67	6,81	4,8	5,75		3,73	5,33	11,23	13,84	11,77	11,01	7,92	5,95	10,18	8,26
1963/64	5,99	4,5	3,41	4,44			7,36	6,02	21,74	34,41	23,7	12,26	4,59	17,58	12,38
1964/65	8,7	5,95	5,54			3,92	4,08	5,36	6,47	9,12	9,1	7,02	6,03	6,86	6,53
1965/66	5,26	4,13	3,72	2,98			6,69	14,65	13,67	22,15	16,47	10,76	4,02	14,07	10,05
1967/68							23,93	14,28	0,03	0,21	2,97	16,33		9,63	9,63
1968/69	15,27	5,41	0,28	0,29	0,28	6,68	12,33	10	3,51	4,26		3,77	4,70	6,77	5,64
1969/70	4,68	0,52	0,43	0,43		10,11	28,2	9,02				3,22	3,23	13,48	7,08
1970/71	0,69	5,38	6,16	7,5	0,04								3,95		3,95
1972/73								11,82	1,88	27,49	38,86	34,02		22,81	22,81
1975/76						15,51	21,43	22,23	0,09		14,95	23,63	15,51	16,47	16,31
1976/77	5,89	2,44	0,02	0,08		6,89		0,06	3,18	0	25,85	16,4	3,06	9,10	6,08
1977/78	9,66		0,01	0,05	0,03		3,92	20,18	30,16	15,04	1,2	10,35	2,44	13,48	9,06
Prom	8,28	4,64	3,21	3,33	2,63	5,61	9,35	10,99	12,59	14,46	14,30	11,48	6,70	12,44	9,30
Desv	7,28	1,69	1,98	2,26	1,95	3,56	7,96	5,66	10,82	9,51	9,10	7,33	7,39	5,07	4,83

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m^3/s)

RIO YESO EN EMBALSE EL YESO

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Abr-Sep	Oct-Mar	Anual
C.Var.	0,88	0,36	0,62	0,68	0,74	0,63	0,85	0,51	0,86	0,66	0,64	0,64	1,10	0,41	0,52
Máximo	36,47	7,58	6,16	7,50	6,37	15,51	28,20	22,23	42,12	34,41	38,86	34,02	36,47	25,22	22,81
Mínimo	0,69	0,52	0,01	0,05	0,03	2,73	3,31	0,06	0,03	0,00	1,20	3,22	2,44	6,77	3,95

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m^3/s)

RIO SOBRANTE EN PIÑADERO

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Abr-Sep	Oct-Mar	Anual
1963/64	0,24	0,26	0,18	0,63	0,6	1,54	2,45	3,59	4,04	2,11	1,17	0,88	0,58	2,37	1,47
1964/65	0,67	0,59	0,67	0,5	0,5	0,28	0,78	0,51	0,32	0,2	0,2	0,21	0,54	0,37	0,45
1965/66	0,22	0,34	0,34	0,53	3,86	2,71	2,01	1,45	0,87	0,86	1,11	0,85	1,33	1,19	1,26
1966/67	0,66	0,54	0,58	0,9	1,16	1,58	2,31	2,55	1,35	0,76	0,59	0,48	0,90	1,34	1,12
1967/68	0,42	0,4	0,4	0,37	0,4	0,45			0,36	0,62	0,18	0,22	0,41	0,35	0,38
1968/69	0,26	0,25	0,11	0,24	0,12	0,14	0,15	0,09	0,12	0,13	0,11	0,07	0,19	0,11	0,15
1969/70	0,07	0,06	0,15	0,1	0,1	0,13	0,12	0,09	0,08	0,07	0,06	0,07	0,10	0,08	0,09
1970/71	0,07	0,12	0,11	0,23	0,51	0,43	0,71	0,74	0,31	0,28			0,25	0,51	0,35
1971/72		0,13	0,14	0,21	0,28	0,33	0,55	0,4	0,22	0,18	0,14	0,15	0,22	0,27	0,25
1972/73	0,14	0,19	1,62		1,95	2,96	3,21	4,3	5,32	1,83	1,03	0,91	1,37	2,77	2,13
1973/74	0,82	0,75	0,66	0,9			1,65	1,25	0,58	0,41	0,34	0,31	0,78	0,76	0,77
1974/75	0,28	0,32	0,53	0,71	0,46	0,66	1,65	1,62	0,71	0,39	0,33	0,31	0,49	0,84	0,66
1975/76	0,28	0,25	0,27	0,37	0,57	0,59	0,82	0,71	0,35	0,31	0,25	0,21	0,39	0,44	0,42
1976/77		0,15		0,22	0,23	0,25	0,47	0,57	0,28	0,18	0,14	0,12	0,21	0,29	0,26
1977/78	0,13	0,15	0,17	1,61	1,79	2,48	3,24	3,72	1,8	0,99	0,68	0,56	1,06	1,83	1,44
1978/79	0,45	0,38	0,35	2,1	1,79	2,23	2,91	3,65			0,99	0,78	1,22	2,08	1,56
1979/80	0,65	0,48	0,42	0,37	0,41	0,66	0,59	0,44	0,34	0,26	0,27	0,16	0,50	0,34	0,42
1980/81	1,52	0,79	0,59	0,97	1,27	1,02	2,1	2,04	1,37	1,13	0,94	0,52	1,03	1,35	1,19
1981/82	0,25			0,56	0,58	0,6	0,62	0,46	0,29	0,19	0,2	0,22	0,50	0,33	0,40
1982/83	0,2	0,53	2,15	5,03	4,18	4,71	3,91	5,61	4,95	2,88	1,67	1,13	2,80	3,36	3,08
1983/84	0,96	0,9	0,79	0,9	1,88	2,22	4,14	3,67	1,63	0,98	0,79	0,66	1,28	1,98	1,63
1984/85	0,57	0,53	0,5	1,37	2,18	3,56	7,89	6,5	2,94	1,37	0,63	0,78	1,45	3,35	2,40
1985/86	0,6	0,64	0,39	0,15	0,46	0,5	0,48	0,4	0,34	0,3	0,28	0,28	0,46	0,35	0,40

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m^3/s)

RIO SOBRANTE EN PIÑADERO

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Abr-Sep	Oct-Mar	Anual
1986/87	0,28	0,3	0,77	0,31	0,21	0,69	1,58	1,57	0,99	0,62	0,54		0,43	1,06	0,71
1987/88		0,25	0,46	4,98	7,34	4,98	8,05	13,63	9,66	4,57	2,46	1,31	3,60	6,61	5,24
1988/89	0,92	0,77	0,6	0,55	0,52	0,49	0,49	0,39	0,31	0,26	0,26	0,25	0,64	0,33	0,48
1989/90	0,26	0,28	0,27	0,29	0,68	1,39	1,85	1,35	0,57	0,4	0,34	0,34	0,53	0,81	0,67
1990/91	0,32	0,31	0,3	0,26	0,3	0,41	0,37	0,26	0,21	0,15		0,14	0,32	0,23	0,28
1991/92	0,14	0,37	0,44	1,69	1,06	2,59	2,35	3,03	1,52	0,81	0,63	0,54	1,05	1,48	1,26
1992/93	0,6	0,82	1,72	1,56	1,25	2,36	2,3	2,0	1,34	0,84	0,67	0,56	1,39	1,29	1,34
1993/94	0,59	1,81	0,83	0,76	0,62	0,69	0,94	0,75	0,5	0,37	0,31	0,29	0,88	0,53	0,71
1994/95	0,29	0,31	0,29	0,31	0,43	0,45	0,41	0,27	0,18	0,18	0,16	0,15	0,35	0,23	0,29
1995/96	0,17	0,19	0,19	0,17	0,18	0,23	0,2	0,14	0,11	0,1	0,09	0,1	0,19	0,12	0,16
1996/97	0,13	0,15	0,11	0,16	0,22	0,2	0,22	0,13	0,09	0,09	0,07	0,06	0,16	0,11	0,14
1997/98	0,08	0,11	2,38	1,68	9,08	5,42	5,05	8,46	6,42	2	1,12	1,35	3,13	4,07	3,60
1998/99	1,11	0,89	0,73	0,55	0,48	0,55	0,56	0,6	0,32	0,21	0,23	0,21	0,72	0,36	0,54
1999/00	0,2	0,19	0,2	0,28	0,32	1,47	1,73	1,3	0,77	0,44	0,29	0,33	0,44	0,81	0,63
Prom	0,43	0,43	0,58	0,90	1,33	1,44	1,91	2,17	1,43	0,76	0,55	0,44	0,86	1,21	1,04
Desv	0,34	0,34	0,56	1,14	1,95	1,44	1,95	2,79	2,12	0,93	0,52	0,36	0,81	1,38	1,09
C.Var.	0,79	0,78	0,95	1,26	1,46	1,00	1,02	1,28	1,48	1,21	0,94	0,81	0,94	1,14	1,05
Máximo	1,52	1,81	2,38	5,03	9,08	5,42	8,05	13,63	9,66	4,57	2,46	1,35	3,60	6,61	5,24
Mínimo	0,07	0,06	0,11	0,10	0,10	0,13	0,12	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,10	0,08	0,09

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m^3/s)

RIO PEDERNAL EN TEJADA

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Abr-Sep	Oct-Mar	Anual
1963/64	0,02	0,03	0,06	0,24	0,21	0,84	1,18	1,62	1,19	0,28	0,12	0,1	0,23	0,75	0,49
1964/65	0,08	0,08	0,13	0,11	0,13	0,26	0,18	0,08	0,06	0,04	0,04	0,04	0,13	0,07	0,10
1965/66	0,05	0,06	0,07	0,22	1,76	0,61	1,37	1,58	0,47	0,18	0,08	0,08	0,46	0,63	0,54
1966/67	0,08	0,07	0,14	0,41	0,39	0,47	0,68	0,49	0,22	0,08	0,07	0,06	0,26	0,27	0,26
1967/68	0,06	0,06	0,07	0,07								0,03	0,07	0,03	0,06
1968/69	0,03	0,03	0,05	0,05	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,03	0,04
1969/70	0,03	0,04		0,23	0,24	0,19	0,3	0,21	0,07	0,05	0,04	0,03	0,15	0,12	0,13
1970/71	0,04	0,03	0,03	0,07	0,08	0,08	0,13	0,07	0,04	0,03	0,03	0,03	0,06	0,06	0,06
1971/72	0,03	0,03	0,35	0,37	0,68	0,75	1,08	1,26	0,79				0,37	1,04	0,59
1972/73							0,32	0,25	0,1	0,06	0,05	0,03		0,14	0,14
1973/74	0,03	0,04	0,13	0,17	0,1	0,16	0,36	0,21	0,09	0,04	0,04	0,03	0,11	0,13	0,12
1984/85	0,1	0,08	0,08	0,94	0,91	1,58	3,56	2,99	1,25	0,51	0,26		0,62	1,71	1,11
1985/86	0,16	0,15	0,1	0,1	0,11	0,08	0,07	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,12	0,04	0,08
1986/87	0,02		1,32	0,27	0,23	0,26	0,43	0,19	0,09	0,04	0,03	0,03	0,42	0,14	0,26
1987/88	0,03	0,06											0,05		0,05
1988/89				0,11	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,10	0,04	0,06
1989/90	0,02	0,06	0,04	0,05	0,46	0,54	0,68	0,31	0,11	0,04	0,03	0,05	0,20	0,20	0,20
1990/91	0,08	0,09	0,09	0,12	0,11	0,19	0,08	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,11	0,03	0,07
1991/92	0,02	0,03	0,34	0,64	0,36	1,04	0,82	0,53	0,3	0,11	0,06	0,05	0,41	0,31	0,36
1992/93	0,11	0,36	0,78	0,52	0,51	0,99	1,43	0,8	0,34	0,13	0,09	0,07	0,55	0,48	0,51
1993/94	0,12	0,78	0,29	0,25	0,19	0,28	0,27	0,13	0,07	0,05	0,03	0,03	0,32	0,10	0,21
1994/95	0,04	0,06	0,07	0,09	0,13	0,1	0,09	0,04	0,02	0,03	0,01	0,01	0,08	0,03	0,06
1995/96	0,01	0,02	0,04	0,05	0,05	0,07	0,06	0,01	0	0	0	0	0,04	0,01	0,03
1996/97	0,02	0,01	0,02	0,08	0,09	0,08	0,1	0,06	0,03	0,01	0	0,01	0,05	0,04	0,04

