

**Universidad de Valparaíso
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil**



Análisis de los modelos de precipitación-escorrentía para cuencas nivopluviales de la 3°, 4° y 5° región de Chile

por

Leandro Edder Ramírez Perretti

Trabajo de Título para optar al Grado de
Licenciado en Ciencias de la Ingeniería y Título de
Ingeniero Civil

Prof. Guía Pedro Kamann Chacana

Enero, 2013

Agradecimientos y Dedicatoria.

Quisiera agradecer de todo corazón:

A Dios

Por permitirme la posibilidad de estudiar esta carrera brindándome fortaleza, entusiasmo y salud para enfrentar cada momento de alegría y adversidad que pase durante este proceso de formación profesional.

A mi madre Manola

Por haberme apoyado en todo momento, por su visión de darme una educación cuya base principal sean los valores de la responsabilidad, puntualidad, sinceridad, orden, generosidad, amistad, respeto, sencillez, prudencia, lealtad, disciplina y humildad. Además por su motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada por todo su amor incondicional demostrado.

A mi hermano Sebastián

Por ser un gran hermano y amigo durante todo este proceso, aunque eres menor que yo, me has enseñado muchas cosas de la vida que valoro de todo corazón, has sido parte fundamental en mi vida sobre todo por tu incondicional apoyo, preocupación, entendimiento, paciencia, y amor que me demuestras siempre.

A mi polola Karlita

Mi pareja, compañera, amiga, por ser la persona que me ha hecho ver la vida de una manera distinta a lo que la solía ver, llena de alegría, perseverancia, optimismo y positividad. Por estar siempre conmigo en los momentos buenos y malos, de triunfos y derrotas y por sobre todo por tu amor incondicional que me has demostrado día a día que hemos estado juntos.

A mi padre Ricardo

Por el ejemplo de perseverancia y constancia que me demostró, lo cual me ha influenciado para salir siempre adelante ante cualquier adversidad o dificultad que me ha puesto la vida para lograr mis metas.

A mi familia

A cada uno de mis tíos (as), primos (as), Nona Corita y Tata Italo, por su apoyo, preocupación y ánimo incondicional hacia mi persona.

A mis amigos

Ya sean del colegio, de la universidad o amigos de la vida, por su amistad brindada durante todo este proceso en el cual nos hemos respaldado y ayudado unos a otros.

A mis Profesores

Tanto del Colegio Salesiano de Valparaíso como los de la Universidad de Valparaíso que han sido parte fundamental en este desarrollo como persona y profesional. A Don Pedro Kamann por su apoyo y solidaridad de conocimientos para la culminación de mi proceso como profesional y para la elaboración de esta tesis.

A todos en general

Que de forma directa o indirecta han sido parte fundamental de esta etapa de formación profesional.

Muchas gracias de todo corazón a todas estas personas y aquellas que se me podrían haber pasado por alto, por estar presente en mi vida y formar parte de ella. A todos y cada uno de ellos es que dedico esta memoria que se presenta a continuación.

Gracias Totales!!!

Índice

	Lista de Tablas.....	6
	Lista de Figuras.....	11
	Resumen.....	13
1	Introducción.	14
1.1	Planteamiento del problema.....	14
1.2	Objetivos.....	16
1.2.1	General.....	16
1.2.2	Específico.....	16
1.2.3	Alcance de la investigación.....	16
2	Desarrollo del Tema.....	17
	Etapa 1	
2.1	Selección de cuencas.....	18
2.1.1	Descripción general de los Valles.....	18
2.1.1.1	Cuenca del valle del río Huasco.....	19
2.1.1.2	Cuenca del valle del río Elqui.....	21
2.1.1.3	Cuenca del valle del río Choapa.....	23
2.1.1.4	Cuenca del valle del río Aconcagua (Ligua-Petorca).....	25
2.2	Estaciones Hidrometeorológicas y fluviométricas.....	28
2.2.1	Suministro de información.....	28
2.2.2	Distribución de Estaciones existentes en la cuenca.....	28
2.2.2.1	Cuenca del río Huasco.....	29
2.2.2.2	Cuenca del río Elqui.....	29
2.2.2.3	Cuenca del río Choapa.....	29
2.2.2.4	Cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca).....	29
2.2.3	Criterio para selección de estaciones.....	30
2.2.4	Selección y distribución de estaciones.....	31
2.2.4.1	Cuenca del río Huasco.....	32
2.2.4.2	Cuenca del río Elqui.....	32
2.2.4.3	Cuenca del río Choapa.....	33
2.2.4.4	Cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca).....	33
2.2.4.5	Banco de datos.....	34
2.2.5	Estudio Hidrológico.....	36
2.2.5.1	Recopilación de las estadísticas.....	36
2.2.5.2	Ampliación, relleno y homogeneidad de las estadísticas.....	38
2.2.6	Definición de las subcuencas.....	45
2.2.7	Cálculo de las variables fundamentales del estudio.....	47
2.2.7.1	Caudal medio anual.....	47
2.2.7.2	Precipitación medio anual.....	48
2.2.7.3	Temperatura media anual.....	54
2.2.7.4	Evapotranspiración potencial medio anual.....	58
2.2.8	Resultados de la Etapa 1.....	61
	Etapa 2	
2.3	Modelos precipitación-escorrentía.....	63
2.3.1	Modelo precipitación-escorrentía de Turc.....	67
2.3.2	Modelo precipitación-escorrentía de Coutagne.....	71
2.3.3	Modelo precipitación-escorrentía de Turc-Pike.....	75
2.3.4	Resultados de la Etapa 2.....	79

	Etapa 3	
2.4	Ajuste de los modelos de precipitación-escorrentía.....	82
2.4.1	Ajuste del modelo precipitación-escorrentía de Turc.....	83
2.4.2	Ajuste del modelo precipitación-escorrentía de Coutagne.....	88
2.4.3	Ajuste del modelo precipitación-escorrentía de Turc-Pike.....	93
2.4	Resultados de la Etapa 3.....	98
3	Conclusiones y recomendaciones.....	100
Anexos		102
Anexo 1	“Etapa 1”.....	103
Anexo 2	“Etapa 2”.....	214
Anexo 3	“Etapa 3”.....	219
Bibliografía	223

Lista de Tablas

Tabla 2.1	Estaciones fluviométricas existentes en la cuenca del río Huasco.....	104
Tabla 2.2	Estaciones pluviométricas existentes en la cuenca del río Huasco.....	104
Tabla 2.3	Estaciones de temperatura existentes en la cuenca del río Huasco.....	105
Tabla 2.4	Estaciones fluviométricas existentes en la cuenca del río Elqui.....	106
Tabla 2.5	Estaciones pluviométricas existentes en la cuenca del río Elqui.....	107
Tabla 2.6	Estaciones de temperatura existentes en la cuenca del río Elqui.....	108
Tabla 2.7	Estaciones fluviométricas existentes en la cuenca del río Choapa.....	109
Tabla 2.8	Estaciones pluviométricas existentes en la cuenca del río Choapa.....	110
Tabla 2.9	Estaciones de temperatura existentes en la cuenca del río Choapa.....	110
Tabla 2.10	Estaciones fluviométricas existentes en la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca).....	112
Tabla 2.11	Estaciones pluviométricas existentes en la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca).....	113
Tabla 2.12	Estaciones de temperatura existentes en la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca).....	115
Tabla 2.13	Estaciones fluviométricas seleccionadas en la cuenca del río Huasco.....	117
Tabla 2.14	Estaciones pluviométricas seleccionadas en la cuenca del río Huasco.....	117
Tabla 2.15	Estaciones de temperatura seleccionadas en la cuenca del río Huasco.....	117
Tabla 2.16	Estaciones fluviométricas seleccionadas en la cuenca del río Elqui.....	119
Tabla 2.17	Estaciones pluviométricas seleccionadas en la cuenca del río Elqui.....	119
Tabla 2.18	Estaciones de temperatura seleccionadas en la cuenca del río Elqui.....	119
Tabla 2.19	Estaciones fluviométricas seleccionadas en la cuenca del río Choapa.....	121
Tabla 2.20	Estaciones pluviométricas seleccionadas en la cuenca del río Choapa.....	121
Tabla 2.21	Estaciones de temperatura seleccionadas en la cuenca del río Choapa.....	121
Tabla 2.22	Estaciones fluviométricas seleccionadas en la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca).....	123
Tabla 2.23	Estaciones pluviométricas seleccionadas en la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca).....	123
Tabla 2.24	Estaciones de temperatura seleccionadas en la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca).....	123
Tabla 2.25	Nombre de estaciones fluviométricas seleccionadas.....	34
Tabla 2.26	Nombre de estaciones pluviométricas seleccionadas.....	35
Tabla 2.27	Nombre de estaciones de temperatura seleccionadas.....	35
Tabla 2.28	Información estadística fluviométrica en (m ³ /s) de la cuenca del río Huasco...	126
Tabla 2.29	Información estadística fluviométrica en (m ³ /s) de la cuenca del río Elqui.....	127
Tabla 2.30	Información estadística fluviométrica en (m ³ /s) de la cuenca del río Choapa...	128
Tabla 2.31	Información estadística fluviométrica en (m ³ /s) de la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca).....	129
Tabla 2.32	Resumen de periodos de estudio definidos.....	37
Tabla 2.33	Información estadística pluviométrica en (mm) de la cuenca del río Huasco...	132
Tabla 2.34	Información estadística pluviométrica en (mm) de la cuenca del río Elqui.....	133
Tabla 2.35	Información estadística pluviométrica en (mm) de la cuenca del río Choapa...	134
Tabla 2.36	Información estadística pluviométrica en (mm) de la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca).....	136
Tabla 2.37	Años de observación de estaciones de temperatura seleccionadas.....	138
Tabla 2.38	Información estadísticas de la temperatura en (°C) de la cuenca del río Huasco.....	138

Tabla 2.39	Información estadística de la temperatura en (°C) de la cuenca del río Elqui...	139
Tabla 2.40	Información estadísticas de la temperatura en (°C) de la cuenca del río Choapa.....	139
Tabla 2.41	Información estadísticas de la temperatura en (°C) de la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca).....	140
Tabla 2.42	Constantes y coeficiente de determinación del modelo lineal para completar estadísticas de caudales.....	39
Tabla 2.43	Constantes y coeficiente de determinación del modelo lineal para completar estadísticas de precipitaciones.....	40
Tabla 2.44	Información estadística fluviométrica ampliada y rellenada en (m ³ /s) de la cuenca del río Huasco.....	150
Tabla 2.45	Información estadística fluviométrica ampliada y rellenada en (m ³ /s) de la cuenca del río Elqui.....	151
Tabla 2.46	Información estadística fluviométrica ampliada y rellenada en (m ³ /s) de la cuenca del río Choapa.....	152
Tabla 2.47	Información estadística fluviométrica ampliada y rellenada en (m ³ /s) de la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca).....	153
Tabla 2.48	Información estadística pluviométrica ampliada y rellenada en (mm) de la cuenca del río Huasco.....	154
Tabla 2.49	Información estadística pluviométrica ampliada y rellenada en (mm) de la cuenca del río Elqui.....	155
Tabla 2.50	Información estadística pluviométrica ampliada y rellenada en (mm) de la cuenca del río Choapa.....	156
Tabla 2.51	Información estadística pluviométrica ampliada y rellenada en (mm) de la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca).....	157
Tabla 2.52	Estaciones para determinar patrones fluviométricos.....	41
Tabla 2.53	Cálculo de C.D.A de las estaciones fluviométricas en (m ³ /s) para la cuenca del río Huasco.....	158
Tabla 2.54	Cálculo de C.D.A de las estaciones fluviométricas en (m ³ /s) para la cuenca del río Elqui.....	160
Tabla 2.55	Cálculo de C.D.A de las estaciones fluviométricas en (m ³ /s) para la cuenca del río Choapa.....	162
Tabla 2.56	Cálculo de C.D.A de las estaciones fluviométricas en (m ³ /s) para la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca).....	164
Tabla 2.57	Estaciones para determinar patrón pluviométrico.....	42
Tabla 2.58	Cálculo de C.D.A de las estaciones pluviométricas en (mm) para la cuenca del río Huasco.....	167
Tabla 2.59	Cálculo de C.D.A de las estaciones pluviométricas en (mm) para la cuenca del río Elqui.....	169
Tabla 2.60	Cálculo de C.D.A de las estaciones pluviométricas en (mm) para la cuenca del río Choapa.....	171
Tabla 2.61	Cálculo de C.D.A de las estaciones pluviométricas en (mm) para la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca).....	173
Tabla 2.62	Código de laminas de las planchetas.....	45
Tabla 2.63	Área aportante de cada subcuenca.....	46
Tabla 2.64	Caudal medio anual de cada estación fluviométrica.....	48
Tabla 2.65	Valores de altura y área para formar la curva hipsométrica.....	49
Tabla 2.66	Valores de área (km ²) y altura (m) para elaboración de las respectivas curvas hipsométricas.....	175
Tabla 2.67	Precipitación media anual de estaciones pluviométricas para la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca).....	51
Tabla 2.68	Precipitación media anual de estaciones pluviométricas de la cuenca del río Huasco.....	182
Tabla 2.69	Precipitación media anual de estaciones pluviométricas de la cuenca del río Elqui.....	183

Tabla 2.70	Precipitación media anual de estaciones pluviométricas de la cuenca del río Choapa.....	184
Tabla 2.71	Cálculo de precipitación media anual de la subcuenca Río Juncal en Juncal.....	53
Tabla 2.72	Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Río Tránsito en Angostura Pinte.....	185
Tabla 2.73	Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Río Conay en las Lozas.....	185
Tabla 2.74	Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Estero Derecho en Alcohuz.....	186
Tabla 2.75	Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Río Cochiguaz en el Peñón.....	186
Tabla 2.76	Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Río Toro antes junta Río La Laguna.....	187
Tabla 2.77	Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Embalse Laguna	187
Tabla 2.78	Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Río Illapel en las Burras.....	188
Tabla 2.79	Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Río Chalinga en la Palmilla	188
Tabla 2.80	Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Río Choapa en Cuncumen.....	189
Tabla 2.81	Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Río Pedernal en Tejada.....	189
Tabla 2.82	Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Río Sobrante en Piñadero.....	190
Tabla 2.83	Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Río Alicahue en Colliguay.....	190
Tabla 2.84	Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Río Putaendo en Resguardo los Patos.....	191
Tabla 2.85	Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Río Colorado en Colorado.....	191
Tabla 2.86	Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Estero Pocuro en el Sifón.....	192
Tabla 2.87	Precipitación media anual de cada subcuenca generada.....	53
Tabla 2.88	Temperatura media anual de estaciones de temperatura para la 5° Región de Chile.....	54
Tabla 2.89	Valor del gradiente térmico atmosférico para cada región de estudio.....	56
Tabla 2.90	Temperatura media anual de las estaciones de temperatura de la 3° Región de Chile.....	193
Tabla 2.91	Temperatura media anual de las estaciones de temperatura de la 4° Región de Chile.....	194
Tabla 2.92	Cálculo de temperatura media anual de la subcuenca Río Juncal en Juncal...	57
Tabla 2.93	Cálculo de temperatura media anual de la subcuenca Río Tránsito en Angostura Pinte.....	195
Tabla 2.94	Cálculo de temperatura media anual de la subcuenca Río Conay en las Lozas.....	195
Tabla 2.95	Cálculo de temperatura media anual de la subcuenca Estero Derecho en Alcohuz.....	196
Tabla 2.96	Cálculo de temperatura media anual de la subcuenca Río Cochiguaz en el Peñón.....	196

Tabla 2.97	Cálculo de temperatura media anual de la subcuenca Río Toro antes junta Río la Laguna.....	197
Tabla 2.98	Cálculo de temperatura media anual de la subcuenca Embalse Laguna.....	197
Tabla 2.99	Cálculo de temperatura media anual de la subcuenca Río Illapel en las Burras.....	198
Tabla 2.100	Cálculo de temperatura media anual de la subcuenca Río Chalinga en la Palmilla.....	198
Tabla 2.101	Cálculo de temperatura media anual de la subcuenca Río Choapa en Cuncumen.....	199
Tabla 2.102	Cálculo de temperatura media anual de la subcuenca Río Pedernal en Tejada.....	199
Tabla 2.103	Cálculo de temperatura media anual de la subcuenca Río Sobrante en Piñadero.....	200
Tabla 2.104	Cálculo de temperatura media anual de la subcuenca Río Alicahue en Colliguay.....	200
Tabla 2.105	Cálculo de temperatura media anual de la subcuenca Río Putaendo en Resguardo los Patos.....	201
Tabla 2.106	Cálculo de temperatura media anual de la subcuenca Río Colorado en Colorado.....	201
Tabla 2.107	Cálculo de temperatura media anual de la subcuenca Estero Pocuro en el Sifón.....	202
Tabla 2.108	Temperatura media anual de cada subcuenca generada.....	57
Tabla 2.109	Evapotranspiración potencial de la cuenca del Río Aconcagua (Ligua-Petorca).....	58
Tabla 2.110	Evapotranspiración potencial de la cuenca del Río Huasco.....	203
Tabla 2.111	Evapotranspiración potencial de la cuenca del Río Elqui.....	204
Tabla 2.112	Evapotranspiración potencial de la cuenca del Río Choapa.....	205
Tabla 2.113	Cálculo de la ETP media anual de las subcuenca Río Juncal en Juncal.....	60
Tabla 2.114	Cálculo de la ETP media anual de las subcuenca Río Tránsito en Angostura Pinte.....	206
Tabla 2.115	Cálculo de la ETP media anual de las subcuenca Río Conay en las Lozas.....	206
Tabla 2.116	Cálculo de la ETP media anual de las subcuenca Estero Derecho en Alcohuz.....	207
Tabla 2.117	Cálculo de la ETP media anual de las subcuenca Río Cochiguaz en el Peñón.....	207
Tabla 2.118	Cálculo de la ETP media anual de las subcuenca Río Toro antes junta Río la Laguna.....	208
Tabla 2.119	Cálculo de la ETP media anual de las subcuenca Embalse la Laguna.....	208
Tabla 2.120	Cálculo de la ETP media anual de las subcuenca Río Illapel en las Burras.....	209
Tabla 2.121	Cálculo de la ETP media anual de las subcuenca Río Chalinga en la Palmilla.....	209
Tabla 2.122	Cálculo de la ETP media anual de las subcuenca Río Choapa en Cuncumen.....	210
Tabla 2.123	Cálculo de la ETP media anual de las subcuenca Río Pedernal en Tejada.....	211
Tabla 2.124	Cálculo de la ETP media anual de las subcuenca Río Sobrante en Piñadero.....	211
Tabla 2.125	Cálculo de la ETP media anual de las subcuenca Río Alicahue en Colliguay.....	212
Tabla 2.126	Cálculo de la ETP media anual de las subcuenca Río Putaendo en Resguardo los Patos.....	212
Tabla 2.127	Cálculo de la ETP media anual de las subcuenca Río Colorado en Colorado.....	213
Tabla 2.128	Cálculo de la ETP media anual de las subcuenca Estero Pocuro en el Sifón.....	213
Tabla 2.129	Evapotranspiración potencial media anual de cada subcuenca generada.....	61
Tabla 2.130	Valores de variables a utilizar en este estudio.....	62
Tabla 2.131	Valores medidos de escorrentía media anual (mm).....	66
Tabla 2.132	Valores estimados de la escorrentía media anual a través del modelo de Turc.....	68
Tabla 2.133	Cálculo de escorrentía media anual a través del modelo precipitación-escorrentía de Turc.....	215

Tabla 2.134	Tabla comparativa entre valores de escorrentía media anual medidas versus la simulada.....	69
Tabla 2.135	Valores estimados de la escorrentía medio anual a través del modelo del Coutagne.....	72
Tabla 2.136	Cálculo de la escorrentía media anual a través del modelo precipitación-escorrentía de Coutagne.....	216
Tabla 2.137	Tabla comparativa entre valores de escorrentía media anual medido versus la simulada.....	73
Tabla 2.138	Valores estimados de la escorrentía media anual a través del modelo de Turc-Pike.....	76
Tabla 2.139	Cálculo de escorrentía media anual a través del modelo precipitación-escorrentía de Turc-Pike.....	217
Tabla 2.140	Tabla comparativa entre valores de escorrentía media anual medida versus la simulación.....	77
Tabla 2.141	Cálculo de escorrentía media anual a través del modelo precipitación-escorrentía de Pizarro.....	218
Tabla 2.142	Error cuadrático del modelo de precipitación-escorrentía de Turc.....	220
Tabla 2.143	Error cuadrático del ajuste del modelo de precipitación-escorrentía de Turc...	220
Tabla 2.144	Análisis comparativo entre el modelo de Turc original y el ajuste del modelo de Turc Modificado.....	85
Tabla 2.145	Error cuadrático del modelo de precipitación escorrentía de Coutagne.....	221
Tabla 2.146	Error cuadrático del ajuste de precipitación escorrentía de Coutagne.....	221
Tabla 2.147	Análisis comparativo entre el modelo de Coutagne original y el ajuste del modelo de Coutagne Modificado.....	90
Tabla 2.148	Error cuadrático del modelo de precipitación escorrentía de Turc-Pike.....	222
Tabla 2.149	Error cuadrático del ajuste de precipitación escorrentía de Turc-Pike.....	222
Tabla 2.150	Análisis comparativo entre el modelo de Turc-Pike original y el ajuste del modelo de Turc-Pike Modificado.....	95

Lista de Figuras

Figura 2.1	Ubicación geográfica de la cuenca del río Huasco.....	19
Figura 2.2	Ubicación geográfica de la cuenca del río Elqui.....	21
Figura 2.3	Ubicación geográfica de la cuenca del río Choapa.....	23
Figura 2.4	Ubicación geográfica de la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca).....	25
Figura 2.5	Distribución de estaciones fluviométricas, pluviométrica y de temperatura en la cuenca del río Huasco.....	105
Figura 2.6	Distribución de estaciones fluviométricas, pluviométrica y de temperatura en la cuenca del río Elqui.....	108
Figura 2.7	Distribución de estaciones fluviométricas, pluviométrica y de temperatura en la cuenca del río Choapa.....	111
Figura 2.8	Distribución de estaciones fluviométricas, pluviométrica y de temperatura en la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca).....	116
Figura 2.9	Distribución de estaciones fluviométricas, pluviométrica y de temperatura seleccionadas en la cuenca del río Huasco.....	118
Figura 2.10	Distribución de estaciones fluviométricas, pluviométrica y de temperatura seleccionadas en la cuenca del río Elqui.....	120
Figura 2.11	Distribución de estaciones fluviométricas, pluviométrica y de temperatura seleccionadas en la cuenca del río Choapa.....	122
Figura 2.12	Distribución de estaciones fluviométricas, pluviométrica y de temperatura seleccionadas en la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca).....	124
Figura 2.13	Diagrama de barra de los años de observación de las estaciones fluviométricas seleccionadas.....	125
Figura 2.14	Diagrama de barra de los años de observación de las estaciones pluviométricas seleccionadas.....	131
Figura 2.15	CDA de cada estación fluviométrica de la cuenca del río Huasco.....	159
Figura 2.16	CDA de cada estación fluviométrica de la cuenca del río Elqui.....	161
Figura 2.17	CDA de cada estación fluviométrica de la cuenca del río Choapa.....	163
Figura 2.18	CDA de cada estación fluviométrica de la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca).....	165
Figura 2.19	CDA de cada estación fluviométrica de la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca).....	166
Figura 2.20	CDA de cada estación pluviométrica de la cuenca del río Huasco.....	168
Figura 2.21	CDA de cada estación pluviométrica de la cuenca del Elqui.....	170
Figura 2.22	CDA de cada estación pluviométrica de la cuenca del Choapa.....	172
Figura 2.23	CDA de cada estación pluviométrica de la cuenca del Aconcagua (Ligua-Petorca).....	174
Figura 2.24	Curva hipsométrica de la subcuenca Río Juncal en Juncal.....	50
Figura 2.25	Curvas hipsométricas, pertenecientes a la cuenca del río Huasco.....	177
Figura 2.26	Curvas hipsométricas, pertenecientes a la cuenca del río Elqui.....	178
Figura 2.27	Curvas hipsométricas, pertenecientes a la cuenca del río Choapa.....	179
Figura 2.28	Curvas hipsométricas, pertenecientes a la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca).....	180
Figura 2.29	Gráfica altura-precipitación media anual de la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca).....	51
Figura 2.30	Gráfica altura-precipitación media anual de la cuenca del río Huasco.....	182
Figura 2.31	Gráfica altura-precipitación media anual de la cuenca del río Elqui.....	183
Figura 2.32	Gráfica altura-precipitación media anual de la cuenca del río Choapa.....	184
Figura 2.33	Comparación entre la curva hipsométrica original y la curva hipsométrica a standar.....	52
Figura 2.34	Gráfica altura-temperatura media anual de la 5° Región de Chile.....	55

Figura 2.35	Gráfica altura-temperatura medial anual de la 3° Región de Chile.....	193
Figura 2.36	Gráfica altura-temperatura medial anual de la 4° Región de Chile.....	194
Figura 2.37	Gráfica altura-ETP media anual de la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca).....	59
Figura 2.38	Gráfica altura-ETP media anual de la cuenca del río Huasco.....	203
Figura 2.39	Gráfica altura-ETP media anual de la cuenca del río Elqui.....	204
Figura 2.40	Gráfica altura-ETP media anual de la cuenca del río Choapa.....	205
Figura 2.41	Metodología de cálculo de los modelos de precipitación-escorrentía de Turc, Coutagne y Turc-Pike.....	64
Figura 2.42	Expresiones del modelo precipitación-escorrentía de Turc.....	67
Figura 2.43	Gráfica X-Y del modelo de Turc.....	70
Figura 2.44	Expresiones del modelo precipitación-escorrentía de Coutagne.....	71
Figura 2.45	Gráfica X-Y del modelo de Coutagne.....	74
Figura 2.46	Expresiones del modelo precipitación-escorrentía de Turc-Pike.....	75
Figura 2.47	Gráfica X-Y del modelo de Turc-Pike.....	78
Figura 2.48	Gráfica precipitación-escorrentía a nivel medio anual.....	80
Figura 2.49	Ajuste modelo precipitación-escorrentía de Turc.....	83
Figura 2.50	Resultados de ajuste del modelo de precipitación-escorrentía de Turc.....	84
Figura 2.51	Dispersión de puntos entre escorrentía medida y escorrentía estimada por Turc..	86
Figura 2.52	Dispersión de puntos entre escorrentía medida y escorrentía estimada por ajuste de Turc modificado.....	87
Figura 2.53	Ajuste modelos precipitación-escorrentía de Coutagne.....	88
Figura 2.54	Resultado de ajuste del modelo de precipitación-escorrentía de Coutagne...	89
Figura 2.55	Dispersión de puntos entre escorrentía medida y escorrentía estimada por Coutagne.....	91
Figura 2.56	Dispersión de puntos entre escorrentía medida y escorrentía estimada por ajuste de Coutagne modificado.....	92
Figura 2.57	Ajuste modelo precipitación-escorrentía de Turc-Pike	93
Figura 2.58	Resultado de ajuste del modelo de precipitación-escorrentía Turc-Pike.....	94
Figura 2.59	Dispersión de puntos entre escorrentía medida y escorrentía estimada por Turc-Pike.....	96
Figura 2.60	Dispersión de puntos entre escorrentía medida y escorrentía estimada por ajuste de Turc-Pike Modificado.....	97
Figura 2.61	Gráfica de ajuste de modelos de precipitación-escorrentía a nivel medio anual.....	99

Resumen

Este estudio tuvo por finalidad analizar los modelos de precipitación escorrentía de Turc, Coutagne y Turc-Pike, de manera de aportar al conocimiento de estas relaciones y considerar su aplicabilidad en las principales cuencas nivo-pluviales de la III, IV y V Región de Chile, cuyas características geográficas e hidrológicas serán representadas por las cuencas del río Huasco, río Elqui, río Choapa y río Aconcagua (Ligua-Petorca).

Bajo el criterio de que los registros de las estaciones fluviométricas no deben ser alterados por algún tipo de obra, como los canales de regadío, dicho análisis resultó que el estudio estará conformado por 16 subcuencas que se encuentran localizadas en las zonas altas de cada cuenca sobre los 2000(m.s.n.m) de altitud, para lo cual se seleccionaron las estaciones fluviométricas, pluviométricas y de temperatura necesarias para representar las características hidrológicas típicas de cada zona. Debido a la ubicación geográfica que tienen las subcuencas de este estudio, se puede afirmar que éstas se encuentran asociadas a un régimen nivo-pluvial, por lo cual el modelo de precipitación-escorrentía de Grunsky y Peñuelas no aplica bajos los criterios y condiciones de utilización de estas expresiones, por ende el análisis final de este estudio queda reducido a las expresiones de los modelos de Turc, Coutagne y Turc-Pike.

Los modelos de precipitación-escorrentía que serán analizados en este estudio, se encuentran en función de las variables de precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial, cuyos valores obtenidos en base a registros estadísticos provenientes de la Dirección General de Aguas y del Simulador electrónico de la evapotranspiración potencial en Chile, proveniente de la Comisión Nacional de Riego , son expuestos a un análisis de confiabilidad de los registros, de manera de asegurar datos de entrada en la expresión con el menor error posible.

El cálculo de la escorrentía media anual a través de los modelos de precipitación-escorrentía no arrojó buenos resultados, debido que las expresiones estudiadas no lograron estimar la escorrentía real medidas por las estaciones fluviométricas, pudiéndose apreciar un alto porcentaje de error promedio obtenido en las 16 subcuencas analizadas, siendo de un 80% para el modelo Turc, 69% para el modelo de Coutagne y finalmente un 105% para el modelo de Turc-Pike.

Por el alto error expresado por los modelos de precipitación-escorrentía, se procede a realizar un ajuste a cada uno de los modelos, de manera de poder expresar una estimación de escorrentía media anual con la mínima expresión de error promedio. De esta manera se logró obtener un mejor ajuste de estimación, llegando a expresiones con un error asociado de un 26% para los modelo de Turc y Coutagne mientras que un 32% para el modelo de Turc-Pike.

Finalmente, gracias al análisis realizado al ajuste de los modelos de precipitación escorrentía, se recomienda para la estimación de la escorrentía media anual, la utilización del modelo de Turc o Coutagne para las cuencas del río Aconcagua (Ligua-Petorca) y Choapa, mientras que para las cuencas del río Huasco y Elqui, el modelo de Turc, debido al bajo error parcial que presentan sus estimaciones.

1. Introducción.

1.1 Planteamiento del problema.

El agua ha sido, a lo largo de la historia, un elemento básico en la vida del hombre, y en la medida que éste fue poblando la Tierra y usando la naturaleza para satisfacer sus necesidades, fue transformándola, con el tiempo, en un elemento cada vez más escaso. La escasez no tiene su origen en un agotamiento del recurso, pues, se trata de un recurso natural que tiene un ciclo permanente de reproducción en sus diferentes estados, sino que se genera por la necesidad de satisfacer, con un insumo fijo, una demanda siempre creciente en cantidad y en calidad.

En base al uso de software se han desarrollado técnicas y métodos que permiten analizar y diseñar sistemas de aprovechamiento de recursos de agua en forma integral. En líneas generales existen dos tipos de técnicas. Una efectúa una simulación del comportamiento del sistema en un software, observando las respuestas, durante largos períodos de tiempo, de las diferentes alternativas planteadas, seleccionando la mejor. La otra técnica, adapta el problema de diseño de modo de poder resolverlo mediante métodos matemáticos que permiten obtener la solución óptima. Esta técnica ataca directamente el problema de los proyectos de usos múltiples, identificando la combinación de unidades del sistema, entregas de agua para diferentes usos y normas de operación que optimicen el aprovechamiento del recurso.

Esto ha permitido la generación de modelos matemáticos que predicen la respuesta de una cuenca hidrográfica frente a diversas situaciones de demanda, tanto respecto de los recursos superficiales como subterráneos. Los modelos de simulación son poderosas herramientas de apoyo para la toma de decisiones y manejo de los recursos hídricos, permiten tener una visión a corto y largo plazo frente a los distintos escenarios que se presentan en la cuenca. Uno de esos modelos que es aplicado con frecuencia en Chile, es el de "Precipitación-escorrentía" el cual permite obtener el cálculo aproximado del comportamiento de las aguas de una cuenca.

James McPhee en el año 2008, define a la Escorrentía como aquella parte de la precipitación que eventualmente se manifiesta como flujo en cauces, ríos y esteros ya sea en forma permanente o intermitente. En la mayoría de los estudios relacionados con la hidrología y en investigaciones de los recursos naturales o relacionados con el medio ambiente, el punto de partida es la estimación de las precipitaciones (Tapiador, 2003). Por ello conocer el comportamiento y la forma de evaluación que tiene la precipitación es de gran importancia (Aparicio, 2003).

Una vez que se ha generado la precipitación sobre una cuenca esta fluye bajo tres tipos de flujos los cuales son:

1. Flujo superficial: es la lámina de agua que escurre superficialmente antes de incorporarse a un cauce.
2. Flujo intermedio o sub-superficial: es el flujo que se encuentra en los primeros horizontes del suelo, el cual no alcanza a incorporarse al flujo subterráneo.
3. Flujo subterráneo: es el flujo que proviene de la percolación profunda.

La suma de cada uno de estos flujos más la precipitación generada sobre el cauce, producirá la llamada "Escorrentía total".

Debido a que en muchas zonas no existe un control fluviométrico en el cauce de interés y que la información que se tiene es escasa y poco fiable en ciertas zonas del país se procede a realizar la generación de los caudales mediante la relación precipitación-escorrentía. A pesar de que en el balance Hídrico de Chile se entregan isoyetas, isotermas y curvas de iso-evaporación, dada la distribución territorial de estaciones meteorológicas, esta información resulta poco fiable en sectores extremos de Chile (DGA, 1987).

En Chile este cálculo de caudales a través de la relación precipitación - escorrentía es realizado bajo 5 expresiones de carácter empíricas las cuales son la fórmula de Grunsky (EEUU, S.XX), fórmula de Peñuelas (Chile años 30), fórmula de Turc, fórmula de Coutagne (Francia) y la fórmula de Turc-Pike, cuyos modelos son generalmente cuadráticos, donde la variable predominante es la precipitación en los modelos de Grunsky y Peñuelas, en el modelo de Turc y Coutagne es la precipitación y la temperatura ambiental, mientras que en el modelo de Turc-Pike es la precipitación y la evapotranspiración potencial. Cabe destacar que las fórmulas de Grunsky y Peñuelas son sólo válidas para cuencas Pluviales, mientras que las fórmulas de Turc, Coutagne y Turc-Pike son sólo válidas para cuencas Nivo-pluviales.

Debido a las distintas características geomorfológicas y climáticas que tiene Chile, se estudiará su aplicabilidad a las zonas comprendidas entre la 3 y 5 región de Chile.

Es por esta razón que mediante el presente estudio se plantea evaluar los modelos precipitación escorrentía de Turc, Coutagne y Turc-Pike para cuencas nivo-pluviales, de manera de aportar al conocimiento de estas relaciones y considerar su aplicabilidad en cuencas de la zona Norte -Centro de Chile. Estas relaciones son considerados modelos de caja negra, debido a que las entradas y salidas son conocidas, es decir, precipitación y escorrentía.

Para poder evaluar estos modelos es necesario contar con la información necesaria para trabajar en ellos, es decir, la precipitación anual de las principales cuencas a estudiar. En Chile la infraestructura de registro de estadísticas de este tipo es escasa y de corta data. Esta situación es generalizada a lo largo del país y particularmente grave en los extremos Norte y Sur. Si bien durante los últimos años la Dirección General de Aguas (DGA) ha realizado importantes esfuerzos orientados a aumentar la coberturas de las estaciones de medición.

Los datos necesarios, para la confección de este estudio en particular serán brindados por la DGA (Dirección General de Aguas), y 4 estudios integrales de riego realizados sobre las principales cuencas de la 3°, 4° y 5° Región de Chile, dichos estudios son:

1. Estudio integral de riego del valle del río Huasco.
2. Estudio integral de riego del valle del río Elqui.
3. Estudio integral de riego del valle del río Choapa.
4. Estudio integral de riego del valle del río Aconcagua (Ligua-Putendo)

Una vez aplicados los modelos de precipitación-escorrentía, se verificarán los valores estimados con los medidos por las estaciones, de manera de evaluar los modelos. En el caso de que los datos de los modelos no sean representativos con los medidos en las estaciones, se realizará un ajuste a los modelos a través de un ajuste no lineal, de forma de estimar de mejor manera el caudal medio anual de las cuencas de la 3°, 4° y 5° región de Chile.

1.2 Objetivos.

1.2.1 General.

- Evaluar, analizar y ajustar en el caso de ser necesario, los modelos de Precipitación-Escorrentía de Turc, Coutagne y Turc-Pike, para las principales cuencas nivo-pluviales de la 3°,4° y 5° región de Chile.

1.2.2 Específicos.

- Determinar las principales cuencas y subcuencas a estudiar de la 3°, 4° y 5° región de Chile.
- Determinar las estaciones fluviométricas, pluviométricas y de temperatura de régimen natural cuyos registros permiten analizar los modelos de precipitación-escorrentía.
- Determinar las variables indispensables para este estudio, tales como caudal medio anual, precipitación medio anual, temperatura medio anual y evapotranspiración potencial anual de cada subcuenca seleccionada, las cuales comprenden la 3°, 4° y 5° región de Chile.
- Evaluar y analizar los modelos Turc, Coutagne y Turc-Pike en cada una de las subcuencas seleccionadas.
- En el caso de ser necesario, ajustar los modelos precipitación-escorrentía de las subcuencas seleccionadas.

1.2.3 Alcances de la investigación.

- La investigación se realizará sólo en las subcuencas nivo-pluviales seleccionadas según el estudio de la 3°, 4° y 5° región de Chile.
- El estudio será realizado solo por cuencas de régimen natural y por los modelos de Turc, Coutagne y Turc-Pike.
- Las estaciones utilizadas en este estudio serán principalmente de propiedad de la Dirección General de Agua.

2 Desarrollo del Tema.

En este punto se expresará el desarrollo del estudio, titulado como “*Análisis de los modelos de precipitación-Escorrentía para cuencas nivo-pluviales de la 3°, 4° y 5° región de Chile*”, el cual comprenderá de las principales cuencas de estas tres regiones de Chile, que son la cuenca del río Huasco, cuenca del río Elqui, cuenca del río Choapa y cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca). La elección de estas cuencas radica principalmente en el área de superficie que abarcan dentro de estas regiones y a su vez de la distribución y cobertura que tienen las estaciones pluviométrica, fluviométricas y de temperatura.

Según los objetivos planteados en punto 1.2, el desarrollo de este estudio se encontrará subdividido en 3 etapas, de manera de dar más orden y claridad de los objetivos propuestos.

En la primera etapa se pretende expresar el análisis y selección de las estaciones fluviométricas, pluviométricas y de temperatura, con las cuales se trabajará en cada una de las cuencas mencionadas anteriormente, de manera, de poder obtener las variables indispensables para este estudio, que son el caudal medio anual, precipitación medio anual y temperatura medio anual de las cuales se puede obtener la evapotranspiración potencial medio anual.

En la segunda etapa se pretende expresar el análisis de los modelos de precipitación – escorrentía, los cuales serán evaluados con las variables obtenidas de las estaciones seleccionadas en la etapa 1. Este análisis será efectuado para los modelos de Turc, Coutagne y Turc-Pike solo en el caso de que las cuencas así lo permitan.

En la tercera etapa se pretende expresar, solo en el caso de ser necesario, el ajuste de los modelos de precipitación – escorrentía, en el cual, serán comparados y analizados los valores entregados por las estaciones de medición seleccionadas, con los valores obtenidos a través de la estimación de los modelos de precipitación – escorrentía obtenidos en esta etapa.

De esta forma se pretende desarrollar el estudio a través de estas 3 etapas mencionadas anteriormente, de manera de clarificar y expresar secuencialmente el análisis y desarrollo del tema para su posterior obtención de conclusiones.

Etapa 1

2.1 Selección de cuencas.

Para la confección de este estudio, se requiere determinar la selección de cuencas más representativas de la 3°, 4° y 5° región de Chile, para lo cual se tuvo que plantear dos criterios fundamentales para su elección; el primero de ellos va en relación al área de superficie que logra abarcar la cuenca sobre la región, las cuales deberán caracterizar la zona norte y central de Chile y el segundo de ellos radica en la distribución y cobertura de las estaciones de medición.

Una vez analizado estos dos criterios, se definen 4 cuencas de estudios, las cuales son:

- a) Cuenca del valle del río Huasco.
- b) Cuenca del valle del río Elqui.
- c) Cuenca del valle del río Choapa
- d) Cuenca del valle del río Aconcagua (Ligua- Petorca).

2.1.1 Descripción general de los Valles.

Este punto pretende compilar y presentar aquellos datos que describen las características de cada una de las cuencas seleccionadas para este estudio, de acuerdo a la ubicación geográfica de la cuenca, y de las características físicas de cada una de ellas. Esto permite comprender las condiciones existentes y peculiares de cada una de estas cuatro cuencas que comprenden el estudio.

2.1.1.1 Cuenca del valle del río Huasco.

- a) **Ubicación geográfica de la cuenca:** El valle del río de Huasco se ubica en la III Región de Chile, Atacama, provincia de Huasco entre los paralelos $28^{\circ} 25'$ y $29^{\circ} 45'$ de latitud sur y los meridianos $69^{\circ} 45'$ y $71^{\circ} 15'$ de longitud oeste, tal como se muestra en la Figura 2.1:

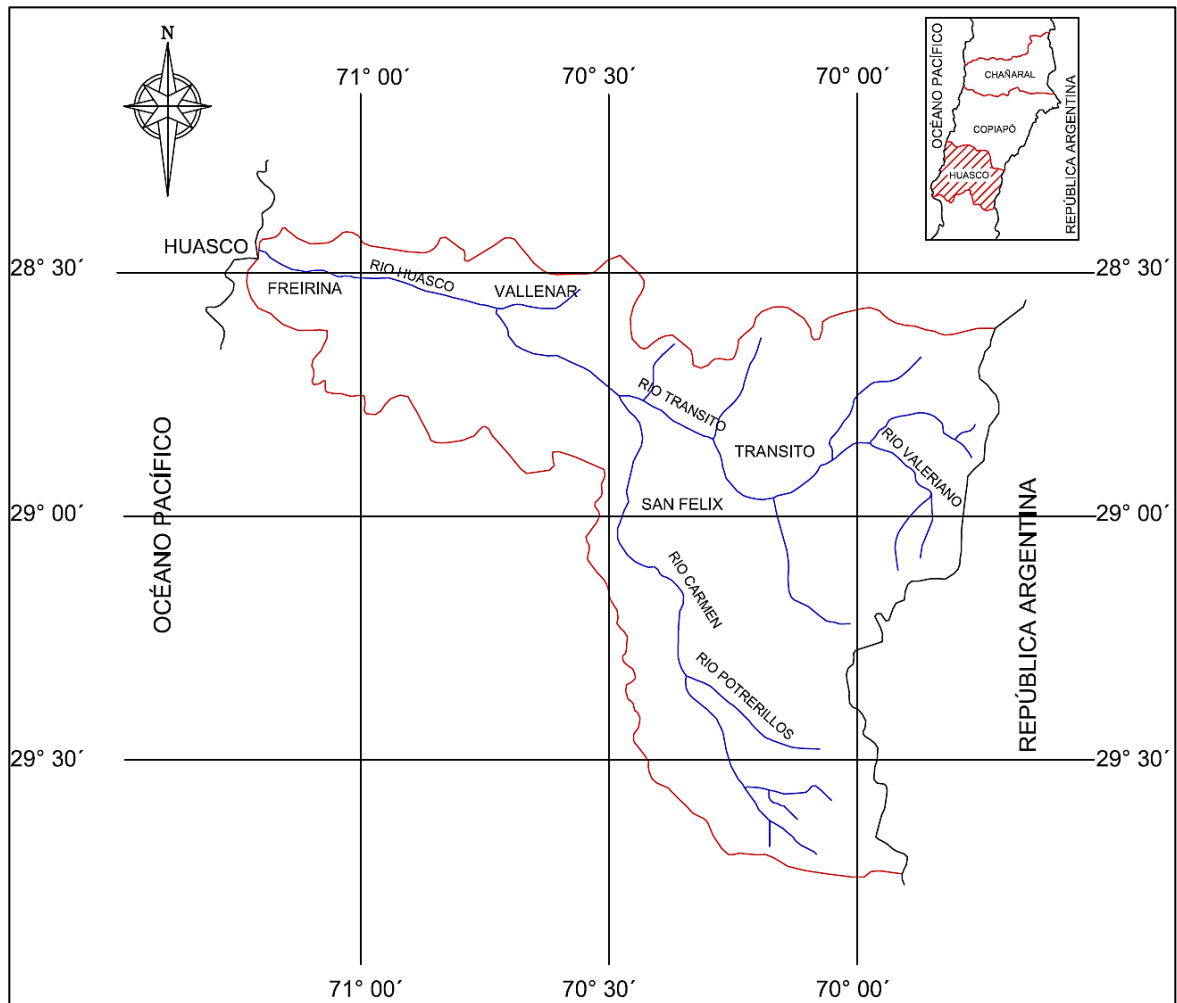


Figura 2.1. "Ubicación geográfica de la cuenca del río Huasco"

Este valle incluye a los valles interiores de El Tránsito y San Félix, cuyos ríos, El Tránsito y El Carmen, respectivamente, se unen en la Junta del Carmen a 90 (km) del mar, dando origen al río Huasco propiamente tal.

En general se puede decir que los límites del valle son: al norte con la zona desértica que separa el valle de Huasco de Copiapó, al sur con la zona desértica que separa las provincias de Huasco y Coquimbo, al este con la cordillera de los Andes y al oeste con el océano Pacífico.

- b) Características físicas:** El régimen hidrológico del Huasco es muy variable presentándose claramente nival en periodos de años, con crecidas de Noviembre a Enero. En otros años más secos, las crecidas provienen de precipitaciones directas en los meses de invierno.
- Subcuenca río Huasco: se origina en la junta de los ríos El Carmen y Del Tránsito. Desde junta del Carmen hasta el mar, su curso sigue una orientación general Este - Oeste y tiene una longitud de 88 (km). Entre su origen y la desembocadura de la quebrada El Jilguero, a 5 (km) al oriente de Vallenar, el río escurre por un típico cajón cordillerano, en un lecho relativamente estrecho. Son recurrentes las angosturas como las del Toro, Santa Juana y Chañar Blanco. Las quebradas laterales interrumpen con sus conos de deyección el curso del río, desviándolo a uno y otro lado. En su curso inferior, desde El Jilguero hasta el mar, la caja del río se ensancha y el valle se presenta acompañado de extensas terrazas fluviales. Próximo a su desembocadura, al norte del Puerto de Huasco, la caja del río alcanza a mas de 2 (km)de ancho.
 - Subcuenca río El Carmen: Dos ríos tributarios de escurrimiento permanente contribuyen a la formación del río El Carmen. El curso más oriental es el río Potrerillo, que confluye con el río Matancilla en la localidad de Potrerillo para formar el río El Carmen propiamente tal. En su curso superior el río escurre por un valle encajonado de laderas escarpadas. Mas abajo, entre cerro Blanco y la junta, la caja del río se ensancha destacándose las extensas playas de rodados que el río transita en múltiples meandros.
 - Subcuenca río Tránsito: Se forma en la confluencia de los ríos Conay y Chollay, en la junta Chollay, a 45(km) aguas arriba de la junta del Carmen. A su vez el Conay proviene de la reunión en plena Cordillera Andina de los ríos Laguna Grande y Laguna Chica, que se generan en sendas lagunas parecidas. El río El Tránsito se regula parcialmente a través de los Embalses Laguna grande y Laguna Chica.

2.1.1.2 Cuenca del valle del río Elqui.

- a) **Ubicación geográfica de la cuenca:** La cuenca del río Elqui pertenece a la IV Región de Coquimbo, la cual se ubica aproximadamente entre los paralelos $29^{\circ}30'$ y $30^{\circ}30'$ de latitud sur, meridianos $71^{\circ}22'$ y $69^{\circ}52'$ longitud oeste y con una extensión de $9826(\text{km}^2)$, tal como se muestra en la Figura 2.2:

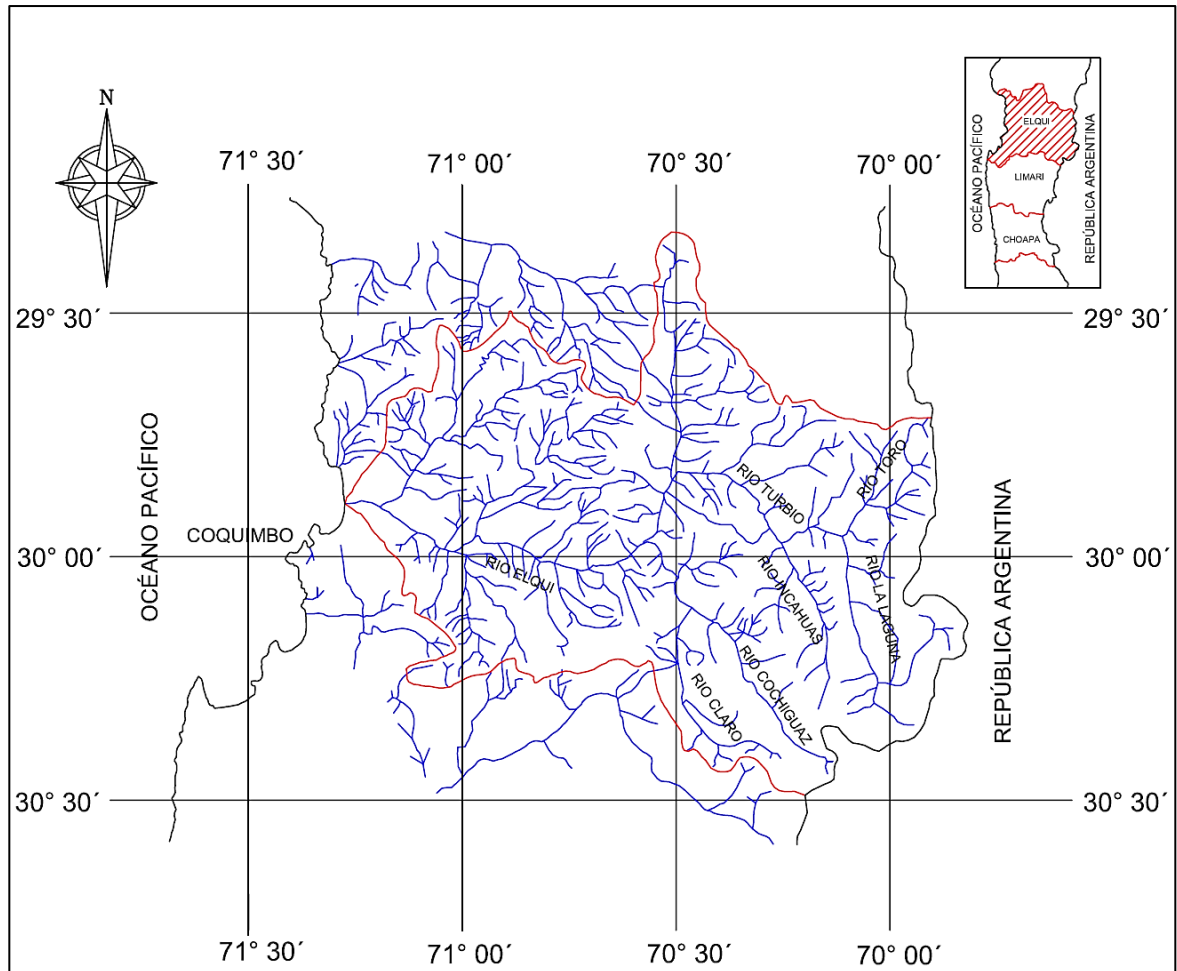


Figura 2.2 "Ubicación geográfica de la cuenca río Elqui"

La cuenca limita al norte con la III Región de Atacama, al sur con Limarí, al este con la República de Argentina y al oeste con el océano Pacífico.