1997/98	0,01	0,03	4,81	1,06	2,19	2,71	2,54	3,47	1,99	0,52	0,29	0,14	1,80	1,49	1,65
1998/99	0,14	0,11	0,11	0,09	0,12	0,09	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,11	0,02	0,06
1999/00	0,01	0,02	0,04	0,08	0,06	0,46	0,53	0,18	0,06	0,03	0,03	0,02	0,11	0,14	0,13
Prom	0,05	0,10	0,40	0,26	0,39	0,50	0,66	0,59	0,30	0,10	0,06	0,04	0,27	0,31	0,27
Desv	0,04	0,16	1,01	0,27	0,54	0,61	0,85	0,93	0,50	0,14	0,07	0,03	0,36	0,46	0,37
C.Var.	0,81	1,66	2,53	1,06	1,39	1,23	1,30	1,58	1,67	1,46	1,25	0,81	1,33	1,49	1,35
Máximo	0,16	0,78	4,81	1,06	2,19	2,71	3,56	3,47	1,99	0,52	0,29	0,14	1,80	1,71	1,65
Mínimo	0,01	0,01	0,02	0,05	0,05	0,05	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,03

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m^3/s)

RIO ALICAHUE EN COLLIGUAY

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Abr-Sep	Oct-Mar	Anual
1964/65	0,98	0,91	0,79	0,69	1,09	0,94	0,87	0,69	0,81	0,88	0,64	0,5	0,90	0,73	0,82
1965/66		1,08	0,41	0,83	4,27	2,94	5,46	7,04	4,06	2,16	1,32	0,86	1,91	3,48	2,77
1966/67	0,74	0,57	0,57	0,78	0,86	1,44	1,68	1,77	1,16	0,74	0,72	0,63	0,83	1,12	0,97
1967/68	0,53	0,41	0,44			0,59	0,54	0,43	0,47	0,41	0,41	0,29	0,49	0,43	0,45
1968/69	0,25	0,24	0,24	0,23	0,23	0,25	0,22	0,17	0,14	0,13	0,12	0,13	0,24	0,15	0,20
1969/70	0,14	0,16	0,23	0,18	0,21	0,23	0,22	0,23	0,16	0,11	0,1	0,1	0,19	0,15	0,17
1970/71	0,1	0,19	0,23	0,31	0,62	0,53	0,76	1,08	0,57	0,39	0,25	0,19	0,33	0,54	0,44
1971/72	0,2	0,22	0,23	0,29	0,34	0,39	0,47	0,45	0,28	0,2	0,17	0,16	0,28	0,29	0,28
1972/73	0,18			1,32	1,55	4,15	3,45	3,75	4,16	2,54	1,14	0,71	1,80	2,63	2,30
1973/74	0,53		0,79	1,23	1,03		1,05	1,38	0,9	0,6	0,53	0,43	0,90	0,82	0,85
1974/75	0,36	0,33	0,56	0,79	0,6	0,65	1,43	1,63	0,8	0,49	0,6	0,52	0,55	0,91	0,73
1975/76	0,34	0,33	0,38	0,53	0,7	0,77	0,86	0,75	0,57	0,45	0,29	0,21	0,51	0,52	0,52
1976/77	0,14	0,2	0,19	0,14	0,19	0,18	0,35	0,48	0,27	0,24	0,18	0,14	0,17	0,28	0,23
1977/78	0,13	0,13	0,24	0,92				2,43	2,89	1,56	1,08	0,81	0,36	1,75	1,13
1978/79	0,71	0,62	0,56	1,73	1,99	2,79	6	5,44	3,14	2,7	1,62	0,99	1,40	3,32	2,36
1979/80	0,98	1,04	0,7	0,58	0,73	0,87	0,86	0,79	0,62	0,62	0,5		0,82	0,68	0,75
1980/81															
1981/82							0,55	0,58	0,47	0,49	0,5	0,48		0,51	0,51
1982/83	0,41	0,45	2,68	3,88	5,18	5,49	5,07	7,6	10,9	3,5	1,83	1,51	3,02	5,07	4,04
1983/84	1,26	1,09	0,97	1,26	1,88	2,2	5,48	4,04	2,65	1,18	1,03	0,93	1,44	2,55	2,00
1984/85	0,83	0,77	0,76	2,3	2,79	4,13	13	9,8	5,68	3,17	2,22	1,72	1,93	5,93	3,93
1985/86	1,32	1,07	0,88	0,84	0,8	0,63	0,57	0,61	0,52	0,48	0,59	0,46	0,92	0,54	0,73
1986/87	0,45	0,67	3,53	1,2	1,14	1,45	2,43	3,48	1,86	0,98	0,65	0,52	1,41	1,65	1,53

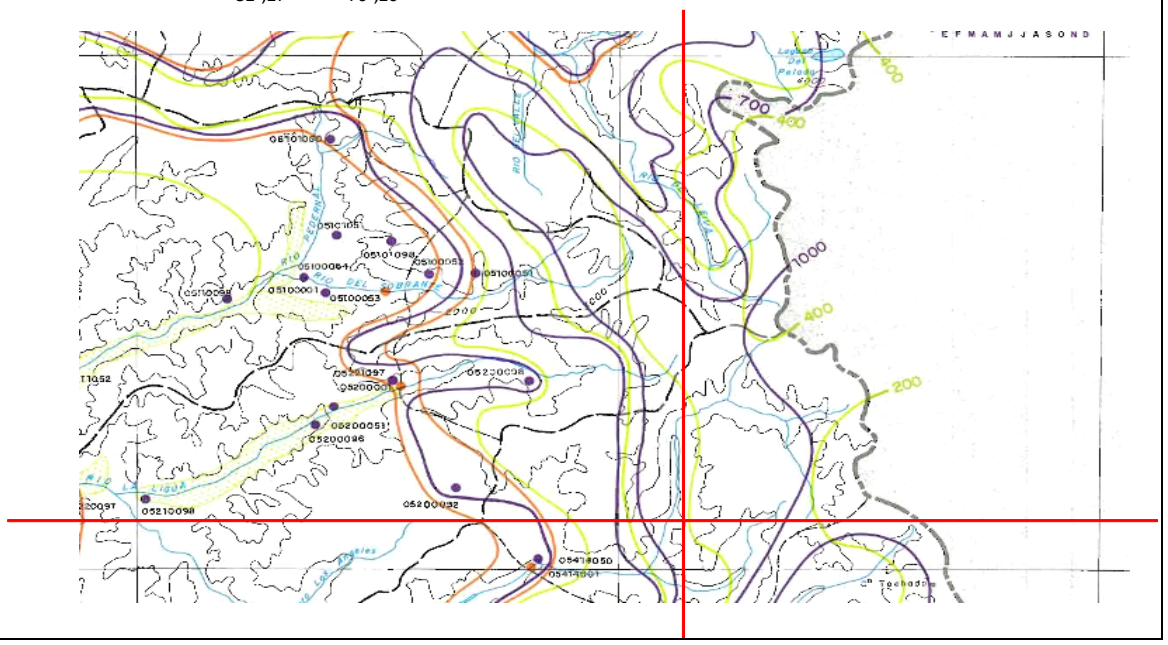
CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m^3/s)

RIO ALICAHUE EN COLLIGUAY

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Abr-Sep	Oct-Mar	Anual
1987/88	0,47	0,53	0,71	6,86	24,61				9,69	5,96	3	2,05	6,64		5,99
1988/89	1,34	1,34	0,86	0,85	0,96	0,76	0,65	0,47	0,41	0,39	0,44	0,4	1,02	0,46	0,74
1989/90	0,33	0,38	0,37	0,39	1,05	1,49	1,92	1,53	0,79	0,55	0,54	0,53	0,67	0,98	0,82
1990/91	0,44	0,44	0,43	0,42	0,41	0,46	0,46	0,4	0,4	0,4	1,5	0,24	0,43	0,57	0,50
1991/92	0,21	0,49	0,7	1,36	1,11	2,61	2,17	3,53	1,98	1,16	0,83	0,6	1,08	1,71	1,40
1992/93	0,51	0,8	1,76	1,5	1,37	2,92	4,14	3,59	1,75	1,15	0,87	0,7	1,48	2,03	1,76
1993/94	0,79	2,08	1,36	1,28	1,15	1,18	1,66	1,39	0,9	0,61	0,55	0,41	1,31	0,92	1,11
1994/95	0,41	0,34	0,34	0,45	0,57	0,52	0,56	0,45	0,41	0,54	0,41	0,38	0,44	0,46	0,45
1995/96	0,35	0,3	0,29	0,33	0,35	0,42	0,36	0,3	0,22	0,33	0,33	0,36	0,34	0,32	0,33
1996/97	0,22	0,18	0,19	0,22	0,26	0,24	0,25	0,18	0,18	0,22	0,18	0,2	0,22	0,20	0,21
1997/98	0,19	0,19	2,86	2,31	4,42	5,73	6,11	7,37	6,79	4,03	2,12	1,47	2,62	4,65	3,63
1998/99	1,22	0,87	0,9	0,77	0,84	0,75	0,52	0,45	0,39	0,38	0,44	0,48	0,89	0,44	0,67
1999/00	0,36	0,31	0,36	0,4	0,47	2,19	2,13	1,85	0,98	0,76	0,73	0,6	0,68	1,18	0,93
Prom	0,53	0,59	0,80	1,13	1,99	1,61	2,19	2,24	1,94	1,16	0,81	0,61	1,12	1,41	1,32
Desv	0,37	0,43	0,80	1,29	4,31	1,55	2,69	2,53	2,64	1,31	0,67	0,47	1,19	1,49	1,33
C.Var.	0,70	0,74	1,00	1,14	2,16	0,96	1,23	1,13	1,36	1,13	0,83	0,77	1,06	1,06	1,01
Máximo	1,34	2,08	3,53	6,86	24,61	5,73	13,00	9,80	10,90	5,96	3,00	2,05	6,64	5,93	5,99
Mínimo	0,10	0,13	0,19	0,14	0,19	0,18	0,22	0,17	0,14	0,11	0,10	0,10	0,17	0,15	0,17

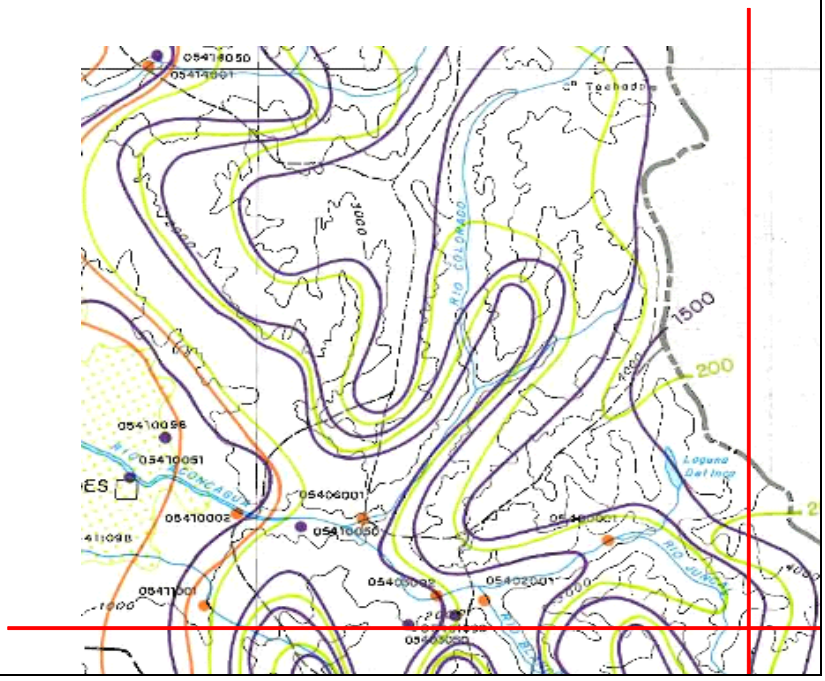
Putaendo en Resguardo Los Patos

Lat	Lon	Pp	802 mm
32°,27'	70°,26'		



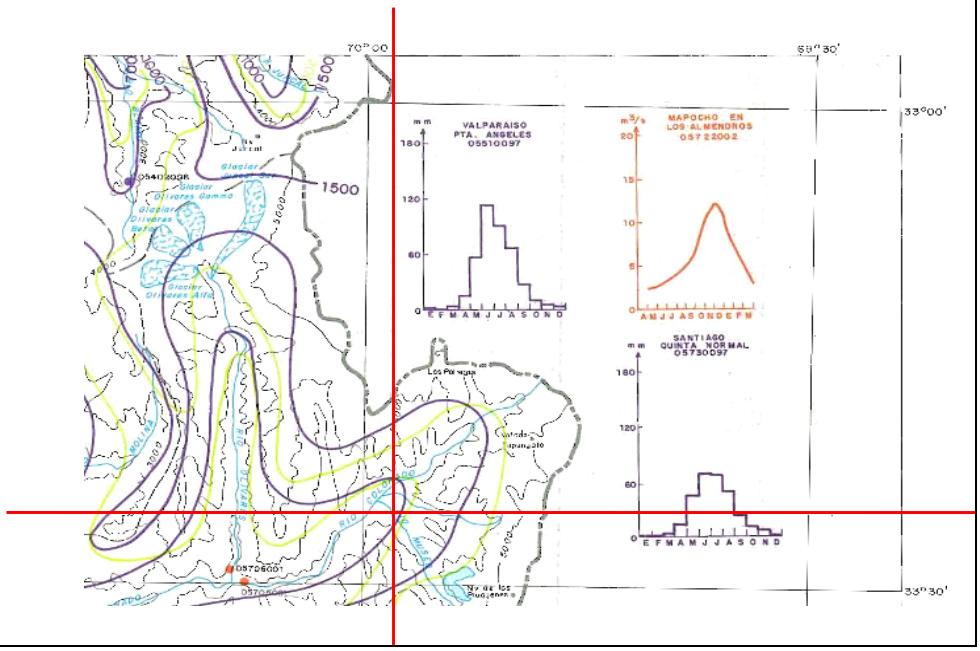
Juncal en Juncal

Lat	Lon	Pp	960 mm
32°,56'	70°,05'		



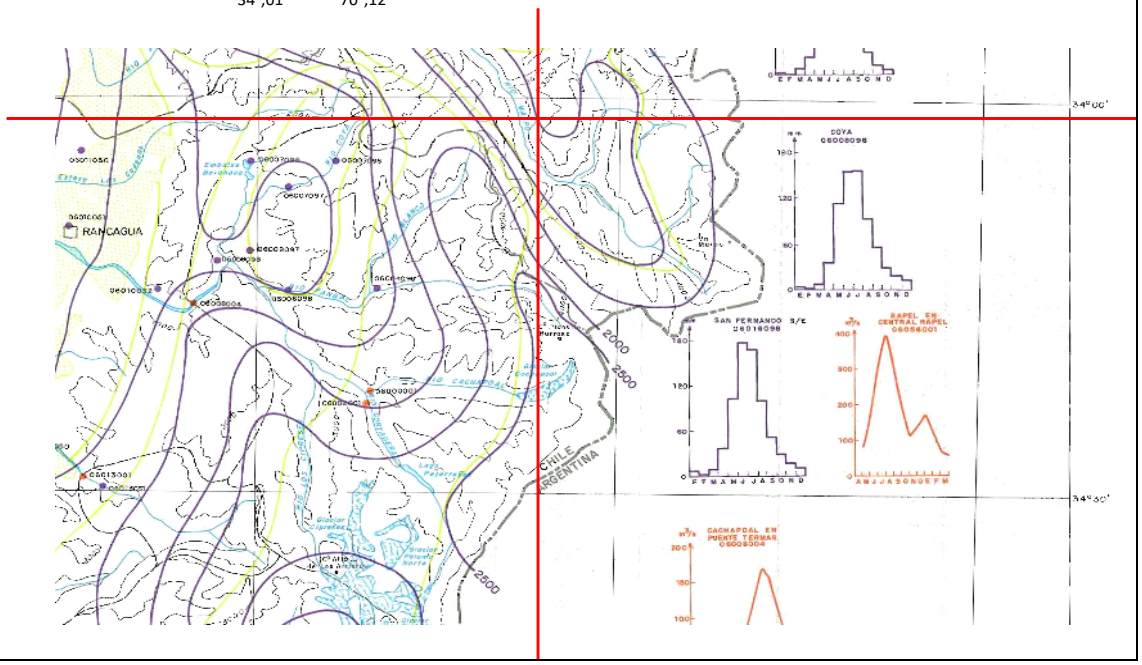
Colorado antes junta Olivares

Lat	Lon	Pp	687 mm
33°,25'	69°,58'		



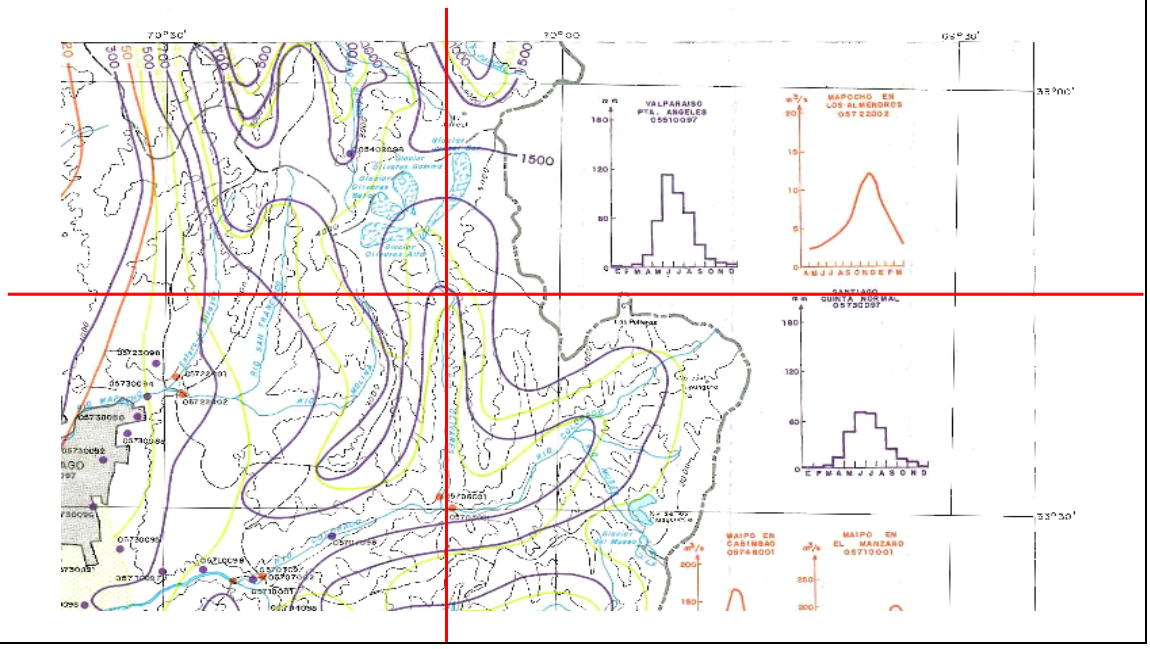
Maipo en Melosas

Lat	Lon	Pp	995 mm
34°,01'	70°,12'		