- b) **Características Físicas:** El régimen hidrológico del Elqui es mixto, presentando crecidas en invierno, producto de las lluvias y en primavera ocasionadas por los deshielos. El régimen del río Turbio presenta un comportamiento nival mas acentuado, en tanto que el del río Claro es mas fluvial y sus aportes son equivalentes a la mitad de los del Turbio.

- Subcuenca río Elqui: se forma de la reunión de los ríos Turbio que viene del oriente y Claro o Derecho que proviene del sur. La unión se produce en el sector Algarrobal ubicado a 2 (km), al oriente de la localidad de Rivadavia. Desde su origen hasta su desembocadura tiene una longitud de 75 (km) y una dirección de escurrimiento este – oeste.
La hoya hidrográfica propia del Elqui tiene una extensión de 3900 (km²) y sus afluentes no aportan caudales de importancia, a excepción de aquellos años muy húmedos en que aportan agua producto de lluvias directas. Los afluentes más relevantes son las quebradas Marquesa y Santa Gracia que caen por la ribera Norte en su curso medio e inferior respectivamente. Por el Sur recibe las quebradas San Carlos, Arrayán y Talca; a parte de otras menores.
- Subcuenca río Turbio: La hoya hidrográfica del río Turbio tiene una extensión de 4196 (km²), se forma de la unión de los ríos El Toro y La Laguna, cuyas nacientes están en la alta cordillera cerca del límite con Argentina. A partir de la confluencia de sus tributarios, toma rumbo Nor-Oeste, describiendo un arco a partir de Huanta, para una vez que le cae la quebrada El Calvario, por el norte, toman orientación definitiva Norte- Sur. El embalse La Laguna, emplazado en el río equivalente, permite una regulación parcial de la subcuenca del río Turbio.
- Subcuenca río Claro: La hoya hidrográfica del río Claro tiene una extensión de 1512 (km²), donde el nacimiento se encuentra ubicado al oriente de la localidad de Monte Grande, donde se forma de la confluencia de los ríos Cochiguaz y Derecho. Escurre con orientación Sur – Norte por 17 (km) hasta su unión con el Turbio en la localidad de Rivadavia. Los ríos Derecho y Cochiguaz tienen su origen en la alta cordillera, cercano al límite internacional, escurren en valles estrechos y confinados por cerros de gran altura y laderas abruptas. A parte de los ríos formativos, el Claro recibe por la ribera derecha la quebrada Paihuano.

2.1.1.3 Cuenca del valle del río Choapa.

- a) **Ubicación geográfica de la cuenca:** La cuenca hidrográfica del río Choapa pertenece a la IV Región de Chile, Coquimbo, situándose en la parte sur de la provincia entre los 31°19' y 31°44' de latitud sur y 71°17' y 71°35' de longitud oeste, abarcando una superficie de 8124(km²), tal como se muestra en la Figura 2.3:

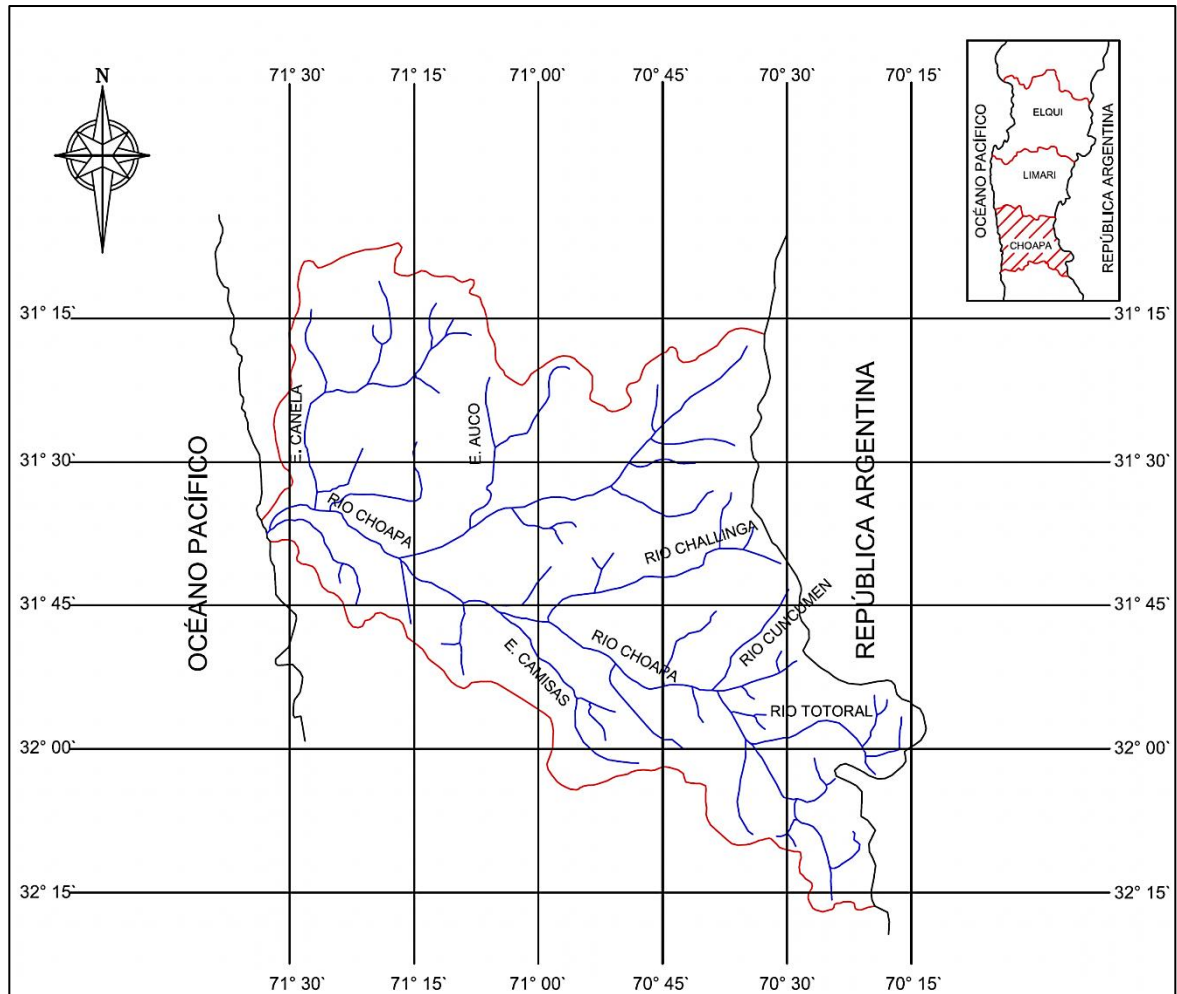


Figura 2.3 "Ubicación geográfica de la cuenca del río Choapa"

En términos generales se ubica en la zona semiárida del país conocido tradicionalmente como "Norte Chico" o "Zona de Los Valles Transversales" que se desarrolla en la 3° y 4° región de Chile.

- b) **Características Físicas:** La cuenca del río Choapa tiene una extensión de 8124 (km²) y sus principales afluentes provienen del Nor – Este y en su mayoría tienen cabeceras en la falda occidental del cordón limítrofe con Argentina. El régimen del río Choapa es marcadamente nival con crecidas de deshielo entre Octubre y Diciembre y máximos en Noviembre, pero también crece con lluvias de invierno.

- Subcuenca río Choapa: el río Choapa nace en la cordillera de los Andes de la confluencia de los ríos Cuncumen y Totoral. Tras un recorrido de 105 (km) desemboca en el mar frente a la localidad de Huentelauquén. El principal tributario cordillerano es el río Totoral que nace de filtraciones de la Laguna del Pelado a cota 3420 (m.s.n.m.) y corre por un cajón muy estrecho hasta cruzarse y formar el Choapa. En su curso superior y medio el Choapa recibe varios afluentes de importancia. Por su derecha se le juntan los ríos Chalinga e Illapel. Por su izquierda, recibe esteros de escasa significación como el Quelen y Limahuida. El estero Camisas, principal tributario del curso medio, se origina en un cordón de pre-cordillera que lo separa de la cuenca del río Petorca. Se forma con las quebradas Guayongo y León Muerto y tiene un desarrollo de 20 (km) con dirección Sur- Norte. Finalmente en su curso inferior el Choapa recibe al estero La Canela que proviene del Norte y Millahue que llega del Sur- Este, casi justo en la desembocadura en el mar.
- Subcuenca río Illapel: La cuenca del río Illapel tiene una extensión de 2100 (km²), con un desarrollo de 82 (km), hasta su junta con el río Choapa. Se forma de la unión de los ríos Quebradas y el estero Cenicero, frente al cerro Burras, en su recorrido recibe los aportes de pequeños afluentes, siendo los principales lo Estero Las Burras, Auco, Lucuman, Cárcamo y el río Caren.
- Subcuenca río Chalinga: el río se forma en la cordillera de Los Andes por la unión del río Los Helados con el estero Fuentecillas, en el faldeo oeste del cordón límite, teniendo un desarrollo de 35 (km), hasta la afluencia del río Choapa inmediatamente aguas debajo de la ciudad de Salamanca.
- Subcuenca Estero La Canela: se ubica al Nor-Poniente de la cuenca del río Choapa y se forma de la unión de los esteros Llano Largo y Copihue, al oriente del pueblo de Canela Alta. Sigue en dirección de Este a Oeste hasta el pueblo de Canela Baja; luego cambia su rumbo al sur hasta desembocar en el río Choapa, frente al cerro Chipana. La hoya del estero La Canela, por su posición baja y cercana a la costa, tiene un régimen del tipo pluvial, con fuertes caudales desde Noviembre en adelante. Los principales afluentes son los esteros Espíritu Santo, Llano Largo y las quebradas El Arrayán, Carquindano, Yerba Loca, Las Torres y Agua Fría. En muchos de estos cauces y sus afluentes, el agua es captada en afloramientos desde la caja del cauce, separadas físicamente unos de otros por varios kilómetros.

Su límite norte esta constituido por la divisoria de aguas entre la hoya del río Petorca y las del río Choapa y estero Guaquén; su límite sur es la divisoria de aguas entre la hoya del río Aconcagua y las del río Maipo y estero Marga – Marga; el límite este es el límite internacional con la República Argentina y el límite oeste es el mar de Chile.

b) Características Físicas: El régimen de la cuenca del río Aconcagua es nivo-pluvial, ya que en la parte alta de su cuenca, donde están sus ríos tributarios de alta cordillera Colorado, Juncal y Blanco, presenta un régimen nival; en cambio en la parte baja de la cuenca comienza a tomar importancia la influencia pluvial.

- El Aconcagua se forma de la reunión en la cordillera de los Andes, a 1.430 (m) de altitud, de los ríos Juncal, que proviene del oriente, y Blanco, que vienen del sureste. Desde la junta con el río Blanco, el río Aconcagua recorre 142 (km) hasta su desembocadura en la bahía de Concón en el Mar Chileno. Sin embargo, si se considera el desarrollo del río Juncal desde su nacimiento, el recorrido alcanza a 177 (km).
- El río Juncal se origina en la cordillera de igual nombre, que divide las aguas con la cuenca del Maipo, en una gran lengua de ventisquero llamado glaciar Juncal Norte. En su desarrollo de 35 (km) recibe por ambas riberas numerosos arroyos, la mayoría originados también en glaciares colgados. Entre esos tributarios está el río Juncalillo o Juncalito, al cual se le reúne el emisario de la laguna del Inca. Este es un cuerpo de agua elevado a 3.200 m sobre el mar, de forma elíptico-elongada con un eje mayor de 4 (km) y un ancho medio de 600-700 (m).
- El río Blanco se genera al pie norte de los cerros La Copa y El Altar, en el cordón de displuvio con la cuenca alta del río Mapocho; se dirige al Nor-Oeste con una gran pendiente y una longitud de 15 (km). Su tributario más importante es el río Los Leones, que se genera en áreas englaciadas alrededor del cerro Alto de Los Leones (5.400 m).
- En el tramo río Blanco-Los Andes, el tributario más importante por la ribera norte es el río Colorado. El río Colorado se origina al pie del paso del Rubio, de los esteros del Portillo Hondo y de Los Azules. En su recorrido de 58 (km), drena una amplia porción del cordón limítrofe y recibe, por lo tanto, numerosos tributarios, entre los cuales se cuentan el estero de Las Piedras y quebrada El Tordillo. Por la derecha recibe los esteros del Bolsillo, los Columpios del Diablo, Lagunillas y El Maitén. Otros afluentes menores hacen sus aportes al Aconcagua en este tramo. Los más importantes son el estero Riecillos, que con su afluente de Las Gualtatas desaguan las llamadas lagunas Corraladas, y el estero Vilcuya.
- En los alrededores de San Felipe, el río Aconcagua recibe otros tributarios de importancia, donde llega el estero Pocuro que recoge aguas de pre cordillera, de la vertiente norte del cordón de Chacabuco. Cuatro kilómetros aguas abajo de San Felipe, el Aconcagua recibe uno de sus más importantes afluentes, cual es el río Putaendo, que se origina en la localidad de Los Patos, a 1.188 (m.s.n.m.) de la reunión del río Rocín que viene del oriente y del estero Chalaco que proviene del norte. Desarrolla un curso dirigido de 34 (km) y desemboca en el Aconcagua en una caja muy ancha y pedregosa. La sub-hoya del Putaendo tiene una extensión de 1.192 (km²) y una longitud de 85 (km).
- La hoya situada entre Los Andes y San Felipe recibe por su vertiente norte el estero Quilpué que drena un amplio sector cordillerano con una nutrida red de esteros y arroyos, de los cuales el estero San Regis es el más importante, el cual se forma de la reunión de los esteros San Francisco con El Barro. Un índice de la importancia del estero Quilpué es su longitud de 52 (km), considerando su formativo más alejado, aunque su gasto sea bajo.

- En el sector comprendido entre San Felipe y La Calera, el principal tributario es el estero Catemu que riega el valle agrícola de ese nombre; tiene un desarrollo de 14 (km) en dirección al sur. También en este tramo recibe el estero Los Loros que le cae desde el sur y que drena el valle tectónico de Llay Llay. En el curso inferior, entre La Calera y el mar, los afluentes relevantes son los esteros Los Litres y Limache. El primero drena la falda sur de La Calera. Corre por la vaguada de un ancho valle agrícola, donde se emplazan las ciudades de El Melón y Nogales.
- El estero Limache se une al río Aconcagua por la izquierda a sólo 8 (km) del mar, en Concón Alto. Tienen cabeceras en la vertiente poniente de los cerros La Campana y el Roble y del cordón de La Dormida, donde se juntan los esteros Las Palmas, quebrada Alvarado y Cajón de La Dormida con el nombre de estero Pelumpén. Más abajo bisecta la ciudad de Limache y sigue al Oeste casi paralelo al curso del río Aconcagua. Conformar una típica hoya de régimen pluvial con una superficie de 573 km². Una pequeña obra de regulación está emplazada en uno de sus principales afluentes, cual es el estero Lliu Lliu. Sobre el estero Limache mismo se ubica el embalse Los Aromos.

2.2 Estaciones Hidrometeorológicas y fluviométricas.

Este punto tiene por finalidad estimar los recursos hídricos en los diferentes puntos de las cuencas del río Huasco, río Elqui, río Choapa y río Aconcagua (Ligua – Petorca), de modo de poder caracterizarlas hidrológicamente. Para ello, este estudio se ha realizado sobre la base de datos de las variables de caudal, precipitación, y temperatura, las cuales son obtenidas a través de las estaciones fluviométricas, pluviométricas y de temperatura. Es por esta razón que se hace fundamental el obtener la información de dichas estaciones de modo de formar un banco de datos necesario para la elaboración de este estudio.

Debido a que la variable de la evapotranspiración potencial no es obtenida a través de registros estadísticos en este estudio, sino que a través del “Visualizador electrónico de la cartografía de evapotranspiración potencial en Chile”, realizado por la Comisión nacional de riego (C.N.R.) el año 2000, el estudio respecto a esta variable seguirá en el punto 2.2.7 llamado “Cálculo de las variables fundamentales del estudio”, ya que los valores de la variable se obtienen de forma directa a través de este programa.

2.2.1 Suministro de información.

Como se mencionó anteriormente para la elaboración de este estudio se hace indispensable el obtener dos tipos de información, una de ellas corresponde a los datos estadísticos de las estaciones fluviométricas, pluviométricas y de temperatura y la otra corresponde a los planos de curvas de nivel correspondiente a cada una de las cuencas seleccionadas. De manera de no solo tener una caracterización hidrológica de la cuenca sino que también una caracterización morfológica.

- a) Los datos estadísticos tanto de las estaciones fluviométricas, pluviométricas y de temperaturas son obtenidos a través de la Dirección General de Aguas (D.G.A.) del Ministerio de Obras Públicas, específicamente en la oficina regional de Valparaíso, ubicada en la comuna de Quillota, la cual se encarga de promover la gestión y administración del recurso hídrico en un marco de sustentabilidad, interés público y asignación eficiente, como también de proporcionar y difundir la información generada por su red hidrométrica y la contenida en el Catastro Público de Aguas a lo largo del país. Además, se cuenta con el respaldo del “Balance Hídrico Nacional” de la D.G.A, y proyectos realizados por la comisión Nacional de Riego (C.N.R.), tales como los estudios integrales de riego de la cuenca del río Huasco, Elqui, Choapa, Aconcagua (Ligua-Petorca) y el visualizador electrónico de la cartografía de la evapotranspiración potencial en Chile.
- b) Los planos de curvas de nivel o planchetas son obtenidos a través del Instituto Geográfico Militar (I.G.M.), del Ejército Militar de Chile, ubicado en Santiago, el cual es el encargado de proveer la cartografía y mapas oficiales de Chile para el estado y la industria nacional pública y privada. En específico para este estudio los planos a utilizar vienen dados a una escala de 1:250.000 donde las curvas de nivel se especifican cada 200 (m.s.n.m.).

2.2.2 Distribución de Estaciones existentes en la cuenca.

Con el fin de poder seleccionar las estaciones con las cuales se trabajaran en este estudio, es necesario contar con el universo de éstas y a su vez con la distribución de cada una de ellas a lo largo y ancho de cada una de las cuencas seleccionadas. Para ello, se realizó una investigación a través de la red hidrométrica de la Dirección General de Agua y los Estudios integrales de riego del valle del río Huasco, Elqui, Choapa y Aconcagua (Ligua – Petorca), obteniéndose los siguientes resultados:

2.2.2.1 Cuenca del río Huasco.

Según los antecedentes brindados por el “Estudio Integral de riego del valle de la cuenca del río Huasco”, sumado a los antecedentes de la red hidrométrica de la Dirección General de Aguas, se logró determinar que en la cuenca del río Huasco, existen 11 estaciones fluviométricas, 14 estaciones pluviométricas y 6 estaciones de temperaturas, distribuidas a lo largo y ancho de la superficie de ésta, las cuales, recopilan la información estadística de las 3 variables fundamentales a utilizar en este estudio: caudal, precipitación y temperatura.

A modo de conocer las estaciones existentes en la cuenca del río Huasco, se adjunta en el Anexo 1 la Tabla 2.1, Tabla 2.2 y Tabla 2.3 donde se especifica el nombre, altitud sobre el nivel del mar y coordenadas de las estaciones fluviométricas, pluviométricas y de temperatura respectivamente, siendo expresada su distribución sobre la superficie de la cuenca en la Figura 2.5.

2.2.2.2 Cuenca del río Elqui.

Según los antecedentes brindados por el “Estudio Integral de riego del valle de la cuenca del río Elqui”, sumado a los antecedentes de la red hidrométrica de la Dirección General de Aguas, se logró determinar que en la cuenca del río Elqui, existen 13 estaciones fluviométricas, 35 estaciones pluviométricas y 6 estaciones de temperaturas, distribuidas a lo largo y ancho de la superficie de ésta, las cuales, recopilan la información estadística de las 3 variables fundamentales a utilizar en este estudio: caudal, precipitación y temperatura.

A modo de conocer las estaciones existentes en la cuenca del río Elqui, se adjunta en el Anexo 1 la Tabla 2.4, Tabla 2.5 y Tabla 2.6 donde se especifica el nombre, altitud sobre el nivel del mar y coordenadas de las estaciones fluviométricas, pluviométricas y de temperatura respectivamente, siendo expresada su distribución sobre la superficie de la cuenca en la Figura 2.6.

2.2.2.3 Cuenca del río Choapa.

Según los antecedentes brindados por el “Estudio Integral de riego del valle de la cuenca del río Choapa”, sumado a los antecedentes de la red hidrométrica de la Dirección General de Aguas, se logró determinar que en la cuenca del río Choapa, existen 19 estaciones fluviométricas, 18 estaciones pluviométricas y 4 estaciones de temperaturas, distribuidas a lo largo y ancho de la superficie de ésta, las cuales, recopilan la información estadística de las 3 variables fundamentales a utilizar en este estudio: caudal, precipitación y temperatura.

A modo de conocer las estaciones existentes en la cuenca del río Choapa, se adjunta en el Anexo 1 la Tabla 2.7, Tabla 2.8 y Tabla 2.9 donde se especifica el nombre, altitud sobre el nivel del mar y coordenadas de las estaciones fluviométricas, pluviométricas y de temperatura respectivamente, siendo expresada su distribución sobre la superficie de la cuenca en la Figura 2.7.

2.2.2.4 Cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca)

Según los antecedentes brindados por el “Estudio Integral de riego del valle de la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca)”, sumado a los antecedentes de la red hidrométrica de la Dirección General de Aguas, se logró determinar que en la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca), existen 31 estaciones fluviométricas, 58 estaciones pluviométricas y 10 estaciones de temperaturas, distribuidas a lo largo y ancho de la superficie de ésta, las cuales, recopilan la información estadística de las 3 variables fundamentales a utilizar en este estudio: caudal, precipitación y temperatura.

A modo de conocer las estaciones existentes en la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca), se adjunta en el Anexo 1 la Tabla 2.10, Tabla 2.11 y Tabla 2.12 donde se especifica el nombre, altitud sobre el nivel del mar y coordenadas, de las estaciones fluviométricas, pluviométricas y de temperatura respectivamente, siendo expresada su distribución sobre la superficie de la cuenca en la Figura 2.8.

2.2.3 Criterio para selección de estaciones.

Una vez conocidas las estaciones existentes en las cuatro cuencas seleccionadas para este estudio y su distribución sobre la superficie de cada una de ellas, se realiza la selección de las estaciones fluviométricas, pluviométricas y de temperatura, con las cuales se trabajará en este estudio. Éstas se encuentran asociadas bajo 3 criterios que se especifican a continuación:

El primer criterio surge bajo la condición de que los modelos de precipitación escorrentía son solo aplicables para cuencas de régimen natural, o sea, que son para cuencas que se encuentran muy poco intervenidas por el hombre. Una de las obras que mas intervienen el flujo natural de los ríos, son los canales de regadío, los cuales desvían y distribuyen las aguas proveniente de la escorrentía hacia los campos de cultivos, por lo cual se hace necesario el conocer la existencia y distribución de estas obras a lo largo de los ríos de cada cuenca.

Dicho registro de canales existentes y su respectiva distribución a lo largo de los ríos a estudiar, es obtenido a través del “Estudio de síntesis de catastros de usuarios de aguas e infraestructuras de aprovechamiento” (Adjunto en Cd de respaldo), realizado por Ricardo Edwards G. Ingenieros Ltda en octubre de 1991, para el departamento de estudios, de la Dirección General de Aguas, del Ministerio de Obras Públicas. En este estudio se expresan los diagramas unifiliares de canales de todo el país, los cuales son esquemas que representan la ubicación y nombre de todos los canales a lo largo de los ríos a estudiar.

Por lo que se puede apreciar en este estudio, generalmente la mayor concentración de canales se presenta en las zonas bajas (cercana al océano pacifico) y media de las cuencas, debido a que las condiciones climáticas son mas favorables en dichos sectores para la agricultura, mientras que en la zona alta (cercana a la cordillera) la concentración de canales disminuyen notoriamente, debido a que las condiciones climáticas no son muy favorables para la agricultura.

Los embalses y grandes sectores mineros son otras obras que intervienen en el flujo natural de los ríos, cuya existencia y distribución sobre la superficie de cada cuenca es brindada por los “Estudios integrales de riego del valle de la cuenca del río Huasco, Choapa, Elqui y Aconcagua (Ligua– Petorca)”.

Esta primera impresión permite tener una aproximación de que las posibles estaciones fluviométricas, las cuales serán evaluadas por los modelos precipitación-escorrentía, se encontrarán ubicadas en las zonas altas de la cuenca, cercana a la cordillera de los Andes, siendo eliminadas aquellas estaciones ubicadas en las zonas bajas y media de la cuenca por no ser representativas del criterio planteado anteriormente. Por consiguiente las estaciones pluviométricas y de temperatura deberán estar cercanas a las estaciones fluviométricas, de manera que la información que brinden, sean representativas de la subcuenca a evaluar.

Es importante dejar en claro, que este primer criterio permite la existencia de canales aguas arriba de la estación seleccionada, pero con una baja concentración, de manera que no generen un error significativo para los objetivos planteados en este estudio.

El segundo criterio considera que todas las estaciones fluviométricas, pluviométricas y de temperatura que se utilizarán en este estudio, deben ser estaciones de propiedad de la Dirección general de agua, debido a que es una entidad que da confiabilidad ante la medición de los datos estadísticos.

Debido a que los modelos precipitación-escorrentía, están conformadas por cuatro variables fundamentales, las cuales son caudal medio anual, precipitación medio anual, temperatura medio anual y evapotranspiración potencial medio anual, es un requisito importante en una selección de estaciones, el que éstas tengan un registro de información de calidad, donde se prefieran aquellas que registren menor cantidad de vacíos o discontinuidades y en lo posible las que poseen mayor cantidad de datos recientes, considerando que éstos deberían ser, hipotéticamente, mas exactos por el avance que conllevaría la utilización de instrumental tecnológicamente mas moderno.

Con el fin de tener una buena caracterización de cada una de las cuencas a estudiar, es necesario contar a lo menos con 25 años de registros continuo, de manera de dar una confiabilidad a la evaluación de los modelos de precipitación-escorrentía.

Finalmente, el tercer criterio surge para las estaciones de temperatura debido a que estas suministran información de temperatura media anual la cual expresa los siguientes comportamientos: el primero de ellos es que desde el nivel del mar hasta los 1000 (m.s.n.m.) aproximadamente, se produce un efecto llamado inversión térmica, fenómeno en el cual se aprecia que el gradiente térmico atmosférico es positivo y negativo, es decir, que la temperatura aumenta y disminuye a medida que la altura aumenta, esto sucede por la generación de gases en la superficie terrestre que quedan estancadas a baja altura, produciendo estas alteraciones atmosféricas, por lo tanto toda estación de temperatura que se encuentre bajo los 1000(m.s.n.m.) deberá ser descartada, ya que la información medida dentro de esos rangos no es fidedigna a la realidad de las cuencas altas.

El segundo comportamiento consiste en que sobre los 1000 (m.s.n.m.), el gradiente térmico atmosférico es negativo, es decir que la temperatura disminuye a medida que la altura aumenta, características que son mas fidedignas y representativas a la realidad de las cuencas, por lo tanto se puede apreciar preliminarmente, que las estaciones de temperatura seleccionadas se encontraran sobre los 1000 (m.s.n.m.). Para la selección de estaciones de temperatura se utilizará como guía, el estudio del "Balance Hídrico Nacional" realizado en contribución del comité Chileno para el programa hidrológico internacional (UNESCO) al balance hídrico de América del Sur, el cual especifica que el gradiente térmico para la 3°, 4° y 5° región de Chile oscila entre -6 (°C/km) y -7 (°C/km).

2.2.4 Selección y distribución de estaciones.

En base a cada uno de los criterios mencionados anteriormente, se procedió a realizar la selección de estaciones fluviométricas, pluviométricas y de temperatura, de las 4 cuencas seleccionadas, de manera de poder utilizar su información estadística para cumplir con los objetivos planteados en este estudio.

Las primeras estaciones en ser seleccionadas, son las estaciones fluviométricas, debido a que la información estadística que entregan estas estaciones, son las que serán evaluadas posteriormente por los modelos de precipitación-escorrentía, cuyas ubicaciones en las respectivas cuencas, serán predominante en la selección posterior de las estaciones pluviométricas y de temperatura, debido a que éstas estaciones deben suministrar información que sea representativa a la zona a estudiar y por consiguiente éstas deberán estar relativamente cercana al área aportante de cada subcuenca.

O sea, en forma de recapitulación las estaciones fluviométricas demarcarán la zona a estudiar, mientras que las estaciones pluviométricas y de temperatura darán las características propias de cada subcuenca generada por las estaciones fluviométricas.

El análisis realizado a cada una de las estaciones arrojó el siguiente resultado:

2.2.4.1 Cuenca del río Huasco.

En la cuenca del río Huasco, fueron seleccionadas 2 estaciones fluviométricas, 6 estaciones pluviométricas y 3 estaciones de temperatura que cumplen con los criterios de selección, expuestos previamente para este estudio. Con la finalidad de conocer las estaciones seleccionadas se adjunta en el Anexo 1, la Tabla 2.13, Tabla 2.14 y Tabla 2.15 donde se expresan, el nombre, altitud sobre el nivel del mar y coordenadas geográficas de cada una de las estaciones fluviométricas, pluviométricas y de temperatura respectivamente.

Respecto a la ubicación de las estaciones fluviométricas se puede apreciar que estas se encuentran localizadas en la zona alta de la cuenca del río Huasco, específicamente aguas arriba del río El Tránsito y El Carmen, mientras que las estaciones pluviométricas y de temperatura, se encuentran casi en su totalidad localizadas aguas abajo, respecto a las estaciones fluviométricas, con excepción de la estación El Corral. Esta falta de estaciones pluviométricas y de temperatura aguas arriba de las estaciones fluviométricas, se debe a la poca cobertura de estaciones por parte de la Dirección General de Aguas (D.G.A.), según el estudio el “Estudio Integral de riego del valle de la cuenca del río Huasco” y la red hidrométrica de la D.G.A.

En el anexo 1 se adjunta la Figura 2.9, la cual expresa las estaciones seleccionadas para el estudio y su distribución sobre la cuenca del río Huasco.

2.2.4.2 Cuenca del río Elqui.

En la cuenca del río Elqui, fueron seleccionadas 4 estaciones fluviométricas, 9 estaciones pluviométricas y 3 estaciones de temperatura que cumplen con los criterios de selección, expuestos previamente para este estudio. Con la finalidad de conocer las estaciones seleccionadas se adjunta en el Anexo 1, la Tabla 2.16, Tabla 2.17 y Tabla 2.18 donde se expresan, el nombre, altitud sobre el nivel del mar y coordenadas geográficas de cada una de las estaciones fluviométricas, pluviométricas y de temperatura respectivamente.

Respecto a la ubicación de las estaciones fluviométricas se puede apreciar que estas se encuentran localizadas en la zona alta de la cuenca del río Elqui, específicamente agua arriba del río Toro, Laguna, Cochiguaz y Claro, mientras que las estaciones pluviométricas y de temperatura, se encuentran casi en su totalidad localizadas agua abajo, respecto a las estaciones fluviométricas, con excepción de la estación Cochiguaz y Laguna Embalse. Esta falta de estaciones pluviométricas y de temperatura aguas arriba de las estaciones fluviométricas, se debe a la poca cobertura de estaciones por parte de la Dirección General de Aguas (D.G.A.), según el estudio previo realizado a través del “Estudio Integral de riego del valle de la cuenca del río Elqui” y la red hidrométrica de la D.G.A.

En el anexo 1 se adjunta la Figura 2.10, la cual expresa las estaciones seleccionadas para el estudio y su distribución sobre la cuenca del río Elqui.

2.2.4.3 Cuenca del río Choapa.

En la cuenca del río Choapa, fueron seleccionadas 3 estaciones fluviométricas, 8 estaciones pluviométricas y 2 estaciones de temperatura que cumplen con los criterios de selección, expuestos previamente para este estudio. Con la finalidad de conocer las estaciones seleccionadas se adjunta en el Anexo 1, la Tabla 2.19, Tabla 2.20 y Tabla 2.21 donde se expresan, el nombre, altitud sobre el nivel del mar y coordenadas geográficas de cada una de las estaciones fluviométricas, pluviométricas y de temperatura respectivamente.

Respecto a la ubicación de las estaciones fluviométricas se puede apreciar que estas se encuentran localizadas en la zona alta de la cuenca del río Choapa, específicamente agua arriba del río Illapel, Chalinga y Choapa, mientras que las estaciones pluviométricas y de temperatura, se encuentran en su totalidad localizadas agua abajo, respecto a las estaciones fluviométricas. Esta falta de estaciones pluviométricas y de temperatura aguas arriba de las estaciones fluviométricas, se debe a la poca cobertura de estaciones por parte de la Dirección General de Aguas (D.G.A.), según el estudio previo realizado a través del “Estudio Integral de riego del valle de la cuenca del río Choapa” y la red hidrométrica de la D.G.A.

En el anexo 1 se adjunta la Figura 2.11, la cual expresa las estaciones seleccionadas para el estudio y su distribución sobre la cuenca del río Choapa.

2.2.4.4 Cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca).

En la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca), fueron seleccionadas 7 estaciones fluviométricas, 13 estaciones pluviométricas y 5 estaciones de temperatura que cumplen con los criterios de selección, expuestos previamente para este estudio. De las 7 estaciones fluviométricas seleccionadas para esta cuenca, 2 estaciones corresponden a la subcuenca de Petorca, 1 estación corresponde a la subcuenca de La Ligua y las 4 estaciones restantes corresponden a la subcuenca del Aconcagua. Con la finalidad de conocer las estaciones seleccionadas se adjunta en el Anexo 1, la Tabla 2.22, Tabla 2.23 y Tabla 2.24 donde se expresan, el nombre, altitud sobre el nivel del mar y coordenadas geográficas de cada una de las estaciones fluviométricas, pluviométricas y de temperatura respectivamente.

Respecto a la ubicación de las estaciones fluviométricas se puede apreciar que estas se encuentran localizadas en la zona alta de la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca), específicamente agua arriba del río Petorca, Ligua y Aconcagua, mientras que las estaciones pluviométricas y de temperatura, se encuentran en su gran mayoría localizadas aguas abajo, respecto a las estaciones fluviométricas, pero aun así existen un número no menor de estaciones localizadas en las zonas altas, lo cual permite una mejor caracterización de la cuenca, ya que se dispondrá de información estadística aguas arriba y aguas abajo de las estaciones fluviométricas.

En el anexo 1 se adjunta la Figura 2.12, la cual expresa las estaciones seleccionadas para el estudio y su distribución sobre la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca).

2.2.4.5 Banco de datos.

El análisis realizado, en función de los criterios planteados en el punto 2.2.3, expresó que el estudio se realizará en un universo total de: 16 estaciones fluviométricas, 36 estaciones pluviométricas y 13 estaciones de temperatura, distribuidas sobre la superficie de las cuencas del río Huasco, Elqui, Choapa y Aconcagua (Ligua – Petorca), donde la información estadística que brindan estas estaciones, corresponderán al banco de datos, que empleara este estudio para su desarrollo.

En la Tabla 2.25, Tabla 2.26 y Tabla 2.27, se especifican el universo total de las estaciones fluviométricas, pluviométricas y de temperatura respectivamente, con las cuales se trabajara para alcanzar los objetivos planteados para este estudio.

Tabla 2.25 “Nombre de estaciones fluviométricas seleccionadas.

Cuenca río	Estación fluviométrica
Huasco	Río Tránsito en Angostura Pinte
	Río Conay en las Lozas
Elqui	Estero Derecho en Alcohuaz
	Río Cochiguaz en el Peñón
	Río Toro antes junta Río la Laguna
	Embalse Laguna
Choapa	Río Illapel en las Burras
	Río Chalinga en la Palmilla
	Río Choapa en Cuncumen
Aconcagua (Ligua-Petorca)	Río Pedernal en Tejada
	Río Sobrante en Piñadero
	Río Alicahue en Colliguay
	Río Putaendo en Resguardo Los Patos
	Río Juncal en Juncal
	Río Colorado en Colorado
	Estero Pocuro en el Sifón

Fuente: Elaboración Propia en base a criterios del estudio.

Tabla 2.26 "Nombre de estaciones pluviométricas seleccionadas.

Cuenca río	Estación pluviométrica	Cuenca río	Estación pluviométrica
Huasco	El Corral	Elqui	Pisco Elqui
	San Félix		Fdo. Los Nichos
	Tambos		La Ortiga
	Conay Reten		Cochiguaz
	El Parral		La Laguna Embalse
	Junta del Carmen		Juntas
Aconcagua (Ligua-Petorca)	Frutillar Alto	Choapa	Hurtado
	Hda. El Sobrante		Rivadavia
	Hda. Chalaco		Huanta
	Hda. Pedernal		Huintil Hda.
	Lagunitas		Illapel DGA
	Mina Cerro Negro		Hda. San Agustín
	Adm. Hda Alicahue		Salamanca
	La Mostaza Hda. Alicahue		Cuncumen
	Los Andes		La Tranquilla
	Riecillos		Coirón
	Vilcuya		El Soldado
	Resguardo los Patos		
	San Felipe		

Fuente: Elaboración Propia en base a criterios del estudio.

Tabla 2.27 "Nombre de estaciones de temperatura seleccionadas.

Cuenca río	Estación de temperatura
Huasco	Conay
	Potrerillos
	Lautaro Embalse
Elqui	Hurtado
	Los Molles
	Andacollo
Choapa	La Tranquilla
	Las Ramadas
Aconcagua (Ligua-Petorca)	Vilcuya
	Cristo Redentor
	El Yeso Embalse
	Juncal
	Lagunitas

Fuente: Elaboración Propia en base a criterios del estudio.

2.2.5 Estudio Hidrológico.

El presente punto, tiene como objetivo el caracterizar, desde el punto de vista de la fluviometría, pluviometría y temperatura, las cuencas del río Huasco, Elqui, Choapa y Aconcagua (Ligua – Petorca), donde la metodología que se aplicará en el presente estudio da cuenta de los siguientes aspectos:

- Recopilación de las estadísticas de caudal, precipitación y temperatura de las estaciones de la Dirección General de Aguas (D.G.A.), ubicadas en las diversas zonas de estudio seleccionadas.
- Ampliación, relleno de las series fluviométricas y pluviométricas y prueba de homogeneidad a sus respectivas series, aplicando el método de curva doble acumulada, para el cual se utilizó un patrón fluviométrico y pluviométrico que es propio de cada cuenca.

2.2.5.1 Recopilación de las estadísticas.

Para este estudio se recopiló estadísticas de caudal, precipitación y temperatura a nivel medio anual, de propiedad de la Dirección General de Aguas (D.G.A.), obteniéndose un total de estadísticas disponibles de 16 estaciones fluviométricas, 36 estaciones pluviométricas y 13 estaciones de temperatura, cuyo análisis y resultados se expresan a continuación:

En el Anexo 1 se adjunta la Figura 2.13 la cual expresa un diagrama de barras, que especifica los años observados de estadística, para cada una de las 16 estaciones fluviométricas seleccionadas, distribuidas en las 4 cuencas escogidas para este estudio, siendo marcados de color amarillo los años en los que existe una información estadística y de color rojo, aquellos años en los que no se dispone de información estadística o que halla sido eliminada, debido a que su valor de caudal medio anual fue calculado con poca información a nivel mensual, haciendo que sea una información con muy baja confiabilidad.

De acuerdo, a la información estadística recopilada, y con el fin de caracterizar el régimen hidrológico de cada una de las zonas a estudiar, en la cuenca del río Huasco se dispondrá con 32 años de observación estadística correspondiente al período de 1980 al 2011, en la cuenca del río Elqui se dispondrá de 35 años de observación estadística correspondiente al período de 1977 al 2011, en la cuenca del río Choapa se dispondrá de 47 años de observación estadística correspondiente al período de 1965 al 2011 y finalmente en la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca) se dispondrá de 47 años de observación estadística correspondiente al período de 1965 al 2011.

En base a los períodos de observación estadística, definidas para cada cuenca de este estudio, en el anexo 1 se adjunta la Tabla 2.28, Tabla 2.29, Tabla 2.30 y Tabla 2.31, las cuales muestran la información estadística fluviométrica recopilada de cada estación de las 4 cuencas, obtenida a través de la Dirección General de Aguas, la cual comprende los períodos señalados previamente.

En general, el registro de las estaciones fluviométricas recopiladas es bastante completo, específicamente desde los años 1985 hasta el 2011, debiendo ser rellena y ampliada la estadística según los períodos definidos para este estudio, tal como se muestra a modo de resumen en la Tabla 2.32:

Tabla 2.32 “Resumen de períodos de estudio definidos”

Cuenca río	Años de Observación	Período
Huasco	32	1980-2011
Elqui	35	1977-2011
Choapa	47	1965-2011
Aconcagua (Ligua-Petorca)	47	1965-2011

Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo 1 se adjunta la Figura 2.14, que de igual manera que las estaciones fluviométricas, expresa un diagrama de barras, que especifica los años observados de estadística, para cada una de las 36 estaciones pluviométricas seleccionadas, distribuidas en las 4 cuencas escogidas para este estudio, siendo marcados de color amarillo los años en los que existe una información estadística y de color rojo, aquellos años en los que no se dispone de información estadística o que ha sido eliminada, debido a que su valor de precipitación medio anual fue calculado con poca información a nivel mensual, haciendo que sea una información con muy baja confiabilidad.

Comparando la información estadística recopilada de las estaciones fluviométricas y pluviométricas, a través de los diagramas de barras y con el fin de caracterizar el régimen hidrológica de cada una de las zonas a estudiar, se compatibilizaron los años de observación estadística, de manera de dar confiabilidad al desarrollo del estudio hidrológico, el cual tendrá períodos de estudio iguales, tanto para las estaciones fluviométricas como para estaciones pluviométricas, cuyos períodos son expresados a modo de síntesis en la Tabla 2.32.

En base a los períodos de observación estadística, definidas para cada cuenca de este estudio, en el anexo 1, se adjunta la Tabla 2.33, Tabla 2.34, Tabla 2.35 y Tabla 2.36, las cuales muestran la información estadística pluviométrica recopilada de cada una de las 4 cuencas, obtenidas a través de la Dirección General de Aguas, la cual comprende los períodos expuesto previamente.

En general, el registro de las estaciones pluviométricas recopiladas es bastante completo, específicamente desde los años 1989 al 2011 en la cuenca del río Huasco y Elqui y desde los años 1980 al 2011 en la cuenca del río Choapa y Aconcagua (Ligua-Petorca), debiendo ser rellenada y ampliada la estadística según los períodos definidos para este estudio, tal como se muestra a modo de resumen en la Tabla 2.32.

Finalmente en el Anexo 1, se adjunta la Tabla 2.37, la cual especifica los años observados de estadística para cada una de las 13 estaciones de temperatura seleccionadas, distribuidas en las 4 cuencas escogidas para este estudio.

Observando la información estadística recopilada, se puede apreciar que existen varias estaciones con mas de 20 años de observación, esto se debe a que son estaciones de medición que se encuentran ubicadas en las zonas media de las cuencas seleccionadas, lo cual hace favorable la medición mas frecuente de esta información. Por otro lado, se puede apreciar ciertas estaciones como Cristo Redentor, El Yeso Embalse, Juncal y Hurtado, que tienen menos de 15 años de medición, esto se debe principalmente, a que son estaciones que se encuentran ubicadas en las zonas altas de las cuencas seleccionadas, lo cual hace que sea mas complicado la medición frecuente de esta información.

De manera de poder tener un gradiente térmico atmosférico, representativo a cada una de las zonas a estudiar, se hace fundamental, el obtener información de las partes medias y altas de las cuencas seleccionadas, motivo por el cual, se priorizó la ubicación geográfica ante los años de observación estadística. En base a lo expuesto, en el Anexo 1 se adjuntan las Tabla 2.38, Tabla 2.39, Tabla 2.40 y Tabla 2.41, las cuales muestran la información estadística recopilada a nivel medio mensual y anual de cada una de las 4 cuencas, cuya información fue obtenida a través de la Dirección General de Aguas y del Estudio Hídrico Nacional.

No esta demás de recalcar que la variable de evapotranspiración potencial no fue incluido en el análisis de este punto, debido a que gracias al visualizador electrónico de la cartografía de la evapotranspiración potencial en Chile se pudieron obtener los resultados de la variable en forma directa , cuyo análisis mas específico será expresado mas adelante.

2.2.5.2 Ampliación, relleno y homogeneidad de estadística.

Este punto tiene por finalidad rellenar y ampliar los datos estadísticos incompletos de cada una de las estaciones fluviométricas y pluviométricas de las 4 cuencas seleccionadas para este estudio, de manera de dar cumplimiento a los períodos de observación definidas para este estudio hidrológico. Debido, a que el objetivo general de este estudio es evaluar las escorrentías medidas por las estaciones fluviométricas a través de los modelos de precipitación-escorrentía, se evitó corregir las estadísticas observadas, de manera, de no producir alteraciones en las series de medición, siendo conveniente la posterior realización de un análisis de homogeneidad de las estadísticas fluviométricas y pluviométricas.

Para ampliar y rellenar las estadísticas de caudales y precipitaciones media anual, se estableció correlaciones lineales entre las estaciones seleccionadas, en que una de ellas tuviera obviamente el período faltante en la otra, siendo seleccionados los modelos lineales que tengan el mejor coeficiente de determinación, habiendo utilizado como valor parámetro mínimo para la serie de 0,70. En general, pese a que algunos coeficientes de determinación (R^2) son relativamente bajos, se aprecian resultados bastantes aceptables, que muestran una cierta relación entre las estadísticas registradas en las diferentes estaciones. No obstante, también se presentan casos en que algunos registros de una estación no guardan relación proporcional con los de otras estaciones cercanas, debiéndose corregir la estadísticas con coeficientes de determinación bajos. Tales casos se producen en las estaciones fluviométricas del Río Juncal en Juncal y Rio Colorado en Colorado y en las estación pluviométrica de Lagunitas.

En el Anexo 1, se adjunta el punto 2.2.5 (a) y 2.2.5 (b), los cuales expresan las gráficas de mejor coeficiente de determinación con las que se trabajarán en este estudio, de manera de ampliar y rellenar la estadística faltante de cada estación fluviométrica y pluviométricas. Por otra parte, se adjunta en el CD de respaldo las otras gráficas de coeficiente de determinación que fueron rechazadas para este estudio, debido a su bajo coeficiente respecto al elegido. Estas gráficas expresan el modelo lineal, el valor del coeficiente de determinación y la estación a la que se encuentra asociada la estación a rellenar.

En base al análisis expresado previamente, las estaciones fluviométricas fueron rellenadas bajo el siguiente modelo lineal, donde el valor de sus constantes a y b son expresados en la Tabla 2.42 junto a su coeficiente de determinación:

$$Q_y = a \cdot Q_x + b$$

En el cual, Q_y , corresponde a los datos incompletos de la estadística de caudal de la estación "y"; Q_x corresponde a los datos existentes (patrón) de la estadística de caudal de la estación "x" y a, b corresponden a las constantes del modelo lineal.

Tabla 2.42 “Constantes y coeficiente de determinación del modelo lineal para completar estadística de caudales”

Cuenca río	Estación fluviométrica	a	b	R ²
Huasco	Río Tránsito en Angostura Pinte	1,0733	1,4915	0,6636
	Río Conay en las Lozas	0,6183	0,3076	0,6636
Elqui	Estero Derecho en Alcohuaz	0,6611	0,2255	0,7668
	Río Cochiguaz en el Peñón	1,7600	0,586	0,9521
	Río Toro antes junta Río la Laguna	0,0833	0,4629	0,5952
Choapa	Río Chalinga en la Palmilla	0,2261	0,4219	0,7994
Aconcagua (Ligua- Petorca)	Río Pedernal en Tejada	0,5018	0,0762	0,7722
	Río Sobrante en Piñadero	0,7605	0,0009	0,8686
	Río Alicahue en Colliguay	1,1421	0,1665	0,8686
	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	4,2086	2,4438	0,7856
	Río Juncal en Juncal	0,1713	4,7083	0,4307
	Río Colorado en Colorado	4,871	2,1758	0,4731
	Estero Pocuro en el Sifón	0,7276	0,0152	0,7797

Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente, las estaciones pluviométricas fueron rellenadas bajo el siguiente modelo lineal, donde el valor de sus constantes a y b son expresados en la Tabla 2.43, junto a su respectivo coeficiente de correlación:

$$P_y = a * P_x + b$$

En el cual, P_y , corresponde a los datos incompletos de la estadística de precipitación de la estación “y”; P_x corresponde a los datos existentes (patrón) de la estadística de precipitación de la estación “x” y a, b corresponden a las constantes del modelo lineal.

Tabla 2.43 “Constantes y coeficiente de determinación del modelo lineal para completar estadística de precipitaciones”

Cuenca río	Estación pluviométrica	a	b	R ²
Huasco	El Corral	0,6166	5,1737	0,9078
	Tambos	0,9003	11,3090	0,9691
	El Parral	0,7885	1,7347	0,9780
Elqui	La Ortiga	1,4475	1,1482	0,8289
	Cochiguaz	0,8037	5,5529	0,9724
	Juntas	0,7495	8,4163	0,8433
	Huanta	0,7148	3,3505	0,9233
Choapa	Illapel DGA	0,8063	4,2987	0,9649
	Salamanca	1,0172	10,6490	0,8557
	Coirón	1,3363	6,2897	0,9234
Aconcagua (Ligua-Petorca)	Frutillar Alto	1,4384	26,3020	0,9422
	Lagunitas	0,7665	1085,200	0,0830
	Mina Cerro Negro	1,3850	3,7775	0,9319
	La Mostaza Hda. Alicahue	1,0515	10,4250	0,9430
	Los Andes	1,0515	10,4250	0,9430

Fuente: Elaboración Propia

Una vez definidos los modelos lineales, se procedió a rellenar y ampliar la estadística incompleta de cada estación pluviométrica y pluviométrica, de manera de completar los períodos de observación estadísticos preestablecidos. En el Anexo 1, se adjunta la Tabla 2.44, Tabla 2.45, Tabla 2.46 y Tabla 2.47, donde se expresan las estadísticas pluviométricas ampliadas y rellenadas, mientras que en la Tabla 2.48, Tabla 2.49, Tabla 2.50 y Tabla 2.51, se expresan las estadísticas pluviométricas ampliadas y rellenadas de cada estación a estudiar.