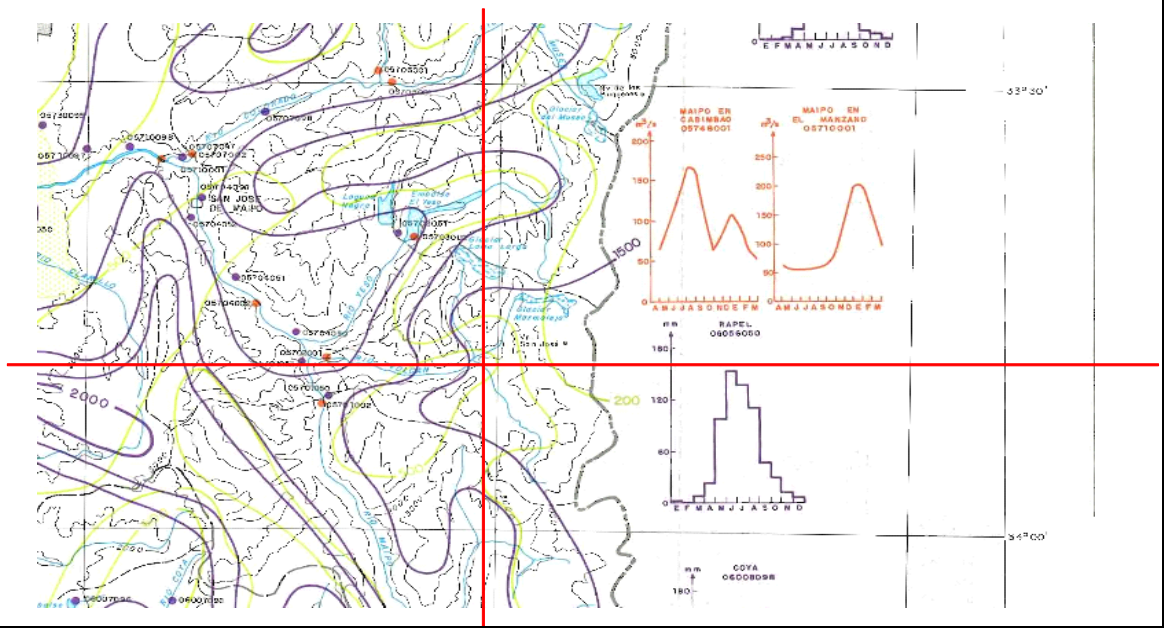
Olivares antes junta Colorado

Lat	Lon		
33°,15'	70°,7'	Pp	700 mm



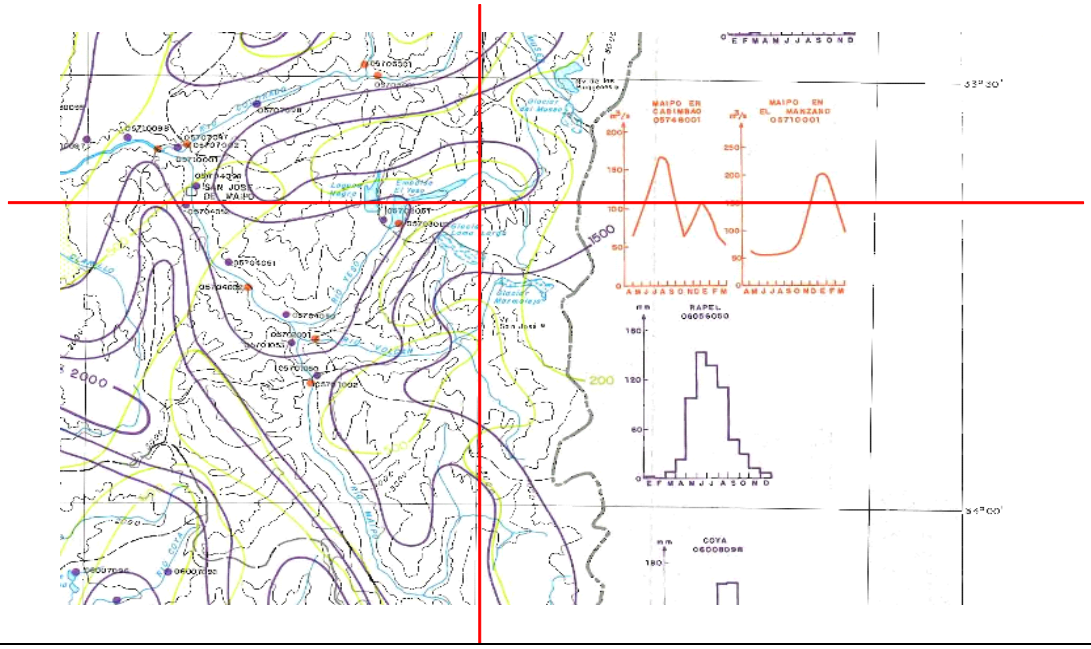
Volcán en Queltehues

Lat	Lon		
33°,49'	70°,1'	Pp	1603 mm



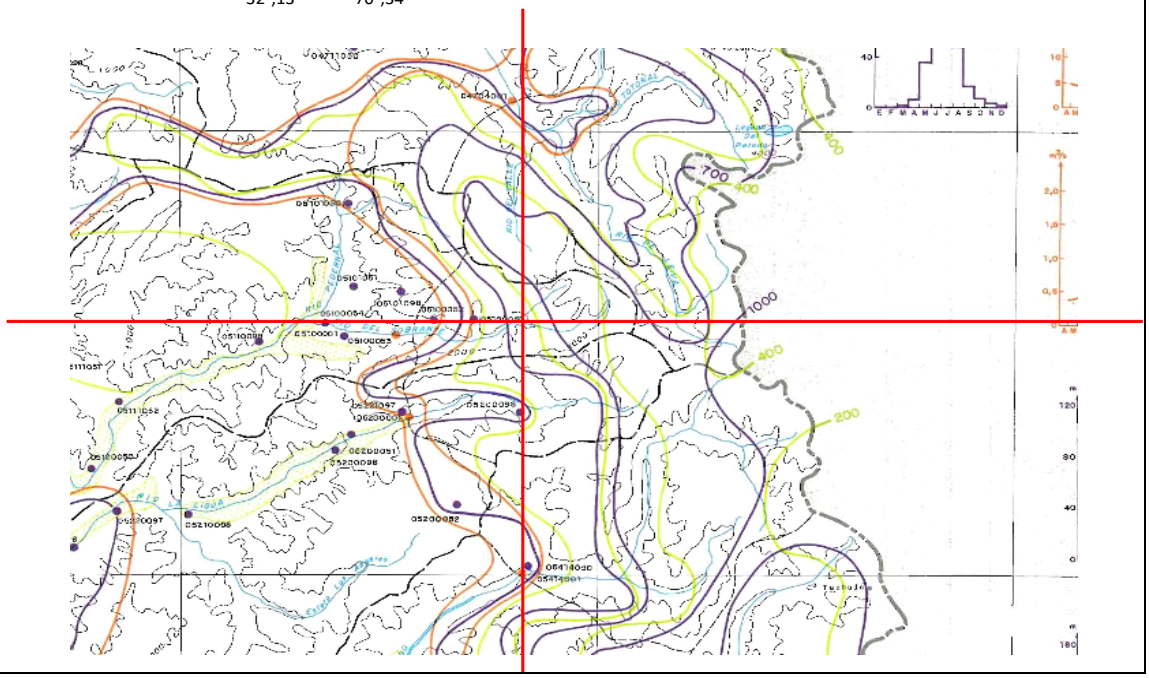
Río Yeso en Embalse

Lat	Lon	Pp	1000 mm
33°,39'	69°,58'		



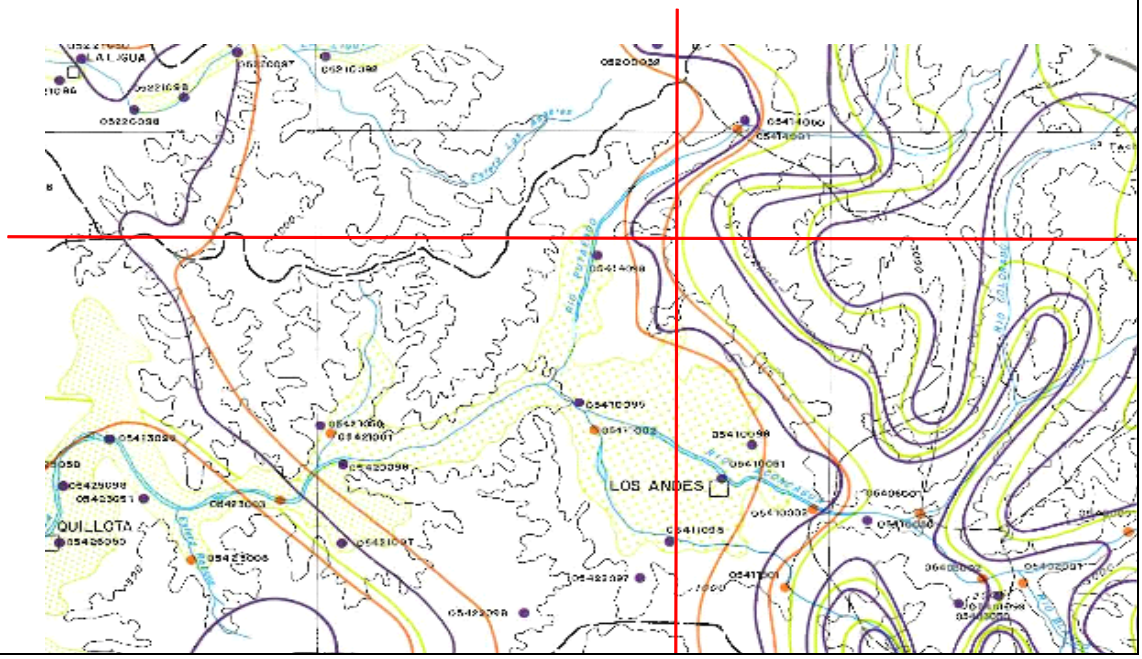
Sobrante en Piñadero

Lat	Lon	Pp	550 mm
32°,13'	70°,34'		



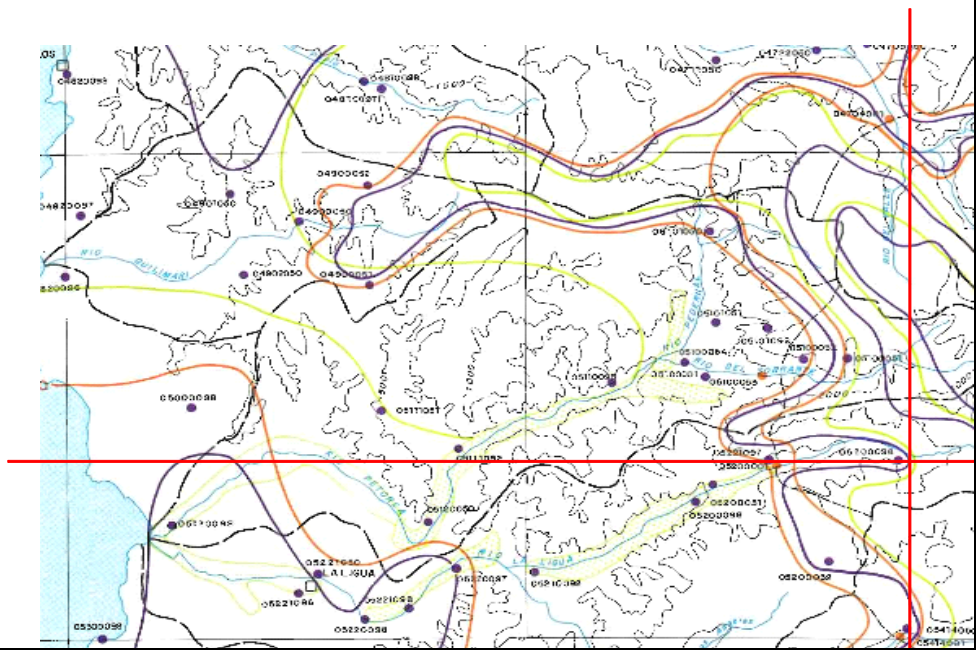
Pedernal en Tejada

Lat	Lon	Pp	409 mm
32°,06'	70°,43'		



Alicahue en Colliguay

Lat	Lon	Pp	300 mm
32°,19'	70°,34'		



ANEXO 3: Ecuaciones Lineales y Ecuaciones Exponenciales Resultantes (Software SPSS)

Ecuaciones Lineales

Ecuación Lineal 1

Variables introducidas/eliminadas[a]			
Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	Pi_1	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= ,050, Prob. de F para salir >= ,100).
2	Pi_2	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= ,050, Prob. de F para salir >= ,100).

a. Variable dependiente: PI_9

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,764[a]	,584	,532	,045012050983747
2	,914[b]	,836	,789	,030188025263978

a. Variables predictoras: (Constante), Pi_1

b. Variables predictoras: (Constante), Pi_1, Pi_2

Variables excluidas[c]						
Modelo		Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Estadísticos de colinealidad
						Tolerancia
1	Pi_2	,510[a]	3,284	,013	,779	,972
	PI_3	,531[a]	2,687	,031	,713	,750
	PI_5	,513[a]	2,570	,037	,697	,769
	PI_6	-,506[a]	-1,441	,193	-,478	,372
	PI_7	-,165[a]	-,445	,670	-,166	,423
	PI_8	,102[a]	,424	,684	,158	,994
	PI_12	-,704[a]	-3,044	,019	-,755	,478
	PI_13	-,724[a]	-2,873	,024	-,736	,430
	PI_14	-1,094[a]	-,727	,491	-,265	,024
	PI_15	1,259[a]	1,131	,295	,393	,041
	PI_16	,569[a]	1,539	,168	,503	,325
	PI_17	,517[a]	1,341	,222	,452	,319
	PI_19	,368[a]	1,152	,287	,399	,490
2	PI_3	-1,276[b]	-1,355	,224	-,484	,024
	PI_5	-,440[b]	-,697	,512	-,274	,063
	PI_6	-,110[b]	-,352	,737	-,142	,273
	PI_7	-,196[b]	-,810	,449	-,314	,422
	PI_8	,030[b]	,180	,863	,073	,973
	PI_12	-,319[b]	-,757	,477	-,295	,141
	PI_13	-,290[b]	-,682	,521	-,268	,140
	PI_14	,681[b]	,573	,587	,228	,018
	PI_15	-,195[b]	-,198	,850	-,080	,028
	PI_16	-,199[b]	-,465	,658	-,187	,144
	PI_17	-,199[b]	-,498	,636	-,199	,165
	PI_19	-,279[b]	-,890	,408	-,341	,245

a. Variables predictoras en el modelo: (Constante), Pi_1

b. Variables predictoras en el modelo: (Constante), Pi_1, Pi_2

c. Variable dependiente: PI_9

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	-,032	,038		-,843	,423
	Pi_1	,163	,049	,764	3,349	,010
2	(Constante)	-,138	,041		-3,363	,012
	Pi_1	,181	,033	,850	5,475	,001
	Pi_2	,575	,175	,510	3,284	,013

a. Variable dependiente: PI_9

Ecuación Lineal 2

Variables introducidas/eliminadas[a]

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	Pi_1	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= ,050, Prob. de F para salir >= ,100).
2	Pi_2	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= ,050, Prob. de F para salir >= ,100).

a. Variable dependiente: PI_9

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,764[a]	,584	,532	,045012050983747
2	,914[b]	,836	,789	,030188025263978

a. Variables predictoras: (Constante), Pi_1

b. Variables predictoras: (Constante), Pi_1, Pi_2

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	-,032	,038		-,843	,423
	Pi_1	,163	,049	,764	3,349	,010
2	(Constante)	-,138	,041		-3,363	,012
	Pi_1	,181	,033	,850	5,475	,001
	Pi_2	,575	,175	,510	3,284	,013

a. Variable dependiente: PI_9

Variables excluidas[c]

Modelo		Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Estadísticos de colinealidad
						Tolerancia
1	Pi_2	,510[a]	3,284	,013	,779	,972
	PI_3	,531[a]	2,687	,031	,713	,750
	PI_5	,513[a]	2,570	,037	,697	,769
	PI_6	-,506[a]	-1,441	,193	-,478	,372
	PI_7	-,165[a]	-,445	,670	-,166	,423
	PI_8	,102[a]	,424	,684	,158	,994
	PI_12	-,704[a]	-3,044	,019	-,755	,478
	PI_13	-,724[a]	-2,873	,024	-,736	,430
	PI_14	-1,094[a]	-,727	,491	-,265	,024
	PI_15	1,259[a]	1,131	,295	,393	,041
	PI_16	,569[a]	1,539	,168	,503	,325
	PI_17	,517[a]	1,341	,222	,452	,319
	PI_19	,368[a]	1,152	,287	,399	,490
2	PI_3	-1,276[b]	-1,355	,224	-,484	,024
	PI_5	-,440[b]	-,697	,512	-,274	,063
	PI_6	-,110[b]	-,352	,737	-,142	,273
	PI_7	-,196[b]	-,810	,449	-,314	,422

	PI_8	,030[b]	,180	,863	,073	,973
	PI_12	-,319[b]	-,757	,477	-,295	,141
	PI_13	-,290[b]	-,682	,521	-,268	,140
	PI_14	,681[b]	,573	,587	,228	,018
	PI_15	-,195[b]	-,198	,850	-,080	,028
	PI_16	-,199[b]	-,465	,658	-,187	,144
	PI_17	-,199[b]	-,498	,636	-,199	,165
	PI_19	-,279[b]	-,890	,408	-,341	,245

a. Variables predictoras en el modelo: (Constante), Pi_1

b. Variables predictoras en el modelo: (Constante), Pi_1, Pi_2

c. Variable dependiente: PI_9

Ecuación Lineal 3

Variables introducidas/eliminadas[a]

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	Pi_1	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= ,050, Prob. de F para salir >= ,100).
2	Pi_2	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= ,050, Prob. de F para salir >= ,100).

a. Variable dependiente: PI_10

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,778[a]	,605	,556	,043449724850942
2	,916[b]	,840	,794	,029568303845250

a. Variables predictoras: (Constante), Pi_1

b. Variables predictoras: (Constante), Pi_1, Pi_2

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	-,037	,036		-1,032	,332
	Pi_1	,164	,047	,778	3,501	,008
2	(Constante)	-,139	,040		-3,460	,011
	Pi_1	,182	,032	,861	5,610	,001
	Pi_2	,550	,172	,492	3,205	,015

a. Variable dependiente: PI_10

Variables excluidas[c]

Modelo		Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Estadísticos de colinealidad
						Tolerancia
1	Pi_2	,492[a]	3,205	,015	,771	,972
	PI_3	,512[a]	2,627	,034	,705	,750
	PI_5	,489[a]	2,472	,043	,683	,769
	PI_6	-,485[a]	-1,410	,201	-,470	,372
	PI_7	-,173[a]	-,483	,644	-,179	,423
	PI_8	,084[a]	,356	,732	,133	,994
	PI_12	-,685[a]	-3,039	,019	-,754	,478
	PI_13	-,704[a]	-2,859	,024	-,734	,430
	PI_14	-,981[a]	-,666	,527	-,244	,024
	PI_15	1,194[a]	1,097	,309	,383	,041
	PI_16	,552[a]	1,532	,169	,501	,325
	PI_17	,502[a]	1,336	,223	,451	,319
	PI_19	,356[a]	1,141	,291	,396	,490
2	PI_3	-1,254[b]	-1,345	,227	-,481	,024
	PI_5	-,489[b]	-,792	,459	-,308	,063
	PI_6	-,102[b]	-,329	,754	-,133	,273

	PI_7	-,203[b]	-,857	,424	-,330	,422
	PI_8	,014[b]	,084	,936	,034	,973
	PI_12	-,328[b]	-,792	,458	-,308	,141
	PI_13	-,296[b]	-,705	,507	-,277	,140
	PI_14	,755[b]	,648	,541	,256	,018
	PI_15	-,217[b]	-,223	,831	-,091	,028
	PI_16	-,184[b]	-,435	,679	-,175	,144
	PI_17	-,185[b]	-,468	,656	-,188	,165
	PI_19	-,268[b]	-,861	,422	-,332	,245

a. Variables predictoras en el modelo: (Constante), Pi_1

b. Variables predictoras en el modelo: (Constante), Pi_1, Pi_2

c. Variable dependiente: PI_10

Ecuación Lineal 4

Variables introducidas/eliminadas[a]

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	PI_12	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= ,050, Prob. de F para salir >= ,100).
2	PI_16	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= ,050, Prob. de F para salir >= ,100).

a. Variable dependiente: PI_11

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,920[a]	,846	,827	1,462479610736157E1
2	,966[b]	,934	,915	1,025802931376478E1

a. Variables predictoras: (Constante), PI_12

b. Variables predictoras: (Constante), PI_12, PI_16

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	-25,226	9,350		-2,698	,027
	PI_12	10,532	1,589	,920	6,628	,000
2	(Constante)	-58,625	12,785		-4,585	,003
	PI_12	14,272	1,659	1,246	8,602	,000
	PI_16	41,292	13,569	,441	3,043	,019

a. Variable dependiente: PI_11

Variables excluidas[c]

Modelo		Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Estadísticos de colinealidad
						Tolerancia
1	Pi_1	-,300[a]	-1,646	,144	-,528	,478
	Pi_2	,033[a]	,159	,878	,060	,518
	PI_3	,284[a]	1,241	,255	,425	,345
	PI_5	,242[a]	1,034	,336	,364	,347
	PI_6	,035[a]	,123	,905	,046	,276
	PI_7	,143[a]	,882	,407	,316	,751
	PI_8	,184[a]	1,396	,206	,467	,989
	PI_13	,231[a]	,111	,915	,042	,005
	PI_14	-,367[a]	-2,233	,061	-,645	,476
	PI_15	,402[a]	2,600	,035	,701	,468
	PI_16	,441[a]	3,043	,019	,755	,451
	PI_17	,420[a]	2,971	,021	,747	,487
	PI_19	,338[a]	2,250	,059	,648	,566
2	Pi_1	-,058[b]	-,301	,773	-,122	,297
	Pi_2	-,004[b]	-,028	,978	-,012	,514
	PI_3	-,011[b]	-,052	,960	-,021	,230

	PI_5	,078[b]	,416	,692	,167	,306
	PI_6	,017[b]	,087	,933	,036	,276
	PI_7	,025[b]	,190	,855	,077	,656
	PI_8	,073[b]	,654	,537	,258	,820
	PI_13	,335[b]	,228	,827	,093	,005
	PI_14	-,119[b]	-,553	,601	-,220	,228
	PI_15	,159[b]	,657	,536	,259	,175
	PI_17	-3,489[b]	-,844	,431	-,326	,001
	PI_19	-,767[b]	-1,564	,169	-,538	,033

a. Variables predictoras en el modelo: (Constante), PI_12

b. Variables predictoras en el modelo: (Constante), PI_12, PI_16

c. Variable dependiente: PI_11

Ecuación Lineal 5

Variables introducidas/eliminadas[a]