El registro de los recursos hídricos, así como su manejo racional es una preocupación actual de Chile y muchos otros países, para intensificar la explotación de recursos agrícolas, abastecer aglomeraciones urbanas e industriales cada vez mas concentradas y satisfacer el consumo energético entre otras. Sin embargo, estos objetivos dependen principalmente de la calidad de información pluviométrica y pluviométricas que se disponga, la cual, lamentablemente toda recolección de datos sufre de errores de toda naturaleza provenientes tanto del sistema de obtención como del carácter individual de la medición.

Debido, a que la información estadística que suministran las estaciones pluviométricas y pluviométricas, serán analizadas a través de los modelos de precipitación-escorrentía, se hace fundamental el comprobar la consistencia de las series observadas, las cuales fueron ampliadas y rellenadas preliminarmente. Esto se hace a través de un análisis de homogeneidad, donde se utiliza el método de las “Curvas Doble Acumulada” (C.D.A.) o “Doble Acumulación”.

Para la elaboración de la curva doble acumulada para las estaciones fluviométricas, se debe determinar el patrón fluviométrico, el cual es propio para cada cuenca a estudiar, siendo calculado en una región con régimen fluviométrico semejante, como el promedio de los caudales anuales de un conjunto de estadísticas fluviométricas cuyas series son las mejores y las mas largas de la cuenca a analizar, siendo para la cuenca del río Huasco el promedio de las estaciones Tránsito en Angostura Pinte con río Conay en las Lozas, para la cuenca del río Elqui el promedio de las estaciones Río Cochiguaz en el Peñón con Embalse Laguna, para la cuenca del río Choapa el promedio de las estaciones río Illapel en las Burras con Río Choapa en Cuncumen y finalmente para la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca) el promedio de las estaciones río Alicahue en Colliguay, río Putaendo en Resguardo los Patos con río Juncal en Juncal. A modo de síntesis se especifica la Tabla 2.52, la cual expresa las estaciones patrones de cada cuenca, seleccionadas para el análisis.

Tabla 2.52 “Estaciones para determinar patrón fluviométrico”

Cuenca	Estación fluviométrica
Huasco	Río Tránsito en Angostura Pinte
	Río Conay en las Lozas
Elqui	Río Cochiguaz en el Peñón
	Embalse Laguna
Choapa	Río Illapel en las Burras
	Río Choapa en Cuncumen
Aconcagua (Ligua-Petorca)	Río Alicahue en Colliguay
	Río Putaendo en Resguardo los Patos
	Río Juncal en Juncal

Fuente: Elaboración propia

Definido el patrón fluviométrico para cada cuenca, se acumula año a año, obteniéndose una serie de valores anuales acumulados, donde es comparado con los caudales anuales acumulados de cada estación fluviométrica existente en la cuenca a analizar, las cuales forman parte del patrón fluviométrico anual. Una vez determinado este par ordenado, se procede a graficar la información obtenida a través del cálculo, siendo colocado en el eje de las abscisas los valores año a año del patrón fluviométrico acumulado, mientras que en el eje de las ordenadas se colocan los valores año a año de los caudales anuales acumulados de la estación fluviométrica a analizar, según su respectiva cuenca de estudio.

En el Anexo 1, se adjunta la Tabla 2.53, Tabla 2.54, Tabla 2.55 y Tabla 2.56, las cuales especifican el detalle del cálculo para elaborar las curvas doble acumuladas de cada estación fluviométrica de la cuenca del río Huasco, Elqui, Choapa y Aconcagua (Ligua-Petorca) respectivamente. De igual forma, se adjunta una serie de figuras las cuales muestran las curvas doble acumuladas de cada estación fluviométricas, siendo especificadas en la Figura 2.15 las de la cuenca del río Huasco, en la Figura 2.16 las de la cuenca del río Elqui, en la Figura 2.17 las de la cuenca del río Choapa y por último en la Figura 2.18 y Figura 2.19 las de la cuenca del río Aconcagua (Ligua- Petorca).

Bajo el mismo método empleado para determinar la curva doble acumulada de las estaciones pluviométricas, se realizó la curva doble acumulada de las estaciones pluviométricas, cuyo patrón pluviométrico para cada una de las cuencas que comprenden este estudio, se obtiene a través del promedio de las estaciones especificadas en la Tabla 2.57:

Tabla 2.57 “Estaciones para determinar patrón pluviométrico”

Cuenca	Estación pluviométrica
Huasco	San Félix
	Conay Retén
	Junta del Carmen
Elqui	Pisco Elqui
	Fdo. Los Nichos
	La Laguna Embalse
	Hurtado
	Rivadavia
Choapa	Huintil Hda.
	Hda. San Agustín
	Cuncumen
	La Tranquilla
Aconcagua (Ligua-Petorca)	Hda. El Sobrante
	Hda. Chalaco
	Hda. Pedernal
	Adm. Hda Alicahue
	Los Andes
	Riecillos
	Vilcuya
	Resguardo los Patos
	San Felipe

Fuente: Elaboración propia

Una vez definidos el patrón pluviométrico acumulado, sumado a los registros acumulados de cada estación pluviométrica a analizar, se elabora la correspondiente gráfica “Curva doble acumulada”, bajo la misma metodología empleada para las estaciones pluviométricas, de manera de apreciar la calidad de los registros pluviométricos con los que serán evaluado los modelos de precipitación-escorrentía.

En el Anexo 1, se adjunta la Tabla 2.58, Tabla 2.59, Tabla 2.60 y Tabla 2.61, las cuales especifican el detalle del cálculo para elaborar las curvas doble acumuladas de cada estación pluviométrica de la cuenca del río Huasco, Elqui, Choapa y Aconcagua (Ligua-Petorca) respectivamente. De igual forma, se adjunta una serie de figuras las cuales muestran las curvas doble acumuladas de cada estación pluviométricas, siendo especificadas en la Figura 2.20 las de la cuenca del río Huasco, en la Figura 2.21 las de la cuenca del río Elqui, en la Figura 2.22 las de la cuenca del río Choapa y por último en la Figura 2.23 la de la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca).

Observando y analizando las gráficas de Curva Doble Acumulada (C.D.A.), de cada una de las estaciones fluviométricas y pluviométricas de las respectivas cuencas a estudiar, se puede deducir lo siguiente:

- En la cuenca del río Huasco, se puede observar que los datos de medición de las estaciones fluviométricas Río Conay en las Lozas y Tránsito en Angostura Pinte, siguen una tendencia lineal, no observándose anomalías en la distribución de puntos sobre la recta de tendencia, lo que permite concluir que las series medidas en estas estaciones son de buena calidad, no produciéndose heterogeneidad en la información.

A diferencia de las estaciones fluviométricas, las estaciones pluviométricas presentan un salto respecto a la tendencia de sus registros, pudiéndose apreciar que este fenómeno sucede en el año 1984 para las estaciones pluviométricas de los Tambos, el Parral y el Corral.

En general, se puede decir que los datos de caudal medidos por las estaciones fluviométricas de la cuenca del río Huasco son de buena calidad de medición, lo que le da confiabilidad a la información que puedan suministrar, para la elaboración de este estudio. Por otra parte las estaciones pluviométricas, pese a que muestran una anomalía respecto a sus mediciones, el error que generarán es tolerable para fines del estudio.

- En la cuenca del río Elqui, se puede observar que los datos de medición de las estaciones fluviométricas Estero Derecho en Alcohuaz, Río Cochiguaz en el Peñón y Embalse Laguna, siguen una tendencia lineal, no observándose anomalías en la distribución de puntos sobre la recta de tendencia, lo que permite concluir que las series medidas en estas estaciones son de buena calidad, no produciéndose heterogeneidad en la información, por otra parte, en la estación fluviométrica Río Toro antes junta Río Laguna, se puede observar un cambio de pendiente en el año 1988, siendo sus registros de medición, de todos modos de aceptable calidad para fines de este estudio.

Las estaciones pluviométricas de la Ortiga, Cochiguaz, Juntas y Huanta, siguen una tendencia lineal respecto a sus registros, lo cual permite deducir que las series medidas de estas estaciones son de buena calidad.

En general, se puede decir, al igual que en la cuenca del río Huasco, que los datos de caudal y precipitación medidos por las estaciones fluviométricas y pluviométricas respectivamente de la cuenca del río Elqui son de buena calidad de medición, lo que le da confiabilidad a la información que puedan suministrar, para la elaboración de este estudio.

- En la cuenca del río Choapa, se puede observar que los datos de medición de las estaciones fluviométricas Río Illapel en las Burras, Río Choapa en Cuncumen y Río Chalinga en la Palmilla, siguen una tendencia lineal, no observándose anomalías en la distribución de puntos sobre la recta de tendencia, lo que permite concluir que las series medidas en estas estaciones son de buena calidad, no produciéndose heterogeneidad en la información.

Por otra parte, las estaciones pluviométricas de Salamanca, Illapel DGA y Coirón, presentan una buena calidad de registros, debido a que su estadística siguen una tendencia lineal, no produciéndose heterogeneidad en la información.

En general, se puede decir, al igual que en la cuenca del río Huasco y Elqui, que los datos de caudal y precipitación medidos por las estaciones fluviométricas y pluviométricas de la cuenca del río Choapa son de buena calidad de medición, pese a presentar pequeña anomalías, las cuales son tolerables para fines de este estudio.

- Finalmente, en la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca), se puede observar que los datos de medición de las estaciones fluviométricas Río Pedernal en Tejada, Río Alicahue en Colliguay, Río Sobrante en Piñadero, Río Putaendo en Resguardo los Patos, Río Juncal en Juncal y Estero Pocuro en el Sifón, siguen una tendencia lineal, no observándose grandes anomalías en la distribución de puntos sobre la recta de tendencia, lo que permite concluir que las series medidas en estas estaciones son de buena calidad, no produciéndose heterogeneidad importante en la información.

Por otra parte, en las estaciones fluviométricas Río Colorado en Colorado se puede observar un cambio de pendiente en la serie de medición en el año 1994, siendo su registros de medición, de todos modos, de aceptable calidad para fines de este estudio.

Respecto a las estaciones pluviométricas de Frutillar Alto, Mina Cerro Negro, la Mostaza Hacienda Alicahue y Lagunitas, se aprecia una buena calidad de sus registros, pudiéndose observar una linealidad respecto a su información estadística, siendo de aceptable calidad de medición para este estudio.

En general, se puede decir, al igual que en la cuenca del río Huasco, Elqui y Choapa, que los datos de caudal y precipitación medidos por las estaciones fluviométricas y pluviométricas de la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca) son de aceptable calidad de medición, lo que le da confiabilidad a la información que puedan suministrar, para la elaboración de este estudio.

2.2.6 Definición de las subcuencas.

En base al concepto de que las subcuencas hidrográficas son zonas de la cuenca, de drenaje o captación donde se junta el agua de las montañas y corre río abajo para alimentar los ríos principales y lagos, antes de desembocar al mar, se hace fundamental, el conocer la morfología de la superficie terrestre de cada una de las cuencas seleccionadas para este estudio. Para ello se obtuvieron las planchetas de cada una de las cuencas, a través del Instituto Geográfico Militar, organismo que es el encargado de digitalizar la cartografía de todo el territorio nacional.

En específico para este estudio fueron utilizadas las planchetas que se especifican en la Tabla 2.62, cuyas láminas se encuentran confeccionadas a una escala de 1:250000, las cuales expresan los cursos de aguas existentes en cada una de las cuencas y sus respectivas curvas de nivel, confeccionadas cada 200 (m.s.n.m).

Tabla 3.62 “Código de láminas, de las planchetas”

Cuenca	Código láminas
Huasco	El Tránsito, Hoja N°23 (2800-6900) 3° Edición 2011 Guanta, Hoja N°25 (2900-6915) 3° Edición 2010 (parte norte)
Elqui	Guanta, Hoja N°25 (2900-6915) 3° Edición 2010 (parte sur) Pisco Elqui, Hoja N°27 (3000-6930) 3° Edición 2010
Choapa	Illapel, Hoja N°28 (3100-7000) 3° Edición 2011
Aconcagua (Ligua- Petorca)	Quillota, Hoja N°29 (3200-6950) 1° Edición 2010

Fuente Elaboración propia en base a registros del Instituto Geográfico Militar”

Posteriormente son ubicadas, en las respectivas planchetas, las 16 estaciones fluviométricas seleccionadas para las 4 cuencas a estudiar, las cuales generarán las respectivas subcuencas que posteriormente serán analizadas a través de los modelos de precipitación-escorrentía.

La subcuenca que se genera a través de una estación fluviométrica, busca el encontrar el área de terreno aportante de todo el escurrimiento superficial de agua, producidas por las precipitaciones y que es transportado hasta el punto de evaluación (estación fluviométricas) a través de los ríos. Esta área aportante se construyó tomando como punto de referencia la estación de medición, siendo trazado desde ahí, rectas continuas que vayan englobando perimetralmente el área aportante de escurrimiento, cuyos vértices son generalmente los puntos mas altos de los cerros que conforman la subcuenca. Este procedimiento fue generado para cada una de las 16 estaciones fluviométricas a evaluar, donde se obtuvieron subcuencas, con los siguientes nombres y áreas aportantes, cuyo detalle se muestra en la Tabla 2.63:

Tabla 2.63 "Área aportante de cada subcuenca"

Cuenca río	Subcuenca	Área aportante (Km²)
Huasco	Río Tránsito en Angostura Pinte	2832,7
	Río Conay en las Lozas	1815,0
Elqui	Estero Derecho en Alcohuaz	415,1
	Río Cochiguaz en el Peñón	594,7
	Río Toro antes junta Río la Laguna	424,0
	Embalse Laguna	521,9
Choapa	Río Illapel en las Burras	618,4
	Río Chalinga en la Palmilla	206,4
	Río Choapa en Cuncumen	1133,5
Aconcagua (Ligua-Petorca)	Río Pedernal en Tejada	60,1
	Río Sobrante en Piñadero	218,6
	Río Alicahue en Colliguay	343,0
	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	961,3
	Río Juncal en Juncal	225,2
	Río Colorado en Colorado	849,2
	Estero Pocuro en el Sifón	171,1

Fuente: Elaboración propia en base a planos hipsométricos.

A modo de conocer, las forma y tamaño de cada una de las 16 subcuencas generadas, se adjunta en el CD de respaldo las planchetas a escala 1:1, la cual contiene a cada una de las subcuencas juntos a sus respectivas curvas de nivel.

Observando y analizando el universo total de las subcuencas generadas en las planchetas de cada cuenca, se puede apreciar que las áreas aportantes, se encuentran localizadas en los sectores mas altos de cada cuenca, incluyendo la gran mayoría de ellas territorio importante de la cordillera de los Andes. Esto permite confirmar de que las estaciones fluviométricas seleccionadas se encuentran asociadas a un régimen nivo-pluvial, donde no solamente la precipitación es un factor de aporte a la escorrentía, sino que también el derretimiento de la nieve de la cordillera, siendo un factor importante para esto, la variación de temperatura, la cual se comporta de manera distinta para cada una de las regiones a estudiar. Se estima aproximadamente que sobre los 2000 [m.s.n.m] se aprecia precipitación en forma de agua y de nieve, o sea, que presenta las subcuencas características nivo-pluvial.

2.2.7 Cálculo de las variables fundamentales del estudio.

Debido a que este estudio, busca analizar el funcionamiento de los modelos de precipitación-escorrentía, es fundamental el calcular cada una de las variables que forman parte de estos modelos, las cuales son: el caudal, precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial a nivel medio anual. Con la finalidad de clarificar el procedimiento, para obtener cada una de estas variables, basta sólo con explicar una de estas subcuencas con detalle, debido a que la metodología del cálculo es la misma para cada subcuenca a analizar, siendo elegida para el cálculo de caudal, precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial a nivel medio anual la subcuenca Río Juncal en Juncal, localizada en la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca).

Antes de obtener el valor de cada una de estas variables, es preciso, elegir un nuevo período de años de observación, debido a que los períodos definidos en el punto 2.2.5.1, resumidos en la Tabla 2.32 fueron definidos con el propósito de ampliar, rellenar y realizar el análisis de homogeneidad.

Lo que se pretende con establecer un nuevo período de observación de estadística, es que se eliminen cierto años de registros que presentaban anomalías respecto a la Curva Doble Acumulada y a su vez que las variables que se utilizan en los modelos de precipitación-escorrentía sean calculadas con igual cantidad de registros estadísticos, de manera de dar una uniformidad y confiabilidad de los datos de entradas que se aplicarán para este estudio. Por lo tanto, desde aquí en adelante, el estudio se regirá bajo 32 años de estadística observada, lo cual abarca el período de 1980 al 2011. Los detalles de cada uno de estos cálculos se explican a continuación:

2.2.7.1 Caudal medio anual.

Como se especificó previamente, el cálculo del caudal medio anual, será explicado a través de la subcuenca Río Juncal en Juncal, la cual forma parte de la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca), cuyos registros de la estación fluviométrica de medición deberán respetar el nuevo período definido para el análisis de los modelos de precipitación-escorrentía.

Una vez que la estadística fluviométrica es ampliada, rellenada y analizada su homogeneidad, se encuentra en condiciones para calcular su caudal medio anual, el cual no es más ni menos, que el promedio de los 32 años de registro de la estación fluviométrica Río Juncal en Juncal, el cual da un valor de 6,02 (m³/s).

De esta misma manera se obtuvo el valor del caudal medio anual para cada una de las estaciones fluviométricas de las 16 subcuencas generadas en el estudio, cuyos valores se expresan en la siguiente Tabla 2.64:

Tabla 2.64 “Caudal medio anual de cada estación fluviométrica”

Cuenca del río	Subcuenca	Altura (m.s.n.m.)	Q ma (m ³ /s)
Huasco	Río Tránsito en Angostura Pinte	1225	4,03
	Río Conay en las Lozas	1560	2,14
Elqui	Estero Derecho en Alcohuaz	1971	1,35
	Río Cochiguaz en el Peñón	1360	2,96
	Río Toro antes junta Río la Laguna	2091	0,70
	Embalse Laguna	3130	2,27
Choapa	Río Illapel en las Burras	1079	2,81
	Río Chalinga en la Palmilla	1431	1,06
	Río Choapa en Cuncumen	1200	10,17
Aconcagua (Ligua-Petorca)	Río Pedernal en Tejada	1600	0,39
	Río Sobrante en Piñadero	1400	1,15
	Río Alicahue en Colliguay	780	1,49
	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	1218	8,49
	Río Juncal en Juncal	1800	6,02
	Río Colorado en Colorado	1100	6,60
	Estero Pocuro en el Sifón	1000	0,98

Fuente: Elaboración propia en base a registros estadísticos provenientes de la D.G.A.

2.2.7.2 Precipitación medio anual.

Como se especificó previamente, el cálculo de la precipitación medio anual, será explicado a través de la subcuenca Río Juncal en Juncal, la cual forma parte de la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca), cuyos registros de la estación pluviométrica de medición deberá respetar los 32 años de estadística observada definida previamente, comprendiendo el período de 1980 al 2011.

Para poder calcular la precipitación media anual, es esencial el conocer las características morfológicas de la subcuenca Río Juncal en Juncal, de manera de poder tener una idea representativa de las peculiaridades hidrológicas que presente la superficie terrestre de la subcuenca. Para ello se procede a elaborar la “Curva Hipsométrica”, que es característica de la subcuenca a analizar, la cual permitirá relacionar las cotas de elevación en función del área de drenaje acumulado de la superficie terrestre.

Para confeccionar la “Curva hipsométrica” de la subcuenca Río Juncal en Juncal, se recurre a las planchetas especificadas en la Tabla 2.62 para la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca), las cuales fueron obtenidas a través del Instituto Geográfico Militar. Debido a que las curvas de nivel, expresadas en este plano vienen cada 200 (m), se procede a determina el área drenada acumulada de terreno para cada una de las curvas de nivel que forman a la subcuenca, logrando obtener los siguientes resultados expresados en la Tabla 2.65:

Tabla 2.65 “Valores de altura y área para formar la Curva Hipsométrica”.

Altura (m)	Área (Km²)
1800	0
2000	0,1
2200	0,5
2400	9,8
2600	20,9
2800	39,6
3000	62,2
3200	94,6
3400	124,4
3600	153,9
3800	181,8
4000	198,3
4200	213,0
4400	217,8
4600	221,3
4800	223,2
5000	225,0
5200	225,2

Fuente: Elaboración Propia en base a planos proveniente del I.G.M.

Una vez obtenidos los puntos de la Tabla 2.65, se construye la “Curva Hipsométrica”, llevando al eje de las abscisas, los valores de la superficie drenada, proyectada en Km² o en porcentaje, obtenida hasta un determinado nivel, el cual se lleva al eje de las ordenadas, generalmente en Km o porcentaje.

De esta forma, se logra construir la curva hipsométrica de la subcuenca Río Juncal en Juncal, la cual es una forma conveniente y objetiva de describir la relación entre la propiedad altimétrica de la subcuenca en un plano y su elevación, siendo representada la gráfica de ésta en la Figura 2.24.

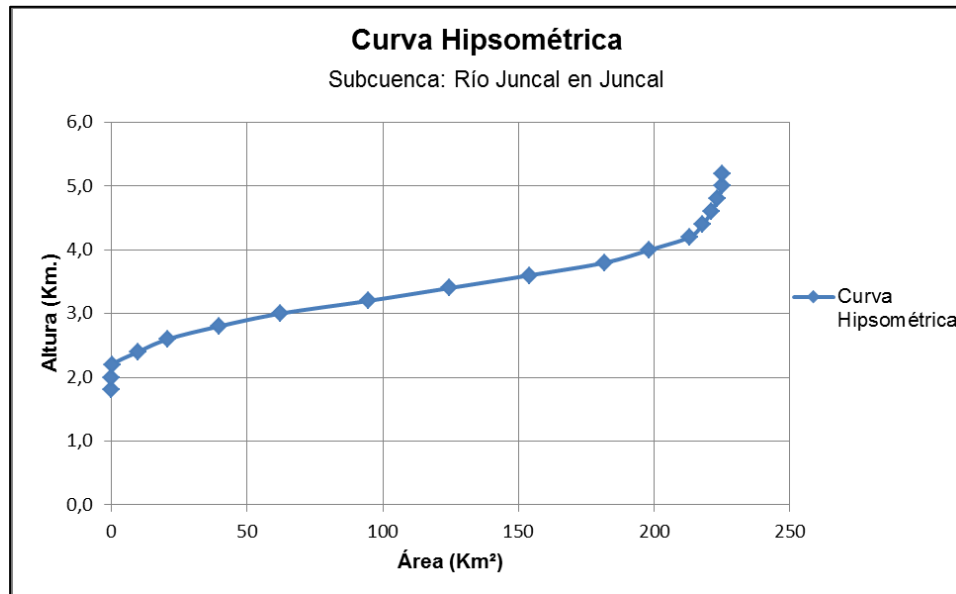


Figura 2.24 "Curva Hipsométrica de la subcuenca Río Juncal en Juncal"

Observando y analizando los datos representados en la Tabla 2.65 y la curva hipsométrica construida en la Figura 2.24, se aprecia de que la subcuenca Río Juncal en Juncal, consta con una superficie de drenaje total de 225,2 (Km²), donde la subcuenca nace a una cota de elevación de 1800 (m.s.n.m.) correspondiente al punto de registro fluviométrico, hasta llegar a su máxima altitud de 5200 (m.s.n.m.). De la morfología de la subcuenca se puede decir, que en los primeros 25(Km²), la subcuenca presenta una brusca crecida de su elevación, siendo mas suave ésta entre los 25 y 200 (Km²) volviendo a ser brusca su elevación en la zona mas cordillerana, comprendida entre los 200 y 225,2(Km²) de superficie.

En el Anexo 1, se adjunta la Tabla 2.66, la cual especifica los valores de área de drenaje acumulada de cada una de las subcuenas generadas para este estudio, respecto a sus cotas de elevación, siendo graficadas cada una de sus "Curvas Hipsométricas", en las Figura 2.25, Figura 2.26, Figura 2.27 y Figura 2.28.

Conocida las características morfológicas que tiene la subcuenca Río Juncal en Juncal, es necesario el conocer el como se distribuye la precipitación sobre la superficie de la subcuenca que se analiza. Para ello se hace esencial conocer la precipitación media anual de cada una de las estaciones pluviométricas seleccionadas para la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca), cuyos valores se calculan a través del promedio de los 32 años de registros de cada estación pluviométrica seleccionada, los resultados se expresan en la Tabla 2.67:

Tabla 2.67 "Precipitación media anual de estaciones pluviométricas para la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca)".

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Precipitación media anual (mm)
1	Frutillar Alto	780	287,1
2	Hda. El Sobrante	810	215,9
3	Hda. Chalaco	880	235,6
4	Hda. Pedernal	1100	280,0
5	Lagunitas	2766	927,7
6	Mina Cerro Negro	650	312,7
7	Adm. Hda Alicahue	750	287,2
8	La Mostaza Hda. Alicahue	1200	312,0
9	Los Andes	820	262,7
10	Riecillos	1290	516,6
11	Vilcuya	1100	375,4
12	Resguardo Los Patos	1220	290,5
13	San Felipe	640	223,1

Fuente: Elaboración propia en base a registros estadísticos de la D.G.A

La finalidad de contar con la información que posee la Tabla 2.67, consiste en la confección de una gráfica Altitud versus Precipitación media anual, cuyo modelo lineal, permitirá representar la precipitación que cae sobre la superficie de la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca), en función de la altura que se disponga a evaluar, el cual se correlaciona directamente con la "Curva Hipsométrica" de la subcuenca Río Juncal en Juncal a través de la altitud. Esta gráfica se confecciona, colocando en la abscisa las variables de altitud y en la ordenada las variables de precipitación media anual de cada estación pluviométrica, cuya gráfica se expresa en la Figura 2.29:

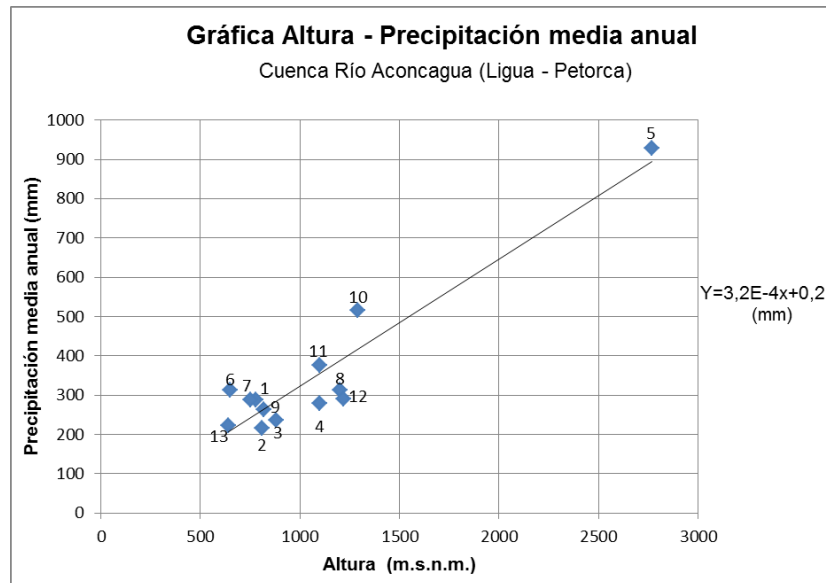


Figura 2.29 "Gráfica Altura – Precipitación media anual de la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca)"

De la gráfica Altura – Precipitación media anual, se puede observar que la línea de tendencia que forman las mediciones de las 13 estaciones pluviométricas, es de pendiente positiva, lo que expresa que la precipitación media anual aumenta a medida que la altitud a analizar de la cuenca crece, debido a una influencia orográfica en la precipitación. Este modelo lineal, es fundamental para correlacionar esta gráfica con la “Curva Hipsométrica” de la subcuenca a analizar, el cual se representa bajo la siguiente expresión:

$$P_i = 3,2 \cdot 10^{-4} \cdot H_i + 0,2$$

Donde:

P_i Precipitación media anual en la altitud i (mm)
 H_i Altitud i (mm)

En el Anexo 1, se adjuntan la Tabla 2.68, Tabla 2.69 y Tabla 2.70, las cuales expresan los valores de la precipitación media anual de las estaciones pluviométricas de la cuenca del río Huasco, Elqui y Choapa respectivamente. Además, se incluyen en las Figura 2.30, Figura 2.31 y Figura 2.32 las correspondientes gráficas Altura – Precipitación media anual, de las cuencas faltantes.

Conocida la morfología de la subcuenca Río Juncal en Juncal (Curva Hipsométrica) y como se distribuye la precipitación sobre la cuenca del río Aconcagua (Gráfica Altura – Precipitación media anual), se procede a determinar el valor de la Precipitación medio anual de la subcuenca a analizar. Para ello el área de drenaje total de la subcuenca, representado en la “Curva Hipsométrica” de la Figura 2.24, es dividido en 10 intervalos de 22,5 (Km²), los cuales estarán asociados a determinados valores de altitud, obtenidos a través de una interpolación lineal con las “Curva Hipsométrica” original. Esto generará la formación de una nueva “Curva Hipsométrica Standard”, lo cual busca el homogenizar la cantidad de intervalos, debido a que no todas las subcuencas cuentan con la misma cantidad de información, siendo parte de la “Curva Hipsométrica Original”, tal como se muestra a modo de ejemplificación en la Figura 2.33:

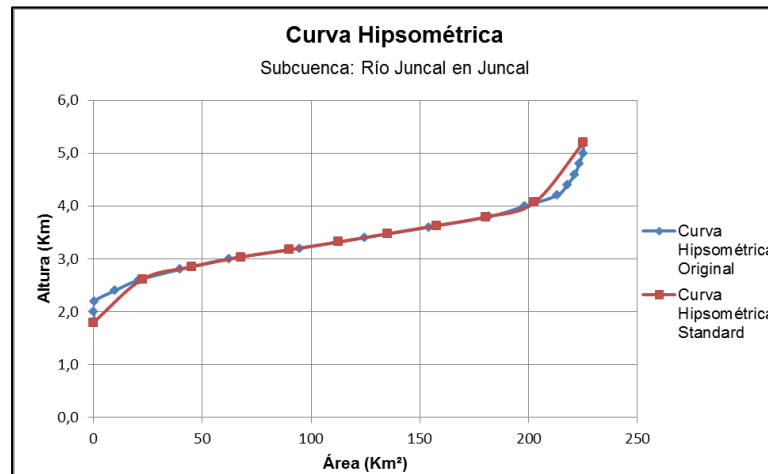


Figura 2.33 “Comparación entre la Curva Hipsométrica Original y la Curva Hipsométrica Standard”

Luego de que se elaboró la “Curva Hipsométrica Standard”, esta es integrada bajo la curva, cuya variable de Altitud, obtenida como la altitud media del intervalo, es evaluada en el modelo lineal obtenido de la “Gráfica Altura – Precipitación media anual”, pudiéndose obtener un valor parcial del intervalo, cuya sumatoria finalmente da un valor de la precipitación media anual, para la subcuenca Río Juncal en Juncal, perteneciente a la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca), de 1060,73(mm). El detalle de todo este proceso de cálculo para la subcuenca a analizar, es expresado en la Tabla 2.71:

Tabla 2.71 "Cálculo de Precipitación media anual de la subcuenca Río Juncal en Juncal"

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Pi(m)	Api (Km ²)	Pi*Api (m*Km ²)
1	0,0	22,5	1,800	2,618	2208,889	0,714	22,52	16,073
2	22,5	45,0	2,618	2,851	2734,229	0,883	22,52	19,895
3	45,0	67,6	2,851	3,035	2942,988	0,951	22,52	21,413
4	67,6	90,1	3,035	3,175	3105,112	1,003	22,52	22,593
5	90,1	112,6	3,175	3,321	3248,096	1,049	22,52	23,633
6	112,6	135,1	3,321	3,475	3398,367	1,098	22,52	24,726
7	135,1	157,6	3,475	3,631	3553,372	1,148	22,52	25,854
8	157,6	180,2	3,631	3,793	3712,351	1,199	22,52	27,010
9	180,2	202,7	3,793	4,065	3929,418	1,269	22,52	28,589
10	202,7	225,2	4,065	5,200	4000,000	1,292	22,52	29,103
						Σ	225,2	238,890

Pma (mm)	1060,73
----------	---------

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a estudios realizados en la parte alta del río Aconcagua (Ligua-Petorca) se ha limitado la relación precipitación-altura a 4000 (m.s.n.m.), es decir que a partir de esta altitud las precipitaciones se han mantenido constante. Cabe indicar que la diferencia de precipitaciones medias entre limitar y no limitar la relación precipitación-altura para las cuencas más altas (Huasco y Elqui), serian en el peor de los casos de un orden de un 4,7%.

En el Anexo 1, se adjunta desde la Tabla 2.72 hasta la Tabla 2.86, el detalle del cálculo de la precipitación media anual para cada una de las subcuencas faltantes.

Bajo el mismo procedimiento presentando en este punto, se obtuvo el valor de la precipitación medio anual para cada una de las 16 subcuencas generadas en este estudio, cuyos valores se expresan en la Tabla 2.87:

Tabla 2.87 "Precipitación media anual de cada subcuenca generada.

Cuenca del río	Subcuenca	Altura (m.s.n.m.)	Pma (mm)
Huasco	Río Tránsito en Angostura Pinte	1225	101,65
	Río Conay en las Lozas	1560	103,34
Elqui	Estero Derecho en Alcohuaz	1971	162,67
	Río Cochiguaz en el Peñón	1360	163,29
	Río Toro antes junta Río la Laguna	2091	171,89
	Embalse Laguna	3130	178,19
Choapa	Río Illapel en las Burras	1079	604,56
	Río Chalinga en la Palmilla	1431	629,00
	Río Choapa en Cuncumen	1200	616,68
Aconcagua (Ligua-Petorca)	Río Pederal en Tejada	1600	841,73
	Río Sobrante en Piñadero	1400	863,86
	Río Alicahue en Colliguay	780	786,17
	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	1218	924,76
	Río Juncal en Juncal	1800	1081,17
	Río Colorado en Colorado	1100	1000,87
	Estero Pocuro en el Sifón	1000	595,41

Fuente Elaboración propia en base a registros estadísticos provenientes de la D.G.A.

Finalmente de los valores obtenidos de la precipitación media anual para cada una de las subcuencas generadas para este estudio, los cuales se expresan en la Tabla 2.87, se puede apreciar de que en la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca) es donde se produce la mayor cantidad de precipitación media anual, disminuyendo a medida que se avanza hacia la cuencas ubicadas en dirección norte, lo cual permite representar la variación hidrológica, presente a lo largo de Chile, donde es sabido que las mayores concentraciones de precipitación se generan en el sur del país, disminuyendo hacia la zona central y siendo más escasa en la zona norte de Chile.

2.2.7.3 Temperatura medio anual.

Como se especificó preliminarmente, el cálculo de la temperatura medio anual, también será explicado a través de la subcuenca Río Juncal en Juncal, la cual forma parte de la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca), cuyos registros de las estaciones de temperatura de medición deberán ser lo más representativo posible a la cuenca a analizar, debido a que más que importar el período de observación de los registros estadísticos, interesa la distribución de las estaciones de medición sobre la superficie, siendo lo más conveniente el tener registros en zonas alta y media de la cuenca a estudiar, debiéndose cumplir lo mencionado en el punto 2.2.3 de este estudio, titulado como “Criterios para selección de estaciones”.

Al igual que la precipitación, para poder calcular la temperatura media anual, es esencial el conocer las características morfológicas de la subcuenca Río Juncal en Juncal, de manera de poder tener una idea representativa de las peculiaridades hidrológicas y climáticas que se presentan en la superficie y atmósfera terrestre de la subcuenca a analizar. Debido a que la metodología para obtener esta curva, es la misma que se planteó para el cálculo de la precipitación media anual, dando como resultado la “Curva Hipsométrica” expuesta en la Figura 2.24 del punto 2.2.7.2, se procede a analizar el como la temperatura media anual se comporta sobre la superficie de la subcuenca a analizar.

En el estudio del “Balance Hídrico Nacional”, realizado para la Dirección General de Aguas, se puede apreciar que el análisis del comportamiento de la temperatura sobre la superficie terrestre, se realiza a nivel regional, por lo tanto, para este estudio, se analizará dicho comportamiento bajo las 3 regiones de Chile preestablecidas en el marco referencial de este estudio, considerando en la 3° Región de Chile el análisis de la cuenca del río Huasco, en la 4° Región de Chile el análisis de las cuencas del río Elqui y Choapa y finalmente en la 5° Región de Chile el análisis de la cuenca del Río Aconcagua (Ligua – Petorca).

Para ello se hace esencial conocer la temperatura media anual de cada una de las estaciones de temperatura seleccionadas para 5° región de Chile, cuyos valores se calculan a través del promedio de la temperatura media anual registrada por cada estación de temperatura seleccionada para esa zona, los resultados se especifican en la Tabla 2.88:

Tabla 2.88 “Temperatura media anual de estaciones de temperatura para la 5° Región de Chile”.

Código	Estación de temperatura	Altura (m.s.n.m.)	Temperatura medio anual (°C)
1	Vilcuya	1100	16,3
2	Cristo Redentor	3830	-1,6
3	El Yeso Embalse	2475	8,4
4	Juncal	2217	10,1
5	Lagunitas	2766	6,4

Fuente: Elaboración propia en base a registros estadísticos de la D.G.A.

La finalidad de contar con la información que posee la Tabla 2.88, consiste en la confección de una gráfica Altura versus Temperatura media anual, cuyo modelo lineal, permitirá representar el comportamiento de la temperatura existente sobre la superficie terrestre de la 5° Región de Chile, en función de la altura que se disponga a evaluar, el cual se correlaciona directamente con la “Curva Hipsométrica” de la subcuenca Río Juncal en Juncal a través de la altitud. Esta gráfica se confecciona, colocando en la abscisa las variables de altitud en metros y en la ordenada las variables de temperatura media anual de cada estación de temperatura en grados Celsius (°C), cuya gráfica se expresa en la Figura 2.34:

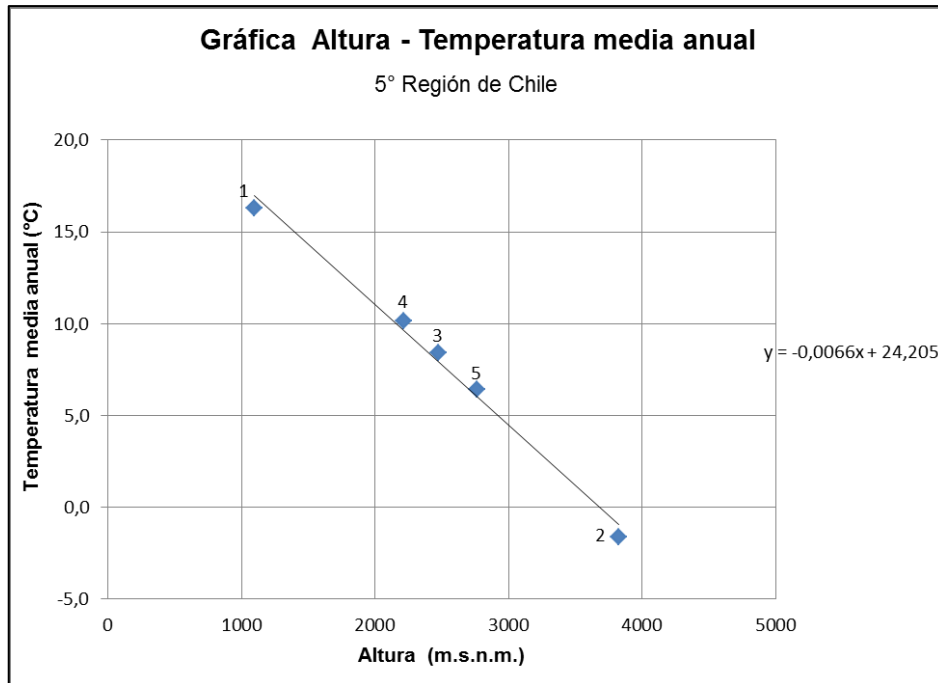


Figura 2.34 “Gráfica Altura – Temperatura media anual de la 5° Región de Chile”.

La gráfica Altura - Temperatura medio anual, permite expresar como se comporta la temperatura a medida que se aumenta o disminuye la altitud de estudio, donde específicamente en la Figura 2.34 se puede observar que la línea de tendencia que forman las mediciones de las 5 estaciones de temperatura (Tabla 2.88), es de pendiente negativa, lo cual expresa que la temperatura media anual disminuye a medida que la altitud a analizar aumenta. El modelo lineal generado por los registros de las estaciones de temperatura es fundamental para el análisis del comportamiento atmosférico, debido a que la pendiente de este modelo, representa lo que se conoce como gradiente térmico atmosférico, cuyo valor especifica la cantidad de grados Celsius que decrece la temperatura a medida que se asciende en el análisis cada 100 (m.) de altitud. Por lo tanto según el modelo lineal obtenido en la Figura 2.33, el valor del gradiente térmico atmosférico, para la 5° Región de Chile es de $-0,657(^{\circ}\text{C}/100\text{m})$, o expresado de otra manera $-0,0066(^{\circ}\text{C}/\text{m})$.

El valor del gradiente térmico atmosférico es típico y representativo de cada zona a estudiar, pudiendo tomar valores entre $-0,6(^{\circ}\text{C}/100\text{m})$ a $-0,7(^{\circ}\text{C}/100\text{m})$, desde la tercera a la quinta región de Chile, parámetros aproximados que son expuestos por el estudio del Balance Hídrico Nacional. En base a los resultados del gradiente térmico atmosférico obtenido para cada región a analizar, los cuales se expresan en la Tabla 2.89, se puede apreciar que el valor del gradiente más alto de las zonas de estudio, se produce en la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca), mientras que el más bajo se produce en la cuenca del río Huasco.

Tabla 2.89 “Valor del gradiente térmico atmosférico para cada región de estudio”

Región de análisis	Cuenca del río	Gradiente térmico atmosférico (°C/100m)
3°	Huasco	-0,623
4°	Elqui	-0,646
	Choapa	
5°	Aconcagua (Ligua-Petorca)	-0,657

Fuente: Elaboración Propia en base a información estadística recopilada para el estudio.

En base a lo expuesto anteriormente, el modelo lineal, es fundamental para correlacionar la gráfica “Altura – Temperatura media anual” con la “Curva Hipsométrica” de la subcuenca Río Juncal en Juncal, el cual se representa bajo la siguiente expresión:

$$T_i = -0,00657 \cdot H_i + 24,205$$

Donde:

T_i Temperatura media anual en la altitud i (°C)
 H_i Altitud i (m)

En el Anexo 1, se adjuntan la Tabla 2.90 y Tabla 2.91, las cuales expresan los valores de la temperatura media anual de las estaciones de temperatura de la 3° y 4° región de Chile, respectivamente. Además, se incluyen en las Figura 2.35 y Figura 2.36 las correspondientes gráficas Altura – Temperatura media anual, de las regiones faltantes.

Conocida la morfología de la subcuenca Río Juncal en Juncal (Curva Hipsométrica) y como se comporta la temperatura sobre la 5° Región de Chile (Gráfica Altura – Temperatura media anual), se procede a determinar el valor de la Temperatura medio anual de la subcuenca a analizar. Utilizando como base la metodología expuesta en el punto 2.2.7.2, para obtener la “Curva Hipsométrica Standard” expuesta en la Figura 2.33, ésta es integrada bajo la curva cuya variable de Altitud, obtenida como la altitud media del intervalo, es evaluada en el modelo lineal obtenido de la “Gráfica Altura – Temperatura media anual”, pudiéndose obtener un valor parcial del intervalo, cuya sumatoria finalmente da un valor de la temperatura media anual, para la subcuenca Río Juncal en Juncal, perteneciente a la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca), de 2,21 (°C). En la Tabla 2.92, se especifica todo el detalle del proceso del cálculo para poder obtener la temperatura media anual de la subcuenca a analizar y de la cual se puede apreciar el comportamiento planteado de la temperatura a medida que la altura de análisis aumenta.

Tabla 2.92 "Cálculo de Temperatura media anual de la subcuenca Río Juncal en Juncal"

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Ti(°C)	Api (Km ²)	Ti*Api (°C*Km ²)
1	0,0	22,5	1,800	2,618	2208,9	9,7	22,52	218,130
2	22,5	45,0	2,618	2,851	2734,2	6,2	22,52	140,359
3	45,0	67,6	2,851	3,035	2943,0	4,9	22,52	109,454
4	67,6	90,1	3,035	3,175	3105,1	3,8	22,52	85,453
5	90,1	112,6	3,175	3,321	3248,1	2,9	22,52	64,286
6	112,6	135,1	3,321	3,475	3398,4	1,9	22,52	42,039
7	135,1	157,6	3,475	3,631	3553,4	0,8	22,52	19,092
8	157,6	180,2	3,631	3,793	3712,4	-0,2	22,52	-4,443
9	180,2	202,7	3,793	4,065	3929,4	-1,6	22,52	-36,578
10	202,7	225,2	4,065	5,200	4632,7	-6,2	22,52	-140,692
						Σ	225,2	497,101

Tma (°C)	2,21
-----------------	------

Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo 1, se adjunta desde la Tabla 2.93 hasta la Tabla 2.107, el detalle del cálculo de la precipitación media anual para cada una de las subcuencas faltantes.

Bajo el mismo procedimiento presentando en este punto, se obtuvo el valor de la precipitación medio anual para cada una de las 16 subcuencas generadas en este estudio, cuyos valores se expresan en la siguiente Tabla 2.108:

Tabla 2.108 "Temperatura media anual de cada subcuenca generada.

Cuenca del río	Subcuenca	Altura (m.s.n.m.)	Pma (mm)
Huasco	Tránsito en Angostura Pinte	1225	99,44
	Río Conay en las Lozas	1560	100,71
Elqui	Estero Derecho en Alcohuaz	1971	160,89
	Río Cochiguaz en el Peñón	1360	161,73
	Río Toro antes junta Río la Laguna	2091	166,27
	Embalse Laguna	3130	169,88
Choapa	Río Illapel en las Burras	1079	438,30
	Río Chalinga en la Palmilla	1431	450,96
	Río Choapa en Cuncumen	1200	441,31
Aconcagua (Ligua-Petorca)	Río Pedernal en Tejada	1600	841,73
	Río Sobrante en Piñadero	1400	863,86
	Río Alicahue en Colliguay	780	786,17
	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	1218	922,38
	Río Juncal en Juncal	1800	1060,73
	Río Colorado en Colorado	1100	989,54
	Estero Pocuro en el Sifón	1000	595,41

Fuente Elaboración propia en base a registros estadísticos provenientes de la D.G.A.

2.2.7.4 Evapotranspiración potencial medio anual.

Finalmente, el cálculo de la evapotranspiración potencial medio anual (ETP), también será explicado a través de la subcuenca Río Juncal en Juncal, la cual forma parte de la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca), donde la metodología de cálculo empleado para determinar esta variable, es la misma expresada para la precipitación y temperatura media anual.

A diferencia de las variables de precipitación y temperatura, las cuales se obtiene su información a través de registros estadísticos provenientes de sus respectivas estaciones de medición, la evapotranspiración potencial, obtiene esta información a través del “Visualizador electrónico de la cartografía de la evapotranspiración potencial en Chile”, programa realizado por la comisión nacional de riego, el año 2000, el cual expresa los valores de la ETP, para cualquier coordenada geográfica de interés.

Con la finalidad de representar las características de la evapotranspiración potencial, presente en cada una de las cuencas de análisis, se utilizaron las mismas coordenadas geográficas de las estaciones pluviométricas, de manera de poder obtener los valores de precipitación y ETP en las mismas coordenada de análisis.

Al igual que las otras variables, para poder calcular la evapotranspiración potencial media anual, es esencial el conocer las características morfológicas de la subcuenca Río Juncal en Juncal, cuya morfología se expresa a través de la “Curva Hipsométrica” que se representa en la Figura 2.23 del punto 2.2.7.2.

Conocida las características terrestres que tiene la subcuenca a analizar, es necesario el conocer el comportamiento de la evapotranspiración potencial sobre la superficie de la subcuenca. Para ello se hace esencial conocer los valores medio anual de la variable, para cada una de las estaciones seleccionadas para la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca), las cuales como se expreso previamente serán las mismas coordenada de las estaciones utilizadas para el cálculo de la precipitación. En base a estas estaciones y gracias al visualizador de la ETP en Chile, se expresan en la Tabla 2.109 los siguientes resultados:

Tabla 2.109 “Evapotranspiración potencial de la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca)”.

Código	Estación	Altura (m.s.n.m)	ETP media anual (mm)
1	Frutillar Alto	780	1279,0
2	Hda. El Sobrante	810	1222,0
3	Hda. Chalaco	880	1233,0
4	Hda. Pedernal	1100	1196,0
5	Lagunitas	2766	255,0
6	Mina Cerro Negro	650	1280,0
7	Adm. Hda Alicahue	750	1232,0
8	La Mostaza Hda. Alicahue	1200	1195,0
9	Los Andes	820	1414,0
10	Riecillos	1290	1176,0
11	Vilcuya	1100	1209,0
12	Resguardo los Patos	1220	1203,0
13	San Felipe	640	1303,0

Fuente: Elaboración propia en base a registros del visualizador de la ETP en Chile.