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	Pi_2	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= ,050, Prob. de F para salir >= ,100).
2	PI_3	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= ,050, Prob. de F para salir >= ,100).

a. Variable dependiente: PI_18

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,809[a]	,654	,611	,009776978416662
2	,910[b]	,828	,779	,007370700449125

a. Variables predictoras: (Constante), Pi_2

b. Variables predictoras: (Constante), Pi_2, PI_3

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	-,016	,010		-1,643	,139
	Pi_2	,218	,056	,809	3,891	,005
2	(Constante)	-,021	,007		-2,781	,027
	Pi_2	,489	,110	1,817	4,430	,003
	PI_3	-,208	,078	-1,091	-2,660	,032

a. Variable dependiente: PI_18

Variables excluidas[c]

Modelo		Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Estadísticos de colinealidad
						Tolerancia
1	Pi_1	,385[a]	2,240	,060	,646	,972
	PI_3	-1,091[a]	-2,660	,032	-,709	,146
	PI_5	-,875[a]	-2,087	,075	-,619	,173
	PI_6	,305[a]	1,392	,207	,466	,803
	PI_7	-,322[a]	-1,706	,132	-,542	,976
	PI_8	,123[a]	,561	,593	,207	,976
	PI_12	,422[a]	1,593	,155	,516	,518
	PI_13	,413[a]	1,650	,143	,529	,567
	PI_14	,394[a]	2,262	,058	,650	,941
	PI_15	-,389[a]	-2,181	,066	-,636	,924
	PI_16	-,438[a]	-2,080	,076	-,618	,689
	PI_17	-,426[a]	-2,070	,077	-,616	,723
	PI_19	-,459[a]	-2,086	,075	-,619	,630
2	Pi_1	-,011[b]	-,027	,979	-,011	,157
	PI_5	-,270[b]	-,438	,677	-,176	,073
	PI_6	,058[b]	,255	,807	,103	,540

	PI_7	-,073[b]	-,320	,760	-,129	,540
	PI_8	,204[b]	1,333	,231	,478	,946
	PI_12	,109[b]	,372	,723	,150	,326
	PI_13	,112[b]	,393	,708	,158	,347
	PI_14	-,102[b]	-,195	,852	-,079	,104
	PI_15	,309[b]	,521	,621	,208	,078
	PI_16	1,775[b]	2,004	,092	,633	,022
	PI_17	1,653[b]	1,950	,099	,623	,024
	PI_19	,524[b]	,744	,485	,291	,053

a. Variables predictoras en el modelo: (Constante), Pi_2

b. Variables predictoras en el modelo: (Constante), Pi_2, PI_3

c. Variable dependiente: PI_18

Ecuaciones Exponenciales

Ecuación Exponencial 1

Variables introducidas/eliminadas[a]

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	LN (π6)	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= ,050, Prob. de F para salir >= ,100).

a. Variable dependiente: LN (π4)

Resumen del modelo

Modelo	R	R^2	R^2 corregida	Error típ. de la estimación
1	0,784[a]	0,615	0,567	0,322

a. Variables predictoras: (Constante), LN (π6)

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	64,408	17,848		3,609	0,007
	LN (π6)	-18,285	5,111	-0,784	-3,577	0,007

a. Variable dependiente: LN (π4)

Variables excluidas[b]

Modelo		Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Estadísticos de colinealidad
						Tolerancia
1	LN (π1)	-0,273[a]	-0,836	0,431	-0,301	0,467
	LN (π2)	-0,142[a]	-0,556	0,596	-0,206	0,808
	LN (π3)	-0,074[a]	-0,247	0,812	-0,093	0,614
	LN (π5)	-0,123[a]	-0,386	0,711	-0,144	0,526
	LN (π6)	0,438[a]	1,589	0,156	0,515	0,531
	LN (π7)	0,060[a]	0,258	0,803	0,097	0,998
	LN (π8)	-0,123[a]	-0,330	0,751	-0,124	0,388
	LN (π12)	-0,177[a]	-0,472	0,651	-0,176	0,379
	LN (π13)	-0,405[a]	-1,259	0,248	-0,430	0,434
	LN (π14)	0,405[a]	1,259	0,248	0,430	0,434
	LN (π16)	0,123[a]	0,330	0,751	0,124	0,388
	LN (π17)	0,177[a]	0,472	0,651	0,176	0,379
	LN (π19)	0,038[a]	0,105	0,919	0,040	0,430

a. Variables predictoras en el modelo: (Constante), LN (π6)

b. Variable dependiente: LN (π4)

Ecuación Exponencial 2

Variables introducidas/eliminadas[a]

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	LN (π15)	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= ,050, Prob. de F para salir >= ,100).
2	LN (π16)	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= ,050, Prob. de F para salir >= ,100).

a. Variable dependiente: LN (π9)

Resumen del modelo

Modelo	R	R^2	R^2 corregida	Error típ. de la estimación
1	0,870[a]	0,756	0,726	0,469
2	0,963[b]	0,927	0,906	0,275

a. Variables predictoras: (Constante), LN (π15)

b. Variables predictoras: (Constante), LN (π15); LN (π16)

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	-2,057	0,209		-9,851	0,000
	LN (π15)	-5,833	1,170	-0,870	-4,984	0,001
2	(Constante)	0,101	0,549		0,184	0,859
	LN (π15)	-11,374	1,535	-1,696	-7,411	0,000
	LN (π16)	1,038	0,257	0,923	4,035	0,005

a. Variable dependiente: LN (π9)

Variables excluidas[c]

Modelo		Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Estadísticos de colinealidad
						Tolerancia
1	LN (π1)	-,403[a]	-0,305	0,769	-0,115	0,020
	LN (π2)	,405[a]	3,494	0,010	0,797	0,944
	LN (π3)	,462[a]	3,494	0,010	0,797	0,727
	LN (π5)	,411[a]	2,734	0,029	0,719	0,743
	LN (π6)	-,011[a]	-0,038	0,971	-0,014	0,434
	LN (π7)	-,267[a]	-1,033	0,336	-0,364	0,453
	LN (π8)	,083[a]	0,440	0,673	0,164	0,949
	LN (π12)	-,923[a]	-4,035	0,005	-0,836	0,200
	LN (π13)	-1,064[a]	-4,035	0,005	-0,836	0,150
	LN (π14)	.[a]	.	.	.	0,000
	LN (π16)	,923[a]	4,035	0,005	0,836	0,200
	LN (π17)	1,064[a]	4,035	0,005	0,836	0,150
	LN (π19)	,670[a]	3,832	0,006	0,823	0,367
2	LN (π1)	-0,198[b]	-0,251	0,810	-0,102	0,020
	LN (π2)	-0,116[b]	-0,251	0,810	-0,102	0,056
	LN (π3)	-0,133[b]	-0,251	0,810	-0,102	0,043
	LN (π5)	-0,060[b]	-0,218	0,834	-0,089	0,159
	LN (π6)	0,257[b]	1,745	0,132	0,580	0,374
	LN (π7)	-0,160[b]	-1,039	0,339	-0,390	0,438
	LN (π8)	0,169[b]	1,833	0,117	0,599	0,915
	LN (π12)	.[b]	.	.	.	0,000
	LN (π13)	.[b]	.	.	.	0,000

	LN (π14)	.[b]	.	.	.	0,000
	LN (π17)	.[b]	.	.	.	0,000
	LN (π19)	-0,368[b]	-0,251	0,810	-0,102	0,006

a. Variables predictoras en el modelo: (Constante), LN (π15)

b. Variables predictoras en el modelo: (Constante), LN (π15), LN (π16)

c. Variable dependiente: LN (π9)

Ecuación Exponencial 3

Variables introducidas/eliminadas[a]

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	LN_PI15	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= ,050, Prob. de F para salir >= ,100).
2	LN_PI12	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= ,050, Prob. de F para salir >= ,100).

a. Variable dependiente: LN_PI10

Resumen del modelo

Modelo	R	R^2	R^2 corregida	Error típ. de la estimación
1	0,900[a]	0,810	0,786	0,469
2	0,971[b]	0,943	0,927	0,275

a. Variables predictoras: (Constante), LN_PI15

b. Variables predictoras: (Constante), LN_PI15, LN_PI12

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	-2,057	0,209		-9,851	0,000
	LN_PI15	-6,833	1,170	-0,900	-5,839	0,000
2	(Constante)	0,101	0,549		0,184	0,859
	LN_PI15	-12,374	1,535	-1,630	-8,062	0,000

LN_PI12	-1,038	0,257	-0,816	-4,035	0,005

a. Variable dependiente: LN_PI10

Variables excluidas[c]						
Modelo		**Beta dentro**	**t**	**Sig.**	**Correlación parcial**	**Estadísticos de colinealidad**
						Tolerancia
1	LN_PI1	-0,356[a]	-0,305	0,769	-0,115	0,020
	LN_PI2	0,358[a]	3,494	0,010	0,797	0,944
	LN_PI3	0,408[a]	3,494	0,010	0,797	0,727
	LN_PI5	0,363[a]	2,734	0,029	0,719	0,743
	LN_PI6	-0,010[a]	-0,038	0,971	-0,014	0,434
	LN_PI7	-0,236[a]	-1,033	0,336	-0,364	0,453
	LN_PI8	0,073[a]	0,440	0,673	0,164	0,949
	LN_PI12	-0,816[a]	-4,035	0,005	-0,836	0,200
	LN_PI13	-0,940[a]	-4,035	0,005	-0,836	0,150
	LN_PI14	.[a]	.	.	.	0,000
	LN_PI16	0,816[a]	4,035	0,005	0,836	0,200
	LN_PI17	0,940[a]	4,035	0,005	0,836	0,150
	LN_PI19	0,592[a]	3,832	0,006	0,823	0,367
2	LN_PI1	-0,175[b]	-0,251	0,810	-0,102	0,020
	LN_PI2	-0,103[b]	-0,251	0,810	-0,102	0,056
	LN_PI3	-0,117[b]	-0,251	0,810	-0,102	0,043
	LN_PI5	-0,053[b]	-0,218	0,834	-0,089	0,159

	LN_PI6	0,227[b]	1,745	0,132	0,580	0,374
	LN_PI7	-0,141[b]	-1,039	0,339	-0,390	0,438
	LN_PI8	0,150[b]	1,833	0,117	0,599	0,915
	LN_PI13	.[b]	.	.	.	0,000
	LN_PI14	.[b]	.	.	.	0,000
	LN_PI16	.[b]	.	.	.	0,000
	LN_PI17	.[b]	.	.	.	0,000
	LN_PI19	-0,325[b]	-0,251	0,810	-0,102	0,006

a. Variables predictoras en el modelo: (Constante), LN_PI15

b. Variables predictoras en el modelo: (Constante), LN_PI15, LN_PI12

c. Variable dependiente: LN_PI10

Ecuación Exponencial 4

Variables introducidas/eliminadas[a]

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	LN_PI16	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= ,050, Prob. de F para salir >= ,100).