La finalidad de contar con la información que posee la Tabla 2.109, consiste en la confección de una gráfica Altura versus ETP media anual, cuyo modelo lineal, permitirá representar el comportamiento de la ETP existente sobre la superficie terrestre de la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca), en función de la altura que se disponga a evaluar, la cual se correlaciona directamente con la “Curva Hipsométrica” de la subcuenca Río Juncal en Juncal a través de la altitud. Esta gráfica se confecciona, colocando en la abscisa las variables de altitud y en la ordenada las variables de evapotranspiración potencial media anual de cada estación seleccionada, cuya gráfica se expresa en la Figura 2.37:

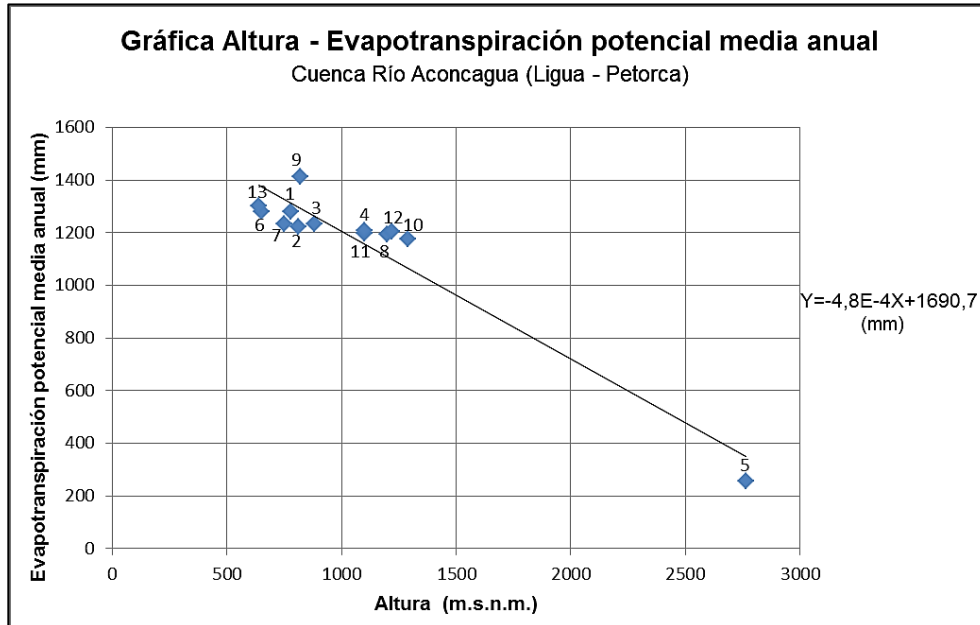


Figura 3.37 “Gráfica Altura – ETP media anual de la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca)”.

La gráfica Altura –ETP medio anual, permite expresar como se comporta la evapotranspiración potencial a medida que se aumenta o disminuye la altitud de estudio, donde específicamente en la Figura 2.37 se puede observar que la línea de tendencia que forman las mediciones de las estaciones seleccionadas (Tabla 2.109), es de pendiente negativa, lo cual expresa que la ETP media anual disminuye a medida que la altitud a analizar aumenta. Este fenómeno se puede asociar a que la evapotranspiración potencial depende netamente de la temperatura.

En base a lo expuesto anteriormente, el modelo lineal, es fundamental para correlacionar la gráfica “Altura – ETP media anual” con la “Curva Hipsométrica” de la subcuenca Río Juncal en Juncal, el cual se representa bajo la siguiente expresión:

$$ETP_i = -0,00048 \cdot H_i + 1690,7$$

Donde:

ETP_i Evapotranspiración potencial media anual en la altitud i (mm)
 H_i Altitud i (mm)

En el Anexo 1, se adjuntan la Tabla 2.110 hasta la Tabla 2.112, las cuales expresan los valores de la ETP media anual de las estaciones seleccionadas de la cuenca del río Huasco, Elqui y Choapa, respectivamente. Además, se incluyen desde la Figura 2.38 hasta la Figura 2.40 las correspondientes gráficas Altura – ETP media anual, de las cuencas faltantes.

Conocida la morfología de la subcuenca Río Juncal en Juncal (Curva Hipsométrica) y como varía la evapotranspiración potencial en cada una de las cuencas de análisis (Gráfica Altura – ETP media anual), se procede a determinar el valor de la ETP medio anual de la subcuenca a analizar. Utilizando como base la metodología expuesta en el punto 2.2.7.2, para obtener la “Curva Hipsométrica Standard” expuesta en la Figura 2.33, ésta es integrada bajo la curva, cuya variable de Altitud, obtenida como la altitud media del intervalo, es evaluada en el modelo lineal obtenido de la “Gráfica Altura – ETP media anual”, pudiéndose obtener un valor parcial del intervalo, cuya sumatoria finalmente da un valor de la ETP media anual, para la subcuenca Río Juncal en Juncal, de 70,22(mm). En la Tabla 2.113, se especifica todo el detalle del proceso del cálculo para poder obtener la evapotranspiración potencial media anual de la subcuenca a analizar:

Tabla 2.113 “Cálculo de la ETP media anual de la subcuenca Río Juncal en Juncal”

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	ETPi(m)	Api (Km ²)	ETPi*Api (m*Km ²)
1	0,0	22,5	1,800	2,618	2208,889	0,621	22,52	13,988
2	22,5	45,0	2,618	2,851	2734,229	0,367	22,52	8,259
3	45,0	67,6	2,851	3,035	2942,988	0,266	22,52	5,982
4	67,6	90,1	3,035	3,175	3105,112	0,187	22,52	4,214
5	90,1	112,6	3,175	3,321	3248,096	0,118	22,52	2,655
6	112,6	135,1	3,321	3,475	3398,367	0,045	22,52	1,016
7	135,1	157,6	3,475	3,631	3553,372	-0,030	22,52	-0,674
8	157,6	180,2	3,631	3,793	3712,351	-0,107	22,52	-2,408
9	180,2	202,7	3,793	4,065	3929,418	-0,212	22,52	-4,775
10	202,7	225,2	4,065	5,200	4632,704	-0,553	22,52	-12,445
Σ							225,2	15,814

ETPma (mm)	70,22
-------------------	-------

Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo 1, se adjunta desde la Tabla 2.114 hasta la Tabla 2.128, el detalle del cálculo de la evapotranspiración potencial media anual para cada una de las subcuencas faltantes.

Bajo el mismo procedimiento presentando en este punto, se obtuvo el valor de la evapotranspiración potencial medio anual para cada una de las 16 subcuencas generadas en este estudio, cuyos valores se expresan en la siguiente Tabla 2.129:

Tabla 2.129 “Evapotranspiración potencial media anual de cada subcuenca generada.

Código	Subcuenca	Altura (m.s.n.m.)	ETPma (mm)
1	Río Tránsito en Angostura Pinte	1225	1231,47
2	Río Conay en las Lozas	1560	1200,61
3	Estero Derecho en Alcohuaz	1971	1230,63
4	Río Cochiguaz en el Peñón	1360	1223,98
5	Río Toro antes junta Río la Laguna	2091	1131,34
6	Embalse Laguna	3130	1063,58
7	Río Illapel en las Burras	1079	728,60
8	Río Chalinga en la Palmilla	1431	691,79
9	Río Choapa en Cuncumen	1200	710,33
10	Río Pedernal en Tejada	1600	429,14
11	Río Sobrante en Piñadero	1400	395,97
12	Río Alicahue en Colliguay	780	512,42
13	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	1218	304,68
14	Río Juncal en Juncal	1800	70,22
15	Río Colorado en Colorado	1100	190,58
16	Estero Pocuro en el Sifón	1000	798,40

Fuente: Elaboración propia en base a registros del visualizador de la ETP en Chile.

2.2.8 Resultados de la Etapa 1.

Este punto pretende dar término y síntesis al desarrollo expuesto en esta “Etapa 1”, del cual se pudieron obtener resultados que formarán parte esencial de los objetivos generales y específicos planteados para desarrollar este estudio, estos son expuestos en los siguientes puntos:

- Se definieron 4 cuencas, las que abarcarán el desarrollo de este estudio, las cuales se encontrarán localizadas en la superficie terrestre de tres regiones de Chile, siendo estas: la 3° región de Chile que comprende la cuenca del río Huasco; la 4° región de Chile que comprende las cuencas del río Elqui y Choapa; y finalmente la 5° región de Chile que comprende la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca).
- Se elaboró un banco de datos, el cual está conformado por la información estadística de 16 estaciones fluviométricas, 36 estaciones pluviométricas y 13 estaciones de temperatura, cuyos registros fueron obtenidos a través de la Dirección General de Aguas (D.G.A.) y del “Balance Hídrico Nacional, donde las estaciones seleccionadas fueron distribuidas en las respectivas planchetas correspondientes a cada cuenca, generando 16 subcuencas de régimen nivo-pluvial que fueron analizadas en el desarrollo de este capítulo, lográndose apreciar este comportamiento de régimen en subcuencas sobre los 2000 (m.s.n.m) de altitud.

- Se amplió y rellenó cada una de las estaciones estadísticas del banco de datos y se confeccionó el análisis de homogeneidad para las estaciones fluviométricas y pluviométricas, de manera de evaluar la calidad de sus registros, que de forma general eran todas de una aceptable calidad. Estos registros permitirán determinar las variables indispensables para el posterior análisis de los modelos de precipitación-escorrentía, los cuales son el caudal, precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial a nivel medio anual, cuyos valores son expresados en la Tabla 2.130:

Tabla 2.130 “Valores de variables a utilizar en este estudio”

Cuenca del río	Subcuenca	Q ma (m³/s)	Pma (mm)	Tma (°C)	ETPma (mm)
Huasco	Tránsito en Angostura Pinte	4,03	99,44	6,76	1231,47
	Río Conay en las Lozas	2,14	100,71	5,52	1200,61
Elqui	Estero Derecho en Alcohuaz	1,35	160,89	1,08	1230,63
	Río Cochiguaz en el Peñón	2,96	161,73	0,88	1223,98
	Río Toro antes junta Río la Laguna	0,70	166,27	-1,88	1131,34
	Embalse Laguna	2,27	169,88	-3,90	1063,58
Choapa	Río Illapel en las Burras	2,81	438,30	3,93	728,60
	Río Chalinga en la Palmilla	1,06	450,96	2,88	691,79
	Río Choapa en Cuncumen	10,17	441,31	3,41	710,33
Aconcagua (Ligua-Petorca)	Río Pedernal en Tejada	0,39	841,73	7,08	429,14
	Río Sobrante en Piñadero	1,15	863,86	6,63	395,97
	Río Alicahue en Colliguay	1,49	786,17	8,21	512,42
	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	8,49	922,38	5,39	304,68
	Río Juncal en Juncal	6,02	1060,73	2,21	70,22
	Río Colorado en Colorado	6,60	989,54	3,84	190,58
	Estero Pocuro en el Sifón	0,98	595,41	12,09	798,40

Fuente: “Elaboración propia en base a registros de la D.G.A, estudio Balance Hídrico Nacional y visualizador de la cartografía de la ETP en Chile”

Etapa 2

En la Etapa 2, se pretende dar continuación al estudio titulado como “*Análisis de los modelos de precipitación-escorrentía para cuencas nivo-pluviales de la 3°, 4° y 5° región de Chile*”, el cual pretende expresar el análisis de los modelos de precipitación-escorrentía, de cada una de las 16 subcuencas definidas en la Etapa 1, de las cuales se obtuvieron las variables indispensables para la aplicación de los modelos de Turc, Coutagne y Turc-Pike.

2.3 Modelos precipitación-escorrentía.

Hoy en día existen diversas fórmulas empíricas basadas en datos medidos y que determinan la escorrentía total generada por las cuencas o subcuencas de recepción. En base al objetivo general planteado en este estudio, una de esas fórmulas que se aplican con frecuencia en Chile es el de “Precipitación- Escorrentía”, cuya simplicidad con que trata el fenómeno en estos casos, hace que los resultados tengan un valor orientativo para períodos de tiempo suficientemente amplios. Esto ha permitido la generación de varios modelos matemáticos que predicen la respuesta de una cuenca hidrográfica frente a diversas situaciones de demanda, tanto respecto de los recursos superficiales como subterráneos.

Con la finalidad de cumplir con los objetivos planteados para este estudio, se realizará el análisis de los modelos de precipitación-escorrentía en base a 3 modelos numéricos, los cuales son Turc, Coutagne y Turc-Pike.

Cada uno de los modelos de precipitación-escorrentía, con los que se trabajarán en este estudio, deben cumplir con dos condición esenciales, para su correcta aplicación y funcionamiento, la primera de ellas consiste en que estos modelos son solo aplicables para cuencas o subcuencas de régimen natural, es decir, que solo pueden ser aplicadas en aquellas zonas donde los cursos de aguas no sean intervenidas por terceros, por otra parte, la segunda condición consiste en que cada modelo de precipitación-escorrentía se encuentra asociado a un régimen específico de la cuenca o subcuenca analizar, donde los modelos de Grunsky y Peñuelas propuestos inicialmente en este estudio, son solo válidas para cuencas o subcuencas con régimen pluvial, mientras que los modelos de Turc, Coutagne y Turc-Pike son válidas para cuencas o subcuencas de régimen nivo-pluvial.

Por lo tanto, en base a las condiciones expuestas previamente y a los resultados obtenidos en el estudio de la “Etapa 1”, existen dos modelos que no son aplicables para fines de este estudio, los cuales son el modelo de Grunsky y Peñuelas. La razón, radica en que las 16 subcuencas seleccionadas para este estudio se encuentran ubicadas en las partes altas (zona cordillerana) de la cuenca del río Huasco, Elqui, Choapa y Aconcagua (Ligua – Petorca) aproximadamente a 2000 (m.s.n.m) de altitud, por lo cual, todas son consideradas subcuencas con régimen nivo-pluvial y por consiguiente los modelos expresados no serían validos de aplicar.

En base a lo expuesto previamente, los modelos de precipitación-escorrentía que cumplen con las condiciones de aplicabilidad para el análisis de este estudio son el modelo de Turc, Coutagne y Turc-Pike, los cuales basan principalmente sus modelos bajo las variables de precipitación y temperatura a nivel medio anual para Turc y Coutagne mientras que la precipitación y evapotranspiración potencial a nivel medio anual para Turc-Pike.

En la Figura 2.41, se expresa un esquema de la metodología de cálculo de los modelos de Turc, Coutagne y Turc-Pike, donde se expresan las fórmulas y criterios de aplicación considerados para cada uno de ellos.

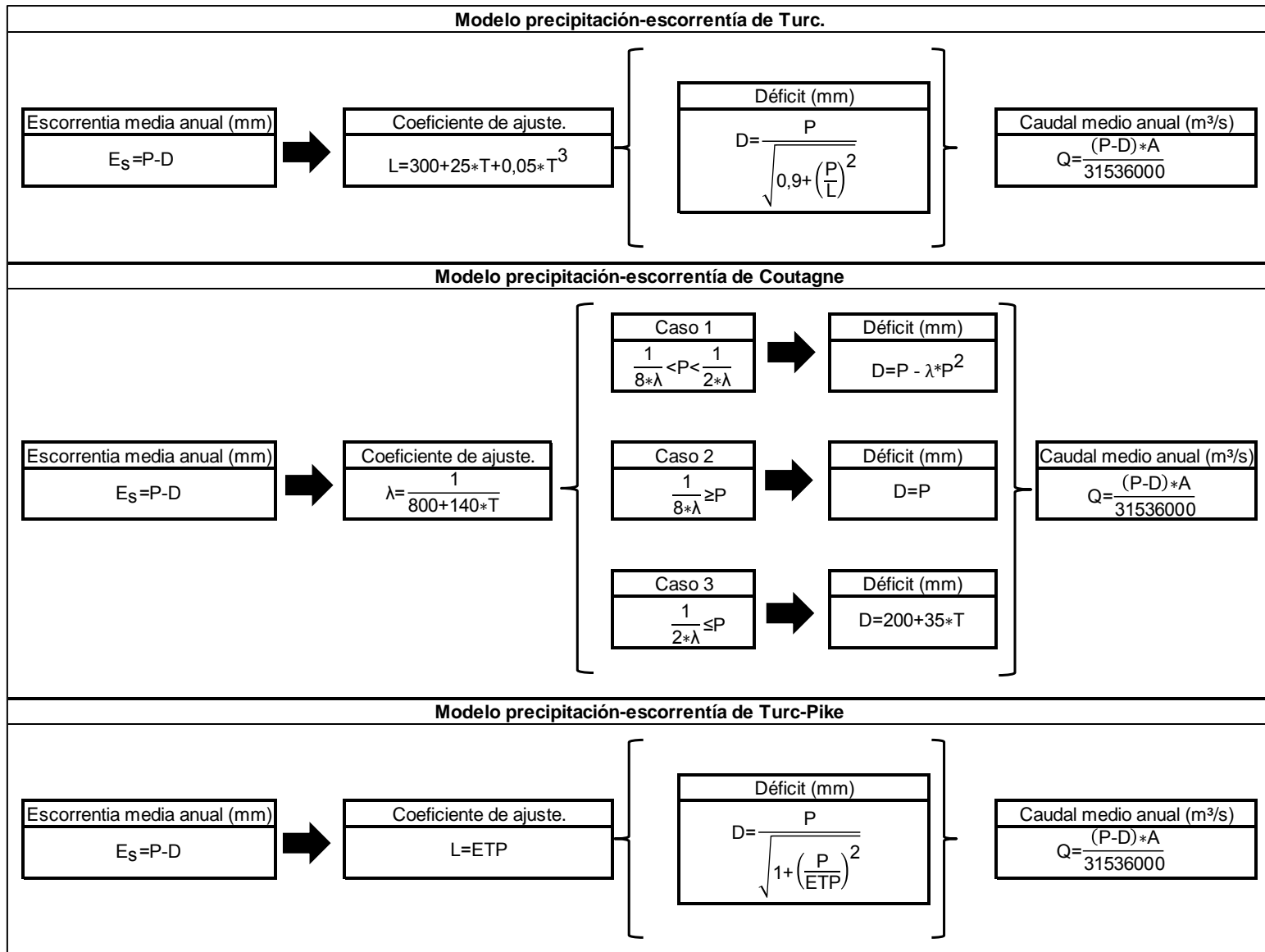


Figura 2.41 “Metodología de cálculo de los modelos de precipitación-escorrentía de Turc, Coutagne y Turc-Pike”

Como similitudes, en la Figura 2.41 se puede observar que el modelo de Turc, Coutagne y Turc-Pike consideran el valor de la escorrentía superficial como la diferencia entre la precipitación y el déficit a nivel medio anual y que a su vez el modelo de Turc y Coutagne se encuentran asociados a un coeficiente de ajuste que depende netamente de la temperatura atmosférica medida en grados Celsius mientras que el modelo de Turc-Pike se encuentra asociado de igual manera a un coeficiente de ajuste que depende netamente de la evapotranspiración potencial. Por otra parte, los 3 modelos se diferencian en la forma de considerar el déficit de la escorrentía media anual, entendiéndose por esta como el agua de drenaje que no llega al cauce principal de medición debido a motivos de evaporación.

Para la correcta aplicación y posterior análisis de los resultados obtenidos, es fundamental que los modelos de precipitación-escorrentía de Turc y Coutagne cuenten con un registro de información estadística amplio y confiable respecto a su cálculo, de manera que esta pueda realmente caracterizar las condiciones peculiares de cada una de las 16 subcuencas generadas para este estudio. Para ello, ya fue previamente dispuesto que se constara con 32 años de estadística, los que comprenderán los períodos de 1980 al 2011. Respecto al modelo de Turc-Pike, es fundamental que también su información sea confiable y representativa a las zonas a estudiar, por lo cual se utiliza como fuente confiable el “Visualizador electrónico de la cartografía de la evapotranspiración potencial en Chile”, realizado por la comisión nacional de riego (C.N.R.) el año 2000.

En base al estudio realizado en la “Etapa 1” de este punto, se obtuvieron los valores de las variables indispensables para este análisis, las cuales son enunciadas en la Tabla 2.130 del punto 2.2.8, donde se expresan las 3 variables fundamentales que se aplicarán a los modelos de precipitación-escorrentía de Turc, Coutagne y Turc-Pike, tales como precipitación (mm), temperatura (°C) y evapotranspiración potencial (mm) a nivel medio anual. En base a la aplicación de estos modelos bajo esas tres variables especificadas, se logra obtener un valor de escorrentía media anual estimada, cuyo valor será analizado y comparados por los valores de la cuarta variable indispensable para este estudio, la cual resulta ser el caudal medio anual (m³/s), obtenido por las estaciones fluviométricas de medición, y cuyo valor es expresado de igual manera en dicha tabla.

De manera de comparar los valores de la escorrentía media anual estimada con los medidos, se hace necesario el transformar los valores de caudal medio anual expresado en (m³/s) a escorrentía media anual expresado en metros, esto se logra bajo la siguiente expresión:

$$E_s = \frac{31536000 * Q}{A}$$

Donde:

E_s	:	Escorrentía media anual (m)
Q	:	Caudal media anual (m ³ /s).
A	:	Área de superficie de la subcuenca a estudiar (m ²)

En consecuencia de que los datos de caudal medio anual (m³/s), medidos por las estaciones fluviométricas de cada una de las subcuencas, son los valores parámetros a analizar por los modelos de precipitación-escorrentía, se hace esencial de que la confiabilidad de medición de los registros de estas estadísticas sea óptima, lo cual ya fue analizado previamente en la Etapa 1, a través del análisis de homogeneidad. Por lo tanto, en la Tabla 2.131 se adjunta los valores de escorrentía media anual reales (mm), registrado por cada una de las 16 estaciones fluviométricas de la subcuencas seleccionadas:

Tabla 2.131 "Valores medidos de escorrentía media anual (mm)".

Cuenca	Código	Subcuenca	A(Km²)	E(Qma) (mm)
Río Huasco	1	Río Tránsito en Angostura Pinte	2832,7	44,88
	2	Río Conay en las Lozas	1815,0	37,20
Río Elqui	3	Estero Derecho en Alcohuaz	415,1	102,60
	4	Río Cochiguaz en el Peñón	594,7	157,12
	5	Río Toro antes junta Río la Laguna	424,0	52,19
	6	Embalse Laguna	521,9	137,42
Río Choapa	7	Río Illapel en las Burras	618,4	143,18
	8	Río Chalinga en la Palmilla	206,4	161,44
	9	Río Choapa en Cuncumen	1133,5	282,91
Río Aconcagua (Ligua-Petorca)	10	Río Pedernal en Tejada	60,1	204,48
	11	Río Sobrante en Piñadero	218,6	166,26
	12	Río Alicahue en Colliguay	343,0	137,09
	13	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	961,3	278,59
	14	Río Juncal en Juncal	225,2	842,71
	15	Río Colorado en Colorado	849,2	244,97
	16	Estero Pocuro en el Sifón	171,1	181,08

Fuente: Elaboración propia en base a información proveniente de la Tabla 2.130

Los valores expuestos en la Tabla 2.131, definen las condiciones reales (insitu) de la escorrentía media anual, correspondiente a cada una de la subcuencas seleccionadas para este estudio, los cuales serán comparados con los valores simulados por los modelos de precipitación-escorrentía de Turc, Coutagne y Turc-Pike, cuyo procedimiento, resultados de cálculo y análisis se describen a continuación.

2.3.1 Modelo precipitación-escorrentía de Turc.

a) Procedimiento del método.

Unos de los modelos de precipitación-escorrentía que se evaluarán en este estudio es el modelo Turc, expresión válida para cuencas o subcuencas naturales de régimen nivo-pluvial, el cual permite obtener la escorrentía media anual de una determinada superficie, en función de 2 variables esenciales, las cuales son la precipitación y temperatura a nivel medio anual. En la Figura 2.42 se adjunta esquemáticamente la metodología de cálculo de este modelo la cual consiste en las siguientes etapas:

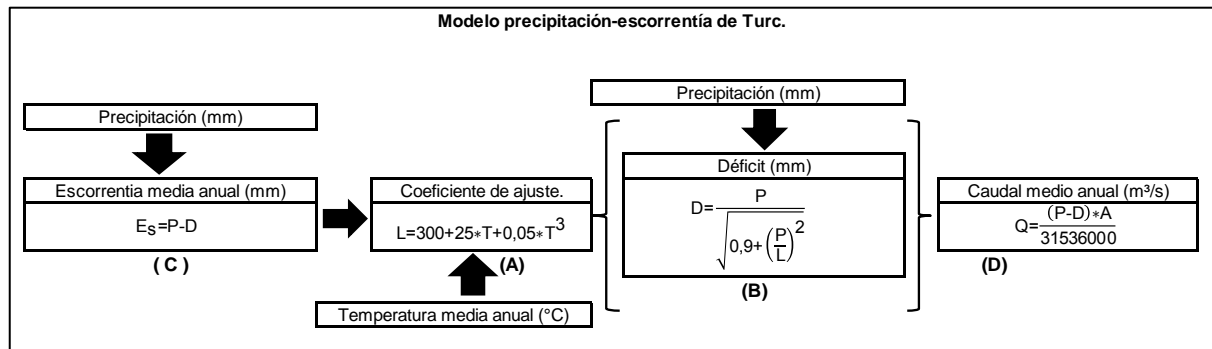


Figura 2.42 “Expresiones del modelo precipitación-escorrentía de Turc”

- (A) La primera etapa para determinar la escorrentía media anual de una cuenca o subcuenca depende netamente de la temperatura media anual, la cual fue determinada previamente en la Etapa 1, cuyos valores, para cada subcuenca en análisis, están expuestos en la Tabla 2.130, los cuales permitirán obtener un coeficiente de ajuste calórico (L).
- (B) Luego, se determina el Déficit de escorrentía (D), expresión que caracteriza la cantidad de precipitación caída que se evapora antes de llegar al río donde será registrado su caudal a través de la estación fluviométrica. El déficit depende netamente del coeficiente de ajuste calórico (L) y de la precipitación media anual de la subcuenca a analizar, valor que fue obtenido en la Etapa 1 y expresado en la Tabla 2.130.
- (C) Finalmente se obtiene el valor de la escorrentía media anual (E_s), a través de la diferencia entre la precipitación caída sobre una cuenca o subcuenca y el déficit de precipitación sobre la misma a nivel medio anual, cuyo valor puede ser expresado en metros (m) o milímetros (mm).
- (D) Dependiendo del criterio de análisis, la escorrentía media anual expresada en (m) o (mm), puede ser transformada a caudal en m^3/s . Esto puede ser, a través del producto entre la escorrentía media anual y el área aportante (A) de la subcuenca en estudio, cuyo valor fue expresado en la Etapa 1, punto 2.2.6, Tabla 2.63. Este producto finalmente es dividido por la cantidad de segundos que tiene un año, tal como se muestra en la expresión de la imagen.

b) Resultados simulados

En base al procedimiento de cálculo expuesto para el modelo de precipitación-escorrentía de Turc, se procedió a determinar la escorrentía media anual para cada una de las 16 subcuencas seleccionadas para este estudio, obteniéndose los siguientes resultados que son expuestos en la Tabla 2.132:

Tabla 2.132 “Valores estimados de la escorrentía media anual a través del modelo de Turc”

Cuenca	Código	Subcuenca	Es(mm)
Río Huasco	1	Río Tránsito en Angostura Pinte	-3,01
	2	Río Conay en las Lozas	-2,57
Río Elqui	3	Esteros Derecho en Alcohuaz	10,33
	4	Río Cochiguaz en el Peñón	11,05
	5	Río Toro antes junta Río la Laguna	22,26
	6	Embalse Laguna	36,62
Río Choapa	7	Río Illapel en las Burras	135,39
	8	Río Chalinga en la Palmilla	157,45
	9	Río Choapa en Cuncumen	143,75
Río Aconcagua (Ligua-Petorca)	10	Río Pedernal en Tejada	409,64
	11	Río Sobrante en Piñadero	439,04
	12	Río Alicahue en Colliguay	337,93
	13	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	519,57
	14	Río Juncal en Juncal	721,75
	15	Río Colorado en Colorado	616,99
	16	Esteros Pocuro en el Sifón	130,91

Fuente: Elaboración propia en base a información proveniente de la Tabla 2.130

En el Anexo 2, se adjunta la Tabla 2.133, la cual expresa todo el detalle del cálculo de la escorrentía media anual, siendo especificados los valores del área aportante de cada subcuenca, el coeficiente de ajuste calórico (L), el déficit de la escorrentía media anual (D) y las variables de entrada (precipitación y temperatura) y de salida (escorrentía).

c) Análisis de la simulación.

Para la elaboración del análisis del modelo de precipitación-escorrentía de Turc, se presenta la Tabla 2.134, la cual expresa el valor obtenido de la escorrentía media anual medida versus la simulada de las 16 subcuencas a estudiar, siendo especificado el error relativo porcentual entre ambos valores presentados:

Tabla 2.134 “Tabla comparativa entre valores de escorrentía media anual medida vs la simulada”

Cuenca	Código	Subcuenca	E(Qma) (mm)	Es(mm)	Error relativo (%)
Río Huasco	1	Río Tránsito en Angostura Pinte	44,88	-3,01	107
	2	Río Conay en las Lozas	37,20	-2,57	107
Río Elqui	3	Estero Derecho en Alcohuaz	102,60	10,33	90
	4	Río Cochiguaz en el Peñón	157,12	11,05	93
	5	Río Toro antes junta Río la Laguna	52,19	22,26	57
	6	Embalse Laguna	137,42	36,62	73
Río Choapa	7	Río Illapel en las Burras	143,18	135,39	5
	8	Río Chalinga en la Palmilla	161,44	157,45	2
	9	Río Choapa en Cuncumen	282,91	143,75	49
Río Aconcagua (Ligua- Petorca)	10	Río Pedernal en Tejada	204,48	409,64	100
	11	Río Sobrante en Piñadero	166,26	439,04	164
	12	Río Alicahue en Colliguay	137,09	337,93	147
	13	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	278,59	519,57	86
	14	Río Juncal en Juncal	842,71	721,75	14
	15	Río Colorado en Colorado	244,97	616,99	152
	16	Estero Pocuro en el Sifón	181,08	130,91	28

Fuente: Elaboración propia en base a información proveniente de la Tabla 2.131 y Tabla 2.132.

Como apreciación general, observando y analizando los valores obtenidos en la Tabla 2.134, se puede apreciar que los valores de escorrentía media anual simulados por el modelo de Turc para las 4 cuencas a estudiar, no son representativos a los valores de la escorrentía media anual real registrados por las estaciones fluviométricas determinadas para este estudio, lográndose apreciar un error relativo promedio del 80%. Este error obtenido es muy alto para poder considerar este modelo de precipitación-escorrentía de Turc como válido para caracterizar hidrológicamente a las cuencas del río Huasco, Elqui, Choapa y Aconcagua (Ligua – Petorca), siendo crítica su situación en la cuenca del río Huasco, donde sus 2 subcuencas en análisis presentan valores de escorrentía media anual simulada negativos, fenómeno que es absolutamente inexistente, debido a que las estaciones fluviométricas de estas subcuencas registran valores positivos de escorrentía.

De manera de apreciar el error del modelo de Turc, en la Figura 2.43, se expresa una gráfica X-Y la cual representa el error de estimación de escorrentía en función de la escorrentía medida.

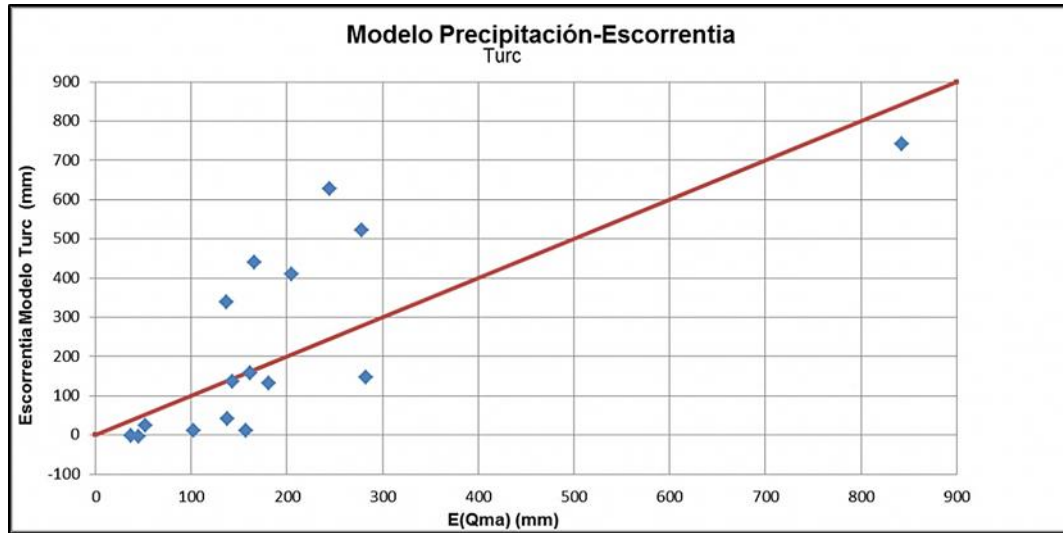


Figura 2.43 "Gráfica X-Y del Modelo de Turc".

Llevando el análisis de una manera más específico, se puede apreciar que el modelo de Turc presenta un mayor error en ciertas cuencas, siendo menores en otras, por lo cual se procede a analizar cada cuenca pudiéndose describir lo siguiente:

- Con un 107%, de error promedio, la cuenca del río Huasco es la que menos caracteriza hidrológicamente a la cuenca en cuestión, produciéndose en ésta valores estimados de escorrentía incoherente respecto a los valores reales de escorrentía medidos por las estaciones fluviométricas.
- La segunda cuenca con mas error en su zona de estudio, es la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca), la cual tiene un error promedio del 99%, pudiéndose apreciar subcuencas con un alto error parcial, mayor al promedio planteado, tal es caso de la subcuenca "Río Sobrante en Piñadero" con un 164%, mientras que por otro lado se observan subcuencas con un bajo error parcial, tal es el caso de la subcuenca "Río Juncal en Juncal" con un 14%.
- La tercera cuenca con mas error en la zona de estudio, es la cuenca del río Elqui, con un error promedio del 78%, pudiéndose distinguir un error parcial parejo entre las 4 subcuencas a estudiar.
- Finalmente, la cuenca del río Choapa, es la que presenta menos error promedio respecto a las 3 cuencas analizadas previamente, con un 19%. En esta cuenca se aprecia que la subcuenca "Río Chalinga en la Palmilla", es la que presenta un menor error parcial, respecto a las 15 subcuencas restantes, con un 2%.

En base a los resultados y análisis obtenidos, no cabe duda de que el modelo de precipitación-escorrentía de Turc, no cumple con sus valores estimados de escorrentía media anual, pudiéndose apreciar errores significativos, los cuales hacen dudosa su aplicación para futuros estudios.

2.3.2 Modelo precipitación-escorrentía de Coutagne.

a) Procedimiento del método.

El segundo modelo de precipitación-escorrentía que se evaluará en este estudio es el modelo de Coutagne, expresión válida para cuencas o subcuena naturales de régimen nivo-pluvial, elaborada a mediados del siglo XX, el cual permite obtener la escorrentía media anual de una determinada superficie, en función de 2 variables esenciales, las cuales son la precipitación y temperatura a nivel medio anual. En la Figura 2.44 se adjunta esquemáticamente la metodología de cálculo de este modelo la cual consiste en las siguientes etapas:

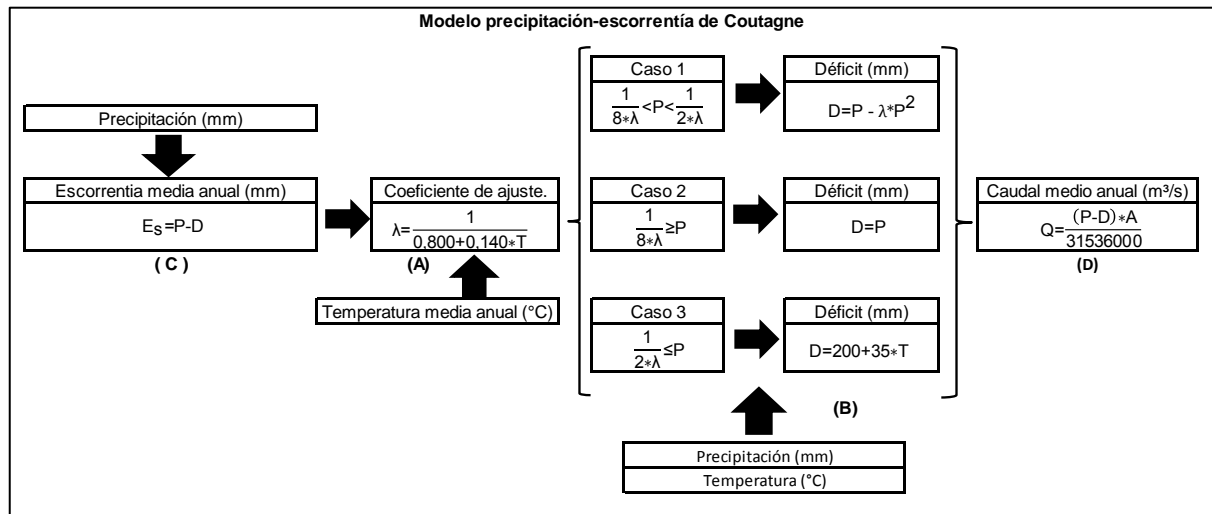


Figura 2.44 “Expresiones del modelo precipitación-escorrentía de Coutagne”

- (A) El primer paso para determinar la escorrentía media anual de una superficie de terreno depende netamente de la temperatura media anual, la cual fue determinada previamente en la Etapa 1, cuyos valores para cada subcuena en análisis, están expuestos en la Tabla 2.130, los cuales permitirán obtener un coeficiente de ajuste calórico (L).
- (B) Luego se determina el Déficit de escorrentía (D). Este factor se encuentra asociado a 3 casos que dependen esencialmente de la precipitación media anual y del factor calórico calculado previamente, para los cuales se obtendrán distintas expresiones que representaran el déficit de la escorrentía en cada subcuena a analizar. El primer caso, expresa que el déficit de escorrentía, es producto de la precipitación caída y del factor calórico que representa las peculiaridades atmosféricas de la zona de estudio, por otro lado el segundo caso expresa que toda la precipitación caída sobre la subcuena en análisis es igual al déficit de escorrentía, de lo cual resulta que la escorrentía anual en la subcuena es de 0(mm), este caso tiene por finalidad el evitar expresiones de escorrentía negativas. Finalmente el tercer caso expresa que el déficit de escorrentía se encuentra asociado netamente a la temperatura media anual de la atmósfera de la subcuena, siendo prescindible la variable de precipitación. Los valores de cada una de las variables necesarias para obtener el déficit de escorrentía fueron obtenidos previamente en la Etapa 1 y expresado en la Tabla 2.130.

(C) Finalmente se obtiene el valor de la escorrentía media anual (E_s), a través de la diferencia entre la precipitación caída sobre una cuenca o subcuenca y el déficit de precipitación sobre la misma a nivel medio anual, cuyo valor puede ser expresado en metros (m) o milímetros(mm).

(D) Dependiendo del criterio de análisis, la escorrentía media anual expresada en (m) o (mm), puede ser transformada a caudal en m^3/s , a través de la expresión especificada en la Figura 2.44(D), para lo cual será necesaria la utilización del área aportante de la subcuenca en análisis, cuyos valores se expresan en la Tabla 2.53 del punto 2.2.6.

b) Resultados simulados

En base al procedimiento de cálculo expuesto para el modelo de precipitación-escorrentía de Coutagne, se procedió a determinar la escorrentía media anual para cada una de las 16 subcuencas seleccionadas para este estudio, obteniéndose los siguientes resultados que son expuestos en la Tabla 2.135 y que a su vez se encuentran asociados a sus respectivos casos de cálculo de déficit:

Tabla 2.135 “Valores estimados de la escorrentía media anual a través del modelo de Coutagne”

Cuenca	Código	Subcuenca	Caso	Es(mm)
Río Huasco	1	Río Tránsito en Angostura Pinte	2	0,00
	2	Río Conay en las Lozas	2	0,00
Río Elqui	3	Estero Derecho en Alcohuaz	1	27,21
	4	Río Cochiguaz en el Peñón	1	28,32
	5	Río Toro antes junta Río la Laguna	1	51,51
	6	Embalse Laguna	3	106,44
Río Choapa	7	Río Illapel en las Burras	1	142,34
	8	Río Chalinga en la Palmilla	1	169,07
	9	Río Choapa en Cuncumen	1	152,54
Río Aconcagua (Ligua-Petorca)	10	Río Pedernal en Tejada	1	395,57
	11	Río Sobrante en Piñadero	1	431,84
	12	Río Alicahue en Colliguay	1	317,05
	13	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	3	533,72
	14	Río Juncal en Juncal	3	783,47
	15	Río Colorado en Colorado	3	655,10
	16	Estero Pocuro en el Sifón	1	142,21

Fuente: Elaboración propia en base a información proveniente de la Tabla 2.130

En el Anexo 2, se adjunta la Tabla 2.136, la cual expresa todo el detalle del cálculo de la escorrentía media anual, siendo especificados los valores del área aportante de cada subcuenca, el coeficiente de ajuste calórico (L), el déficit de la escorrentía media anual (D) según sus respectivos casos y las variables de entrada (precipitación y temperatura) y de salida (escorrentía).

c) Análisis de la simulación.

Para la elaboración del análisis del modelo de precipitación-escorrentía de Coutagne, se presenta la Tabla 2.137, la cual expresa el valor obtenido de la escorrentía media anual medido versus la simulada de las 16 subcuencas a estudiar, siendo especificado el error relativo porcentual entre ambos valores presentados:

Tabla 2.137 “Tabla comparativa entre valores de escorrentía media anual medido vs la simulada”

Cuenca	Código	Subcuenca	Caso	E(Qma) (mm)	Es(mm)	Error relativo (%)
Río Huasco	1	Río Tránsito en Angostura Pinte	2	44,88	0,00	100
	2	Río Conay en las Lozas	2	37,20	0,00	100
Río Elqui	3	Estero Derecho en Alcohuaz	1	102,60	27,21	73
	4	Río Cochiguaz en el Peñón	1	157,12	28,32	82
	5	Río Toro antes junta Río la Laguna	1	52,19	51,51	1
	6	Embalse Laguna	3	137,42	106,44	23
Río Choapa	7	Río Illapel en las Burras	1	143,18	142,34	1
	8	Río Chalinga en la Palmilla	1	161,44	169,07	5
	9	Río Choapa en Cuncumen	1	282,91	152,54	46
Río Aconcagua (Ligua-Petorca)	10	Río Pedernal en Tejada	1	204,48	395,57	93
	11	Río Sobrante en Piñadero	1	166,26	431,84	160
	12	Río Alicahue en Colliguay	1	137,09	317,05	131
	13	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	3	278,59	533,72	92
	14	Río Juncal en Juncal	3	842,71	783,47	7
	15	Río Colorado en Colorado	3	244,97	655,10	167
	16	Estero Pocuro en el Sifón	1	181,08	142,21	21

Fuente: Elaboración propia en base a información proveniente de la Tabla 2.131 y Tabla 2.135.

Como apreciación general, observando y analizando los valores obtenidos en la Tabla 2.137, se puede apreciar que los valores de escorrentía media anual simulados por el modelo de Coutagne para las 4 cuencas a estudiar, no son representativos a los valores de la escorrentía media anual real registrados por las estaciones fluviométricas determinadas para este estudio, lográndose apreciar un error promedio porcentual del 69%.

Debido al alto valor porcentual de error presentado por este modelo, se hace difícil el caracterizar las condiciones hidrológicas medidas existentes en las cuencas del río Huasco, Elqui, Choapa y Aconcagua (Ligua-Petorca) a través de la expresión de Coutagne, pudiéndose apreciar altos errores parciales, como es el caso de la subcuenca “Río Colorado en Colorado” con un 167% de error parcial, mientras que por otro lado se aprecian bajo errores parciales, como es el caso “Río Juncal en Juncal”, “Río Illapel en las Burras”, “Río Chalinga en la Palmilla” y “Río Toro antes junta Río la Laguna” las cuales presentan un error parcial menor e igual a 7%.

De manera de apreciar el error del modelo de Coutagne, en la Figura 2.45, se expresa una gráfica X-Y la cual representa el error de estimación de escorrentía en función de la escorrentía medida.

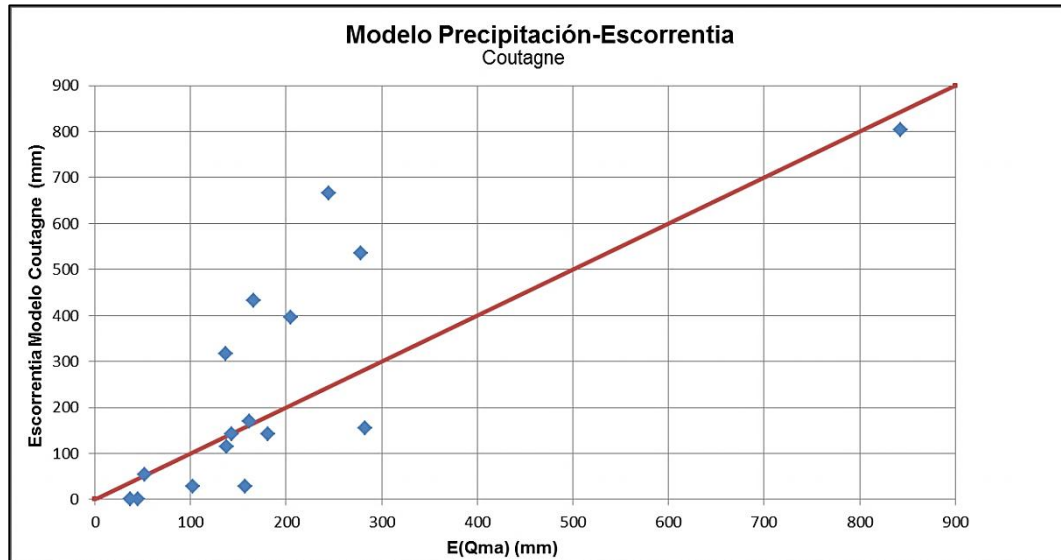


Figura 2.45 "Gráfica X-Y del Modelo de Coutagne".

Bajo las condiciones de déficit expuestas en la Figura 2.44(B), es importante el destacar que el caso 2, el cual especifica de que la escorrentía media anual tiene un valor de 0(mm), directamente hace que el error parcial del valor estimado de escorrentía versus al valor medido de la subcuenca sea del 100%, lo cual afecta directamente el valor del error promedio del modelo frente a las 4 cuencas a estudiar.

Llevando el análisis de una manera más específico, se puede apreciar que el modelo de Coutagne presenta un mayor error en ciertas cuencas, siendo menores en otras, por lo cual se procede a analizar cada cuenca pudiéndose describir lo siguiente:

- Con un 100%, de error promedio, la cuenca del río Huasco es la que presenta el mayor error de estimación en la cuenca en cuestión, pudiéndose apreciar de que este error es generado por el criterio de calculo para el déficit de escorrentía, debido a que las 2 subcuencas a analizar presentan el Caso 2, lo cual hace directamente que el error parcial sea del 100%.
- La segunda cuenca con mas error en su zona de estudio, es la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca), la cual tiene un error promedio del 96%, pudiéndose apreciar irregularidades extremas respecto a la estimación de escorrentía, por un lado existen error muy grandes y por otro lado errores pequeños.
- La tercera cuenca con más error en su zona de estudio, es la cuenca del río Elqui, la cual presenta un error promedio del 45%, pudiéndose apreciar irregularidades extremas respecto a la estimación de escorrentía.
- Finalmente la cuenca del río Choapa es la que presenta el menor error promedio respecto a las otras 3 cuencas analizadas previamente con un 17%.

En base a los resultados y análisis obtenidos, no cabe duda de que el modelo de precipitación-escorrentía de Coutagne, no cumple con sus valores estimados de escorrentía media anual, pudiéndose apreciar errores significativos, los cuales hacen dudosa su aplicación para futuros estudios.

2.3.3 Modelo precipitación-escorrentía de Turc-Pike.

a) Procedimiento del método.

Finalmente el último modelo que se evaluará en este estudio es el modelo de precipitación-escorrentía de Turc-Pike, cuyo autor (Pike) en 1964, a partir de la fórmula de Turc y basándose en la ecuación del balance hídrico, plantea una ecuación para estimar la escorrentía media anual, donde el factor de ajuste calórico (L) es remplazado por el valor de la evapotranspiración potencial anual y el valor 0,9, lo aproxima a 1 con la finalidad de que la escorrentía no alcance valores negativos.

Esta nueva expresión llamada modelo de Turc-Pike, que nace a partir del modelo de Turc, es válido para cuencas o subcuena naturales de régimen nivo-pluvial, el cual permite obtener la escorrentía media anual de una determinada cuenca, en función de 2 variables esenciales, las cuales son la precipitación y evapotranspiración potencial (E.T.P.) a nivel medio anual. En la Figura 2.46 se adjunta esquemáticamente la metodología de cálculo de este modelo la cual expresa sus nuevas modificaciones y etapas:

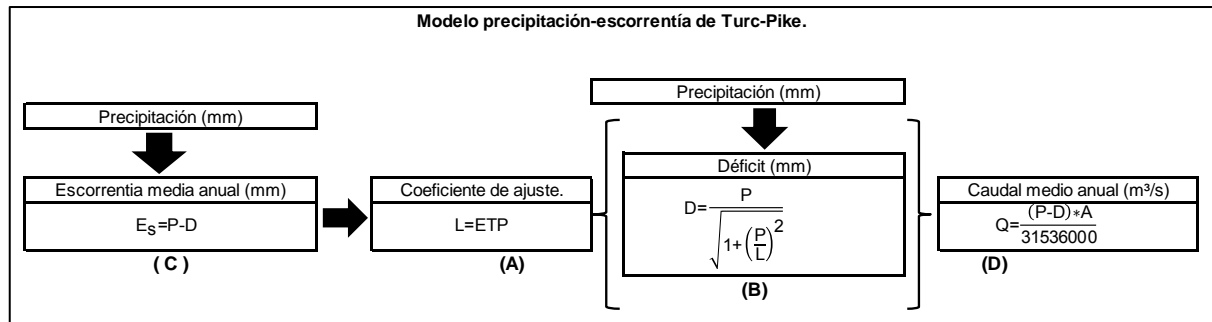


Figura 2.46 “Expresiones del modelo precipitación-escorrentía de Turc-Pike”

- (A) La primera etapa para determinar la escorrentía media anual de una cuenca o subcuena depende netamente de la evapotranspiración potencial (E.T.P.), la cual fue determinada previamente en la Etapa 1, cuyos valores, para cada subcuena en análisis, están expuestos en la Tabla 2.130, los cuales permitirán obtener un coeficiente de ajuste (L) que caracterizará las condiciones evaporación y de humedad presentes en cada lugar de análisis.
- (B) Luego, se determina el Déficit de escorrentía (D), expresión que caracteriza la cantidad de precipitación caída que se evapora antes de llegar al río donde será registrado su caudal a través de la estación fluviométrica. El déficit depende netamente del coeficiente de ajuste (L) y de la precipitación media anual de la subcuena a analizar, valor que fue obtenido en la Etapa 1 y expresado en la Tabla 2.130. A diferencia de los otros modelos de Turc y Coutagne, que expresan el déficit de escorrentía en función de las condiciones de temperatura de la subcuena de estudio, este déficit de escorrentía planteado por Turc-Pike, tiene directa relación con la máxima cantidad de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación. Debido a que la ETP anual de cada subcuena fue obtenido a través del “Visualizador electrónico de la evapotranspiración potencial en Chile”, este programa considera el valor de esta variable a través de un cultivo de referencia que será el mismo para cada una de las cuencas que comprenden este estudio.