a. Variable dependiente: LN_PI11

Resumen del modelo

Modelo	R	R^2	R^2 corregida	Error típ. de la estimación
1	0,969[a]	0,939	0,931	0,400

a. Variables predictoras: (Constante), LN_PI16

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	-0,004	0,268		-0,015	0,988
	LN_PI16	-1,851	0,167	-0,969	-11,055	0,000

a. Variable dependiente: LN_PI11

Variables excluidas[b]

Modelo		Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	Estadísticos de colinealidad
						Tolerancia
1	LN_PI1	-0,160[a]	-0,813	0,443	-0,294	0,208
	LN_PI2	-0,094[a]	-0,813	0,443	-0,294	0,600
	LN_PI3	-0,158[a]	-0,986	0,357	-0,349	0,299
	LN_PI5	-0,178[a]	-1,282	0,241	-0,436	0,368
	LN_PI6	0,197[a]	1,513	0,174	0,496	0,388
	LN_PI7	-0,107[a]	-0,968	0,365	-0,344	0,632
	LN_PI8	0,000[a]	-0,009	0,993	-0,004	0,986
	LN_PI12	.[a]	.	.	.	0,000
	LN_PI13	-0,235[a]	-0,163	0,875	-0,062	0,004
	LN_PI14	-0,034[a]	-0,163	0,875	-0,062	0,200
	LN_PI15	0,034[a]	0,163	0,875	0,062	0,200
	LN_PI17	0,235[a]	0,163	0,875	0,062	0,004
	LN_PI19	-0,439[a]	-0,986	0,357	-0,349	0,039

a. Variables predictoras en el modelo: (Constante), LN_PI16

b. Variable dependiente: LN_PI11

Ecuación Exponencial 5

Variables introducidas/eliminadas[a]

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	LN_PI2	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= ,050, Prob. de F para salir >= ,100).
2	LN_PI6	.	Por pasos (criterio: Prob. de F para entrar <= ,050, Prob. de F para salir >= ,100).

a. Variable dependiente: LN_PI18

Resumen del modelo

Modelo	R	R^2	R^2 corregida	Error típ. de la estimación
1	0,862[a]	0,744	0,712	0,412
2	0,934[b]	0,873	0,837	0,310

a. Variables predictoras: (Constante), LN_PI2

b. Variables predictoras: (Constante), LN_PI2, LN_PI6

Coeficientes[a]

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	-0,843	0,709		-1,190	0,268
	LN_PI2	1,783	0,370	0,862	4,817	0,001

	(Constante)	-51,249	18,846		-2,719	0,030
2	LN_PI2	2,146	0,309	1,038	6,933	0,000
	LN_PI6	14,631	5,468	0,400	2,676	0,032

a. Variable dependiente: LN_PI18

Variables excluidas[c]

Modelo		Beta dentro	T	Sig.	Correlación parcial	Estadísticos de colinealidad
						Tolerancia
1	LN_PI1	0,264[a]	1,570	0,160	0,510	0,956
	LN_PI3	-0,974[a]	-1,930	0,095	-0,589	0,094
	LN_PI5	-0,710[a]	-1,857	0,106	-0,575	0,168
	LN_PI6	0,400[a]	2,676	0,032	0,711	0,808
	LN_PI7	-0,355[a]	-2,581	0,036	-0,698	0,989
	LN_PI8	-0,022[a]	-0,117	0,910	-0,044	1,000
	LN_PI12	0,334[a]	1,570	0,160	0,510	0,600
	LN_PI13	0,327[a]	1,631	0,147	0,525	0,660
	LN_PI14	0,307[a]	1,930	0,095	0,589	0,944
	LN_PI15	-0,307[a]	-1,930	0,095	-0,589	0,944
	LN_PI16	-0,334[a]	-1,570	0,160	-0,510	0,600
	LN_PI17	-0,327[a]	-1,631	0,147	-0,525	0,660
	LN_PI19	-0,418[a]	-1,631	0,147	-0,525	0,403
2	LN_PI1	-0,006[b]	-0,029	0,978	-0,012	0,452
	LN_PI3	-0,225[b]	-0,320	0,760	-0,130	0,042

	LN_PI5	-0,055[b]	-0,096	0,927	-0,039	0,065
	LN_PI7	-0,198[b]	-1,026	0,345	-0,386	0,484
	LN_PI8	-0,005[b]	-0,033	0,975	-0,014	0,998
	LN_PI12	-0,008[b]	-0,029	0,978	-0,012	0,284
	LN_PI13	0,008[b]	0,030	0,977	0,012	0,308
	LN_PI14	0,071[b]	0,320	0,760	0,130	0,423
	LN_PI15	-0,071[b]	-0,320	0,760	-0,130	0,423
	LN_PI16	0,008[b]	0,029	0,978	0,012	0,284
	LN_PI17	-0,008[b]	-0,030	0,977	-0,012	0,308
	LN_PI19	-0,010[b]	-0,030	0,977	-0,012	0,189

a. Variables predictoras en el modelo: (Constante), LN_PI2

b. Variables predictoras en el modelo: (Constante), LN_PI2, LN_PI6

c. Variable dependiente: LN_PI18

ANEXO 4: Caudales Medios Mensuales y Precipitaciones Medias Anuales Cuencas de Validación y Comparación

CAUDALES MEDIOS MENSUALES m³/s

RÍO GRANDE EN LAS RAMADAS

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Abr-Sep	Oct-Mar	Anual
1961/62			2,87	1,5	2,32	5,89		14,05	8,52	4,27	2,92	2,46	3,15	6,44	4,98
1962/63	1,6	1,87	1,76	1,77	1,88	1,88	4,02	4,91	2,57	1,96	1,58	1,33	1,79	2,73	2,26
1963/64	1,34	1,6	2,66	2,52	2,49	6,81	8,89	15,91	23,94	10,87	5,38	3,60	2,90	11,43	7,17
1964/65	2,86	2,69	2,41	2,44	2,1	2,73	3,9	3,66	2,26	2,00	1,69	1,53	2,54	2,51	2,52
1965/66	2,36	2,07	3,06	3,29	17,48	9,04	22,44	37,65	24,72	10,22	5,97	4,35	6,22	17,56	11,89
1966/67	3,86	3,73			4,29	5,03	10,02	10,99	6,42	4,75		2,27	4,23	6,89	5,71
1967/68	1,97	2,00	1,90	1,78	1,67	2,02	2,59	2,02	1,55	1,38	1,15	1,22	1,89	1,65	1,77
1968/69	1,18	1,22	1,29	1,19	1,04	1,07	0,84	0,66	0,61	0,51	0,62	0,59	1,17	0,64	0,90
1969/70	1,95	1,87	1,45	1,32	1,56	2,11	1,55	1,59	1,15	0,84	0,88	0,85	1,71	1,14	1,43
1970/71	0,78	1,21	1,15	0,98	0,65	0,73	1,37	1,31	0,91	0,86	0,71	0,69	0,92	0,98	0,95
1971/72	0,65	0,69	0,81	1,13	1,19	1,24	1,33	1,35	0,95	0,68	0,74	0,95	0,95	1,00	0,98
1972/73		0,81	4,07	3,05	4,24	5,64	11,69	23,09	29,92	11,13	5,04	2,76	3,56	13,94	9,22
1973/74	2,58	2,37	2,26	2,61	2,44	2,33		4,46	2,52	1,76	1,61	1,40	2,43	2,35	2,39
1974/75	1,37	1,5	1,48	1,51	1,55	1,79	3,91	3,02	1,79	1,48	1,48	1,74	1,53	2,24	1,89
1975/76	1,48	1,71	1,99	1,93	2,01	2,55	3,34	3,61	1,41	1,47	1,42	1,34	1,95	2,10	2,02
1976/77	1,32	1,48	1,78	1,52	0,82	0,83	1,55	2,51	1,85	1,46	1,50	1,26	1,29	1,69	1,49
1977/78	1,23	1,64	1,70	3,31	6,21	9,63	17,57	24,74		4,16	4,58	2,37	3,95	10,68	7,01
1978/79	1,97	1,86	1,76	5,26				37,99					2,71	37,99	9,77
1979/80							1,98	1,93	1,67						
1980/81									0,00						
1981/82				1,76	1,89	1,90	1,95	1,66	1,73	2,25	2,02	2,00	1,85	1,94	1,91
1982/83	1,78	2,08	2,65	7,6	6,23	9,01	14,63	23,68	21,42	13,20			4,89	18,23	10,23

CAUDALES MEDIOS MENSUALES m³/s

RÍO GRANDE EN LAS RAMADAS

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Abr-Sep	Oct-Mar	Anual
1983/84	3,59	3,29	3,22	3,56	5,34	5,21		26,88	15,37	5,85	4,12	3,29	4,04	11,10	7,25
1984/85	3	2,68	2,50	4,36	5,02	10,00	26,39	36,28	31,64	10,82	7,36	5,56	4,59	19,68	12,13
1985/86	4,1	3,43	2,94	2,83	2,74	2,48	2,89	2,73	1,69	1,50	1,54	1,34	3,09	1,95	2,52
1986/87	1,42	1,51	2,05	1,99	2,26	2,84	5	6,63	3,71	2,50	2,09	1,86	2,01	3,63	2,82
1987/88	1,75	1,82	1,85	9,39	13,63		19,39	39,61	53,72	22,70	9,87	5,96	5,69	25,21	16,34
1988/89	4,35	3,93	3,17	2,45	2,25	2,04	1,78		1,28		1,18	1,17	3,03	1,35	2,36
1989/90	1,18	1,72	1,48		2,86	4,81	8,64	7,42	3,31	1,96	2,01	1,86	2,41	4,20	3,39
1990/91	1,83	1,68	1,74	1,86	1,59	2,10	2,31	1,43	1,21	1,03	0,94	0,93	1,80	1,31	1,55
1991/92	1,08	1,19	1,99	2,92	3,02	7,73	9,21	14,65	8,92	4,83	3,54	2,80	2,99	7,33	5,16
1992/93	2,84	2,76	3,39	3,76	3,73	5,76	12,87	14,79	8,15	4,82	3,67	2,95	3,71	7,88	5,79
1993/94	3,14	5,07	3,71	3,57	3,08	3,70	4,72	4,46	3,13	2,59	2,00	1,90	3,71	3,13	3,42
1994/95	2,01	1,89	1,62	2	2,72	3,74	3,78	2,91	1,92	1,78	1,42	1,30	2,33	2,19	2,26
1995/96	1,41	1,36	1,31	1,23	1,09	1,27	1,03	0,86	0,74	0,76	0,68	0,67	1,28	0,79	1,03
1996/97	0,7	0,74	0,84	1	1,21	1,23	1,27	1,07	0,91	0,88	0,75	0,81	0,95	0,95	0,95
1997/98	0,82	0,85	5,92	4,71	7,56	12,55	16,66	36,02	37,01	17,12	6,75	3,87	5,40	19,57	12,49
1998/99	4,08	2,5	2,27	2,1	1,77	1,77	1,73	1,56	1,26	1,27	1,16	1,18	2,42	1,36	1,89
1999/0	1,23	1,25	1,46	1,5	1,37	2,63	4,15	3,19	2,01	1,49	1,34	1,34	1,57	2,25	1,91
2000/1	1,42	1,54	1,54	2,19	3,22	4,68	12,09	11,19	7,83	3,09	2,19	1,92	2,43	6,39	4,41
2001/2	1,84	1,78	1,56	2,18	2,45	3,78	9,07	10,71	5,29	2,75	2,06	2,08	2,27	5,33	3,80
2002/3	1,88	3,01	6,46	6,15	8,1	9,59	18,96	28,19	21,59	9,38	5,77	4,33	5,87	14,70	10,28
2003/4	3,71	3,7	4,14	4,43	3,66	4,15	6,1	5,12	2,64	2,12	1,82	1,56	3,97	3,23	3,60
2004/5	1,93	2	1,72	1,76	2,21	3,26	3,01	2,96	1,86	1,26	0,92	1,37	2,15	1,90	2,02