(C) Finalmente se obtiene el valor de la escorrentía media anual (E_s), a través de la diferencia entre la precipitación caída sobre una cuenca o subcuenca y el déficit de precipitación sobre la misma a nivel medio anual, cuyo valor puede ser expresado en metros (m) o milímetros(mm).

(E) Dependiendo del criterio de análisis, la escorrentía media anual expresada en (m) o (mm), puede ser transformada a caudal en m^3/s , a través de la expresión especificada en la Figura 2.45(D), para lo cual será necesaria la utilización del área aportante de la subcuenca en análisis, cuyos valores se expresan en la Tabla 2.63 del punto 2.2.6.

b) Resultados simulados

En base al procedimiento de cálculo expuesto para el modelo de precipitación-escorrentía de Turc-Pike, se procedió a determinar la escorrentía media anual para cada una de las 16 subcuencas seleccionadas para este estudio, obteniéndose los siguientes resultados que son expuestos en la Tabla 2.138:

Tabla 2.138 “Valores estimados de la escorrentía media anual a través del modelo de Turc-Pike”

Cuenca	Código	Subcuenca	Es(mm)
Río Huasco	1	Río Tránsito en Angostura Pinte	0,32
	2	Río Conay en las Lozas	0,35
Río Elqui	3	Estero Derecho en Alcohuaz	1,36
	4	Río Cochiguaz en el Peñón	1,39
	5	Río Toro antes junta Río la Laguna	1,77
	6	Embalse Laguna	2,13
Río Choapa	7	Río Illapel en las Burras	62,72
	8	Río Chalinga en la Palmilla	73,18
	9	Río Choapa en Cuncumen	66,45
Río Aconcagua (Ligua-Petorca)	10	Río Pedernal en Tejada	459,42
	11	Río Sobrante en Piñadero	503,91
	12	Río Alicahue en Colliguay	356,89
	13	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	633,07
	14	Río Juncal en Juncal	990,66
	15	Río Colorado en Colorado	802,40
	16	Estero Pocuro en el Sifón	118,11

Fuente: Elaboración propia en base a información proveniente de la Tabla 2.130

En el Anexo 2, se adjunta la Tabla 2.139, la cual expresa todo el detalle del cálculo de la escorrentía media anual, siendo especificados los valores del área aportante de cada subcuenca, el coeficiente de ajuste calórico (L), el déficit de la escorrentía media anual (D) y las variables de entrada (precipitación y ETP) y de salida (escorrentía).

c) Análisis de la simulación.

Para la elaboración del análisis del modelo de precipitación-escorrentía de Turc-Pike, se presenta la Tabla 2.140, la cual expresa el valor obtenido de la escorrentía media anual real versus la simulada de las 16 subcuencas a estudiar, siendo especificado el error relativo porcentual entre ambos valores presentados:

Tabla 2.140 “Tabla comparativa entre valores de escorrentía media anual medida vs la simulada”

Cuenca	Código	Subcuenca	E(Qma) (mm)	Es(mm)	Error relativo (%)
Río Huasco	1	Río Tránsito en Angostura Pinte	44,88	0,32	99
	2	Río Conay en las Lozas	37,20	0,35	99
Río Elqui	3	Estero Derecho en Alcohuaz	102,60	1,36	99
	4	Río Cochiguaz en el Peñón	157,12	1,39	99
	5	Río Toro antes junta Río la Laguna	52,19	1,77	97
	6	Embalse Laguna	137,42	2,13	98
Río Choapa	7	Río Illapel en las Burras	143,18	62,72	56
	8	Río Chalinga en la Palmilla	161,44	73,18	55
	9	Río Choapa en Cuncumen	282,91	66,45	77
Río Aconcagua (Ligua- Petorca)	10	Río Pedernal en Tejada	204,48	459,42	125
	11	Río Sobrante en Piñadero	166,26	503,91	203
	12	Río Alicahue en Colliguay	137,09	356,89	160
	13	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	278,59	633,07	127
	14	Río Juncal en Juncal	842,71	990,66	18
	15	Río Colorado en Colorado	244,97	802,40	228
	16	Estero Pocuro en el Sifón	181,08	118,11	35

Fuente: Elaboración propia en base a información proveniente de la Tabla 2.131 y Tabla 2.138.

Como apreciación general, observando y analizando los valores obtenidos en la Tabla 2.140, se puede apreciar que los valores de escorrentía media anual simulados por el modelo de Turc-Pike para las 4 cuencas a estudiar, no son representativos a los valores de la escorrentía media anual real registrados por las estaciones fluviométricas determinadas para este estudio, lográndose apreciar un error promedio porcentual del 105%. Pese a que este modelo, se encuentra asociado a una variable que representa la demanda hídrica de un cultivo de referencia, el error obtenido es muy alto para poder considerar este modelo de precipitación-escorrentía de Turc-Pike como válido para caracterizar hidrológicamente a las cuencas del río Huasco, Elqui, Choapa y Aconcagua (Ligua – Petorca).

De manera de apreciar el error del modelo de Turc-Pike, en la Figura 2.47, se expresa una gráfica X-Y la cual representa el error de estimación de escorrentía en función de la escorrentía medida.

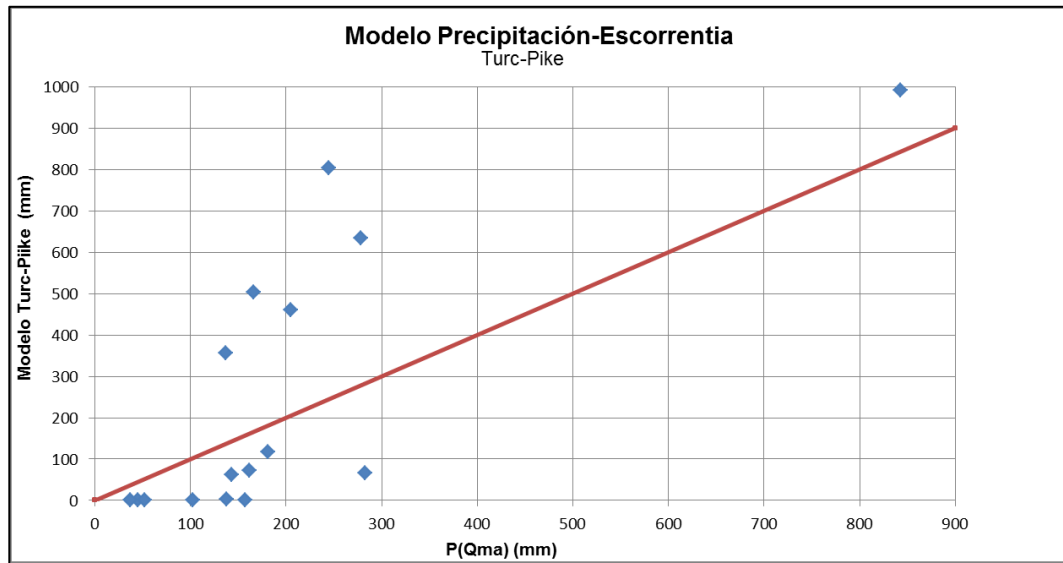


Figura 2.47 "Gráfica X-Y del Modelo de Turc-Pike".

Llevando el análisis de una manera más específico, se puede apreciar que el modelo de Turc-Pike presenta un mayor error en ciertas cuencas, siendo menores en otras, por lo cual se procede a analizar cada cuenca pudiéndose describir lo siguiente:

- Con un 128% de error promedio, la cuenca de mayor error de estimación es la del río Aconcagua (Ligua-Petorca), produciéndose en ésta, valores de error parcial demasiado altos, tal es el caso de la subcuenca "Río Colorado en Colorado", la cual presente un error parcial del 228%.
- Posteriormente las cuencas que presentan mayor error de estimación son las del río Huasco y Elqui con un 99% y 98% respectivamente, lográndose apreciar un error parejo del 99%, debido a que en esas zonas se estimaron valores de escorrentía muy bajos según el modelo de Turc-Pike.
- Finalmente, la cuenca del río Choapa, es la que presenta menor error promedio respecto a las 3 cuencas analizadas previamente, con un 62%, lográndose apreciar un error parejo en las 3 subcuencas seleccionadas para esta cuenca en estudio.

En base a los resultados y análisis obtenidos, no cabe duda de que el modelo de precipitación-escorrentía de Turc-Pike, no cumple con sus valores estimados de escorrentía media anual, pudiéndose apreciar errores significativos, los cuales hacen dudosa su aplicación para futuros estudios.

2.3.4 Resultados de la Etapa 2.

Este punto pretende dar término y síntesis al desarrollo expuesto en esta “Etapa 2”, del cual se pudieron obtener resultados que formarán parte esencial de los objetivos generales y específicos planteados para el desarrollo y análisis de este estudio, estos son expuestos en los siguientes puntos:

- En base a los resultados y análisis expuestos previamente, no cabe duda de que los modelos de precipitación escorrentía de Turc, Coutagne y Turc-Pike no estiman valores de escorrentía media anual confiables para su utilización, pudiéndose apreciar errores promedio de estimación muy altos.
- De una manera general la cuenca que presento mayor error promedio de estimación corresponde al modelo de Turc-Pike con una 105%, seguido del modelo Turc con un 80%, siendo la más baja respecto al error, el modelo de Coutagne con un 69%. Sin duda alguna los errores obtenidos para la estimación de escorrentía son muy altos, pudiéndose apreciar de que el modelo de Turc-Pike que presenta un coeficiente de ajuste que representa la demanda hídrica de un cultivo de referencia de cada cuenca que comprende el estudio, no es la variable que realmente afecta a la estimación de escorrentía, de manera que genere un error menor, sino todo lo contrario, hace aumentar relativamente el error en comparación a los modelos de Turc y Coutagne los cuales presentan un coeficiente de ajuste calórico que representa las condiciones de temperatura de cada subcuenca a estudiar.
- En la Figura 2.48, se especifica una gráfica la cual expresa en las abscisas la precipitación media anual que cae sobre cada una de las 16 subcuencas seleccionadas para este estudio y en las ordenadas se representa la escorrentía generadas por cada modelo, expuesto para este estudio, pudiéndose apreciar gráficamente el error asociado que tienen los modelos de Turc, Coutagne y Turc-Pike respecto a la mediciones realizadas por las estaciones pluviométricas.

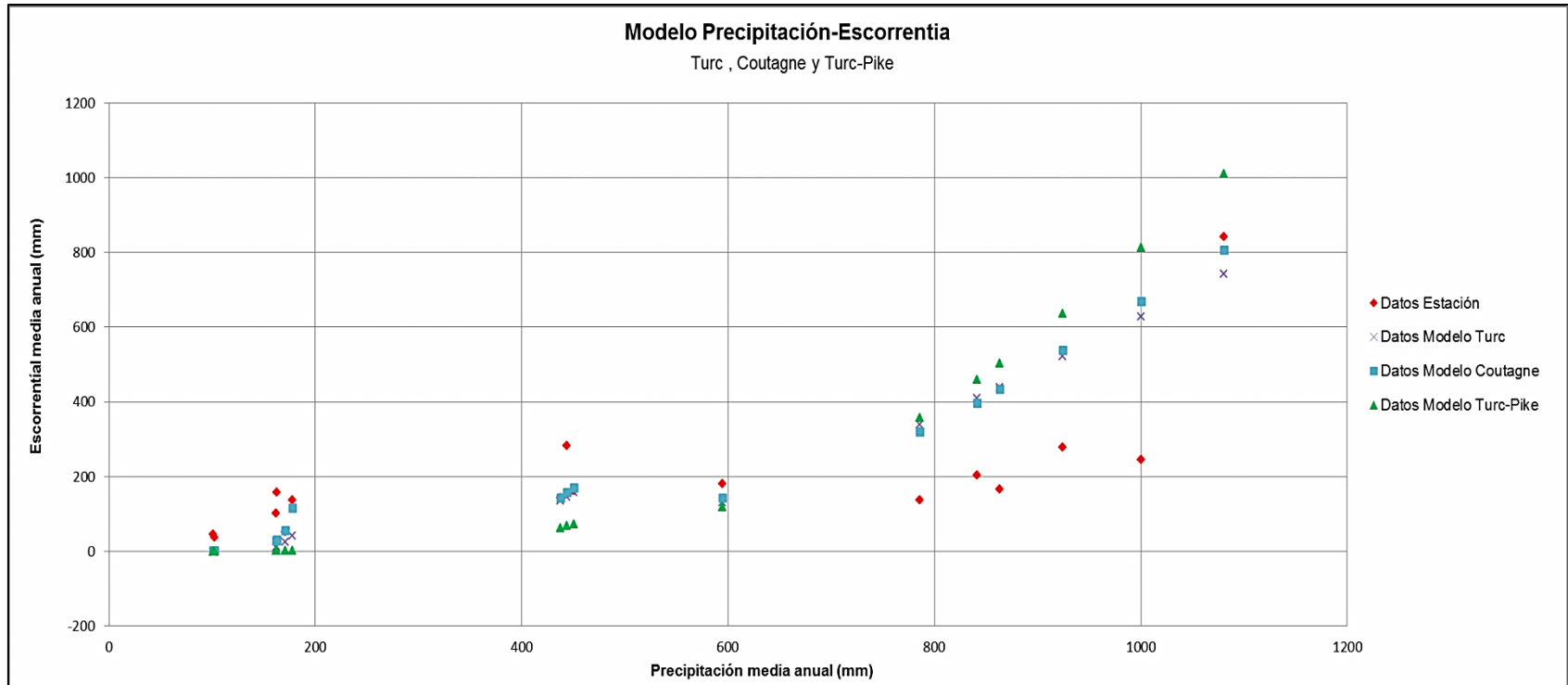


Figura 2.48 "Gráfica de modelos de precipitación-escorrentía a nivel medio anual"

En base a los resultados expuestos previamente, se aprecia un considerable error de estimación el cual se puede deber a varios motivos:

- El primero de ellos radica en el origen de estos modelos, debido a que no fueron creados bajo las condiciones hidrológicas y atmosféricas de Chile, sino que fueron elaboradas a través de una selección de cuencas que representaban diversas y extremas condiciones hidrológica y atmosféricas de todo el mundo, por lo cual, ya a través de este hecho, los modelos de precipitación-escorrentía presentarían un error inicial que afectaría directamente a su estimación de escorrentía en Chile.

Sin embargo se han realizado estudios que analizan la aplicabilidad de estos modelos de precipitación escorrentía, específicamente en cuencas del sur de Chile, pudiéndose destacar 2 estudios realizados en la Universidad de Talca a cargo del Dr. Ingeniero Roberto Pizarro Tapia. El primero estudio fue realizado a las cuencas del río Achibueno y Purapel, localizadas en la VII región de Chile, donde se recomienda la utilización del modelo de Pizarro y Peñuelas para la cuenca del río Achibueno, mientras que el modelo de Grunsky y Peñuelas para la cuenca del río Purapel, siendo descartada la utilización de modelos que se encuentren en función de la temperatura (Coutagne y Turc), debido al alto error de estimación. El segundo estudio fue realizado en la cuenca del río Malleco localizada en la IX región de Chile, donde se recomienda la utilización del modelo de Pizarro y Coutagne, debido a su bajo error de estimación de escorrentía

Cabe indicar que las investigaciones realizadas por el Dr. Ingeniero Roberto Pizarro, indicaron un mejor comportamiento de estas expresiones en la zona sur, siendo mejoradas por una expresión propuesta por el Dr. Pizarro para dichas cuencas. Llevando esta expresión del modelo de Pizarro, aplicado a las 16 subcuencas bajo estudio, presentan un error de estimación del 66%, cuyo detalle de cálculo se especifica en el Anexo 2 en la Tabla 2.141.

- Otro de los motivos por lo que se pueda generar este error de estimación de los modelos, es la distribución y calidad de medición de los registros estadísticos de caudal, precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial realizados por las estaciones, situación que no es menor, debido a que la D.G.A. no posee un control en muchas de las zonas altas (cordilleranas), cuya información que se tiene es escasa, de corta data y poco fiable, siendo crítica esta situación en la zona norte de Chile.
- También los modelos se ven afectados, por la metodología empleada para obtener los valores de escorrentía medidos y simulados, específicamente al rellenar los valores estadísticos faltantes y al realizar los modelos lineales que representarán la precipitación, temperatura y evapotranspiración potencial en función de la altura, esto último se debe a lo mencionado previamente, de que existen muy pocas estaciones con registros en las zonas altas de las cuencas, produciendo errores asociados en la obtención de estos modelos lineales.

Por lo tanto, en base los resultados y análisis obtenidos en esta Etapa 2, el estudio realizado aporta en el conocimiento, de que los modelos de precipitación-escorrentía de Turc, Coutagne y Turc-Pike no caracterizan las condiciones reales de escorrentía de cada una de las 16 subcuencas que comprenden el estudio, lo cual hace que los modelos sean poco fiables para su estimación y utilización.

Etapa 3

En la Etapa 3, se pretende dar término al estudio titulado como “Análisis de los modelos de precipitación-escorrentía para cuencas nivo-pluviales para la 3°, 4° y 5° región de Chile”, el cual pretende expresar una solución parcial en base a la problemática demostrada en la Etapa 2, la cual consiste en que ninguno de los modelos de precipitación-escorrentía (Turc, Coutagne y Turc-Pike) caracterizan adecuadamente las 16 subcuencas definidas en la Etapa 1 para este estudio, lográndose apreciar altos porcentajes de error promedio para la estimación de la escorrentía media anual de las 4 cuencas seleccionadas.

2.4 Ajuste de los modelos de precipitación-escorrentía.

Como se especificó y demostró previamente, los modelos de precipitación-escorrentía de Turc, Coutagne y Turc-Pike, no lograron estimar la escorrentía media anual de una manera confiable, frente a las 16 subcuencas que comprende este estudio, para lo cual, como estudio de ingeniería se pretende dar una solución parcial, a través de un ajuste no lineal a cada uno de los modelos, de manera, que éstos puedan estimar una escorrentía media anual muy cercano al valor real que miden las estaciones fluviométricas.

Para lograr el objetivo, de realizar un ajuste no lineal a los modelos de precipitación-escorrentía, será necesario tener un criterio lógico y sensato para la proposición del nuevo modelo que expresara los valores de la escorrentía media anual, el cual considerará 2 puntos esenciales. El primero de ellos, es que se mantendrá la forma matemática del modelo a ajustar, de manera de que no se altere la ecuación del balance hídrico del cual proviene el modelo originalmente, y el segundo de ellos, es que solo se permitirá el cambio de las constantes que acompañan a las variables esenciales de cada modelo, según sea el caso, siendo prudente el aumento de grado del polinomio que forman el ajuste del factor calórico, el cual utiliza la variable de temperatura para los modelos de Turc y Coutagne, mientras que para el modelo de Turc-Pike utiliza la variable de evapotranspiración potencial.

La finalidad de modificar las constantes que acompañan a las variables y aumentar de grado los polinomios que conforman el ajuste del factor calórico es de encontrar la combinación de constantes y grados de polinomio adecuados, de manera de llevar el error cuadrático entre la escorrentía real y simulada a su mínima expresión, lo cual permitirá bajar significativamente el porcentaje de error promedio que genera cada uno de los modelos de precipitación-escorrentía, siendo de un 105% para el modelo de Turc-Pike, seguido de un 80% para el modelo de Turc y finalmente de un 69% para el modelo de Coutagne. Este propósito se logra a través de un proceso iterativo, el cual se llevara a cabo a través de la aplicación Solver del programa Microsoft Excel, el cual a través de su celda objetivo, que para este estudio es la sumatoria del error cuadrático de las 16 subcuencas, pretenderá encontrar el valor óptimo de las constantes del nuevo modelo ajustado para las cuencas del río Huasco, Elqui, Choapa y Aconcagua (Ligua – Petorca)

En base a lo especificado previamente, se procede en el siguiente punto, el proponer la solución de ajuste de cada uno de los modelos, siendo especificado su metodología de cálculo y su respectivo análisis en relación a los nuevos valores estimados de escorrentía media anual.

2.4.1 Ajuste del modelo precipitación-escorrentía de Turc.

a) Desarrollo y proposición del ajuste del modelo de precipitación-escorrentía de Turc.

Observando y analizando el modelo de precipitación-escorrentía de Turc, se puede apreciar que las variables o expresión que es más sensible a la variación del valor de la escorrentía media anual, es la expresión que especifica el déficit de escorrentía (D), debido a que ésta es la que considera toda la pérdida de escorrentía que se genera por efectos atmosféricos, específicamente por la temperatura. Es por esta razón y sumado a los criterios planteados previamente, que se propone el nuevo modelo de ajuste de precipitación-escorrentía de Turc el cual se expresa en la Figura 2.49:

Déficit de escorrentía (mm)
$D = \frac{Y * P}{\sqrt{Z + \left(\frac{Y * P}{L}\right)^2}}$
Ajuste del factor calórico
$L = A + B * T + C * T^2 + F * T^3 + G * T^4 + H * T^5$

Figura 2.49 "Ajuste modelo precipitación-escorrentía de Turc"

En base al modelo propuesto para el ajuste del modelo de Turc, especificado en la Figura 2.49, se puede observar que el ajuste del factor calórico es expresado hasta un polinomio de grado 5, cuya razón radica en que para un grado mayor al especificado, la sumatoria del error cuadrático y el porcentaje promedio de error del modelo en función de las 4 cuencas de este estudio, comienza a subir, situación que no es la deseada según los objetivos planteados, además que se busca un bajo error con la menor cantidad posible de constantes o grados de libertad. Paralelamente a la expresión de ajuste que representa el déficit de escorrentía (D) se le consideran 2 constantes (Y, Z), donde la expresión "Y" que se encuentra multiplicando a la variable de precipitación, busca el representar que hay una fracción de precipitación que aporta al fenómeno de escorrentía, mientras que la fracción restante se evapora, por otro lado la constante "Z" que se encuentra dentro de la raíz cuadrada, tiene la finalidad de evitar que se generen valores mayores de déficit en comparación a la precipitación media anual que cae sobre la subcuenca de análisis, lo cual conlleva a que existan valores negativos de escorrentía media anual. Esta situación es una de las principales metas que intenta solucionar el ajuste al modelo de Turc, debido a que según el análisis realizado en la Etapa 2, la cuenca del río Huasco presenta valores estimados de escorrentía negativos, situación que es totalmente inexistente respecto a la escorrentía real, medidas por las estaciones fluviométricas.

Una vez definidas las constantes y grados del ajuste del factor calórico, se procede a encontrar el valor numérico de cada una de ellas, de manera de hallar una expresión que permita representar la escorrentía media anual de las cuencas del río Huasco, Elqui, Choapa y Aconcagua (Ligua – Petorca), para lo cual se realizará un proceso iterativo a través de la aplicación Solver del Programa Microsoft Excel, el cual comprenderá de los siguientes pasos:

- Se elaborará una tabla la cual exprese los valores de escorrentía media anual asociado, o llinquiados a cada una de las variables, las cuales serán iteradas a través de la aplicación Solver, a su vez será expresado el valor del error cuadrático de cada una de las subcuencas que comprenden este estudio, de manera de poder obtener el valor de la celda objetivo la cual será la sumatoria del error cuadrático generado por las 16 subcuencas que conforman este estudio. En el Anexo 3 se adjunta la Tabla 2.142, la cual expresa lo planteado previamente, tomando como valores de inicio para la iteración, los valores de escorrentía media anual obtenidos en la Etapa 2, expresados en la Tabla 2.132. En base al error cuadrático generado por cada subcuenca se logra obtener el valor de la sumatoria del error cuadrático el cual corresponde a un valor de 434667 (mm²), lo cual equivale a un porcentaje de error promedio del modelo frente a las 4 cuencas de un 80%.
- Identificado el valor de la celda objetivo y definidas las celdas de las variables que serán iteradas a través de la aplicación Solver, se programa la aplicación dándole la orden de encontrar los valores óptimos de las constantes, de manera que el modelo ajustado, exprese el mínimo error respecto a la sumatoria del error cuadrático, permitiendo encontrar un valor de escorrentía media anual muy cercano a la medida. En el Anexo 3, se adjunta la Tabla 2.143, la cual expresa los resultados finales obtenidos para el nuevo modelo propuesto, el cual pudo ser ajustado hasta llegar a una sumatoria del error cuadrático de 44262 (mm²), lo cual equivale a un porcentaje de error promedio del modelo de ajuste frente a las 4 cuencas de un 26%.

Finalmente en base a los resultados obtenidos en la Tabla 2.143, se llega a una expresión de modelo que logra tener una aproximación mucho mas cercana y real, respecto a la existente, la cual se representa en la Figura 2.50, donde se podrá calcular con este modelo la escorrentía media anual de la cuenca del río Huasco, Elqui, Choapa y Aconcagua (Ligua – Petorca), cuyo valor estimado llevará asociado un 26% de error promedio.

Déficit de escorrentía (mm)
$D = \frac{0,715 * P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{0,715 * P}{L}\right)^2}}$
Ajuste del factor calórico
$L = 53,365 * T + 0,052 * T^3 + 3,655 * T^4 + 0,743 * T^5$

Figura 2.50 “Resultado de ajuste del modelo de precipitación-escorrentía de Turc”

Debido a que este estudio se encuentra acotado a 3 regiones de Chile y sumado a los valores obtenidos de precipitación media anual obtenidos para cada subcuenca, el modelo de Turc Modificado expuesto en la Figura 2.50 es válido para cierto rango precipitación, el cual oscila entre los 100 y 1100 (mm) aproximadamente.

Como se puede apreciar, el modelo de ajuste de Turc, expresado en la Figura 2.50, cumple con todos los criterios preestablecidos para este etapa, pudiéndose apreciar que la expresión natural del modelo sigue siendo la misma, siendo solo cambiados los valores de las constantes que acompañan a las variables y la extensión de grados del polinomio de ajuste del factor calórico.

b) Análisis del ajuste propuesto del modelo de precipitación-escorrentía de Turc

De modo de poder apreciar, las ventajas obtenidas, al realizar el ajuste no lineal al modelo de precipitación-escorrentía de Turc, se expresa la Tabla 2.144, la cual expresa los resultados obtenidos de la escorrentía media anual, con el error relativo asociado a cada subcuenca, tanto del modelo original, como del ajuste del modelo de Turc.

Tabla 2.144 “Análisis comparativo entre el modelo de Turc original y el ajuste del modelo de Turc Modificado”

Código	Subcuenca	E(Qma) (mm)	Modelo Original		Ajuste Modelo	
			Es Turc (mm)	Error parcial (%)	Es Turc (mm)	Error parcial (%)
1	Río Tránsito en Angostura Pinte	44,88	-3,01	107	24,50	45
2	Río Conay en las Lozas	37,20	-2,57	107	24,81	33
3	Estero Derecho en Alcohuaz	102,60	10,33	90	104,39	2
4	Río Cochiguaz en el Peñón	157,12	11,05	93	115,65	26
5	Río Toro antes junta Río la Laguna	52,19	22,26	57	103,54	98
6	Embalse Laguna	137,42	36,62	73	135,13	2
7	Río Illapel en las Burras	143,18	135,39	5	113,55	21
8	Río Chalinga en la Palmilla	161,44	157,45	2	161,54	0
9	Río Choapa en Cuncumen	282,91	143,75	49	125,22	56
10	Río Pedernal en Tejada	204,48	409,64	100	207,58	2
11	Río Sobrante en Piñadero	166,26	439,04	164	213,27	28
12	Río Alicahue en Colliguay	137,09	337,93	147	193,71	41
13	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	278,59	519,57	86	230,85	17
14	Río Juncal en Juncal	842,71	721,75	14	827,33	2
15	Río Colorado en Colorado	244,97	616,99	152	311,72	27
16	Estero Pocuro en el Sifón	181,08	130,91	28	146,66	19
Error promedio				80		26

Fuente: Elaboración propia

En base a los resultados expresados en la Tabla 2.144, se puede apreciar que la aplicación del método de ajuste no lineal, mejora sustancialmente la estimación de la escorrentía media anual, para las cuenca del río Huasco, Elqui, Choapa y Aconcagua (Ligua – Petorca), reduciendo el porcentaje de error promedio del modelo de Turc de un 80% a un 26%, a través del ajuste realizado al modelo. Además con la realización de este ajuste, se logra obtener una estimación más real y lógica, específicamente en la cuenca del río Huasco, territorio en el cual existen valores estimados de escorrentía del modelo de Turc negativos, situación que es totalmente inexistente debido a que las estaciones fluviométricas registran la existencia de escorrentía, en dichas subcuencas. Sin duda alguna se puede apreciar de que en ciertas subcuencas, se logra estimar un valor de escorrentía muy cercano al real, tales son el caso de las subcuencas Embalse Laguna, Río Chalinga en la Palmilla, Río Pedernal en Tejada y Río Juncal en Juncal, las cuales presentan un error de estimación entre 0,4% a 2%, mientras que por otro lado, se logra observar de que las subcuencas Río Toro antes junta Río La Laguna y Río Choapa en Cuncumen perteneciente a la cuenca del río Elqui y Choapa respectivamente, no se logra ajusta a la tendencia de datos obteniendo un error de estimación del superior al 56%.

Como se puede observar de la Tabla 2.144, los valores de escorrentía estimados por el ajuste del modelo de Turc, son de aceptable confiabilidad, pudiéndose observar que el nuevo modelo propuesto se ajusta de mejor manera en ciertas cuencas, obteniendo sus mejores resultados en las subcuencas que conforman la cuenca del río Aconcagua en el cual se aprecia un porcentaje de error promedio del 19%, seguido de las cuencas del río Choapa y Elqui con un 25% y 32% respectivamente, lográndose apreciar el error promedio mas alto en la cuenca del río Huasco con un 39%.

De modo de representar de una manera comparativa los resultados obtenidos gracias al ajuste del modelo de precipitación-escorrentía de Turc, en la Figura 2.51 se expresa una gráfica la cual representa la dispersión de puntos resultantes entre las escorrentía real medida por las estaciones fluviométricas, la cual se expresa en el eje de las abscisas y la escorrentía estimada por el modelo original de Turc, la cual se expresa en el eje de las ordenadas, cuya dispersión de puntos tiene la siguiente forma:

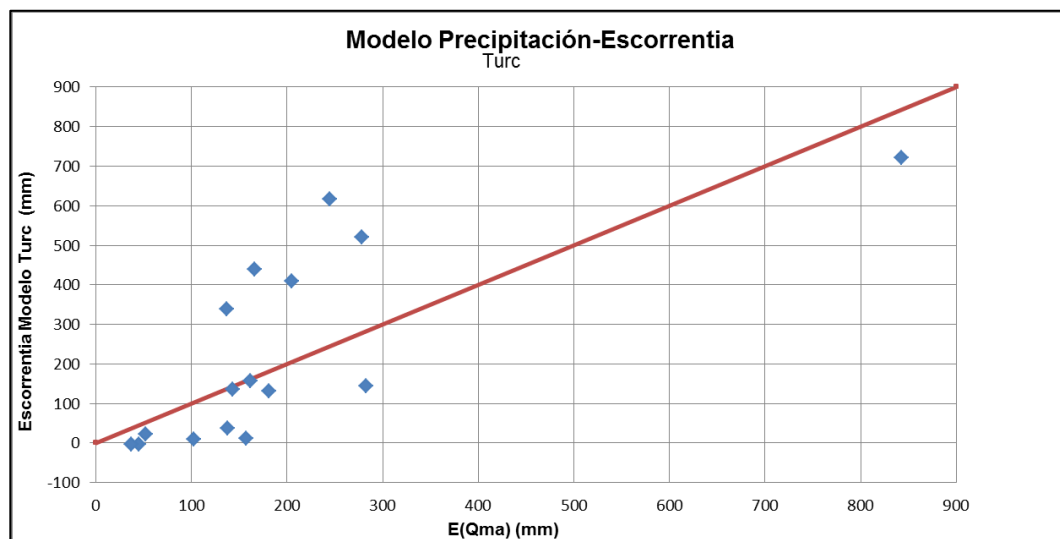


Figura 2.51 “Dispersión de puntos entre escorrentía medida y escorrentía estimada por Turc.

La confección de la gráfica expresada en la Figura 2.51, tiene la finalidad de expresar como es el comportamiento de la escorrentía estimada frente a la escorrentía medida, de manera, que en el caso de que estos valores fuesen iguales, formarían una recta de tendencia de 45°. Según lo que se puede visualizar en la gráfica, este fenómeno anda bastante lejos de resultar así, debido a que la dispersión de punto no conforman una tendencia lineal que represente una recta de 45°, lo cual ratifica el hecho de que el modelo de precipitación escorrentía de Turc, no aplica para la estimación de la escorrentía media anual para las cuencas del río Huasco, Elqui, Choapa y Aconcagua (Ligua – Petorca).

Esta dispersión de puntos, que no siguen una tendencia lineal como las expresada en la recta de 45° de color rojo, tiene una error de estimación del 80%, error que sumado al análisis realizado a la Tabla 2.144 y a la gráfica expresada en la Figura 3.51, llegan a la conclusión de tener que realizar un ajuste al modelo de Turc, el cual una vez realizado, se confecciona otra gráfica expresada en la Figura 2.52, la cual expresa el nuevo comportamiento de la escorrentía estimada frente a la escorrentía medida. Para ello se vuelve confeccionar una gráfica la cual representara la dispersión de puntos resultantes entre las escorrentía real medida por las estaciones fluviométricas, la cual se expresa en el eje de las abscisas y la escorrentía estimada por el ajuste del modelo de precipitación-escorrentía de Turc modificado, la cual se expresa en el eje de las ordenadas, cuya dispersión de puntos tiene la siguiente forma:

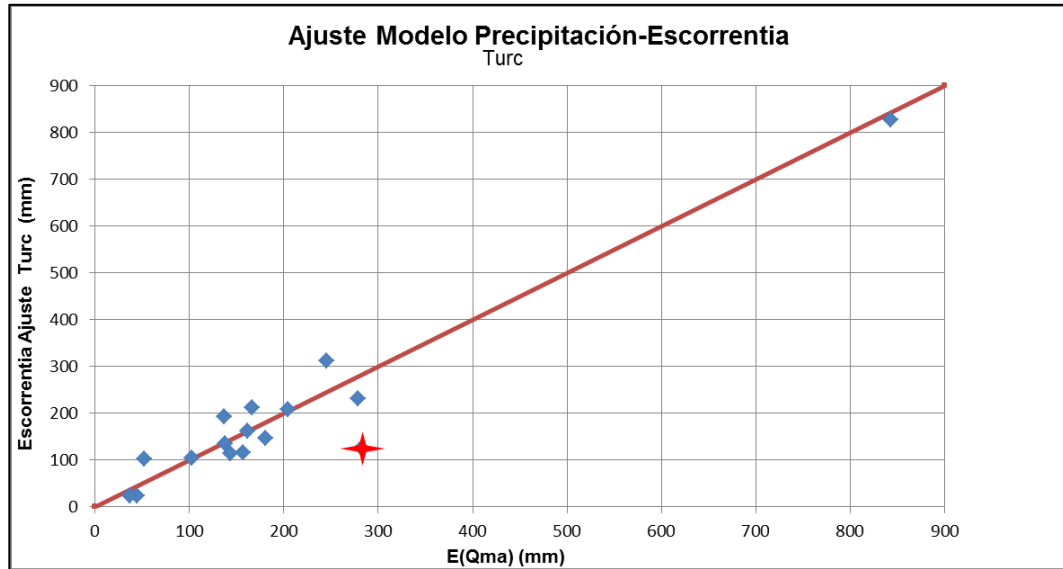


Figura 2.52 “Dispersión de puntos entre escorrentía medida y escorrentía estimada por ajuste de Turc modificado”.

Observando y analizando la gráfica expresada en la Figura 2.52, se puede apreciar que al aplicar el método no lineal para ajustar el modelo de precipitación-escorrentía de Turc, existe una tendencia de los valores de escorrentía medido versus la simulada de aproximarse a la línea roja de 45°, la cual expresa el ajuste óptimo, en la cual existe un 0% de error respecto a la estimación. Esta tendencia apreciada en los valores estimados de escorrentía, es aceptable en la gran mayoría de las subcuencas, con excepción de la subcuenca Río Choapa en Cuncumen, cuyo punto representado en la gráfica de la Figura 2.52, se aleja respecto a la tendencia de las otras 15 subcuencas. La posible razón a este fenómeno es que esta subcuenca al ser estimada con el modelo de Turc original, expresa un error relativo del 49% y al ser estimado nuevamente el valor de escorrentía a través del ajuste del modelo de Turc modificado, el error relativo aumenta a un 56%, situación que es generada debido a que la aplicación Solver busca minimizar el error de las estimaciones como un universo total, no de manera parcial, por lo cual esta subcuenca se vio alterada por motivos numéricos o de modelación matemática, no siendo un factor predominante el de alguna anomalía hidrológica.

Por lo tanto en base a los antecedente expuestos en este punto y sumado al análisis expresado para el ajuste del modelo de precipitación-escorrentía de Turc modificado, se logro llegar a un modelo que estuviera mas correlacionado respecto a los valores reales que miden las estaciones fluviométrica, cuyo modelo que es expresado en la Figura 2.50, lleva consigo un porcentaje de error promedio del 26%.

2.4.2 Ajuste del modelo precipitación-escorrentía de Coutagne.

a) Desarrollo y proposición del ajuste del modelo precipitación-escorrentía de Coutagne.

Observando y analizando el modelo de precipitación-escorrentía de Coutagne, se puede apreciar que la variable o expresión que es más sensible a la variación del valor de la escorrentía media anual, es la expresión que especifica el déficit de escorrentía (D), debido a que ésta es la que considera toda la pérdida de escorrentía que se genera por efectos atmosféricos, específicamente por la temperatura. En base a que el modelo de Coutagne, tiene un análisis más finito respecto al valor del déficit de escorrentía (D), al dividirlos en 3 casos, como se especificó en el punto 2.3.2 de la Etapa 2 y sumado a los criterios planteados para esta etapa en particular, se propone el nuevo modelo de ajuste de precipitación-escorrentía de Coutagne modificado el cual se expresa en la Figura 2.53:

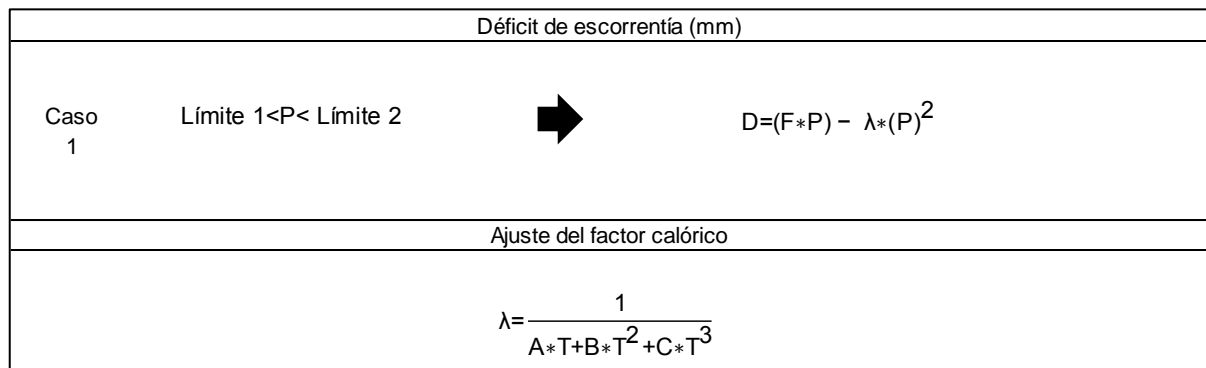


Figura 2.53 “Ajuste modelo precipitación-escorrentía de Coutagne”

En base al modelo propuesto para estimar la escorrentía expuesto en la Figura 2.53, se puede apreciar que solo fue considerado para el ajuste de las 4 cuencas que comprenden el estudio, el caso 1, sin especificar sus respectivos límites inferior y superior para su aplicabilidad, esto se debe a que según el análisis realizado en la Etapa 2 de este punto, se logra apreciar que 10 de las 16 subcuencas, corresponden a zonas que son caracterizadas por el Caso 1, la cual define el déficit de escorrentía en función de la precipitación y temperatura, esto permite deducir que las subcuencas que se puedan generar a lo largo de la 3°, 4° y 5° región de Chile predominantemente serán subcuencas del Caso 1. Es por esta razón, que debido a que no se cuenta con la cantidad de subcuencas necesarias para poder definir un ajuste adecuado para el caso 2 y caso 3, los cuales definen el déficit de escorrentía en función de la precipitación y temperatura respectivamente, no se pueden determinar los límites de aplicabilidad para cada uno de ellos, siendo necesario para esto el estudio de las cuencas del norte y sur de Chile.

Siguiendo la filosofía del método de Coutagne y el marco de referencia correspondiente a este estudio, las 16 subcuencas seleccionada serán ajustadas bajo la expresión del caso 1, para lo cual se consideran constantes tal como se muestra en la Figura 2.53 de manera que éstas obtengan un cálculo de escorrentía con el menor error posible.

En el caso 1, para ajustar la expresión de déficit de escorrentía planteado, se consideran 2 constantes F y λ , las cuales pretenderán ajustar el modelo a través de un polinomio grado 2, cuya expresión se encontrará en función de la variable de precipitación media anual y del ajuste del factor calórico. Esta última variable representada por la constante λ , a su vez se encuentra asociada a 3 constantes más A, B y C, las cuales pretenderán ajustar las condiciones atmosféricas existentes en las 4 cuencas del estudio, a través de un polinomio de grado 3 cuya expresión se encuentra en función de la variable de temperatura media anual.

Una vez definidas las constantes y grados del ajuste del factor calórico, se procede a encontrar el valor numérico de cada una de ellas, de manera de hallar una expresión que permita representar la escorrentía media anual de las cuencas del río Huasco, Elqui, Choapa y Aconcagua (Ligua – Petorca), para lo cual se utilizara el mismo procedimiento iterativo que el modelo de Turc a través de la aplicación Solver del programa Microsoft Excel.

En base a lo expuesto anteriormente, en el Anexo 3 se adjunta la Tabla 2.145, la cual expresa el error cuadrático generado para cada una de las 16 subcuencas a través del modelo de Coutagne original, pudiéndose visualizar que el valor de la celda objetivo correspondiente a la sumatoria del error cuadrático tiene un valor de 522182(mm²), lo cual equivale a un porcentaje de error promedio del modelo frente a las 4 cuencas de un 69%. Además se incluye la Tabla 2.146 la cual incluye de igual manera que la otra tabla el error cuadrático generado por el ajuste del modelo de Coutagne modificado, lográndose apreciar que el valor de la sumatoria del error cuadrático es de 45512 (mm²), lo cual equivale a un porcentaje de error promedio frente a las 4 cuencas de un 26%.

Finalmente en base a los resultados obtenidos en la Tabla 2.146, se llega a una expresión de modelo que logra tener una aproximación mucho mas cercana y real, respecto a la existente, la cual se representa en la Figura 2.54, donde se podrá calcular con este modelo la escorrentía media anual de la cuenca del río Huasco, Elqui, Choapa y Aconcagua (Ligua – Petorca), cuyo valor estimado llevará asociado un 26% de error promedio.


Déficit de escorrentía (mm)	
Caso 1	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="text-align: center;"> <p>Límite 1 < P < Límite 2</p> </div> <div style="margin: 0 20px;">  </div> <div style="text-align: center;"> <p>$D = (0,790 * P) - \lambda * (P)^2$</p> </div> </div>
Ajuste del factor calórico	
$\lambda = \frac{1}{261 * T^2 + 61 * T^3}$	

Figura 2.54 “Resultado de ajuste del modelo de precipitación-escorrentía de Coutagne”

Como se puede apreciar, el modelo de ajuste de Coutagne, expresado en la Figura 2.54, cumple con todos los criterios preestablecidos para esta etapa, pudiéndose apreciar que la expresión natural del modelo sigue siendo la misma, siendo solo cambiados los valores de las constantes que acompañan a las variables y la expresión de grados del polinomio de ajuste del factor calórico,

b) Análisis del ajuste propuesto del modelo de precipitación-escorrentía de Coutagne

De modo de poder apreciar, las ventajas obtenidas, al realizar el ajuste no lineal al modelo de precipitación-escorrentía de Coutagne, se expresa la Tabla 2.147, la cual expresa los resultados obtenidos de la escorrentía media anual, con el error relativo asociado a cada subcuenca, tanto del modelo original, como del ajuste del modelo de Coutagne.

Tabla 3.147 “Análisis comparativo entre el modelo de Coutagne original y el ajuste del modelo de Coutagne modificado”

Código	Subcuenca	E(Qma) (mm)	Modelo Original		Ajuste Modelo Modificado	
			Es Coutagne (mm)	Error parcial (%)	Es Coutagne (mm)	Error parcial (%)
1	Río Tránsito en Angostura Pinte	44,88	0,00	100	21,20	53
2	Río Conay en las Lozas	37,20	0,00	100	21,71	42
3	Estero Derecho en Alcohuaz	102,60	27,21	73	101,51	1
4	Río Cochiguaz en el Peñón	157,12	28,32	82	140,51	11
5	Río Toro antes junta Río la Laguna	52,19	51,51	1	88,35	69
6	Embalse Laguna	137,42	106,44	23	118,13	14
7	Río Illapel en las Burras	143,18	142,34	1	116,95	18
8	Río Chalinga en la Palmilla	161,44	169,07	5	150,96	6
9	Río Choapa en Cuncumen	282,91	152,54	46	128,50	55
10	Río Pedernal en Tejada	204,48	395,57	93	197,17	4
11	Río Sobrante en Piñadero	166,26	431,84	160	206,93	24
12	Río Alicahue en Colliguay	137,09	317,05	131	177,13	29
13	Río Putaendo en Res. Los Patos	278,59	533,72	92	243,35	13
14	Río Juncal en Juncal	842,71	783,47	7	806,47	4
15	Río Colorado en Colorado	244,97	655,10	167	341,79	40
16	Estero Pocuero en el Sifón	181,08	142,21	21	127,46	30
Error promedio				69		26

Fuente: Elaboración propia

En base a los resultados expresados en la Tabla 2.147, se puede apreciar que la aplicación del método de ajuste no lineal, mejora sustancialmente la estimación de la escorrentía media anual, para las cuenca del río Huasco, Elqui, Choapa y Aconcagua (Ligua – Petorca), reduciendo el porcentaje de error promedio del modelo de Coutagne de un 69% a un 26%, a través del ajuste realizado al modelo. Además con la realización de este ajuste, se logra obtener una estimación más real y lógica, específicamente en las subcuencas, donde existen valores estimados de escorrentía del modelo de Coutagne que resultan ser igual a 0 (mm), situación que es totalmente inexistente debido a que las estaciones fluviométricas registran la existencia de escorrentía, en dichas subcuencas, tal es el caso de la subcuenca Río Tránsito en Angostura Pinte y Río Conay en las Lozas, generalmente subcuencas localizadas en el sector norte de Chile

Como se puede observar de la Tabla 2.147, los valores de escorrentía estimados por el ajuste del modelo de Coutagne, se ajusta de mejor manera en ciertas cuencas, obteniendo sus mejores resultados en las subcuencas que conforman la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca) en el cual se aprecia un porcentaje de error promedio del 20%, seguido de las cuencas del río Elqui y Choapa con un 24% y 26% respectivamente, lográndose apreciar el error promedio mas alto en la cuenca del río Huasco con un 47%.

De modo de representar de una manera comparativa los resultados obtenidos gracias al ajuste del modelo de precipitación-escorrentía de Coutagne, en la Figura 2.55 se expresa una gráfica la cual representa la dispersión de puntos resultantes entre las escorrentía real medida por las estaciones fluviométricas, la cual se expresa en el eje de las abscisas y la escorrentía estimada por el modelo original de Coutagne, la cual se expresa en el eje de las ordenadas, cuya dispersión de puntos tiene la siguiente forma:

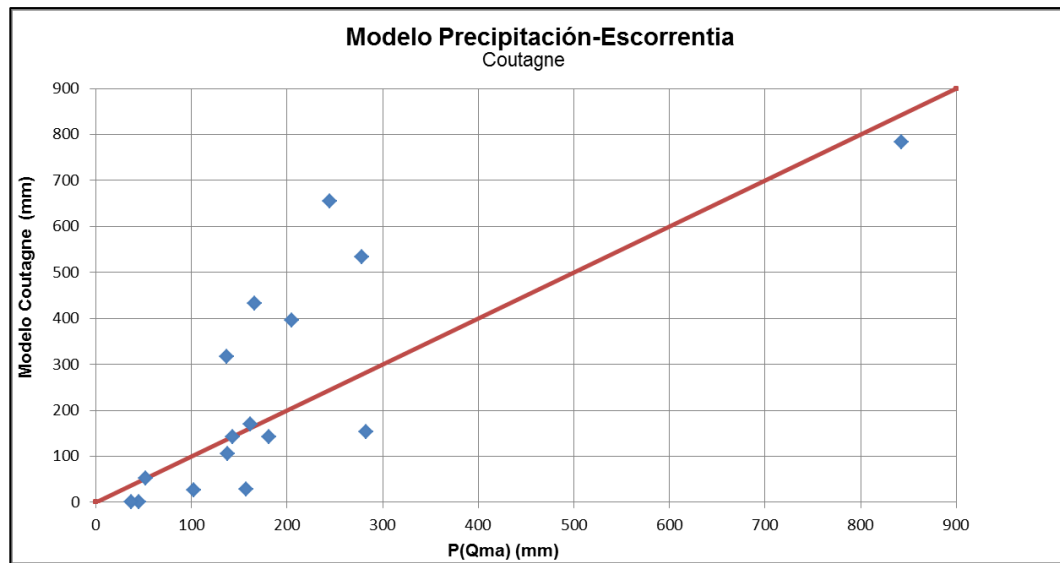


Figura 2.55 “Dispersión de puntos entre escorrentía medida y escorrentía estimada por Coutagne.

Esta dispersión de puntos, que se alejan de la recta de tendencia de 45°, representada por una línea roja en la gráfica de la Figura 2.55, tiene un error de estimación del 69%, error que sumado al análisis realizado a la Tabla 2.147 y a la gráfica expresada en la Figura 2.55, llegan a la conclusión de tener que realizar un ajuste al modelo de Coutagne, el cual según lo explicado en el punto 2.4.2 (a) solo será efectuado para el caso 1, una vez elaborado este ajuste al modelo de precipitación-escorrentía de Coutagne se confecciona otra gráfica expresada en la Figura 2.56, la cual expresa el nuevo comportamiento de la escorrentía estimada frente a la escorrentía medida.