CAUDALES MEDIOS MENSUALES m³/s

RÍO GRANDE EN LAS RAMADAS

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Abr-Sep	Oct-Mar	Anual
2005/6	1,17	1,94	3,34	2,68	2,99	5,77	9,97	17,23	10,88	5,11	3,62	2,76	2,98	8,26	5,62
2006/7	2,57	2,58	2,45	3,37	3,29	3,95	5,62	4,34	2,83	1,98	1,55	1,46	3,04	2,96	3,00
2007/8	1,61	1,86	2,16	2,39	2,12	3,24	5,91	4,87	2,86	2,09	1,69	1,51	2,23	3,16	2,69
2008/9	1,65	1,68	2,03	2,13	3,22	4,64	9,21	11,83	5,60	3,37	2,33	2,04	2,56	5,73	4,14
2009/10	1,73	1,72	1,68	1,83	2,02	2,56	3,48	3,79	1,98	1,50	1,71	1,43	1,92	2,32	2,12
2010/11	1,53	1,49	1,58	1,41	1,27	1,51	1,72		1,11	0,87	0,72	0,80	1,47	1,04	1,27
2011/12	0,92	0,93	0,95	1,17	1,47	2,32	3,35	2,58	1,54	1,17	1,03	1,02	1,29	1,78	1,54
Prom	1,97	2,01	2,30	2,71	3,32	4,08	7,04	10,92	7,71	4,08	2,50	2,00	2,75	6,42	4,37
Desv	0,98	0,91	1,16	1,70	3,09	2,84	6,38	11,83	11,37	4,71	2,06	1,23	1,34	7,59	4,02
C.Var.	0,49	0,45	0,50	0,63	0,93	0,70	0,91	1,08	1,47	1,15	0,82	0,62	0,49	1,18	0,81
Máximo	4,35	5,07	6,46	9,39	17,48	12,55	26,39	39,61	53,72	22,70	9,87	5,96	6,22	37,99	17,80
Mínimo	0,65	0,69	0,81	0,98	0,65	0,73	0,84	0,66	0,00	0,51	0,62	0,59	0,92	0,64	0,64

CAUDALES MEDIOS MENSUALES m³/s

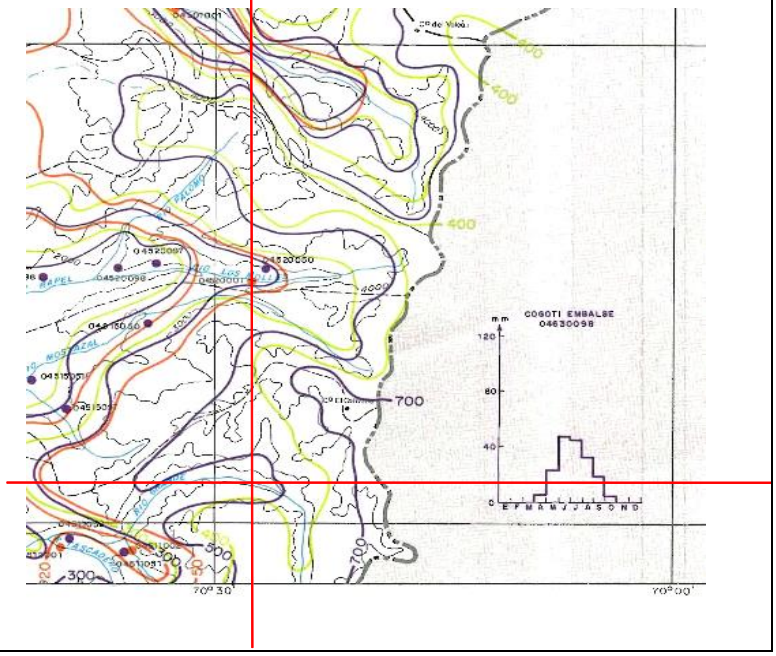
RÍO ARRAYÁN EN LA MONTOSA

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Abr-Sep	Oct-Mar	Anual
1981/82					0,97	0,85	1,04	1,39	0,9	0,64	0,44	0,5	0,91	0,82	0,84
1982/83	0,58	0,86	9,26	10,94	3,7	4,13	5,57	8,62	11,64	7,3	3,46	2,04	4,91	6,44	5,68
1983/84	1,62	1,41	1,32	1,97	1,65	1,66	3,58	4,63	3,9	1,89	1,37	1,16	1,61	2,76	2,18
1984/85	1,02	1,03	0,99	2,53	1,61	2,18	4,15	4,24	5,76	2,97	1,35	1,32	1,56	3,30	2,43
1985/86	1,14	1,04	0,96	1,09	1	0,82	1,02	1,47	0,91	0,57	0,46	0,43	1,01	0,81	0,91
1986/87	0,44	0,54	4,51	1,6	1,18	1,46	2,73	4,34	4,95	1,68	0,91	1,2	1,62	2,64	2,13
1987/88	0,9	0,99	2,18	8,08	6,37	3,69	4,7	9,34	9,59	5,71	2,84	1,93	3,70	5,69	4,69
1988/89	1,57	1,4	1,21	1,13	1,18	1	1,23	1,32	0,91	0,7	0,63	0,39	1,25	0,86	1,06
1989/90	0,63	0,75	0,65	0,63	1,77	1,7	2,37	3,69	2	1,05	0,83	0,66	1,02	1,77	1,39
1990/91	0,65	0,63	0,52	0,52	0,48	0,8	1,17	1,2	0,73	0,49	0,42	0,4	0,60	0,74	0,67
1991/92	0,43	1,07	1,12	2,66	1,5	2,76	2,78	5,1	4,1	2,43	1,32	0,91	1,59	2,77	2,18
1992/93	0,87	1,25	2,06	1,7	1,48	1,83	3,16	4,09	2,93	1,73	1,11	0,92	1,53	2,32	1,93
1993/94	1,13	3,18	1,74	1,37	1,15	1,22	1,84	2,34	1,85	1,12	0,82	0,69	1,63	1,44	1,54
1994/95	0,69	0,72	0,7	1	1,08	1,33	1,81	2,83	1,66	0,95	0,71	0,59	0,92	1,43	1,17
1995/96	0,59	0,62	0,67	0,59	0,61	0,92	1,16	1,5	0,84	0,55	0,42	0,44	0,67	0,82	0,74
1996/97	0,51	0,47	0,41	0,45	0,35	0,36	0,44	0,39	0,28	0,27	0,27	0,3	0,43	0,33	0,38
1997/98	0,28	0,35	2,28	1,47	2,44	3,39	3,35	5,32	7,79	5,16	2,48	0,92	1,70	4,17	2,94
1998/99	1,06	1,03	1,03	0,82	0,7	0,68	0,51	0,62	0,45	0,45	0,66	0,59	0,89	0,55	0,72
1999/0	0,65	0,46	0,27	0,28	0,74	1,45	2,14	2,47	1,31	1,09	0,9	0,75	0,64	1,44	1,04
2000/1	0,77	0,66	1,72	2,07	1,23	1,65	3,5	4,56	5,07	1,83	1,08	0,72	1,35	2,79	2,07
2001/2	0,33	0,62	0,6	1,28	1,53	1,4	2,46	3,57	3,45	1,17	0,87	0,78	0,96	2,05	1,51
2002/3	0,8	1,33	3,22	1,13	2,96	2,13	3,17	5,46	5,11	3,21	1,99	1,26	1,93	3,37	2,65

CAUDALES MEDIOS MENSUALES m³/s

RÍO ARRAYÁN EN LA MONTOSA

AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Abr-Sep	Oct-Mar	Anual
2003/4	1,48	0,96	1,14	1,06	0,67	0,67	1,48	2,1	1,12	0,7	0,6	0,55	1,00	1,09	1,04
2004/5	0,57	0	0,53	0,66	0,81	1,04	1,12	1,85	1,35	0,89	0,74	0,83	0,60	1,13	0,87
2005/6	0,84	0,87	2,08	1,03	1,98	2,43	2,82	5,39	4,86	2,79	1,38	1,06	1,54	3,05	2,29
2006/7	1	0,99	1	2,38	1,22	1,15	2,47	4,31	3,34	1,63	1	0,85	1,29	2,27	1,78
2007/8	0,93	0,9	0,86	0,79	1,09	1,1	1,35	1,67	1,22	0,84	0,75	0,8	0,95	1,11	1,03
2008/9	0,78	1,84	2,09	1,05	2,15	1,66	2,54	4,84	2,76	1,38	1,13	1,08	1,60	2,29	1,94
2009/10	0,9	0,84	0,86	0,83	0,87	1,65	1,53	2,29	2,38	1,26	1,08	1,16	0,99	1,62	1,30
2011/12	1,06	1,05	1,07	1,11	1,08	1,09	1,25	1,62	1,16	0,91	0,76	0,7	1,08	1,07	1,07
2012/13	0,7	0,69	0,67	0,66	0,64	0,9	1,17	1,21	1,06	0,53	0,56	0,52	0,71	0,84	0,78
2013/14	0,51	0,89	0,63	0,7	0,75	0,84	0,89	1,4	1,2	0,89	0,81	0,87	0,72	1,01	0,87
2014/15	0,52	0,46	0,56	0,57	0,6	0,64	0,73	1,03	0,9	0,41	0,38	0,39	0,56	0,64	0,60
Prom	0,81	0,93	1,53	1,69	1,44	1,53	2,16	3,22	2,95	1,67	1,05	0,84	1,32	1,98	1,65
Desv	0,33	0,54	1,67	2,17	1,14	0,90	1,25	2,16	2,71	1,62	0,71	0,40	0,88	1,43	1,13
C.Var.	0,41	0,58	1,09	1,28	0,79	0,59	0,58	0,67	0,92	0,97	0,68	0,48	0,67	0,72	0,69
Máximo	1,62	3,18	9,26	10,94	6,37	4,13	5,57	9,34	11,64	7,30	3,46	2,04	4,91	6,44	5,68
Mínimo	0,28	0,00	0,27	0,28	0,35	0,36	0,44	0,39	0,28	0,27	0,27	0,30	0,43	0,33	0,38

Río Grande en las Ramadas

Lat	Long	Pp	283 mm
30°,58',48''	70°,27',0''