Para ello se vuelve confeccionar una gráfica la cual representara la dispersión de puntos resultantes entre las escorrentía real medida por las estaciones fluviométricas, la cual se expresa en el eje de las abscisas y la escorrentía estimada por el ajuste del modelo de precipitación-escorrentía de Coutagne, la cual se expresa en el eje de las ordenadas, cuya dispersión de puntos tiene la siguiente forma:

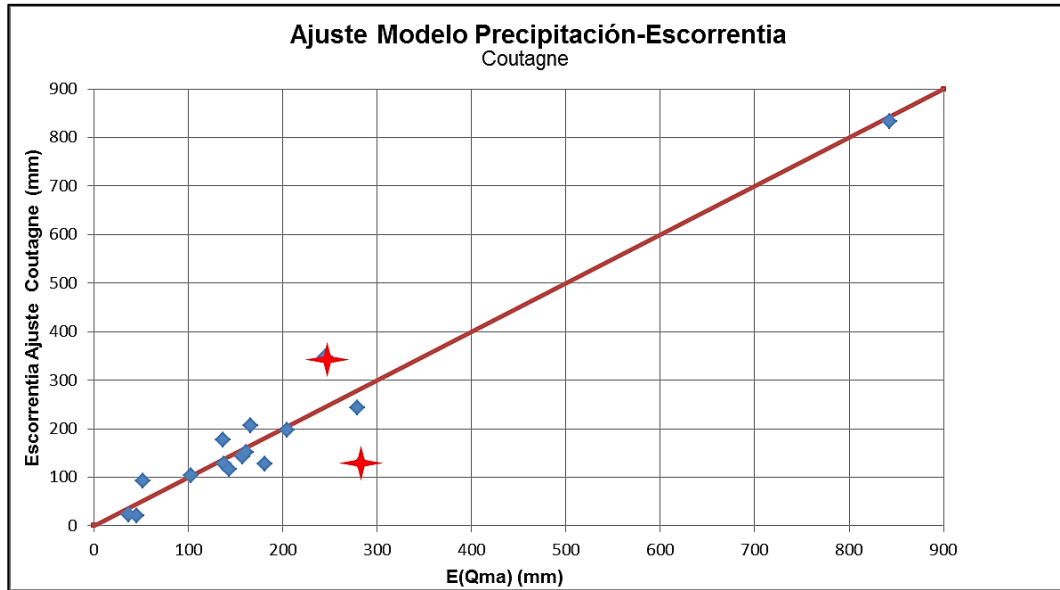


Figura 2.56 “Dispersión de puntos entre escorrentía medida y escorrentía estimada por ajuste de Coutagne Modificado”.

Observando y analizando la gráfica expresada en la Figura 2.56, se puede apreciar que al aplicar el método no lineal para ajustar el modelo de precipitación-escorrentía de Coutagne, existe una tendencia de los valores de escorrentía medida versus la simulada de aproximarse a la línea roja de 45°, la cual expresa el ajuste óptimo, en la cual existe un 0% de error respecto a la estimación. Esta tendencia apreciada en los valores estimados de escorrentía, es aceptable en la gran mayoría de las subcuencas, con excepción de las subcuencas Río Colorado en Colorado y Río Choapa en Cuncumen, cuyo punto representado en la gráfica de la Figura 2.56, se aleja respecto a la tendencia de las otras 14 subcuencas.

Por lo tanto en base a los antecedentes expuestos en este punto y sumado al análisis expresado para el ajuste del modelo de precipitación-escorrentía de Coutagne, se logró llegar a un modelo para el caso 1, que estuviera mucho más ajustado respecto a los valores reales que miden las estaciones fluviométricas, cuyo modelo que es expresado en la Figura 2.54, lleva consigo un porcentaje de error promedio del 26%.

2.4.3 Ajuste del modelo precipitación-escorrentía de Turc-Pike.

a) Desarrollo y proposición del ajuste del modelo precipitación-escorrentía de Turc-Pike

Observando y analizando el modelo de precipitación-escorrentía de Turc-Pike, se puede apreciar que las variables o expresión que es más sensible a la variación del valor de la escorrentía media anual, es la expresión que especifica el déficit de escorrentía (D), debido a que ésta es la que considera toda la pérdida de escorrentía que se genera por efectos de la evapotranspiración potencial, cuya demanda hídrica generada por la vegetación es lo que caracterizará una cuenca de la otra. Es por esta razón y sumado a los criterios planteados previamente, que se propone el nuevo modelo de ajuste de precipitación-escorrentía de Turc-Pike el cual se expresa en la Figura 2.57:

Déficit de escorrentía (mm)
$D = \frac{Y * P}{\sqrt{Z + \left(\frac{Y * P}{L}\right)^2}}$
Ajuste del factor calórico
$L = A + B * ETP + C * ETP^2 + F * ETP^3$

Figura 2.57 "Ajuste modelo precipitación-escorrentía de Turc-Pike"

Debido a que Pike, confecciona su modelo de precipitación-escorrentía en base al modelo Turc, la metodología y proposición del ajuste de ambos modelos son muy similares, diferenciándose solamente en la variable que centra su factor de ajuste calórico, donde en el Modelo de Turc, considera como variable predominante ante la estimación de escorrentía a la temperatura, mientras que el modelo de Turc-Pike, considera a la evapotranspiración potencial. Por lo tanto en base al modelo propuesto para el ajuste del modelo de Turc-Pike, especificado en la Figura 2.57, se puede observar que el ajuste del factor calórico es expresado hasta un polinomio de grado 3, cuya razón radica en que para ese grado, se logra encontrar el porcentaje de error promedio mas bajo para el ajuste del modelo de precipitación –escorrentía, donde para lograr este objetivo, al déficit de escorrentía (D) se le consideró las misma 2 variables que al modelo de Turc Z e Y.

Una vez definidas las constantes y grados del ajuste del factor calórico, se procede a encontrar el valor numérico de cada una de ellas, de manera de hallar una expresión que permita representar la escorrentía media anual de las cuencas del río Huasco, Elqui, Choapa y Aconcagua (Ligua – Petorca), para lo cual se realizará un proceso iterativo a través de la aplicación Solver del Programa Microsoft Excel bajo el mismo procedimiento empleados para el modelo de Turc y Coutagne.

En base a lo expuesto anteriormente, en el Anexo 3 se adjunta la Tabla 2.148, la cual expresa el error cuadrático generado para cada una de las 16 subcuencas a través del modelo de Turc-Pike original, pudiéndose visualizar que el valor de la celda objetivo correspondiente a la sumatoria del error cuadrático tiene un valor de 809350 (mm²), lo cual equivale a un porcentaje de error promedio del modelo frente a las 4 cuencas de un 105%. Además se incluye la Tabla 2.149 la cual incluye de igual manera que la otra tabla el error cuadrático generado por el ajuste del modelo de Turc-Pike modificado, lográndose apreciar que el valor de la sumatoria del error cuadrático es de 72659 (mm²), lo cual equivale a un porcentaje de error promedio frente a las 4 cuencas de un 34%.

Finalmente en base a los resultados obtenidos en la Tabla 2.149, se llega a una expresión de modelo que logra tener una aproximación mas cercana y real, respecto a la existente, la cual se representa en la Figura 2.58, donde se podrá calcular con este modelo la escorrentía media anual asociada a la variable de evapotranspiración potencial, de la cuenca del río Huasco, Elqui, Choapa y Aconcagua (Ligua – Petorca), cuyo valor estimado llevará asociado un 34% de error promedio. Este modelo de Turc- Pike cumple con todos los criterios preestablecidos, manteniendo su forma matemática original, siendo solamente variadas sus constantes y ampliado el grado del polinomio que representa al ajuste del factor calórico.

Déficit de escorrentía (mm)
$D = \frac{0,727 * P}{\sqrt{1 + \left(\frac{0,727 * P}{L}\right)^2}}$
Ajuste del factor calórico
$L = ETP + 0,0005 * ETP^3$

Figura 2.58 “Resultado de ajuste del modelo de precipitación-escorrentía de Turc-Pike.”

Es importante el destacar, que el modelo original de Turc-Pike, estima la escorrentía media anual a través de la evapotranspiración potencial (ETP), cuya variable representa a un tipo de cultivo que es característico de cada zona a estudiar. En base a que esta variable es obtenida para este estudio a través del “Visualizador electrónico de la cartografía de la evapotranspiración potencial en Chile”, el cual asocia el valor de la ETP a un cultivo de referencia, el modelo propuesto, mostrado en la Figura 2.58, considera esta diferencia de cultivo, que es típico de cada región a estudiar, a través de las nuevas constantes que conforman al modelo de Turc-Pike, de manera que permita la utilización de los registros brindados por el visualizador electrónico.

b) Análisis del ajuste propuesto del modelo de precipitación-escorrentía de Turc-Pike

De modo de poder apreciar, las ventajas obtenidas, al realizar el ajuste no lineal al modelo de precipitación-escorrentía de Turc-Pike, se expresa la Tabla 2.150, la cual expresa los resultados obtenidos de la escorrentía media anual, con el error relativo asociado a cada subcuenca, tanto del modelo original, como del ajuste del modelo de Turc-Pike.

Tabla 2.150 “Análisis comparativo entre el modelo de Turc-Pike original y el ajuste del modelo de Turc-Pike Modificado”

Código	Subcuenca	E(Qma) (mm)	Modelo Original		Ajuste Modelo Modificado	
			Es Turc-Pike (mm)	Error parcial (%)	Es Turc-Pike (mm)	Error parcial (%)
1	Río Tránsito en Angostura Pinte	44,88	0,32	99	24,07	46
2	Río Conay en las Lozas	37,20	0,35	99	24,37	34
3	Estero Derecho en Alcohuaz	102,60	1,36	99	38,93	62
4	Río Cochiguaz en el Peñón	157,12	1,39	99	39,14	75
5	Río Toro antes junta Río la Laguna	52,19	1,77	97	40,24	23
6	Embalse Laguna	137,42	2,13	98	41,11	70
7	Río Illapel en las Burras	143,18	62,72	56	106,07	26
8	Río Chalinga en la Palmilla	161,44	73,18	55	109,13	32
9	Río Choapa en Cuncumen	282,91	66,45	77	106,80	62
10	Río Pedernal en Tejada	204,48	459,42	125	203,83	0
11	Río Sobrante en Piñadero	166,26	503,91	203	209,27	26
12	Río Alicahue en Colliguay	137,09	356,89	160	190,29	39
13	Río Putaendo en Res. Los Patos	278,59	633,07	127	224,48	19
14	Río Juncal en Juncal	842,71	990,66	18	858,72	2
15	Río Colorado en Colorado	244,97	802,40	228	262,46	7
16	Estero Pocuro en el Sifón	181,08	118,11	35	144,09	20
Error promedio				105		34

Fuente: Elaboración propia

En base a los resultados expresados en la Tabla 2.150, se puede apreciar que la aplicación del método de ajuste no lineal, mejora parcialmente la estimación de la escorrentía media anual, para las cuenca del río Huasco, Elqui, Choapa y Aconcagua (Ligua – Petorca), reduciendo el porcentaje de error promedio del modelo de Turc-Pike de un 105% a un 34%, a través del ajuste realizado al modelo. Si bien, se logra apreciar una reducción notoria del porcentaje de error promedio, esto no es así, a nivel parcial, lográndose apreciar por lo menos en 7 subcuencas, un porcentaje de error parcial que oscila entre los 32% y 62%. Estos valores expresados de error parcial, son muy altos para considerar al modelo de Turc-Pike confiable de aplicar, debido a que la mitad de estas subcuencas que conforman el estudio, presentan esta anomalía, no lográndose apreciar una tendencia de que suceda en una cuenca en específico, sino que esta anomalía ante la estimación se presenta generalizadamente en las 4 cuencas del estudio.

Como se puede observar de la Tabla 2.150, los valores de escorrentía estimados por el ajuste del modelo de Turc-Pike modificado, son de regular confiabilidad, pudiéndose observar que el nuevo modelo propuesto se ajusta de mejor manera en ciertas cuencas, obteniendo sus mejores resultados en las subcuencas que conforman la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca) en el cual se aprecia un porcentaje de error promedio del 16%, seguido de las cuencas del río Huasco y Choapa con un 40%, lográndose apreciar el error promedio mas alto en la cuenca del río Elqui con un 58%.

De modo de representar de una manera comparativa los resultados obtenidos gracias al ajuste del modelo de precipitación-escorrentía de Turc-Pike Modificado, en la Figura 2.59 se expresa una gráfica la cual representa la dispersión de puntos resultantes entre las escorrentía medida por las estaciones fluviométricas, la cual se expresa en el eje de las abscisas y la escorrentía estimada por el modelo original de Turc-Pike, la cual se expresa en el eje de las ordenadas, cuya dispersión de puntos tiene la siguiente forma:

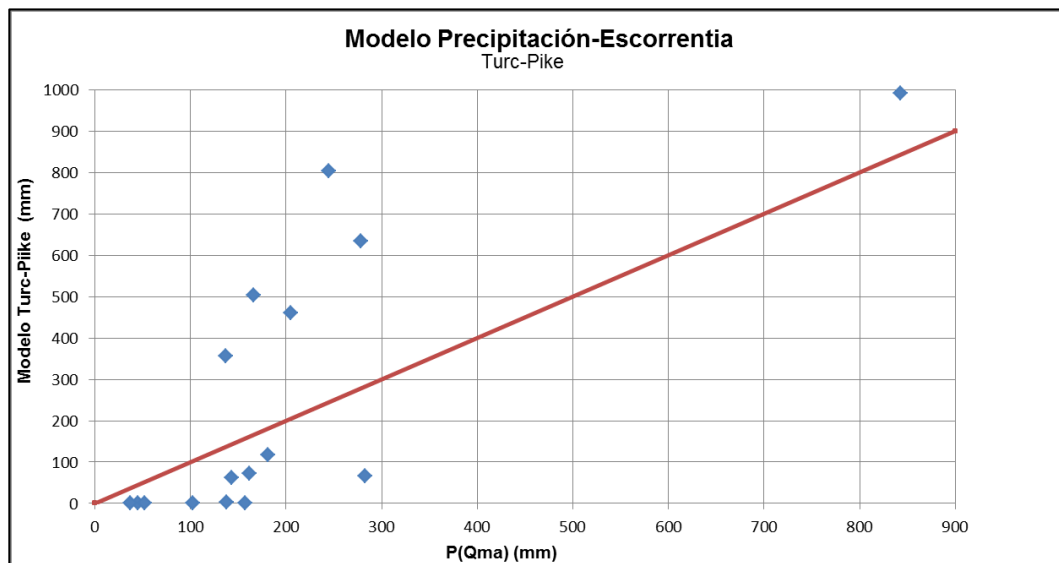


Figura 2.59 “Dispersión de puntos entre escorrentía medida y escorrentía estimada por Turc-Pike.

En base a que el modelo de precipitación-escorrentía de Turc-Pike, expresa sus estimaciones en función de la evapotranspiración potencial, con la cual, se pensó inicialmente un mejor comportamiento del modelo frente a esta variable, esto no fue así, siendo notorio el hecho de que el porcentaje de error promedio del modelo frente a las 4 cuencas fue muy alto, obteniéndose un valor del 105%. Este suceso sumado al análisis realizado a la Tabla 2.150 y a la gráfica expresada en la Figura 2.59, llegan a la conclusión de tener que realizar un ajuste al modelo de Turc-Pike, el cual una vez realizado, se confecciona otra gráfica expresada en la Figura 2.60, la cual expresa el nuevo comportamiento de la escorrentía estimada frente a la escorrentía medida.

Para ello se vuelve confeccionar una gráfica la cual representara la dispersión de puntos resultantes entre las escorrentía real medida por las estaciones fluviométricas, la cual se expresa en el eje de las abscisas y la escorrentía estimada por el ajuste del modelo de precipitación-escorrentía de Turc-Pike Modificado, la cual se expresa en el eje de las ordenadas, cuya dispersión de puntos tiene la siguiente forma:

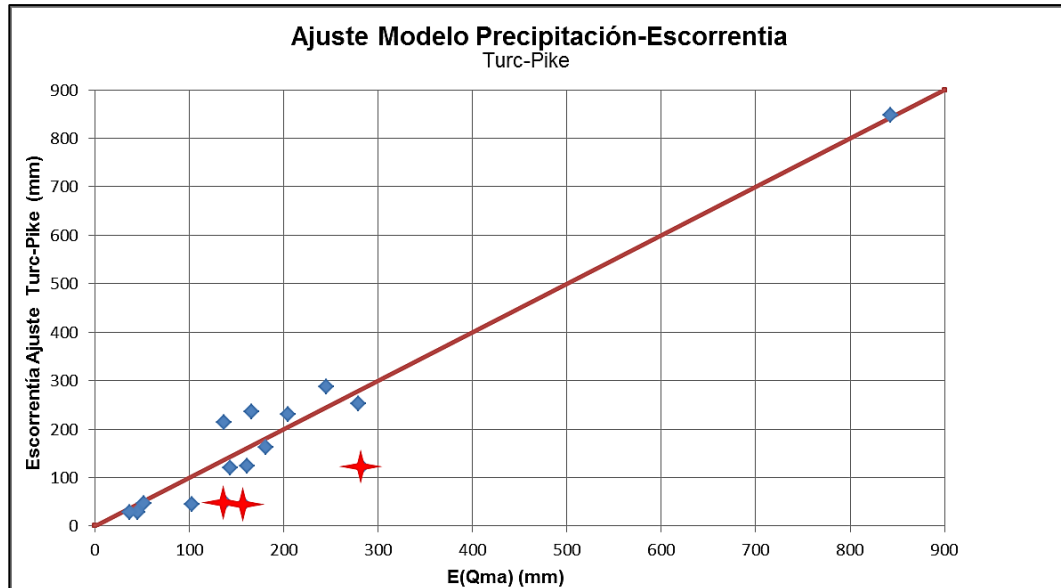


Figura 2.60 "Dispersión de puntos entre escorrentía medida y escorrentía estimada por ajuste de Turc-Pike Modificado".

Observando y analizando la gráfica expresada en la Figura 2.60, se puede apreciar que al aplicar el método no lineal para ajustar el modelo de precipitación-escorrentía de Turc-Pike, existe una tendencia de los valores de escorrentía medida versus la simulada de aproximarse a la línea roja de 45°, la cual expresa el ajuste óptimo, en la cual existe un 0% de error respecto a la estimación. Esta tendencia apreciada en los valores estimados de escorrentía, es aceptable en la gran mayoría de las subcuencas, con excepción de 3 subcuencas, cuyos puntos se alejan respecto a la tendencia de las otras 13 subcuencas, cuyos nombres son: Río Choapa en Cuncumen, Río Cochiguaz en el Peñón y Embalse la Laguna. Los posibles motivos del desajuste de estos puntos pueden radicar principalmente en la modelación matemática, realizada a través de la aplicación Solver, o al hecho hidrológico de que la evapotranspiración potencial, no es una variable que permita caracterizar las peculiaridades de las subcuencas, por lo cual se hace complicado su ajuste respecto a la estimación.

Por lo tanto en base a los antecedentes expuestos en este punto y sumado al análisis expresado para el ajuste del modelo de precipitación-escorrentía de Turc-Pike Modificado, se logra llegar a un modelo que notoriamente baja su error de estimación respecto a la del modelo original, pero que en su análisis parcial, presenta muchas subcuencas que no logran ajustarse a los valores registrados por las estaciones fluviométricas, por lo tanto toda estimación realizada por éste llevara consigo un error promedio del 34%.

2.4.4. Resultados de la Etapa 3.

Este punto pretende dar término y síntesis al desarrollo expuesto en esta “Etapa 3”, del cual se pudieron obtener resultados que formarán parte esencial de los objetivos generales y específicos planteados para el desarrollo y análisis de este estudio. Sin duda alguna al ser, demostrado que los modelos de precipitación-escorrentía de Turc, Coutagne y Turc-Pike, no logran expresar los valores de escorrentía media anual medidas por las estaciones fluviométricas, se procede a elaborar un ajuste a cada uno de ellos, de manera de lograr una nueva expresión en base a criterios planteados con anterioridad, de forma que el valor obtenido por el modelo propuesto, tenga el menor porcentaje de error promedio respecto a los datos registrados por la estación. En base a los resultados obtenidos en el ajuste a cada uno de los modelos que comprende el estudio, se puede analizar lo siguiente:

- En general, se logro apreciar de que los modelos que tuvieron mejor resultado respecto al ajuste de escorrentía, corresponde a aquellos, cuyo ajuste del factor calórico representa las condiciones atmosféricas típicas de cada cuenca, a través de la variable de temperatura. Estos modelos, los cuales son el de Turc y Coutagne, logran expresar un ajuste cuyo porcentaje de error promedio es del 26% para cada modelo, mientras que por otro lado, el modelo que caracteriza la demanda hídrica de un cultivo de referencia para las cuencas de estudio a través de la variable de evapotranspiración potencial, presento un ajuste mas deficiente, cuyo porcentaje de error promedio es del 34%.
- Como se especifico en el punto anterior, el porcentaje de error promedio respecto a la estimación de escorrentía a través del ajuste del modelo de Turc y Coutagne, fue de un 26% para cada modelo, pudiendo dar la impresión que cualquiera de los 2 modelos que se utilicen para la estimación de escorrentía son de igual validez. Pero llevando el análisis de una manera mas finita, a través de las 4 cuencas que conforman el estudio, se pueden apreciar dos focos de observación, el primero de ellos , va orientado a la zona norte de Chile, cuyo territorio es representado por la cuenca del río Huasco y Elqui, donde el mejor ajuste de estimación, es brindado por el modelo de precipitación-escorrentía de Turc, debido a que presento un porcentaje de error promedio de la cuenca del 25% y 32%, respectivamente, mientras que en el otro modelo propuesto por Coutagne, sus porcentajes de error promedio fueron del 24% para la cuenca del río Elqui y del 47 % para la cuenca del río Huasco. El segundo foco de observación va orientado a la zona central de Chile, cuyo territorio es representado por las cuencas del río Aconcagua (Ligua – Petorca) y Choapa, donde se puede apreciar errores de estimación muy semejantes entre cada cuenca, donde el modelo de precipitación-escorrentía de Turc, presento un porcentaje de error promedio de la cuenca del 19% y 29% respectivamente, mientras que el modelo de Coutagne presento porcentajes de error promedio del 20% para la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca) y del 26% para la cuenca del río Choapa. En virtud, del análisis expresado, se puede suponer de que es recomendable la utilización del ajuste del modelo de Turc para las cuencas del río Huasco y Elqui, mientras que para la cuenca del río Choapa y Aconcagua (Ligua-Petorca), se puede utilizar cualquiera de los dos modelo de ajuste de Turc o Coutagne, debido a que tienen errores de estimación muy cercanos entre si, no apreciándose una tendencia de que un modelo sea mejor que otro.
- En la Figura 2.61, se especifica una gráfica la cual expresa en las abscisas la precipitación media anual que cae sobre cada una de las 16 subcuencas seleccionadas para este estudio y en las ordenadas se representa la escorrentía generadas por cada ajuste del modelo expuesto para este estudio, pudiéndose apreciar gráficamente el ajuste y reducción de error asociado que tienen los modelos de Turc, Coutagne y Turc-Pike respecto a la mediciones realizadas por las estaciones fluviométricas. El error que se mantiene en el ajuste de cada modelo, se debe a los mismos motivos expresados previamente en la Etapa 2 sumado al error generado por la modelación del ajuste matemático.

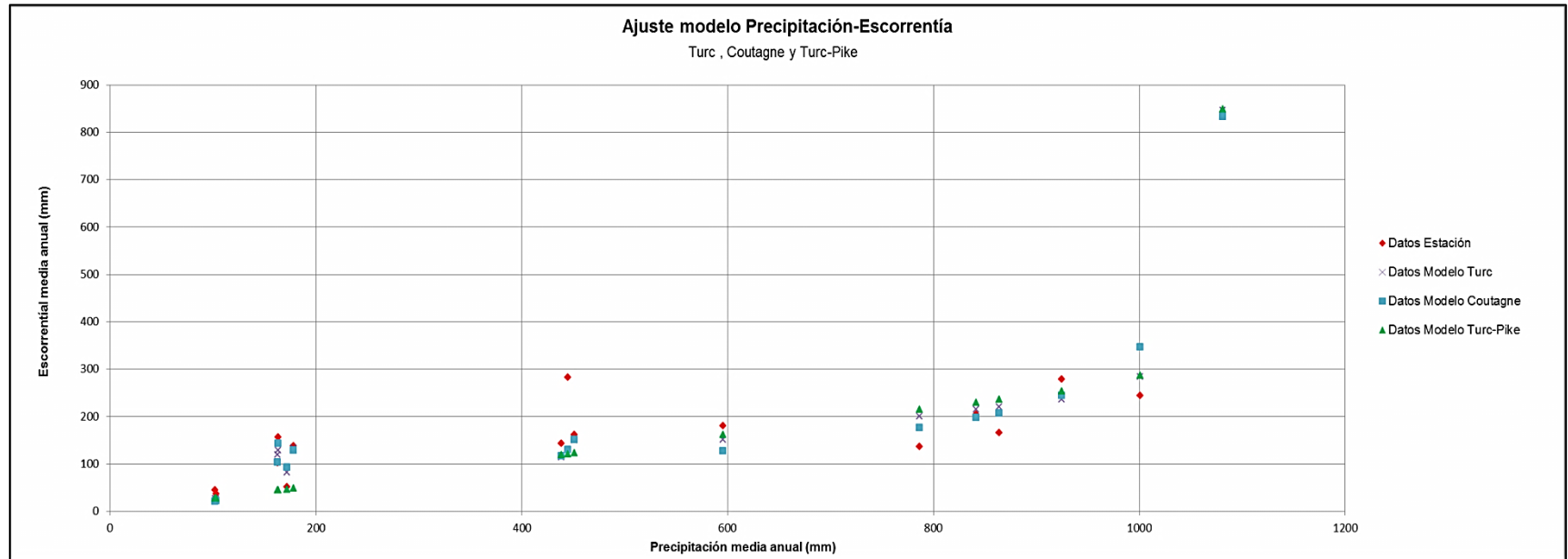


Figura 2.61 "Gráfica de ajuste de modelos de precipitación-escorrentía a nivel medio anual"

3 Conclusiones y Recomendaciones

Sobre la base de los análisis que se acaban de desarrollar en cada uno de estas 3 etapas que comprenden este estudio y considerando los objetivos generales y específicos planteados al comienzo de este trabajo, se establece lo siguiente:

- **Los registros utilizados son válidos para realizar estimaciones de la escorrentía media anual.**

Los registros utilizados para este estudio se consideran válidos para estimar la escorrentía media anual, ya que fueron obtenidos de una fuente confiable y procesados de acuerdo a patrones establecidos, los que pueden reflejar de manera importante lo que ocurre en la realidad a través de los registros de las estaciones fluviométricas. Sin embargo, es necesario considerar la metodología a emplear para la completación de datos faltantes, ya que podría influir en la estimación de la escorrentía media anual.

- **Los modelos de precipitación-escorrentía que comprenden el estudio, son aplicables en las zonas altas de las cuencas.**

Debido a que los registros que calculan los modelos de precipitación-escorrentía no pueden ser intervenidos por otras obras que alteren el registro natural del río, la selección de subcuencas arrojó como resultado que las zonas altas de las 4 cuencas que comprenden el estudio, son las más idóneas para la aplicación de los modelos, es decir aquellas cuencas que son consideradas nivo-pluvial.

- **Los modelos de precipitación-escorrentía de Grunsky y Peñuelas no son aplicables para este estudio.**

Debido a que las 16 subcuencas que conforman este estudio son de régimen nivo-pluvial, los modelos de precipitación-escorrentía de Grunsky y Peñuelas no aplican para éstas, debido a que estos modelos son solo aplicables para subcuencas de régimen pluvial. Por lo tanto no fueron consideradas para el desarrollo y análisis de este estudio.

- **Se verifica la nula aplicación de los modelos de precipitación-escorrentía de Turc, Coutagne y Turc-Pike a nivel medio anual.**

La aplicación de estos 3 modelos de precipitación-escorrentía estudiados en esta tesis, independiente las variables que conformen a cada uno de ellos para las cuencas que comprenden este estudio, no deben ser aplicados a nivel medio anual, ya que presentaron elevados porcentajes de error promedio de estimación en comparación a los registros de las estaciones fluviométricas. El porcentaje de error asociado a cada modelo de precipitación-escorrentía son de un 80% para el modelo de Turc, 69% para el modelo de Coutagne y de un 105% para el modelo de Turc-Pike.

- **El ajuste realizado a los modelos de precipitación-escorrentía de Turc, Coutagne y Turc-Pike, tiene favorables resultados.**

Sin duda alguna, el ajuste de los modelos de precipitación, permite un mejor ajuste de las estimaciones de escorrentía media anual, respecto a los valores reales medidos por las estaciones fluviométricas, lográndose obtener valores estimados de escorrentía, asociados con un porcentaje de error promedio del 26% para los modelos de Turc, y Coutagne, mientras que un 32% para el modelo de Turc-Pike.

De acuerdo a los resultados alcanzados en cada una de las 3 etapas y las conclusiones realizadas, es posible señalar las siguientes recomendaciones.

- **Ampliar este tipo de estudio a las regiones faltantes de Chile, de manera de determinar el grado real de aplicación de estos modelos.**

Con la finalidad de efectuar comparaciones de los resultados obtenidos, es de interés realizar estudios en zonas donde no se sepa el comportamiento de estos modelos de precipitación-escorrentía. De esta manera será posible comprobar la efectividad de estos modelos en la estimación de la escorrentía media anual, en cuencas con situaciones distintas a las estudiadas y así recomendar el modelo adecuado para cada zona en particular. Además el ampliar el estudio ayudara a poder determinar un ajuste al modelo de Coutagne para el caso 2 y caso 3, lo cuales no pudo ser realizado en este estudio debido a la escasas de subcuencas que se comportaran según estos casos.

- **Se recomienda la utilización del ajuste del modelo de Turc o Coutagne para las cuencas del río Aconcagua (Ligua-Petorca) y Choapa, mientras que el ajuste del modelo de Turc para las cuencas del río Huasco y Elqui.**

Con el propósito de poder estimar una valor de escorrentía, lo mas representativo a la realidad, expresada por las estaciones fluviométricas, se recomienda la utilización del ajuste del modelo de Turc o Coutagne para las cuencas del río Aconcagua (Ligua-Petorca) y Choapa, mientras que el ajuste del modelo de Turc para las cuencas del río Huasco y Elqui, la razón radica a que estos modelos expresan un error muy bajo de estimación en dichas zonas.

- **El ajuste de los modelos de Turc y Coutagne son una alternativa frente a modelos más complejos en la estimación de la escorrentía media anual.**

De acuerdo a los resultados obtenidos en este estudio, es recomendable utilizar los modelos de Turc y Coutagne en la estimación de la escorrentía media anual, siendo una alternativa frente a modelos de mayor complejidad, tanto en sus variables de entrada como en su aplicación. Además, permiten desarrollar estimaciones, rápida asociadas a un bajo error, que ayudan a una mejor gestión de los recursos hídricos y a la consiguiente sustentabilidad ambiental del uso de un recurso vital, para la vida y la economía.

Anexos

Anexos 1
"Etapa 1"

2.2.2.1 Cuenca del río Huasco.

Tabla 2.1 "Estaciones fluviométricas existentes en la cuenca del río Huasco"

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Latitud S	Longitud W
1	Tránsito en los Tambos	1380	28°58`	70°10`
2	Tránsito en Angostura Pinte	1225	28°57`	70°15`
3	Tránsito en Junta con Carmen	770	28°45`	70°29`
4	Carmen en San Félix	1140	28°56`	70°28`
5	Carmen en Ramadillas	780	28°45`	70°29`
6	Huasco en Algodones	725	28°44`	70°30`
7	Huasco en Santa Juana	545	28°40`	70°39`
8	Huasco en Punto Atacama	150	28°31`	71°01`
9	Huasco en Camarones	550	28°40`	70°39`
10	Río Carmen en El Corral	2000	29°20`	70°22`
11	Río Conay en las Lozas	1560	28°57`	70°09`

Fuente: Elaboración propia en base a información de estudio integral de riego y D.G.A.

Tabla 2.2 "Estaciones pluviométricas existentes en la cuenca del río Huasco"

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Latitud S	Longitud W
1	Puerto Huasco	4	28°27`	71°15`
2	Freirina Reten	81	28°30`	71°05`
3	Vallenar	469	28°36`	70°46`
4	Sta. Juana de Camarones	560	28°40`	70°39`
5	Junta del Carmen	800	28°45`	70°29`
6	El Transito	1100	28°52`	70°16`
7	San Félix	1150	28°55`	70°27`
8	Conay Reten	1450	28°58`	70°10`
9	Tambos	1385	28°58`	70°11`
10	Pampa	1300	28°58`	70°14`
11	Vallenar (DGA)	373	28°34`	70°46`
12	Central Huasco	10	28°28`	71°16`
13	El Corral	1820	29°20`	70°20`
14	El Parral	1400	28°59`	70°14`

Fuente: Elaboración propia en base a información de estudio integral de riego y D.G.A.

Tabla 2.3 “Estaciones de temperatura existentes en la cuenca del río Huasco”

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Latitud S	Longitud W
1	Conay Reten	1450	28°58`	70°10`
2	Potrerillos	2850	26°30`	69°27`
3	Lautaro Embalse	1110	27°58`	70°01`
4	San Félix	1150	28°55`	70°27`
5	El Transito	1100	28°52`	70°16`
6	Santa Juana	560	28°40`	70°39`

Fuente: Elaboración propia en base a información de estudio integral de riego y D.G.A.

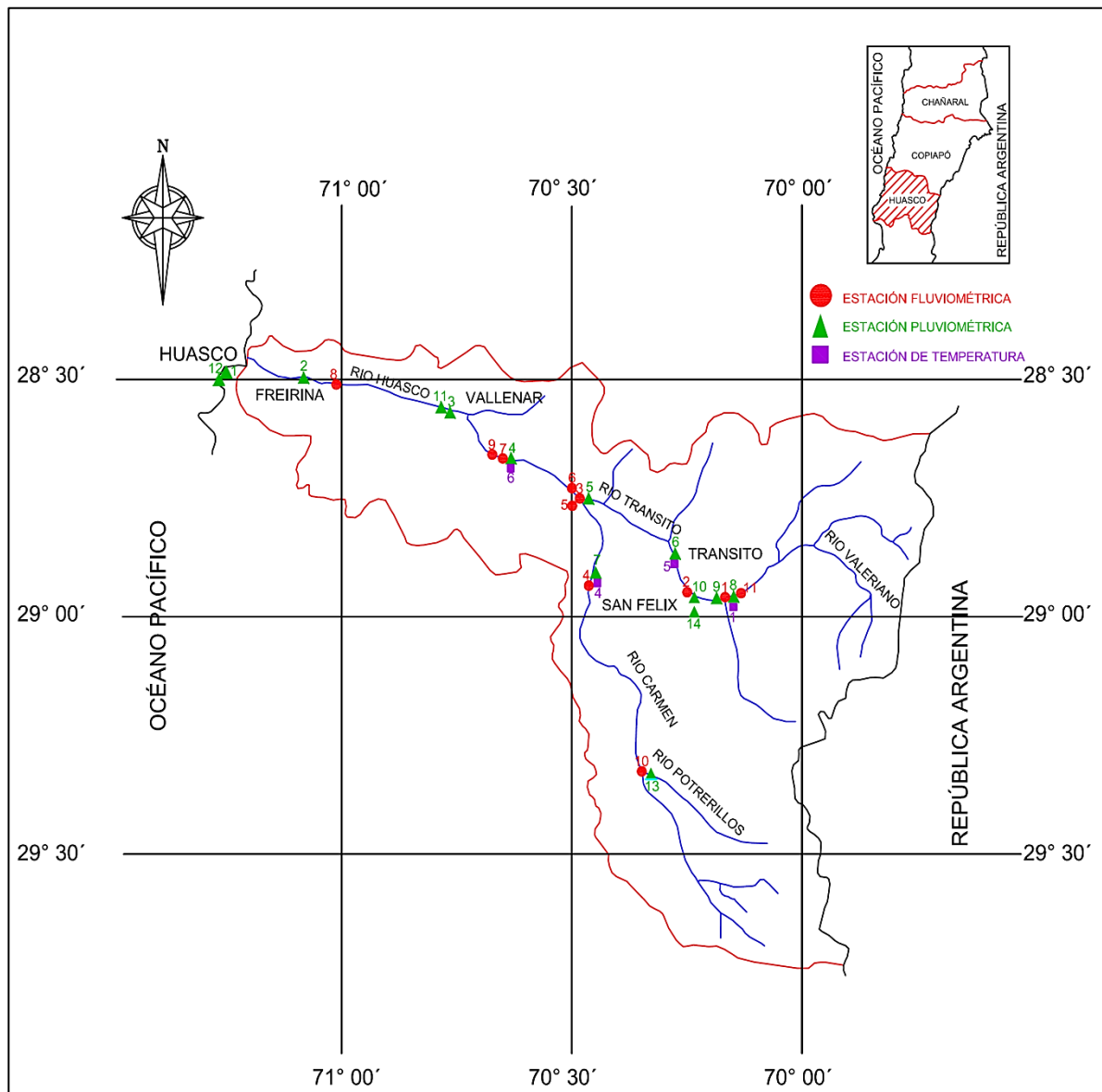


Figura 2.5 “Distribución de estaciones fluviométrica, pluviométrica y de temperatura en la cuenca del río Huasco”

2.2.2.2 Cuenca del río Elqui

Tabla 2.4 “Estaciones fluviométricas existentes en la cuenca del río Elqui”

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Latitud S	Longitud W
1	Río Laguna en Embalse Laguna	3100	30°12`	70°04`
2	Embalse Laguna	3100	30°14`	70°03`
3	Río Turbio en Huanta	1205	29°50`	70°24`
4	Río Turbio en Varillar	830	29°57`	70°33`
5	Río Claro en Montegrande	1152	30°06`	70°30`
6	Río Claro en Rivadavia	815	29°58`	70°35`
7	Río Elqui en Algarrobal	707	29°59`	70°36`
8	Río Elqui en Almendral	430	29°58`	70°53`
9	Río Elqui en Gualiguaica	511	30°00`	70°50`
10	Río Elqui en Punta de Piedra	235	29°57`	71°07`
11	Estero Derecho en Alcohuz	1971	30°13`	70°32`
12	Río Cochiguaz en el Peñón	1360	30°08`	70°26`
13	Río Toro antes junta Río la Laguna	2091	29°56`	70°06`

Fuente: Elaboración propia en base a información de estudio integral de riego y D.G.A.

Tabla 2.5 "Estaciones pluviométricas existentes en la cuenca del río Elqui"

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Latitud S	Longitud W
1	El Tofo	50	29°27`	71°15`
2	Almirante la Torre	913	29°38`	70°58`
3	Fundo San Antonio	-	29°47`	71°03`
4	Huanta	1240	29°50`	70°23`
5	La Serena Aeropuerto	132	29°54`	71°14`
6	La Serena Campex	30	29°55`	71°16`
7	Punta Tortuga (Coquimbo)	30	29°56`	71°21`
8	Molina de Yaco	1200	29°57`	70°09`
9	Rivadavia	820	29°58`	70°33`
10	Elqui en Almendral	480	29°58`	70°56`
11	Molle Retén	70	29°58`	70°58`
12	Pan de Azúcar	-	29°58`	71°19`
13	Embalse Puclaro	462	30°01`	70°51`
14	Hda. Corazón de María	-	30°00`	71°15`
15	El Tambo Retén	548	30°01`	70°48`
16	Paihuano	950	30°02`	70°32`
17	Vicuña (Dos)	620	30°02`	70°44`
18	Vicuña Campex	730	30°02`	70°44`
19	Diaguitas Retén	706	30°02`	70°39`
20	Monte Grande	1152	30°06`	70°31`
21	Fdo. Lagunillas	10	30°06`	71°23`
22	Pisco Elqui	1250	30°07`	70°29`
23	Fdo. Los Nichos	1330	30°08`	70°30`
24	Maitencillo	600	30°10`	71°06`
25	Andacollo	1100	30°13`	71°06`
26	Hurtado	1100	30°17`	70°41`
27	Serón	1642	30°20`	70°45`
28	Las Breas	1700	30°22`	70°37`
29	Pichasca	725	30°24`	70°52`
30	Samo Alto	600	30°25`	70°57`
31	Pabellón	2020	30°25`	70°33`
32	La Ortiga	1560	30°11`	70°29`
33	Cochiguaz	1560	30°08`	70°24`
34	La Laguna Embalse	3160	30°14`	70°02`
35	Juntas	2150	29°58`	70°05`

Fuente: Elaboración propia en base a información de estudio integral de riego y D.G.A.

Tabla 2.6 “Estaciones de temperatura existentes en la cuenca del río Elqui”

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Latitud S	Longitud W
1	Hurtado	1100	30°17'	70°41'
2	Los Molles	1450	30°45'	70°36'
3	Andacollo	1025	30°14'	71°05'
4	Rivadavia	820	29°58'	70°33'
5	Juntas	2150	29°58'	70°05'
6	Ortiga	1560	30°11'	70°29'

Fuente: Elaboración propia en base a información de estudio integral de riego y D.G.A.

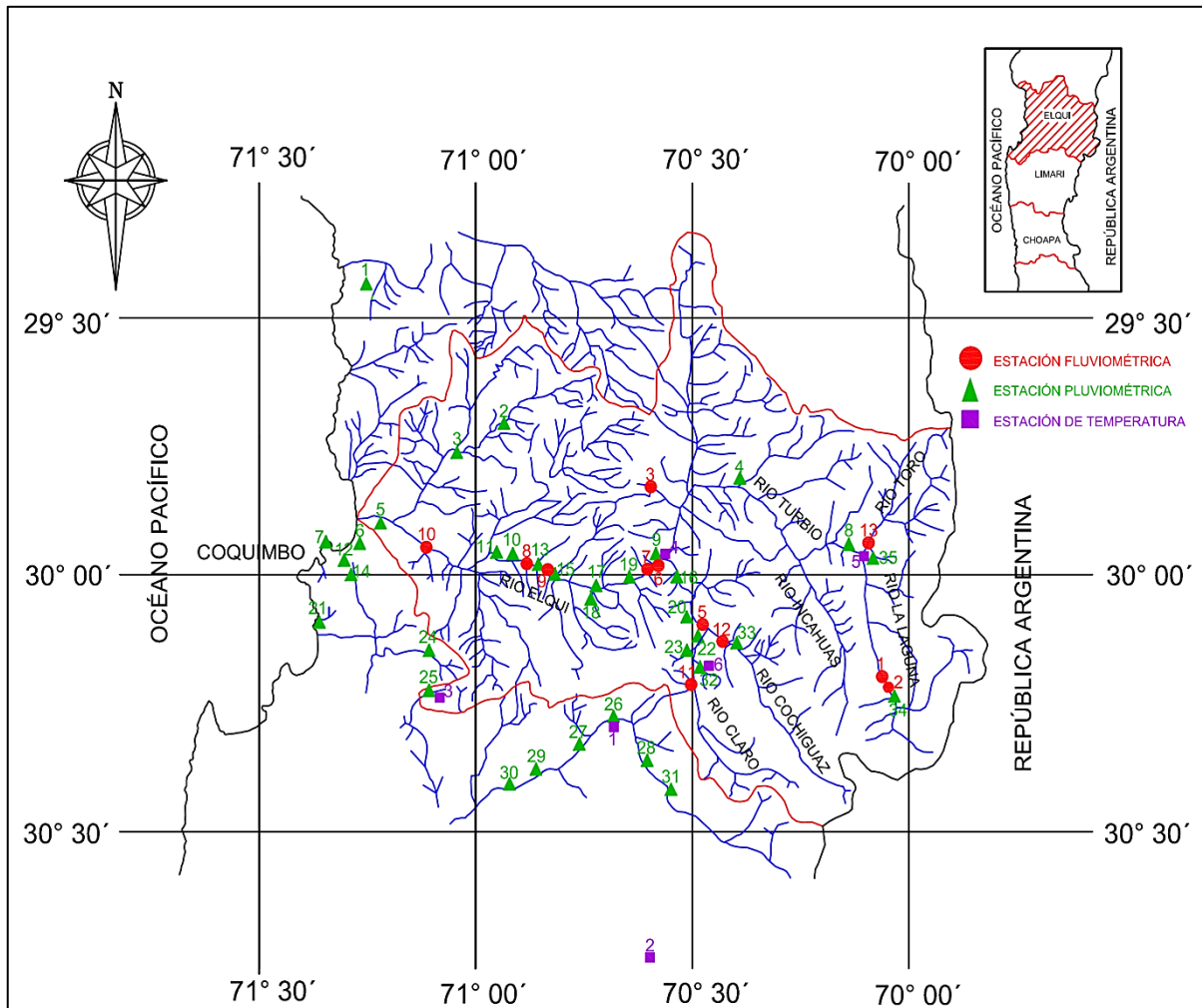


Figura 2.6 “Distribución de estaciones fluvimétrica, pluviométrica y de temperatura en la cuenca del río Elqui”

2.2.2.3 Cuenca del río Choapa.

Tabla 2.7 “Estaciones fluviométricas existentes en la cuenca del río Choapa”

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Latitud S	Longitud W
1	Río Choapa en Cuncumen	1200	31° 58'	70° 36'
2	Choapa en Salamanca	500	31° 47'	70° 58'
3	Choapa en Mal Paso	330	31° 45'	71° 06'
4	Choapa en Limahuida	260	31° 44'	71° 10'
5	Choapa en Puente FFCC	-	31° 43'	71° 13'
6	Choapa en Puente Negro	200	31° 41'	71° 16'
7	Río Illapel en las Burras	1079	31° 30'	70° 50'
8	Illapel en Huintil	775	31° 34'	70° 58'
9	Illapel en el Peral	-	31° 40'	71° 16'
10	Chalinga en San Agustín	850	31° 43'	70° 51'
11	Chalinga en Potrero Maitenes	-	31° 40'	70° 56'
12	Totoral en Junta con Leiva	1437	32° 00'	70° 33'
13	Leiva en Junta con Totoral	1445	32° 00'	70° 35'
14	El soldado en Laguna el Pelado	3500	32° 00'	70° 19'
15	Choapa aguas arriba E. la Canela	40	31° 35'	71° 28'
16	Cuncumen antes Bocatoma Canales	1360	31° 50'	70° 36'
17	Choapa sobre Rio Valle	1260	31° 59'	70° 34'
18	Camisas en Desembocadura	400	31° 46'	71° 04'
19	Río Chalinga en la Palmilla	1431	31° 40'	70° 42'

Fuente: Elaboración propia en base a información de estudio integral de riego y D.G.A.

Tabla 2.8 "Estaciones pluviométricas existentes en la cuenca del río Choapa"

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Latitud S	Longitud W
1	Canela Alta	560	31° 23`	71° 23`
2	Canela Baja	275	31° 24`	71° 27`
3	Santa Virginia	980	31° 33`	70° 50`
4	Huintil Hda.	650	31° 34`	70° 58`
5	Hacienda Illapel	760	31° 34`	70° 59`
6	Mincha Norte	50	31° 35`	71° 27`
7	Illapel DMC	310	31° 36`	71° 11`
8	Illapel DGA	290	31° 39`	71° 11`
9	Hda. San Agustín	1250	31° 43`	70° 49`
10	Mal Paso	375	31° 45`	71° 10`
11	Limahuida	295	31° 45`	71° 05`
12	Salamanca	510	31° 46`	70° 58`
13	Las Casas Huintil	692	31° 46`	70° 59`
14	Cuncumen	1100	31° 56`	70° 36`
15	La Tranquilla	1000	31° 54`	70° 40`
16	Coirón	840	31° 54`	70° 46`
17	Las Burras	1150	31° 32`	70° 49`
18	El Soldado	3290	32° 00`	70° 17`

Fuente: Elaboración propia en base a información de estudio integral de riego y D.G.A.

Tabla 2.9 "Estaciones de temperatura existentes en la cuenca del río Choapa"

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Latitud S	Longitud W
1	La Tranquilla	1000	31° 54`	70° 40`
2	Las Ramadas	1350	31° 02`	70° 36`
3	Illapel DGA	290	31° 39`	71° 11`
4	Santa Virginia	980	31° 33`	70° 50`

Fuente: Elaboración propia en base a información de estudio integral de riego y D.G.A.

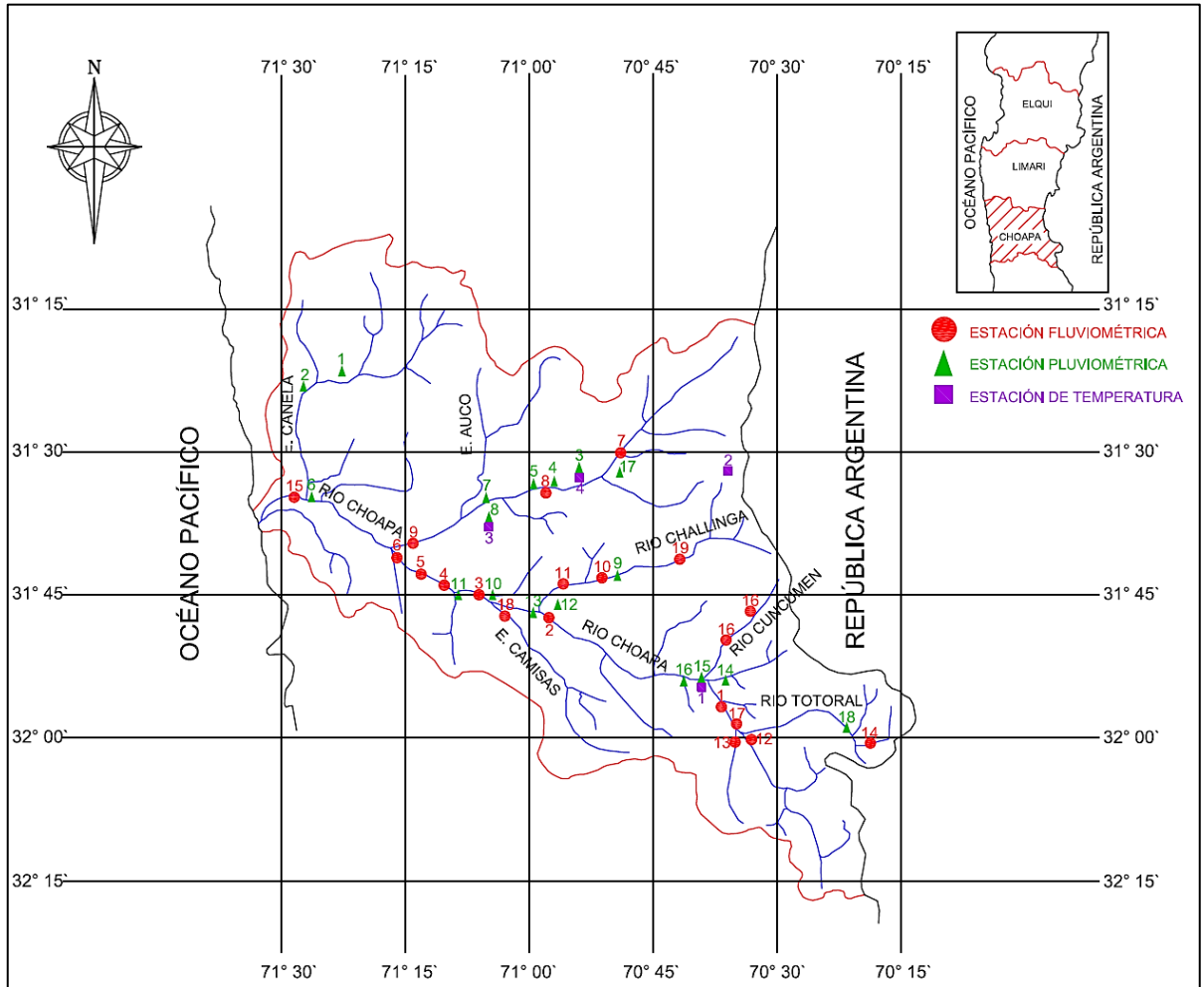


Figura 2.7 “Distribución de estaciones fluviométrica, pluviométrica y de temperatura en la cuenca del río Choapa”

2.2.2.4 Cuenca del río Aconcagua (Ligua – Putaendo).

Tabla 2.10 “Estaciones fluviométricas existentes en la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca)”

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Latitud S	Longitud W
1	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	1218	32°30`	70°36`
2	Canal Parry N°2	630	32°45`	70°44`
3	E. Quilpué en Desembocadura	530	32°44`	70°45`
4	E. Catemu en Desembocadura	510	32°48`	70°59`
5	E. Romeral en Desembocadura	544	32°49`	71°04`
6	Estac. Exper. Lliu- Lliu	250	33°06`	71°13`
7	Río Colorado en Colorado	1100	32°50`	70°25`
8	Río Juncal en Juncal	1800	32°50`	70°10`
9	Blanco en río Blanco	1420	32°54`	70°18`
10	Aconcagua en río Blanco	1420	32°54`	70°18`
11	Aconcagua en Los Quilos	1530	32°52`	70°24`
12	Aconcagua en Chacabuquita	930	32°51`	70°31`
13	Estero Pocuro en el Sifón	1000	32°54`	70°33`
14	Pocuro en Desembocadura	830	32°46`	70°43`
15	Aconcagua en San Felipe	650	32°45`	70°44`
16	E. Lo Campo en Desembocadura	550	32°48`	70°54`
17	Aconcagua en Romeral	310	32°50`	71°02`
18	Los Loros en Las Vegas	315	32°50`	71°00`
19	C. Las Vegas en Bocatoma	320	32°50`	71°00`
20	Aconcagua en Pte. Lo Rojas	170	32°47`	71°15`
21	E. Rabuco en Fdo. Rabuco	300	32°50`	71°07`
22	Aconcagua en Tabolango	60	32°56`	71°22`
23	Aconcagua en Pte. Boco	115	32°53`	71°16`
24	Litre en Panamericana	220	32°46`	71°12`
25	Aconcagua en Panamericana	210	32°51`	71°06`
26	E. Lo Rojas en Desembocadura	170	32°48`	71°15`
27	E. Limache en Desembocadura	120	32°57`	71°26`
28	Río Alicahue en Colliguay	780	32°19`	70°44`
29	Ligua en Placilla	130	32°26`	71°17`
30	Río Pedernal en Tejada	1600	32°04`	70°45`
31	Río Sobrante en Piñadero	1400	32°13`	70°42`

Fuente: Elaboración propia en base a información de estudio integral de riego y D.G.A.

Tabla 2.11 “Estaciones pluviométricas existentes en la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca)”

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Latitud S	Longitud W
1	Los Cóndores	500	32°06`	71°15`
2	Pichidangui	10	32°08`	71°32`
3	Huaquén Hda.	50	32°15`	71°22`
4	Coirón	800	31°54`	70°47`
5	Chincolco	620	32°13`	70°51`
6	Hda. El Sobrante	775	32°14`	70°47`
7	Petorca	501	32°15`	70°56`
8	Trapiche Fdo. Longotoma	35	32°20`	71°19`
9	La Arena Hda. Alicahue	1100	32°19`	70°42`
10	Adm. Hda Alicahue	650	32°21`	70°47`
11	Las Casas Hda. Alicahue	650	32°21`	70°47`
12	La Mostaza Hda. Alicahue	1275	32°26`	70°41`
13	San Lorenzo	270	32°26`	70°59`
14	Pullaly Hda.	57	32°29`	71°15`
15	La Ligua	58	32°27`	71°13`
16	La Higuera Hda.	125	32°29`	71°12`
17	El Ingenio Fdo.	111	32°29`	71°08`
18	Cabildo	177	32°26`	71°05`
19	Papudo	15	32°30`	71°26`
20	Catopilco	95	32°34`	71°17`
21	Quintero	2	32°47`	71°31`
22	Puchuncavi Hda.	117	32°44`	71°24`
23	Putando E.A.P.	794	32°47`	70°43`
24	San Felipe	636	32°37`	70°44`
25	Catemu	440	32°45`	70°58`
26	San Esteban Retén	832	32°47`	70°35`
27	Chagres	412	32°48`	70°58`
28	L a Calera	217	32°48`	71°12`
29	La cruz Ch. Bellavista	174	32°47`	71°14`

Tabla 2.11 “Estaciones pluviométricas existentes en la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca)”
(Continuación)

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Latitud S	Longitud W
30	Los Andes	816	32°50`	70°36`
31	Llay-Llay	385	32°50`	70°57`
32	El Sauce Fdo.	850	32°50`	70°33`
33	Río Blanco	1450	32°50`	70°18`
34	Vilcuya	1100	32°54`	70°28`
35	El Tabón	840	32°51`	70°49`
36	Riecillos	1293	32°55`	70°21`
37	Cta. Chacabuco	1009	32°55`	70°42`
38	Limache	120	32°57`	71°16`
39	Resg. Los Patos	1216	33°00`	70°35`
40	Lagunitas	2766	32°30`	70°16`
41	Lluy-Lluy El Llano	900	33°08`	71°12`
42	Monte mar	12	32°57`	71°33`
43	El Belloto	121	33°02`	71°25`
44	Valpo. Pta. Ángeles	41	33°01`	71°39`
45	Valpo Cerro Alegre	112	33°03`	71°39`
46	Villa Alemana	140	33°02`	71°22`
47	Quilpué	101	33°02`	71°26`
48	Marga- Marga Emb.	160	33°05`	71°24`
49	Punta Curaumilla	85	33°06`	71°45`
50	Peñuela Lago	360	33°10`	71°30`
51	Casablanca	230	33°19`	71°24`
52	Hda. San Jerónimo	250	33°22`	71°31`
53	Fdo Huallilemo	150	33°21`	71°38`
54	Rungue	710	33°01`	70°54`
55	Tiltil	578	33°05`	70°56`
56	Polpaico	522	33°09`	70°53`
57	Caleu Carabineros	1120	33°00`	71°00`
58	Colliguay Boquerón	488	33°10`	71°09`

Fuente: Elaboración propia en base a información de estudio integral de riego y D.G.A.

Tabla 2.12 "Estaciones de temperatura existentes en la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca)"

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Latitud S	Longitud W
1	Vilcuya	1100	32°51`	70°28`
2	Cristo Redentor	3830	32°50`	70°07`
3	El Yeso Embalse	2475	33°40`	70°06`
4	Juncal	2217	32°51`	70°10`
5	Lagunitas	2766	32°30`	70°16`
6	Alicahue	750	32°20`	70°45`
7	Lago Peñuelas	360	33°08`	71°33`
8	Lliu- Lliu	260	33°06`	71°12`
9	Los Aromos	100	32°57`	71°20`
10	Quillota	130	32°54`	71°12`

Fuente: Elaboración propia en base a información de estudio integral de riego y D.G.A.

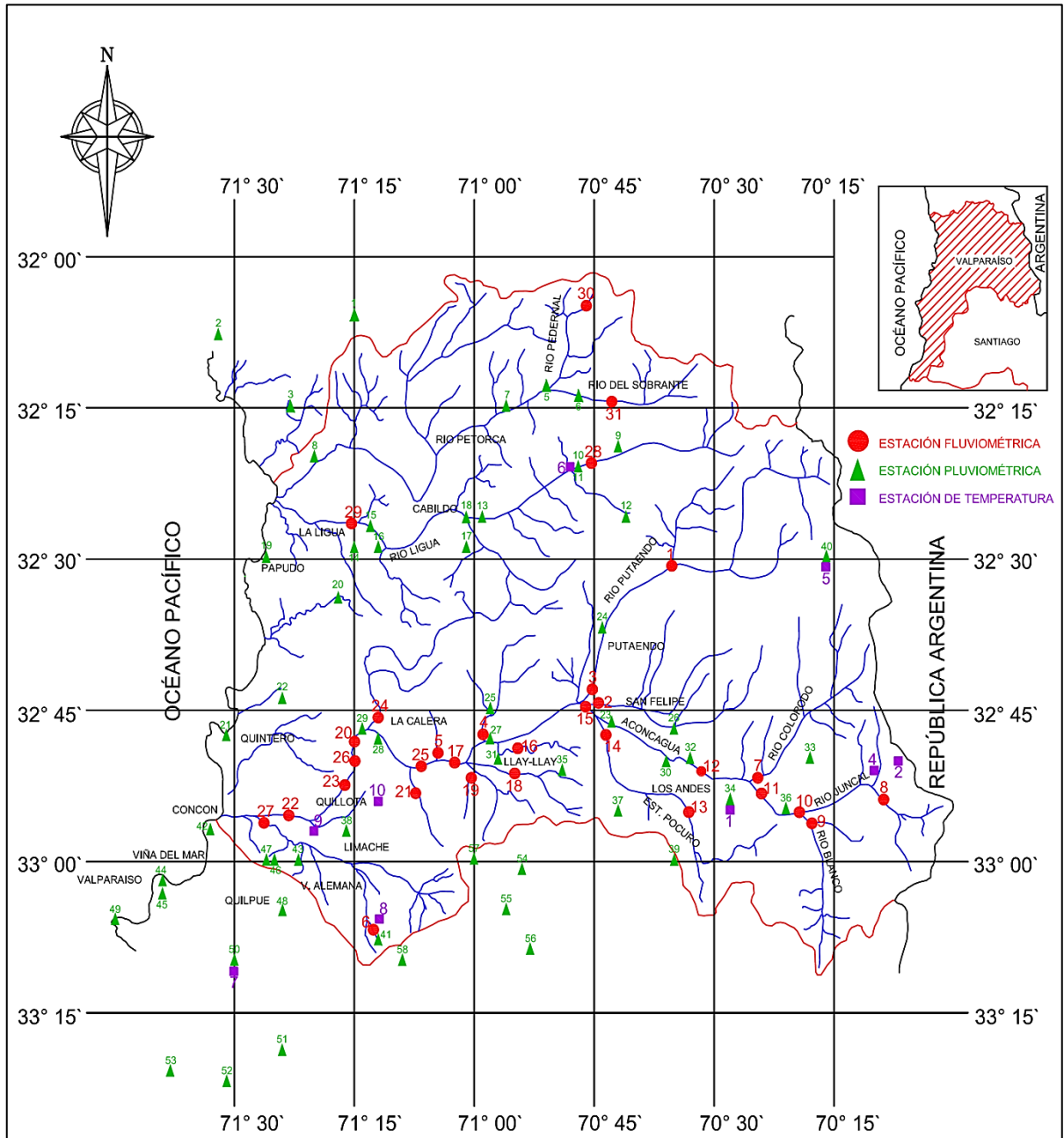


Figura 2.8 “Distribución de estaciones fluviométrica, pluviométrica y de temperatura en la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca)”

2.2.4.1 Cuenca del río Huasco.

Tabla 2.13 “Estaciones fluviométricas seleccionadas en la cuenca del río Huasco”

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Latitud S	Longitud W
1	Río Tránsito en Angostura Pinte	1225	28°57´	70°18´
2	Río Conay en las Lozas	1560	28°57´	70°09´

Fuente: Elaboración propia en base a información de estudio integral de riego y D.G.A.

Tabla 2.14 “Estaciones pluviométricas seleccionadas en la cuenca del río Huasco”

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Latitud S	Longitud W
1	El Corral	1820	29°20´	70°20´
2	San Félix	1150	28°57´	70°31´
3	Tambos	1400	28°58´	70°13´
4	Conay Reten	1450	28°58´	70°10´
5	El Parral	1400	28°58´	70°14´
6	Junta del Carmen	770	28°45´	70°29´

Fuente: Elaboración propia en base a información de estudio integral de riego y D.G.A.

Tabla 2.15 “Estaciones de temperatura seleccionadas en la cuenca del río Huasco”

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Latitud S	Longitud W
1	Conay	1450	28°58´	70°10´
2	Potrerosillos	2850	26°30´	69°27´
3	Lautaro Embalse	1110	27°58´	70°01´

Fuente: Elaboración propia en base a información de estudio integral de riego y D.G.A.

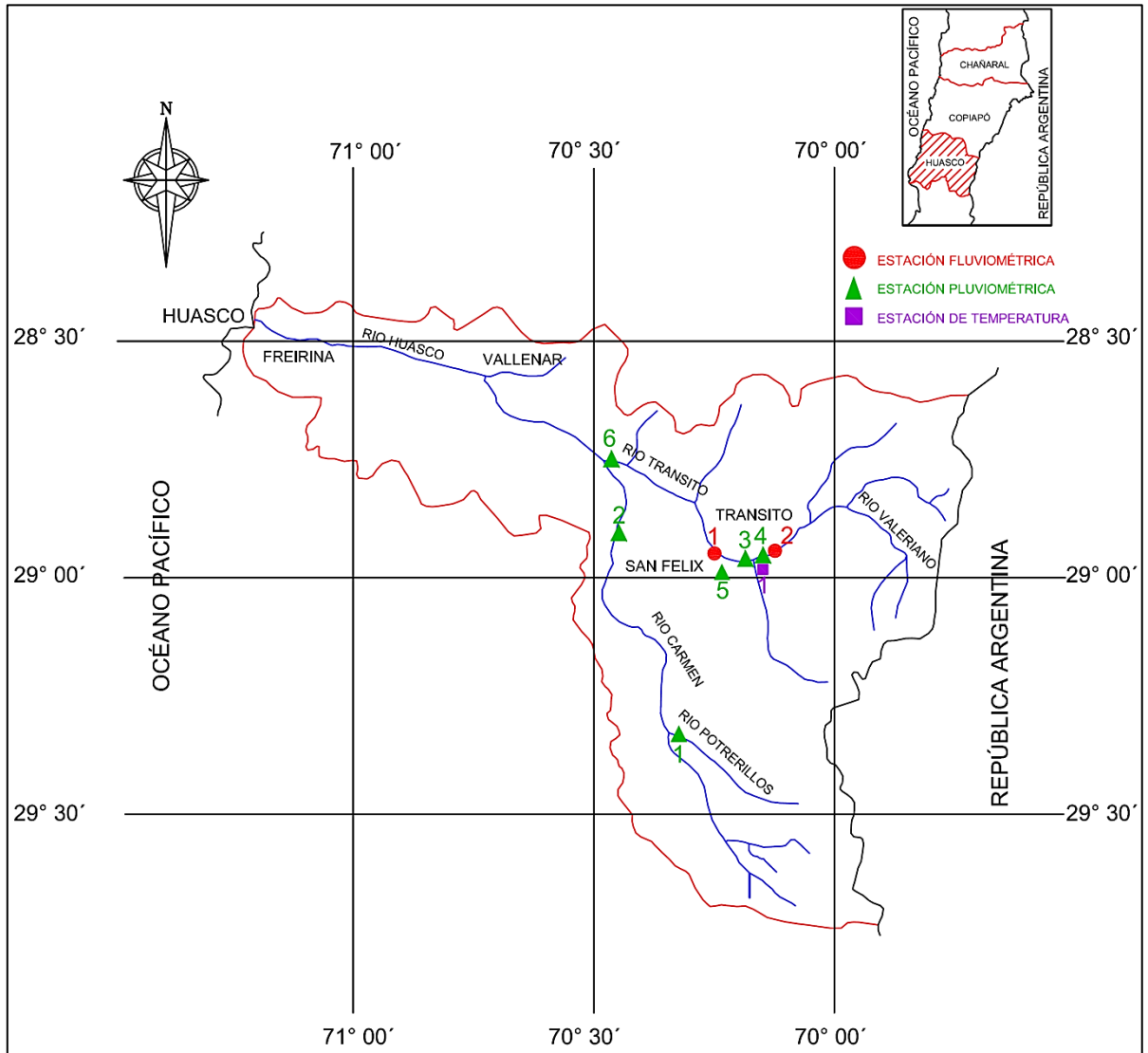


Figura 2.9 “Distribución de estaciones fluviométrica, pluviométrica y de temperatura seleccionadas en la cuenca del río Huasco”

2.2.4.2 Cuenca del río Elqui.

Tabla 2.16 “Estaciones fluviométricas seleccionadas en la cuenca del río Elqui”

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Latitud S	Longitud W
1	Estero Derecho en Alcohuaz	1971	30°13`	70°32`
2	Río Cochiguaz en el Peñón	1360	30°08`	70°26`
3	Río Toro antes junta Río la Laguna	2091	29°56`	70°06`
4	Embalse Laguna	3130	30°14`	70°03`

Fuente: Elaboración propia en base a información de estudio integral de riego y D.G.A.

Tabla 2.17 “Estaciones pluviométricas seleccionadas en la cuenca del río Elqui”

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Latitud S	Longitud W
1	Pisco Elqui	1250	30°07`	70°29`
2	Fdo. Los Nichos	1330	30°08`	70°30`
3	La Ortiga	1560	30°11`	70°29`
4	Cochiguaz	1560	30°08`	70°24`
5	La Laguna Embalse	3160	30°14`	70°02`
6	Juntas	2150	29°58`	70°05`
7	Hurtado	1100	30°17`	70°41`
8	Rivadavia	820	29°58`	70°33`
9	Huanta	1240	29°50`	70°23`

Fuente: Elaboración propia en base a información de estudio integral de riego y D.G.A.

Tabla 2.18 “Estaciones de temperatura seleccionadas en la cuenca del río Elqui”

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Latitud S	Longitud W
1	Hurtado	1100	30°17`	70°41`
2	Los Molles	1450	30°45`	70°36`
3	Andacollo	1025	30°14`	71°05`

Fuente: Elaboración propia en base a información de estudio integral de riego y D.G.A.

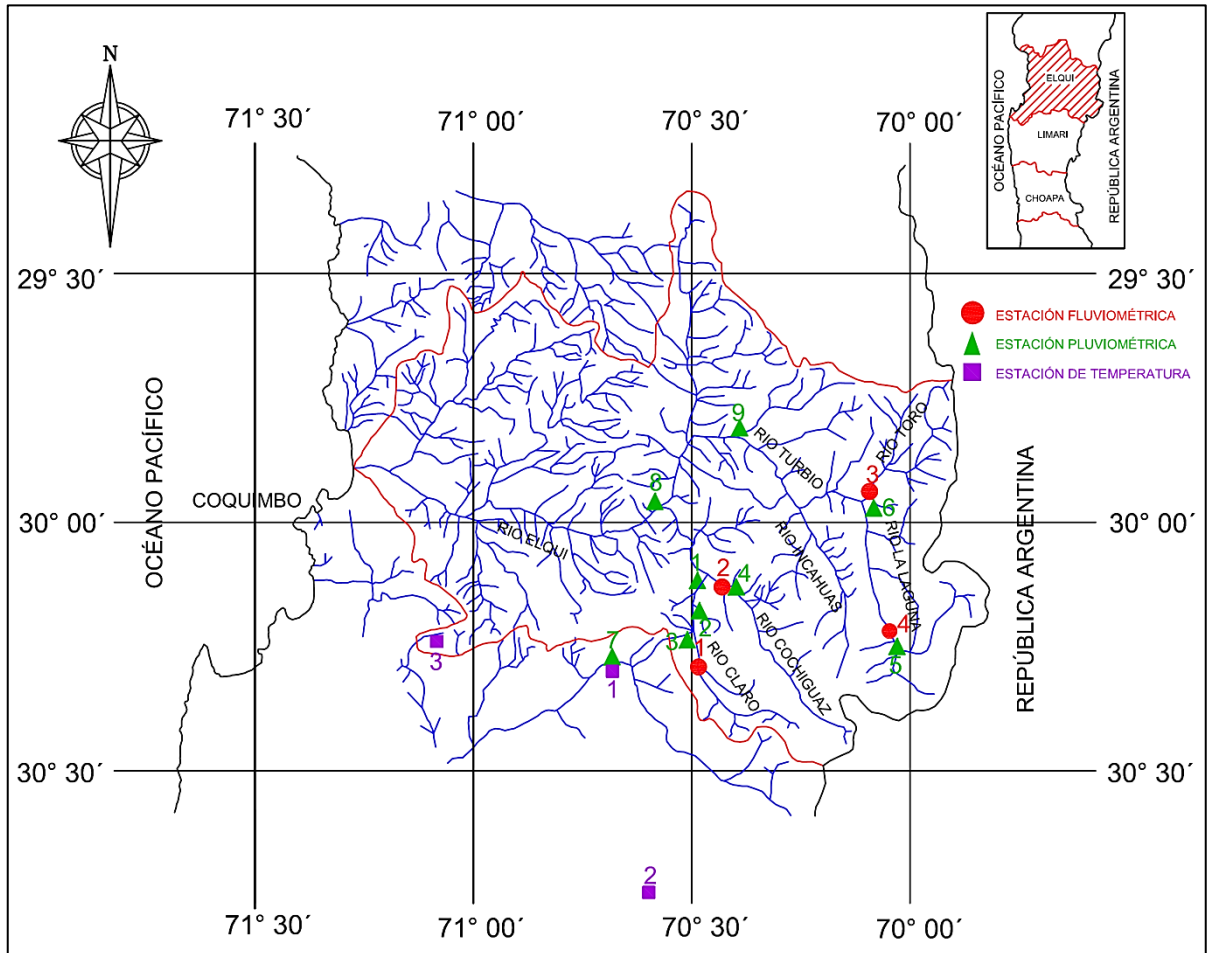


Figura 2.10 “Distribución de estaciones fluviométrica, pluviométrica y de temperatura seleccionadas en la cuenca del río Elqui”

2.2.4.3 Cuenca del río Choapa

Tabla 2.19 “Estaciones fluviométricas seleccionadas en la cuenca del río Choapa”

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Latitud S	Longitud W
1	Río Illapel en las Burras	1079	31° 30´	70° 50´
2	Río Chalinga en la Palmilla	1431	31° 40´	70° 42´
3	Río Choapa en Cuncumen	1200	31° 58´	70° 36´

Fuente: Elaboración propia en base a información de estudio integral de riego y D.G.A.

Tabla 2.20 “Estaciones pluviométricas seleccionadas en la cuenca del río Choapa”

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Latitud S	Longitud W
1	Huintil Hda.	650	31° 34´	70° 58´
2	Illapel DGA	290	31° 39´	71° 11´
3	Hda. San Agustín	1250	31° 43´	70° 49´
4	Salamanca	510	31° 46´	70° 58´
5	Cuncumen	1100	31° 56´	70° 36´
6	La Tranquilla	1000	31° 54´	70° 40´
7	Coirón	840	31° 54´	70° 46´
8	El Soldado	3290	32° 00´	70° 17´

Fuente: Elaboración propia en base a información de estudio integral de riego y D.G.A.

Tabla 2.21 “Estaciones de temperatura seleccionadas en la cuenca del río Choapa”

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Latitud S	Longitud W
1	La Tranquilla	1000	31° 54´	70° 40´
2	Las Ramadas	1350	31° 02´	70° 36´

Fuente: Elaboración propia en base a información de estudio integral de riego y D.G.A.

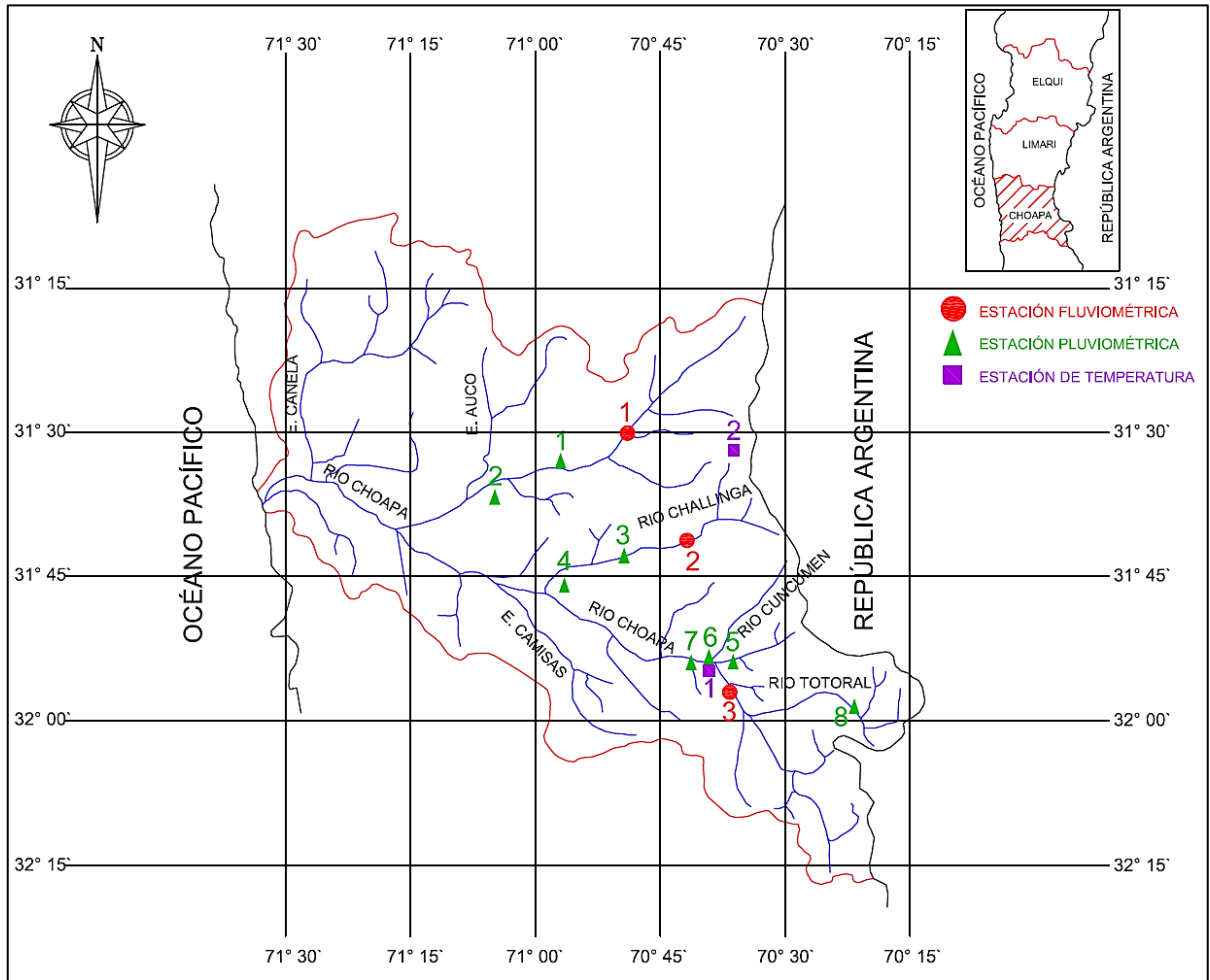


Figura 2.11 “Distribución de estaciones fluviométrica, pluviométrica y de temperatura seleccionadas en la cuenca del río Choapa”

2.2.4.4 Cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca).

Tabla 2.22 “Estaciones fluviométricas seleccionadas en la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca)”

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Latitud S	Longitud W
1	Río Pedernal en Tejada	1600	32°04'	70°45'
2	Río Sobrante en Piñadero	1400	32°13'	70°42'
3	Río Alicahue en Colliguay	780	32°19'	70°44'
4	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	1218	32°30'	70°36'
5	Río Juncal en Juncal	1800	32°50'	70°10'
6	Río Colorado en Colorado	1100	32°50'	70°25'
7	Estero Pocuro en el Sifón	1000	32°54'	70°33'

Fuente: Elaboración propia en base a información de estudio integral de riego y D.G.A.

Tabla 2.23 “Estaciones pluviométricas seleccionadas en la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca)”

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Latitud S	Longitud W
1	Frutillar Alto	780	32°13'	70°47'
2	Hda. El Sobrante	810	32°13'	70°47'
3	Hda. Chalaco	880	32°11'	70°47'
4	Hda. Pedernal	1100	32°05'	70°48'
5	Lagunitas	2766	32°30'	70°16'
6	Mina Cerro Negro	650	32°35'	70°52'
7	Adm. Hda Alicahue	750	32°20'	70°45'
8	La Mostaza Hda. Alicahue	1200	32°25'	70°40'
9	Los Andes	820	32°50'	70°36'
10	Riecillos	1290	32°55'	70°21'
11	Vilcuya	1100	32°51'	70°28'
12	Resguardo los Patos	1220	32°30'	70°34'
13	San Felipe	640	32°45'	70°43'

Fuente: Elaboración propia en base a información de estudio integral de riego y D.G.A.

Tabla 2.24 “Estaciones de temperatura seleccionadas en la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca)”

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Latitud S	Longitud W
1	Vilcuya	1100	32°51'	70°28'
2	Cristo Redentor	3830	32°50'	70°07'
3	El Yeso Embalse	2475	33°40'	70°06'
4	Juncal	2217	32°51'	70°10'
5	Lagunitas	2766	32°30'	70°16'

Fuente: Elaboración propia en base a información de estudio integral de riego y D.G.A.

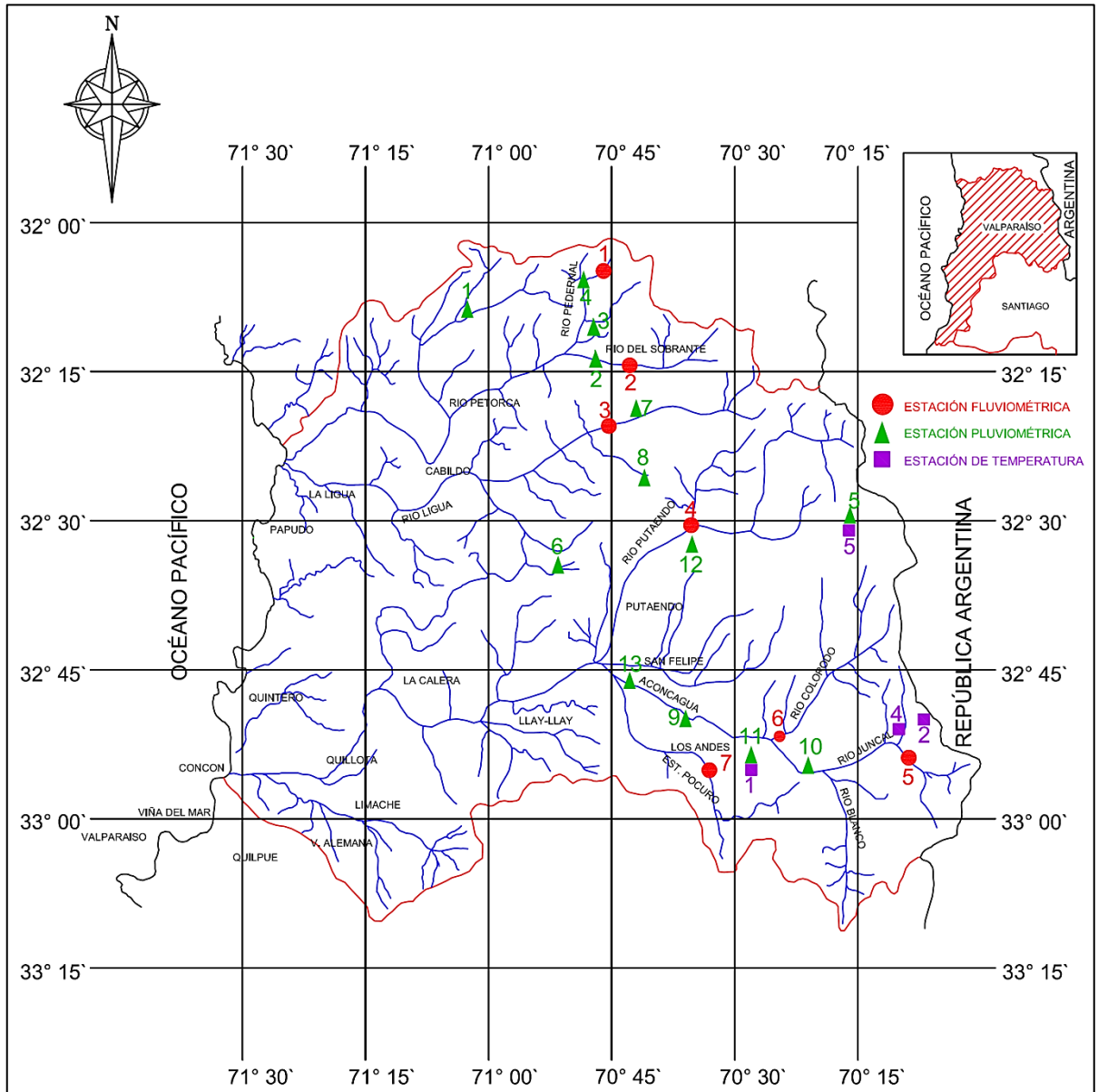


Figura 2.12 “Distribución de estaciones fluvimétrica, pluviométrica y de temperatura seleccionadas en la cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca).”

Tabla 2.28 “Información estadística fluviométrica en (m³/s) de la cuenca del río Huasco”.

Año	Río Tránsito en Angostura Pinte	Río Conay en las Lozas
1980	3,36	(*)
1981	5,49	(*)
1982	2,99	(*)
1983	6,72	(*)
1984	10,52	(*)
1985	(*)	3,36
1986	3,22	1,99
1987	6,38	5,99
1988	(*)	2,81
1989	3,20	2,22
1990	2,69	1,32
1991	2,56	1,17
1992	4,45	1,67
1993	5,23	2,60
1994	2,22	1,33
1995	1,77	1,02
1996	1,30	0,89
1997	5,25	2,21
1998	8,92	(*)
1999	3,62	2,09
2000	3,41	1,69
2001	3,63	1,95
2002	5,93	2,51
2003	5,94	3,09
2004	2,65	1,51
2005	3,13	1,17
2006	2,90	1,22
2007	3,13	1,02
2008	3,77	(*)
2009	1,67	(*)
2010	1,51	0,74
2011	1,83	0,79

(*) Dato incompleto de la estadística.

Fuente: Elaboración propia en base a información suministrada por la D.G.A

Tabla 2.29 "Información estadística fluviométrica en (m³/s) de la cuenca del río Elqui".

Año	Estero Derecho en Alcohuz	Río Cochiguaz en el Peñón	Río Toro antes junta río Laguna	Embalse Laguna
1977	(*)	(*)	(*)	1,23
1978	(*)	(*)	(*)	4,76
1979	(*)	(*)	(*)	3,51
1980	(*)	(*)	(*)	1,82
1981	(*)	(*)	(*)	3,21
1982	(*)	(*)	(*)	2,08
1983	(*)	(*)	0,58	3,71
1984	3,88	6,70	0,62	4,31
1985	1,67	4,08	(*)	2,64
1986	0,92	1,83	0,60	1,84
1987	2,87	6,17	1,16	4,95
1988	2,44	5,59	0,90	4,32
1989	0,60	1,33	0,75	1,70
1990	0,40	1,26	0,50	1,56
1991	0,97	1,95	0,61	0,87
1992	1,55	3,96	0,79	2,49
1993	1,27	2,89	0,67	2,57
1994	0,58	1,48	0,68	1,38
1995	0,51	1,25	0,48	1,52
1996	0,32	0,87	0,50	1,17
1997	3,59	6,13	1,07	2,27
1998	3,04	6,04	1,18	4,46
1999	0,56	1,62	0,59	2,15
2000	0,80	1,88	0,58	1,00
2001	0,86	2,06	0,62	1,40
2002	2,27	4,60	0,88	2,88
2003	1,64	3,93	0,84	3,41
2004	0,72	1,81	0,65	1,42
2005	1,01	2,02	0,66	1,51
2006	1,02	2,60	0,71	2,89
2007	0,70	2,14	0,70	2,62
2008	1,00	2,93	0,60	2,08
2009	0,79	2,11	0,40	1,12
2010	0,47	1,13	0,65	0,90
2011	0,51	1,10	(*)	0,53

(*) Dato incompleto de la estadística.

Fuente: Elaboración propia en base a información suministrada por la D.G.A

Tabla 2.30 “Información estadística fluviométrica en (m³/s) de la cuenca del río Choapa”.

Año	Río Illapel en las Burras	Río Chalinga en la Palmilla	Río Choapa en Cuncumen
1965	5,71	(*)	36,84
1966	2,73	(*)	11,94
1967	1,32	(*)	5,22
1968	0,62	(*)	2,10
1969	0,42	(*)	3,09
1970	0,45	(*)	4,75
1971	0,42	(*)	4,43
1972	0,98	(*)	13,54
1973	3,43	(*)	18,60
1974	1,49	(*)	8,20
1975	1,11	(*)	5,53
1976	1,07	(*)	4,05
1977	3,10	(*)	11,59
1978	3,38	(*)	18,28
1979	1,34	(*)	8,13
1980	2,66	(*)	11,35
1981	1,54	(*)	5,52
1982	3,58	(*)	16,81
1983	3,55	(*)	18,50
1984	6,03	(*)	13,94
1985	1,86	(*)	8,34
1986	1,69	(*)	8,91
1987	8,27	(*)	21,92
1988	4,69	(*)	13,37
1989	1,44	(*)	7,58
1990	0,99	1,30	4,89
1991	3,24	1,34	10,64
1992	4,67	1,33	12,94
1993	2,97	1,29	9,02
1994	1,22	0,63	5,30
1995	0,66	0,33	3,57
1996	0,69	0,27	2,24
1997	7,19	2,08	16,43
1998	4,76	1,73	10,34
1999	1,14	0,57	5,48
2000	2,76	1,01	10,20
2001	2,35	1,05	11,71
2002	7,02	1,72	18,34
2003	3,37	1,39	11,79
2004	1,16	0,71	5,50
2005	2,83	0,86	14,43
2006	1,99	0,86	12,72
2007	1,11	0,62	7,44
2008	1,59	0,82	10,52
2009	1,14	0,80	8,20
2010	0,84	0,53	4,08
2011	0,84	0,37	3,38

(*) Dato incompleto de la estadística.

Fuente: Elaboración propia en base a información suministrada por la D.G.A.

Tabla 2.31 “Información estadística fluviométrica en (m³/s) de la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca)”.

Año	Río Pedernal en Tejada	Río Sobrante en Piñadero	Río Alicahue en Colliguay	Río Putaendo en Resg. los Patos	Río Juncal en Juncal	Río Colorado en Colorado	E. Pocuro en el Sifón
1965	0,53	1,08	2,55	10,08	(*)	10,47	1,72
1966	0,27	1,20	1,16	8,67	(*)	7,42	0,90
1967	(*)	0,46	0,55	3,59	(*)	2,90	0,51
1968	0,05	0,21	0,26	1,80	(*)	(*)	0,12
1969	0,04	0,10	0,18	2,15	(*)	2,43	0,18
1970	0,13	0,29	0,39	3,47	3,50	(*)	0,21
1971	0,06	(*)	0,31	(*)	4,34	3,46	0,23
1972	0,45	1,83	1,91	11,01	5,65	11,51	2,28
1973	(*)	1,04	1,13	11,08	8,96	(*)	0,82
1974	0,12	0,67	0,73	6,43	6,34	21,55	0,76
1975	(*)	0,44	0,57	4,82	5,73	4,17	0,48
1976	0,09	0,29	0,26	3,23	(*)	3,25	0,46
1977	1,20	1,29	(*)	22,37	7,14	13,16	1,75
1978	1,50	1,46	2,20	13,48	9,84	19,48	2,36
1979	0,48	0,56	1,04	4,34	7,24	9,19	0,51
1980	0,67	1,03	(*)	7,34	7,33	10,06	0,88
1981	0,34	0,59	(*)	3,93	6,59	(*)	(*)
1982	0,71	2,66	3,59	16,54	6,29	14,54	(*)
1983	(*)	1,90	2,30	(*)	11,03	16,84	(*)
1984	0,99	2,37	3,60	(*)	5,87	10,94	1,95
1985	0,15	0,56	1,20	(*)	6,76	6,53	0,56
1986	0,26	0,63	1,48	8,43	(*)	9,64	(*)
1987	(*)	5,05	(*)	20,91	8,10	18,80	2,56
1988	(*)	1,12	1,55	8,23	7,23	9,44	0,52
1989	0,19	0,64	0,79	5,05	5,29	3,67	0,66
1990	0,08	0,32	0,46	(*)	4,51	0,73	0,23
1991	0,34	1,23	1,36	7,31	4,48	6,37	1,06
1992	0,51	1,33	1,74	10,00	6,07	8,39	1,35
1993	0,22	0,80	1,21	7,11	6,08	7,95	0,76
1994	0,06	0,32	0,47	4,04	4,98	2,42	0,36

Tabla 2.31 "Información estadística fluviométrica en (m³/s) de la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca)" (Continuación).

Año	Río Pedernal en Tejada	Río Sobrante en Piñadero	Río Alicahue en Colliguay	Río Putaendo en Resg. los Patos	Río Juncal en Juncal	Río Colorado en Colorado	E. Pocuro en el Sifón
1995	0,03	0,17	0,35	2,97	4,88	1,17	0,27
1996	0,04	0,14	0,24	1,37	3,53	0,05	0,15
1997	1,57	3,24	3,05	13,90	4,03	8,21	2,93
1998	0,14	0,85	1,19	8,15	6,19	5,41	0,45
1999	0,12	0,59	0,86	4,48	4,75	2,60	0,42
2000	0,47	1,44	1,71	9,81	5,37	6,19	1,47
2001	0,42	1,17	1,50	8,66	7,07	5,97	0,85
2002	1,05	2,45	2,86	13,27	6,18	8,17	1,81
2003	0,15	0,80	1,14	8,36	7,94	5,43	0,45
2004	0,20	0,54	0,59	3,73	4,64	0,67	0,38
2005	0,62	(*)	1,55	12,29	5,60	8,86	1,27
2006	0,17	1,01	1,08	12,72	8,50	7,16	1,18
2007	(*)	0,47	(*)	(*)	6,05	(*)	(*)
2008	0,22	0,84	1,23	11,18	(*)	10,53	(*)
2009	0,14	0,69	0,82	6,59	5,20	3,56	0,77
2010	0,11	0,39	0,40	3,51	5,65	0,62	0,43
2011	0,14	0,36	(*)	(*)	3,52	0,21	0,25

(*) Dato incompleto de la estadística.

Fuente: Elaboración propia en base a información suministrada por la D.G.A

Tabla 2.33 "Información estadística pluviométrica en (mm) de la cuenca del río Huasco"

Año	El Corral	San Félix	Tambos	Conay Retén	El Parral	Junta del Carmen
1980	(*)	196,6	207,3	251,3	(*)	101,9
1981	(*)	30,8	(*)	27,5	(*)	15,5
1982	(*)	67,5	112,9	111,5	(*)	34,0
1983	(*)	74,8	134,4	128,6	(*)	108,5
1984	(*)	369,6	175,2	195,0	(*)	203,5
1985	(*)	12,0	15,0	9,7	(*)	27,0
1986	(*)	55,5	89,1	85,3	(*)	50,1
1987	(*)	209,7	259,3	249,2	(*)	166,9
1988	(*)	1,0	16,9	16,3	(*)	4,5
1989	30,2	56,3	84,2	72,9	54,3	37,7
1990	23,2	27,2	39,3	32,4	29,4	14,0
1991	74,5	157,6	139,1	132,8	126,2	159,9
1992	81,1	114,2	171,1	167,9	120,1	135,9
1993	5,6	6,5	(*)	7,2	3,4	12,5
1994	10,5	21,5	(*)	65,0	43,4	4,8
1995	2,0	1,8	(*)	8,0	12,1	1,5
1996	33,5	13,5	(*)	20,0	27,0	1,5
1997	250,5	282,0	(*)	402,2	320,6	234,5
1998	52,5	45,4	(*)	63,7	23,0	40,0
1999	25,5	17,7	(*)	25,4	35,5	15,0
2000	113,5	102,8	(*)	144,8	112,6	104,0
2001	17,0	9,2	(*)	58,9	32,6	4,0
2002	174,8	197,2	(*)	231,7	188,2	141,2
2003	10,0	2,7	(*)	9,7	8,9	0,0
2004	58,0	67,2	(*)	83,5	75,2	54,6
2005	58,5	35,3	(*)	45,8	49,6	32,6
2006	8,0	7,5	(*)	3,5	1,0	0,0
2007	40,5	5,7	(*)	49,7	35,1	2,0
2008	60,7	55,0	(*)	65,6	64,5	37,0
2009	42,5	12,5	(*)	17,5	18,7	20,0
2010	40,5	50,5	(*)	54,5	48,5	52,8
2011	45,0	34,0	(*)	47,0	36,9	28,2

(*) Dato incompleto de la estadística.

Fuente: Elaboración propia en base a información suministrada por la D.G.A

Tabla 2.34 "Información estadística pluviométrica en (mm) de la cuenca del río Elqui"

Año	Pisco Elqui	Fdo. Los Nichos	La Ortiga	Cochiguaz	La Laguna Embalse	Juntas	Hurtado	Rivadavia	Huanta
1977	124,4	125,5	(*)	(*)	319,2	(*)	127,5	68,6	(*)
1978	0,0	0,0	(*)	(*)	485,0	(*)	109,2	103,6	(*)
1979	159,2	148,6	8,0	(*)	71,5	(*)	10,5	10,0	(*)
1980	171,3	269,4	108,5	(*)	301,5	(*)	165,7	172,7	(*)
1981	40,5	37,5	34,5	(*)	68,0	(*)	58,0	53,8	(*)
1982	208,1	199,5	209,0	(*)	330,5	(*)	141,0	115,1	(*)
1983	202,0	201,5	280,5	(*)	167,0	(*)	262,0	193,0	(*)
1984	382,5	489,0	395,5	(*)	352,5	(*)	440,0	350,6	(*)
1985	49,2	54,9	57,0	(*)	114,5	(*)	60,0	45,2	(*)
1986	58,7	78,2	119,5	(*)	160,2	(*)	101,5	79,9	(*)
1987	236,2	328,6	434,1	(*)	406,0	(*)	406,7	198,9	(*)
1988	7,7	10,1	9,1	(*)	45,5	(*)	8,0	19,8	(*)
1989	6,0	63,5	83,0	56,0	121,0	50,1	109,5	52,1	63,3
1990	53,9	70,1	74,3	63,1	67,5	49,6	65,8	47,3	31,4
1991	171,3	226,5	279,5	166,5	169,5	216,6	211,7	196,0	127,4
1992	153,9	211,9	218,0	166,5	143,5	170,0	205,8	178,0	98,8
1993	38,5	36,0	42,0	29,7	74,0	34,6	69,7	24,9	11,0
1994	53,0	62,9	72,5	56,2	114,5	104,0	34,0	56,0	30,0
1995	2,0	1,0	5,0	8,0	65,5	16,0	11,7	2,0	8,0
1996	40,0	57,4	76,0	45,0	43,0	27,5	85,5	44,7	30,0
1997	402,7	434,7	662,5	361,8	404,0	328,5	260,0	333,0	256,0
1998	29,2	26,5	42,0	25,5	51,0	81,0	34,5	23,5	21,4
1999	39,7	91,6	93,0	81,1	113,5	52,2	49,8	58,0	24,1
2000	130,5	182,0	193,5	137,5	193,0	132,3	177,0	169,0	80,8
2001	77,4	114,5	114,0	84,0	177,0	102,2	140,6	58,4	46,1
2002	263,7	328,5	321,1	277,0	314,0	289,6	354,5	262,3	202,6
2003	84,1	106,0	110,7	82,0	129,0	55,6	87,0	45,3	19,8
2004	37,5	76,8	95,7	102,5	110,0	29,2	112,5	80,5	42,2
2005	101,9	107,9	131,5	109,2	219,5	62,5	83,0	86,9	45,9
2006	37,8	45,0	55,1	40,1	139,0	68,7	105,0	43,6	19,5
2007	41,1	56,0	94,7	68,0	216,5	120,1	48,5	25,8	39,7
2008	167,1	166,2	241,8	165,0	162,5	99,8	191,8	122,0	84,2
2009	96,5	71,2	76,1	52,5	69,5	13,1	64,5	73,7	38,5
2010	50,2	58,6	76,0	51,0	54,5	71,6	136,5	64,5	38,9
2011	100,4	103,3	124,7	68,0	107,0	41,0	188,5	91,5	92,4

(*) Dato incompleto de la estadística.

Fuente: Elaboración propia en base a información suministrada por la D.G.A

Tabla 2.35 “Información estadística pluviométrica en (mm) de la cuenca del río Choapa”

Año	Huintil Hda.	Illapel DGA	Hda. San Agustín	Salamanca	Cuncumen	La Tranquilla	Coirón
1965	190,4	(*)	406,5	(*)	452,1	(*)	(*)
1966	229,0	(*)	276,0	(*)	234,0	452,5	(*)
1967	184,0	(*)	183,6	(*)	165,9	224,9	(*)
1968	61,0	(*)	68,0	(*)	70,0	103,3	(*)
1969	45,5	(*)	68,1	(*)	80,1	69,0	(*)
1970	170,5	(*)	182,0	(*)	214,4	232,2	(*)
1971	115,0	(*)	132,5	61,6	8,0	122,7	(*)
1972	384,5	(*)	357,9	70,7	445,1	379,7	(*)
1973	132,5	(*)	83,0	(*)	(*)	122,9	(*)
1974	133,0	140,4	101,8	151,6	86,4	175,5	148,3
1975	185,1	93,7	234,8	178,6	189,5	204,0	251,2
1976	98,5	77,5	131,5	129,9	116,8	111,1	178,2
1977	284,0	204,1	317,0	330,4	434,4	365,8	480,1
1978	244,6	179,7	302,8	344,5	369,0	305,5	541,2
1979	63,0	39,4	98,7	96,0	97,5	89,0	167,5
1980	368,5	253,2	335,9	402,0	365,5	334,5	483,3
1981	163,0	130,7	129,6	187,3	196,5	153,5	224,5
1982	346,0	292,7	355,4	413,2	545,5	472,0	575,0
1983	243,5	215,1	325,7	317,0	225,0	260,1	386,5
1984	353,0	306,5	350,7	453,7	471,5	322,5	471,5
1985	87,0	55,9	112,2	91,8	92,0	83,4	132,2
1986	196,0	157,7	241,5	187,9	287,0	240,0	302,1
1987	646,5	513,4	778,0	807,8	812,0	757,1	1056,5
1988	100,5	57,5	94,0	95,9	76,0	76,7	122,5
1989	167,5	104,3	196,5	192,2	(*)	198,5	300,0
1990	93,5	63,4	80,0	72,2	121,2	94,0	102,0
1991	237,0	200,8	302,0	268,7	331,7	334,6	318,0
1992	416,5	307,2	457,5	419,3	431,0	431,5	470,9
1993	233,5	162,5	249,0	227,0	332,5	312,5	339,3
1994	85,9	71,0	80,0	82,9	97,5	97,5	97,8

Tabla 2.35 “Información estadística pluviométrica en (mm) de la cuenca del río Choapa” (Continuación).

Año	Huintil Hda.	Illapel DGA	Hda. San Agustín	Salamanca	Cuncumen	La Tranquilla	Coirón
1995	101,2	93,7	111,5	126,9	128,5	146,5	170,5
1996	129,5	95,9	167,0	126,6	159,5	153,5	197,3
1997	537,1	436,0	524,5	556,6	788,0	738,5	792,3
1998	35,7	15,8	49,0	44,6	55,0	45,5	83,8
1999	180,0	148,0	186,0	178,5	242,5	212,1	245,3
2000	325,0	252,0	361,0	286,6	307,0	382,5	420,9
2001	255,3	204,9	278,2	318,3	322,5	296,4	365,0
2002	466,9	393,9	471,0	528,6	525,5	525,9	583,0
2003	101,4	103,3	120,5	135,0	168,0	169,1	173,0
2004	205,7	197,4	223,0	225,1	219,0	215,1	166,7
2005	188,1	123,1	242,0	171,7	346,0	286,7	267,8
2006	173,5	158,2	182,0	195,9	205,0	205,0	215,5
2007	122,6	98,0	150,5	148,0	113,0	139,5	184,9
2008	184,2	158,0	222,5	211,3	303,0	269,6	323,3
2009	169,8	141,0	190,0	173,0	242,0	211,5	239,1
2010	164,6	99,0	193,0	196,3	154,0	174,2	207,0
2011	214,7	185,2	213,5	185,0	256,7	196,8	217,5

(*) Dato incompleto de la estadística.

Fuente: Elaboración propia en base a información suministrada por la D.G.A

Tabla 2.36 "Información estadística pluviométrica en (mm) de la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca)"

Año	Frutillar Alto	Hda. El Sobrante	Hda. Chalaco	Hda. Pedernal	Lagunitas	Mina Cerro Negro	Adm. Hda Alicahue	La Mostaza Hda. Alicahue	Los Andes	Riecillos	Vilcuya	Resg. Los Patos	San Felipe
1965	(*)	355,1	392,0	445,5	883,6	(*)	527,5	(*)	(*)	666,5	463,6	505,0	352,7
1966	(*)	217,2	247,5	301,5	246,9	(*)	268,0	(*)	(*)	447,2	352,5	336,5	245,6
1967	(*)	120,8	135,0	0,0	212,5	(*)	201,0	(*)	(*)	186,1	149,0	217,0	78,9
1968	(*)	60,2	23,8	12,0	425,9	(*)	70,5	(*)	(*)	99,8	78,5	86,0	48,7
1969	(*)	48,6	66,8	86,3	527,6	(*)	97,5	(*)	(*)	296,5	141,1	121,0	87,7
1970	(*)	189,8	191,0	86,2	572,1	(*)	314,7	(*)	(*)	396,5	337,1	300,5	208,1
1971	(*)	82,0	93,5	86,5	1710,1	(*)	160,3	(*)	41,8	276,8	165,6	106,5	92,5
1972	(*)	282,4	299,5	379,5	445,1	(*)	420,5	(*)	462	978,3	627,3	422,0	407,7
1973	(*)	86,8	147,0	102,0	1311,4	(*)	156,9	(*)	115,5	321,3	181,3	204,0	104,4
1974	(*)	177,1	172,5	103,2	487,6	(*)	224,5	(*)	273	460,2	345,5	196,5	223,2
1975	(*)	124,5	136,0	104,4	666,2	(*)	181,0	(*)	159,5	334,5	230,8	196,0	159,2
1976	(*)	119,8	129,5	8,0	1144,1	(*)	188,5	(*)	84,4	381,2	156,6	177,0	123,9
1977	(*)	232,2	289,7	392,0	1250,4	(*)	348,5	(*)	347,8	802,9	447,6	436,5	278,6
1978	(*)	205,6	192,0	264,0	688,9	(*)	318,0	(*)	322,1	845,1	520,4	423,5	240,3
1979	35,3	108,1	120,0	120,0	1088,8	(*)	173,5	207,8	158,7	399,7	247,8	198,0	107,3
1980	336,5	286,1	288,0	382,9	476,8	401,3	382,5	393,0	388,4	645,8	445,4	382,5	257,7
1981	191,0	187,6	148,0	159,4	1777,3	208,9	212,5	220,9	177,6	345,7	229,9	188,0	146,2
1982	444,8	298,4	282,5	384,8	868,0	536,5	452,5	553,1	509,3	1196,8	704,5	594,0	249,8
1983	361,5	318,9	336,0	388,9	1371,7	388,8	403,1	404,3	342,7	555,1	451,7	364,5	306
1984	550,4	372,6	423,8	550,6	509,9	624,9	458,0	435,9	377,5	606,0	428,9	482,9	398,1
1985	106,6	100,9	108,2	114,1	1167,2	105,9	124,0	123,8	118	309,8	182,6	130,8	97,5
1986	209,6	148,3	161,5	217,6	1569,1	358,4	210,1	210,0	232,5	865,5	354,3	299,8	203,2
1987	844,0	591,4	643,7	893,5	389,0	845,7	724,5	803,1	537	303,8	868,1	805,2	603
1988	117,0	67,1	76,8	91,8	863,8	51,6	117,5	127,2	75,5	133,9	150,5	81,9	61,7
1989	214,0	180,9	216,0	217,4	494,4	235,5	252,5	237,8	218,3	492,5	350,2	278,8	160,2
1990	106,6	66,1	74,0	87,7	1308,9	135,6	112,0	127,4	105,5	186,8	158,0	103,8	80,3
1991	341,7	255,5	293,0	344,6	928,4	370,7	357,0	408,4	361,6	804,7	480,4	393,0	284,7
1992	464,1	367,5	377,7	418,5	752,9	392,5	469,4	478,5	475,2	596,9	510,5	397,0	325
1993	215,9	174,2	208,0	147,8	734,0	225,9	236,5	261,2	260,3	643,8	283,6	215,6	184,9
1994	109,9	72,2	74,2	67,6	674,3	116	92,0	133,4	106,4	330,9	191,2	143,5	79,2

Tabla 2.36 "Información estadística pluviométrica en (mm) de la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca)" (Continuación).

Año	Frutillar Alto	Hda. El Sobrante	Hda. Chalaco	Hda. Pedernal	Lagunitas	Mina Cerro Negro	Adm. Hda Alicahue	La Mostaza Hda. Alicahue	Los Andes	Riecillos	Vilcuya	Resg. Los Patos	San Felipe
1995	153,3	127,8	129,0	129,3	247,1	127,5	174,5	201,2	53,2	244,1	236,2	159,5	132,8
1996	192,3	98,5	172,3	125,7	1443,8	159	130,5	121,3	114	196,8	169,7	93,6	97,7
1997	538,9	385,9	501,3	632,3	405,4	687,5	691,0	685,8	558,5	899,3	853,6	606,0	505,5
1998	36,6	58,9	48,2	49,7	976,6	62,3	100,0	32,3	52,5	103,1	95,6	77,1	34,5
1999	253,7	211,8	242,0	230,1	1280,2	277,5	230,2	270,9	252	448,1	347,0	291,5	204,6
2000	405,8	310,3	347,5	328,6	1001,0	354,1	270,0	421,8	299	671,7	497,1	406,5	302,4
2001	350,8	243,6	259,0	379,6	1479,8	322,5	250,0	324,2	259,1	537,4	360,0	300,8	230,2
2002	650,1	402,4	483,1	596,6	730,0	604,5	499,3	558,4	466,7	887,5	598,5	551,5	454,1
2003	176,1	104,0	153,0	179,6	(*)	210,3	175,5	193,1	160,5	338,0	232,0	190,5	126,9
2004	313,1	260,5	274,6	326,2	(*)	372,5	373,2	330,9	308,5	422,4	385,0	283,1	254,9
2005	228,8	160,9	225,0	304,2	(*)	398,9	318,6	355,1	307	1025,0	614,0	372,9	251
2006	260	235,7	221,5	246,0	(*)	341,8	266,0	328,2	316,5	682,3	379,7	107,5	268,2
2007	147,7	143,5	129,9	175,3	(*)	181,1	187,2	201,6	123,5	344,1	195,5	162,2	118,3
2008	271,2	194,2	113,3	202,0	(*)	308,5	317,5	388,0	300,1	815,0	485,5	339,3	241,1
2009	225,2	189,5	183,2	184,3	(*)	233	239,2	237,7	209,5	395,9	318,5	189,0	183,2
2010	205	184,0	206,8	215,3	(*)	222,5	227,7	245,2	213,5	247,7	260,5	153,0	180,8
2011	166,1	108,5	137,0	187,2	(*)	145,6	135,7	168,9	125,5	254,5	193,8	151,0	114,5

(*) Dato incompleto de la estadística.

Fuente: Elaboración propia en base a información suministrada por la D.G.A

Tabla 2.37 “Años de observación de estaciones de temperatura seleccionadas”

Cuenca río	Estación de temperatura	Años observados
Huasco	Conay	28
	Potreriillos	20
	Lautaro Embalse	26
Elqui	Hurtado	16
	Los Molles	21
	Andacollo	11
Choapa	La Tranquilla	49
	Las Ramadas	40
Aconcagua (Ligua- Petorca)	Vilcuya	47
	Cristo Redentor	13
	El Yeso Embalse	5
	Juncal	8
	Lagunitas	50

Fuente: Elaboración Propia en base a información de la D.G.A y Estudio Hídrico Nacional.

Tabla 2.38 “Información estadística de temperatura en (°C) de la cuenca del río Huasco

Conay	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Anual
Media	22,6	20,7	17,3	16,1	17,5	18,8	18,3	20,5	23,3	24,5	21,7	23,5	20,4
Máx	31,9	29,7	23,9	24,2	27,6	29,2	27,2	29,8	34,2	35,9	29,9	32,9	29,7
Mín.	13,3	11,7	10,6	7,9	7,3	8,4	9,3	11,2	12,3	13,1	13,5	14,0	11,1

Potreriillos	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Anual
Media	14,2	13,4	11,7	9,1	9,2	9,9	11,1	11,8	12,9	14,0	14,1	14,4	12,1
Máx	18,6	17,9	16,2	13,5	13,9	14,6	15,9	16,7	17,5	18,6	18,5	18,8	16,7
Mín.	9,8	8,9	7,2	4,7	4,4	5,1	6,2	6,9	8,2	9,3	9,6	10,0	7,5

Lautaro Embalse	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Anual
Media	25,4	24,2	23,2	21,9	21,5	21,7	22,2	22,8	24,9	27,1	27,2	26,7	24,0
Máx	37,0	37,2	36,1	34,3	32,4	33,2	33,9	34,8	36,9	40,1	38,4	40,2	36,2
Mín.	13,7	11,1	10,2	9,4	10,6	10,2	10,4	10,7	12,8	14,1	15,9	13,2	11,9

Fuente: Elaboración propia en base a información suministrada por la D.G.A

Tabla 2.39 "Información estadística de temperatura en (°C) de la cuenca del río Elqui".

Hurtado	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Anual
Media	19,4	17,2	14,7	13,2	12,3	13,9	14,3	16,4	17,7	19,1	20,0	20,0	16,5
Máx	26,5	24,0	21,6	19,8	19,0	20,9	21,5	24,4	25,4	26,8	27,1	27,4	23,7
Mín.	12,3	10,4	7,7	6,6	5,5	6,8	7,0	8,4	9,9	11,4	12,8	12,6	9,3

Nota: Los Molles y Andacollo tienen una temperatura media anual de 14,5 y 18,8 respectivamente.

Fuente: Elaboración propia, información suministrada por la D.G.A y Estudio Hídrico Nacional

Tabla 2.40 "Información estadística de temperatura en (°C) de la cuenca del río Choapa".

La Tranquilla	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Anual
Media	19,5	17,2	15,0	12,8	12,2	12,9	14,1	16,1	18,0	19,5	20,5	20,5	16,5
Máx	21,2	19,7	17,6	17,2	14,9	17,3	17,0	21,7	21,7	23,4	22,1	22,1	18,6
Mín.	17,9	13,3	11,1	9,3	9,6	10,0	11,1	11,6	12,9	15,2	18,5	18,2	14,5

Las Ramadas	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Anual
Media	17,7	16,9	14,4	12,9	13,4	13,5	14,5	14,9	18,4	19,2	20,2	20,0	16,3
Máx	20,5	21,3	19,2	16,3	17,1	17,2	18,4	20,3	20,6	20,9	24,0	24,8	20,1
Mín.	14,9	12,4	9,5	9,5	9,7	9,7	10,6	9,4	16,1	17,4	16,4	15,2	12,6

Fuente: Elaboración propia en base a información suministrada por la D.G.A

Tabla 2.41 "Información estadística de temperatura en (°C) de la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca)".

Vilcuya	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Anual
Media	19,7	17,3	13,2	11,4	12,3	12,3	13,4	15,7	18,1	20,1	21,2	21,3	16,3
Máx	21,8	19,9	16,8	16,9	15,8	14,9	15,9	18,6	20,5	22,8	23,7	23,8	16,3
Mín.	17,6	14,7	9,6	5,8	8,7	9,7	10,9	12,8	15,6	17,3	18,7	18,8	13,0

Cristo Redentor	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Anual
Media	1,4	-0,3	-2,4	-6,6	-5,8	-5,9	-4,4	-3,7	-0,4	2,5	2,9	3,2	-1,6
Máx	3,8	2,8	0,6	-4,3	-3,2	-4,0	-2,0	-1,1	2,6	5,7	6,2	6,7	1,2
Mín.	-1,0	-3,3	-5,4	-8,8	-8,4	-7,8	-6,8	-6,2	-3,4	-0,8	-0,5	-0,4	-4,4

Juncal	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Anual
Media	13,8	11,8	8,1	5,3	5,6	5,8	7,0	8,6	11,6	13,5	15,6	15,0	10,1
Máx	20,2	18,0	13,7	10,8	11,6	11,9	13,4	14,6	17,9	20,1	22,1	21,3	16,3
Mín.	7,4	5,5	2,4	-0,3	-0,4	-0,4	0,6	2,5	5,2	6,9	9,1	8,6	3,9

El Yeso Embalse	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Anual
Media	13,5	10,0	5,9	3,3	1,4	2,5	4,4	7,5	10,4	13,6	14,4	14,2	8,4
Máx	18,8	14,5	9,9	6,9	4,6	6,7	8,7	12,5	15,5	19,1	19,9	19,9	13,1
Mín.	8,2	5,5	1,9	-0,3	-1,9	-1,7	0,0	2,4	5,2	8,1	8,8	8,5	3,7

Lagunitas	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Anual
Media	11,3	7,1	4,2	1,0	1,7	1,3	2,8	6,3	7,3	10,6	11,4	11,2	6,3
Máx	13,4	10,0	7,3	4,8	5,6	4,6	5,5	9,8	10,4	13,1	22,2	22,0	10,7
Mín.	9,1	4,2	1,0	-2,8	-2,3	-2,1	0,0	2,8	4,2	8,1	0,5	0,3	1,9

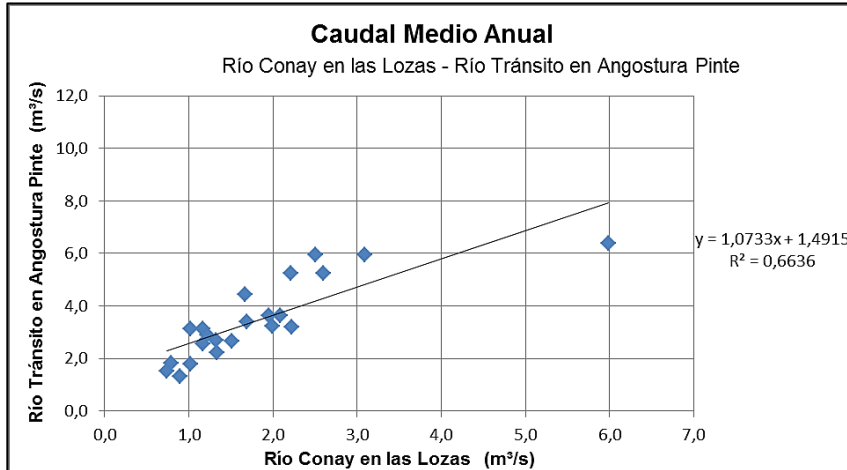
Fuente: Elaboración propia en base a información suministrada por la D.G.A

2.2.5.2 Ampliación, relleno y homogeneidad de estadística.

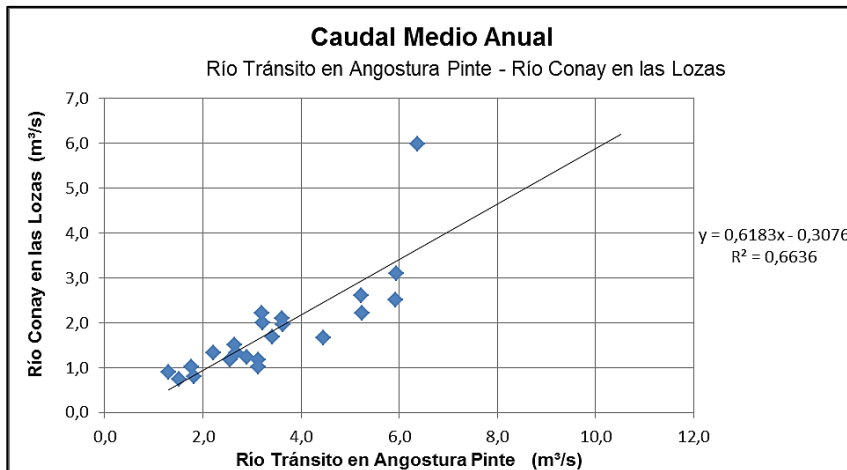
a) Gráficas de ampliación y relleno de estaciones fluviométricas.

Cuenca del Río Huasco:

Río Tránsito en Angostura Pinte.

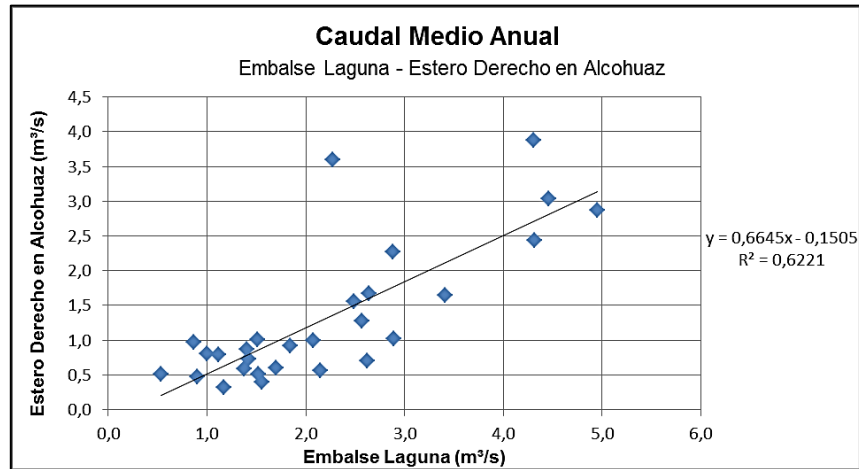


Río Conay en las Lozas

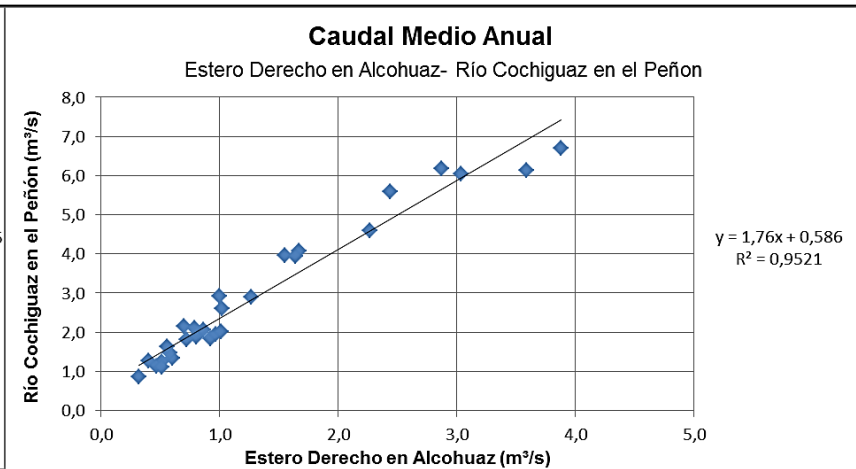


Cuenca del Río Elqui:

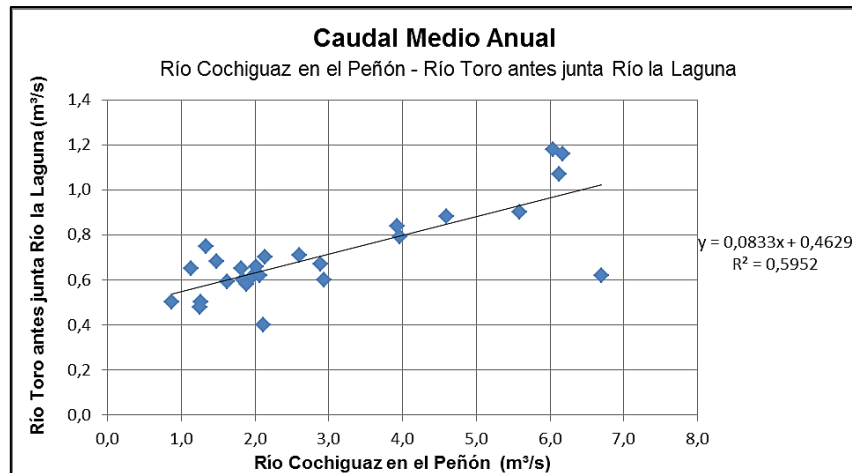
Estero Derecho en Alcohuaz



Río Cochiguaz en el Peñón

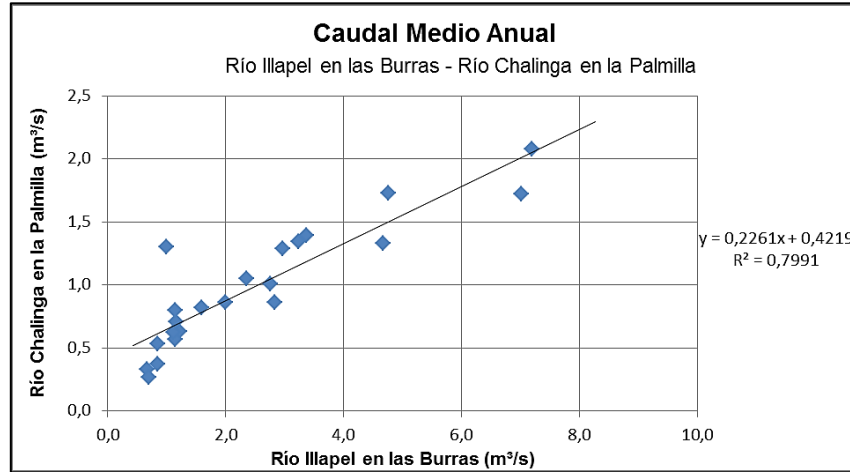


Río Toro antes junta Río la Laguna



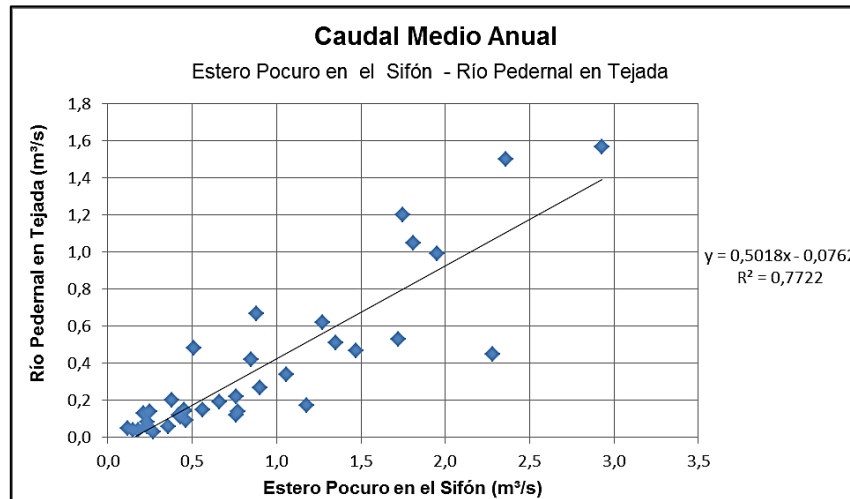
Cuenca del Río Choapa

Río Chalinga en la Palmilla

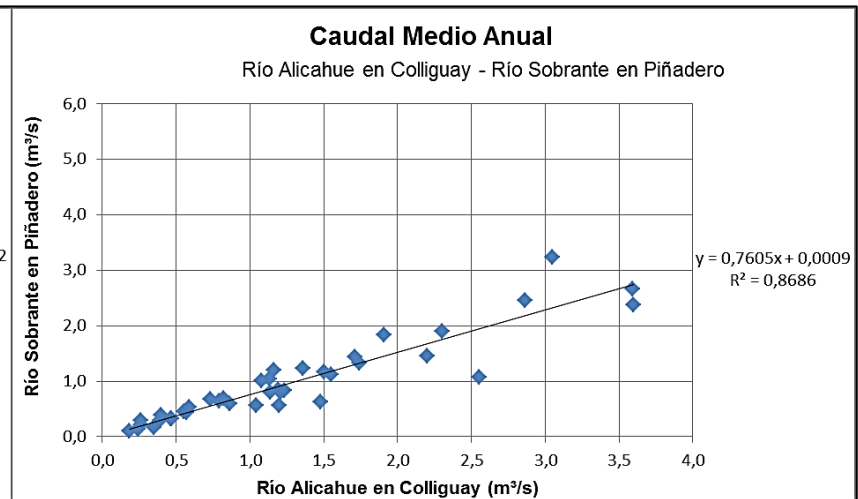


Cuenca del Río Aconcagua

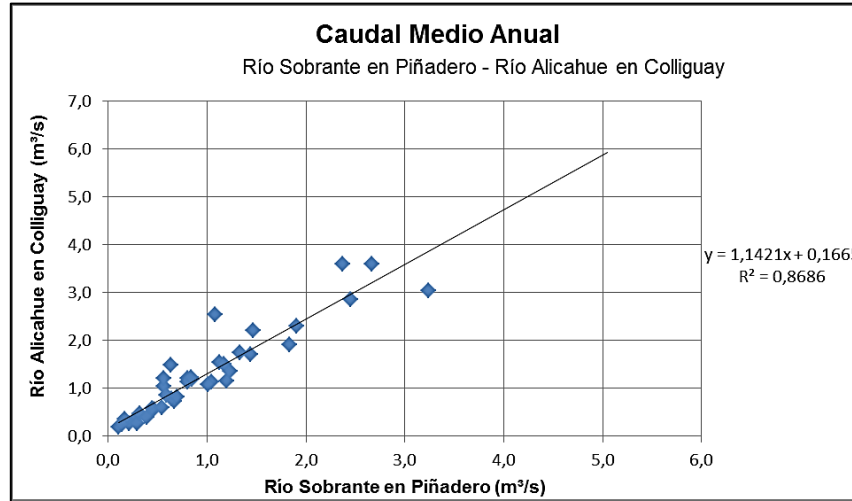
Río Pedernal en Tejada



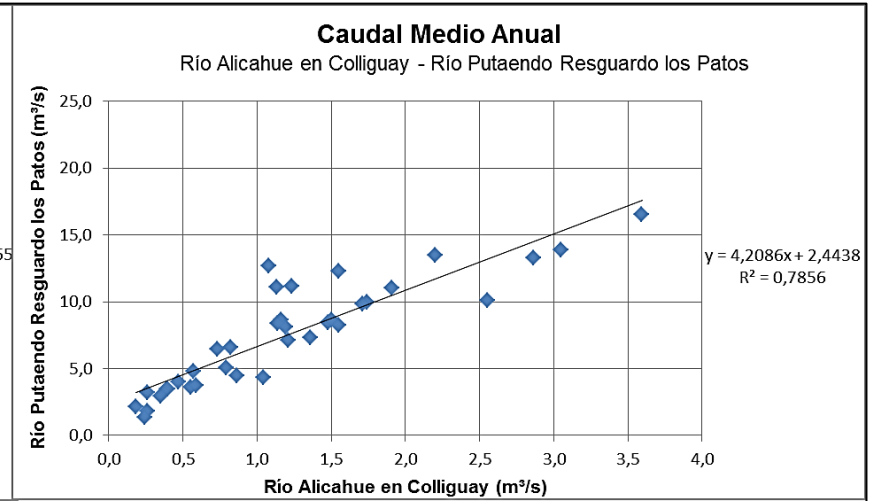
Río Sobrante en Piñadero.



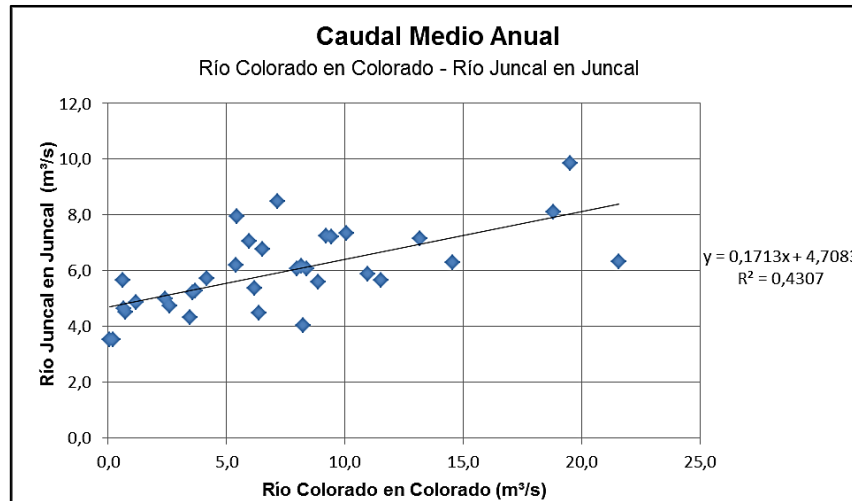
Río Alicahue en Colliguay



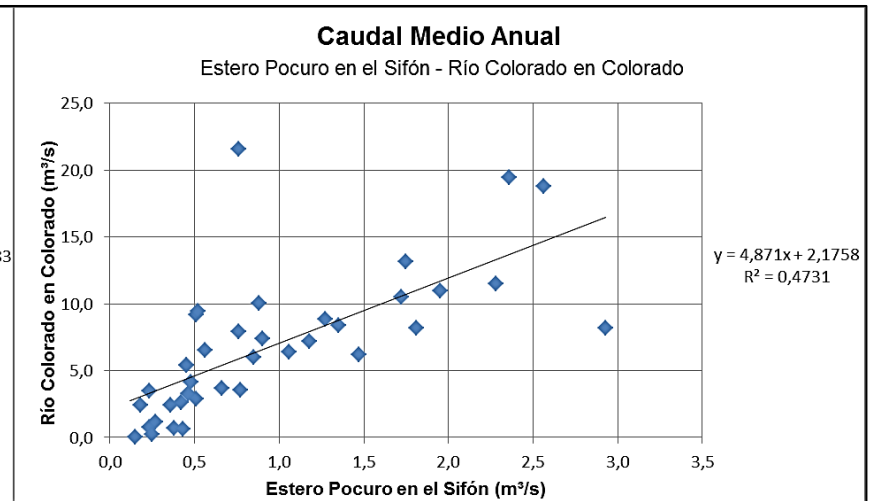
Río Putaendo Resguardo los Patos



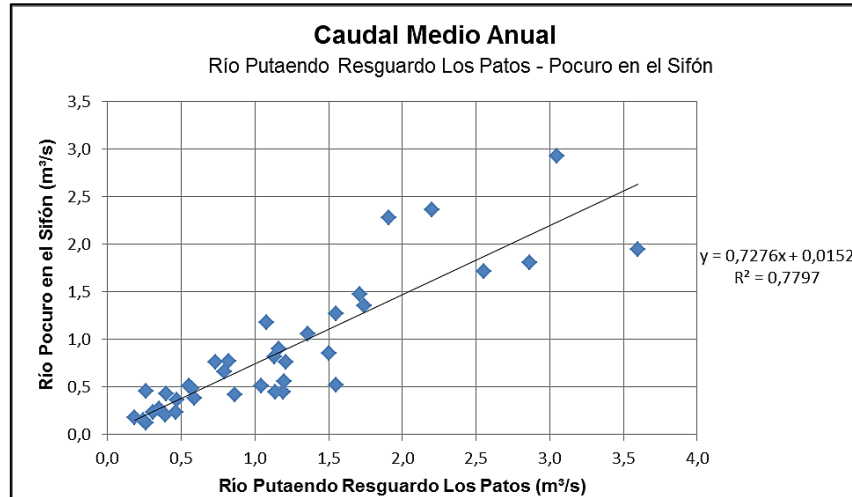
Río Juncal en Juncal



Río Colorado en Colorado



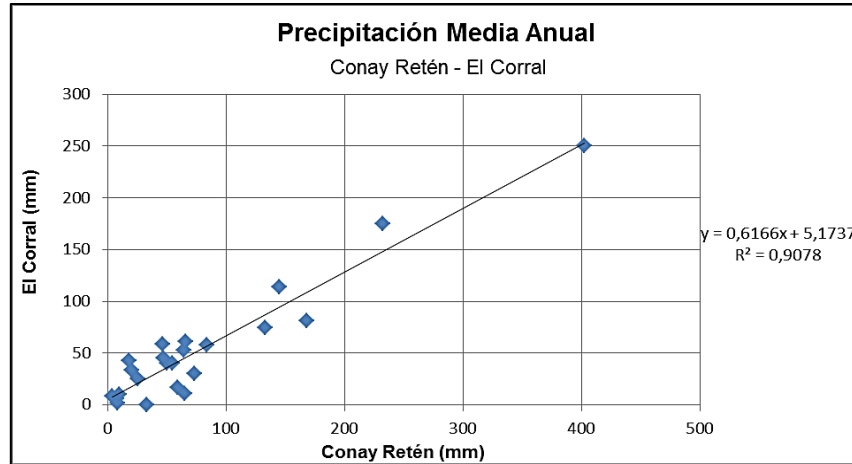
Estero Pocuro en el Sifón



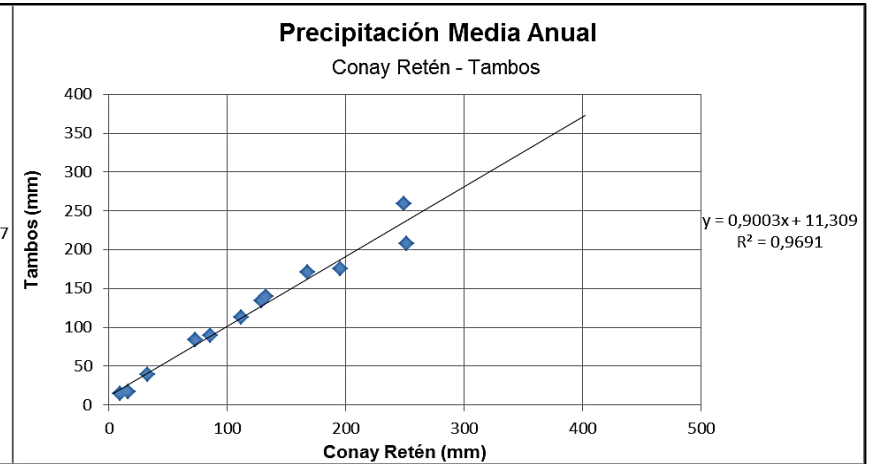
b) Gráficas de ampliación y relleno de estaciones pluviométricas.

Cuenca del Río Huasco:

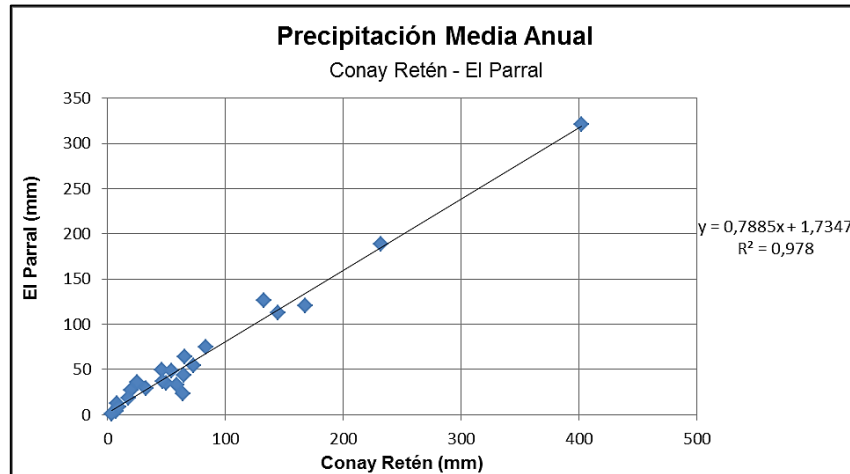
El Corral



Tambos

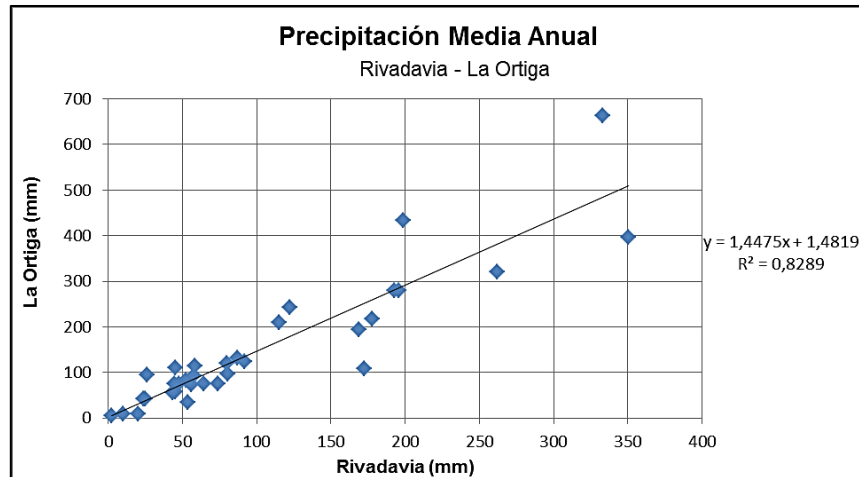


El Parral

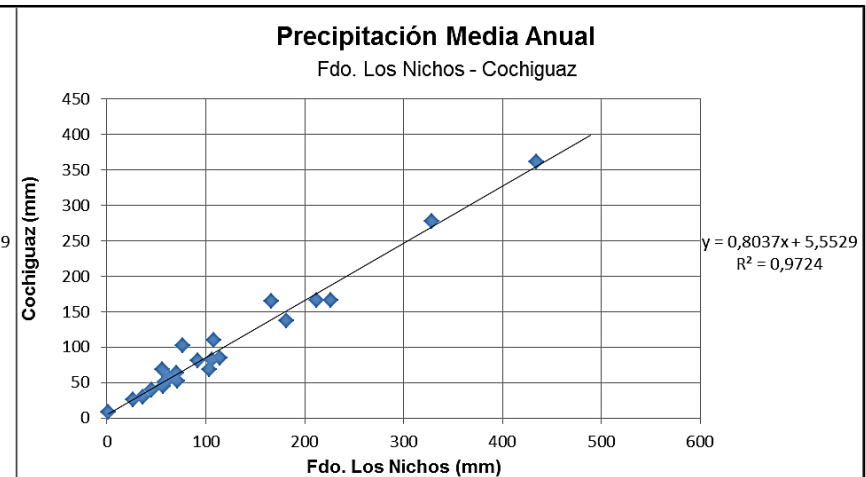


Cuenca del Río Elqui:

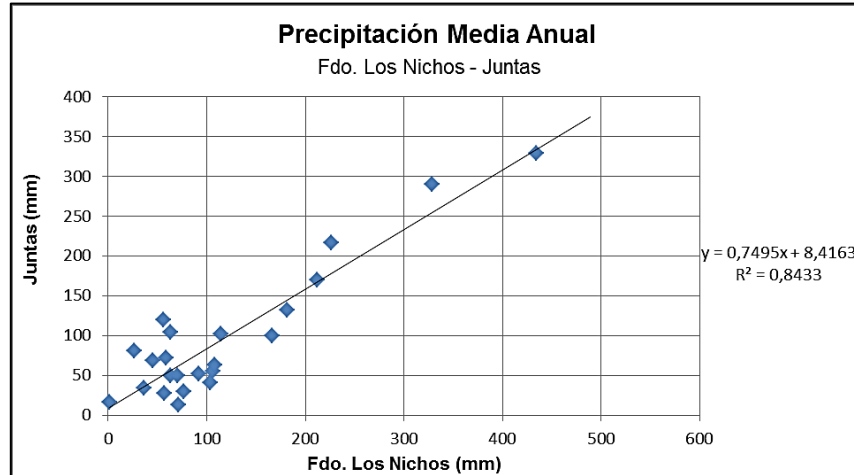
La Ortiga



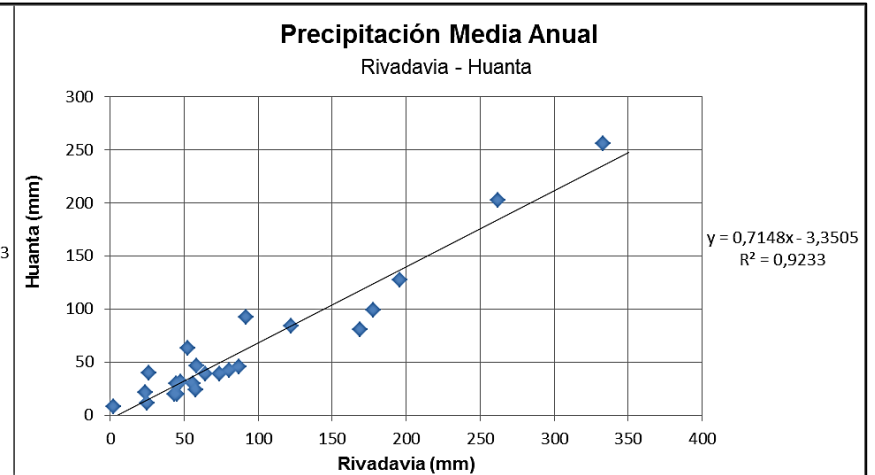
Cochiguaz



Juntas

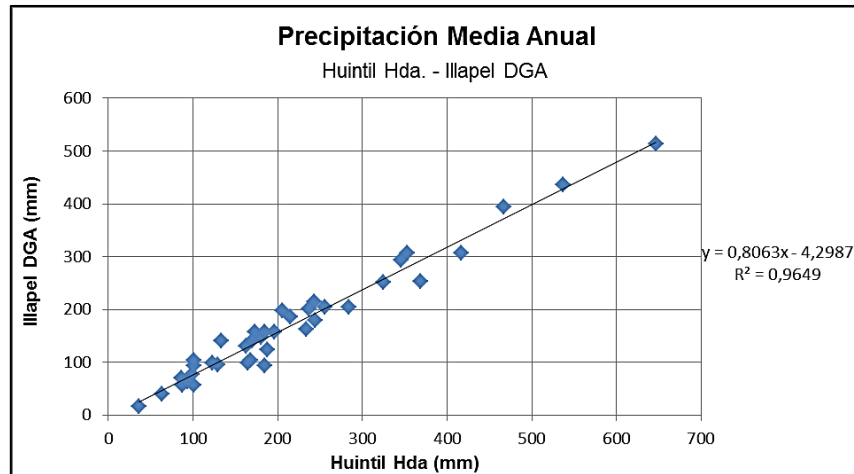


Huanta

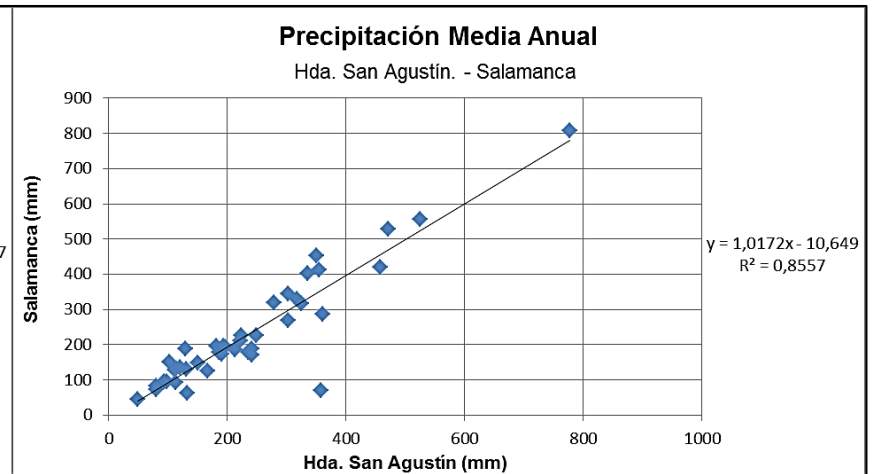


Cuenca del Río Choapa:

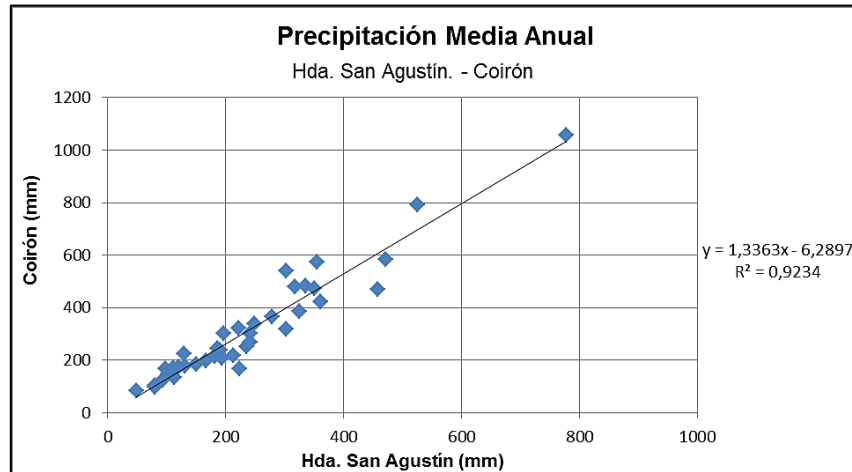
Illapel DGA



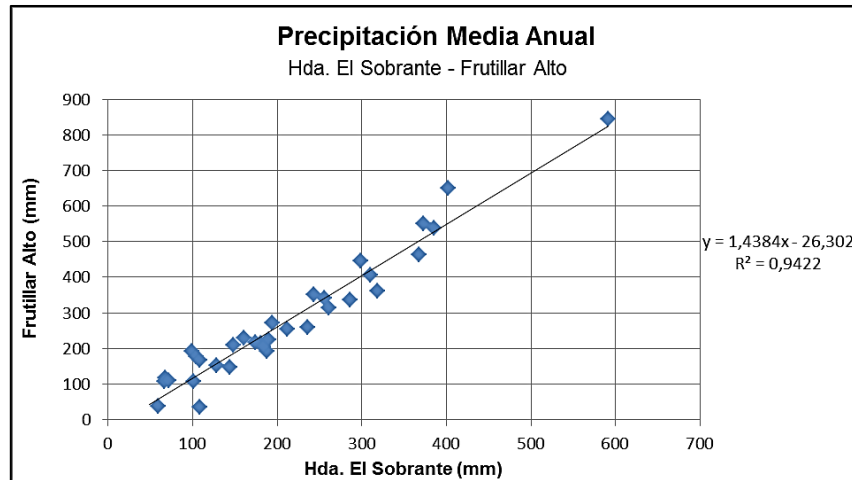
Salamanca



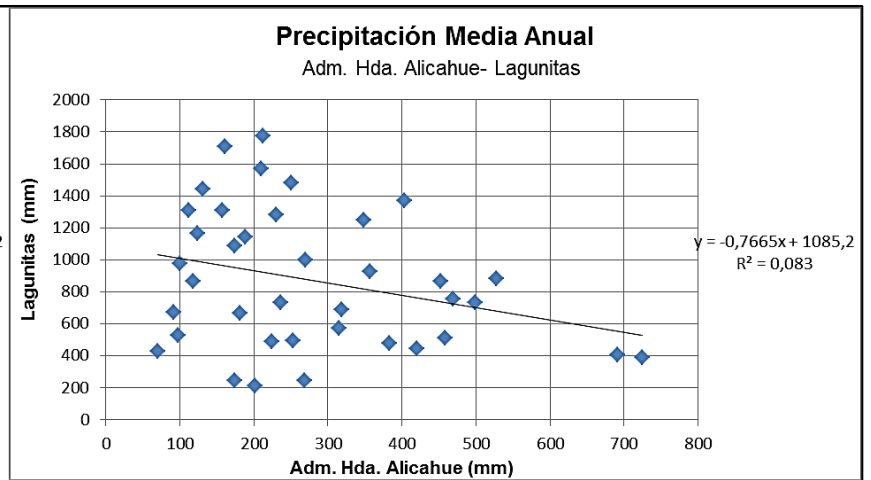
Coirón

Cuenca del Río Aconagua (Ligua-Petorca):

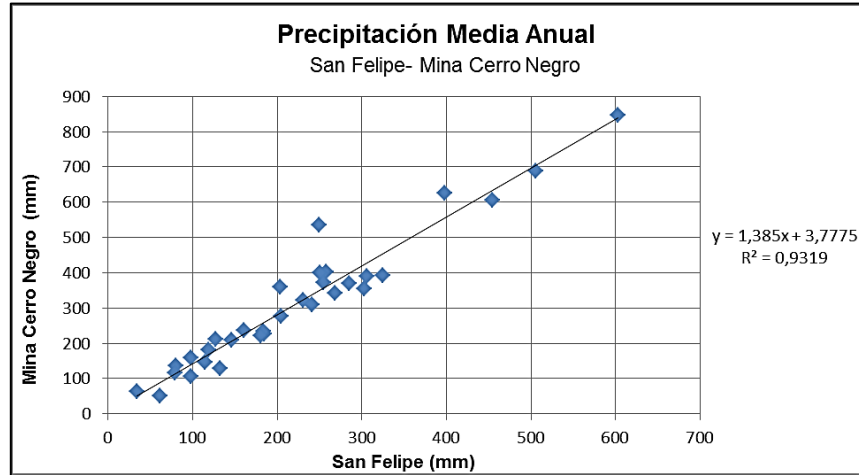
Frutillar Alto



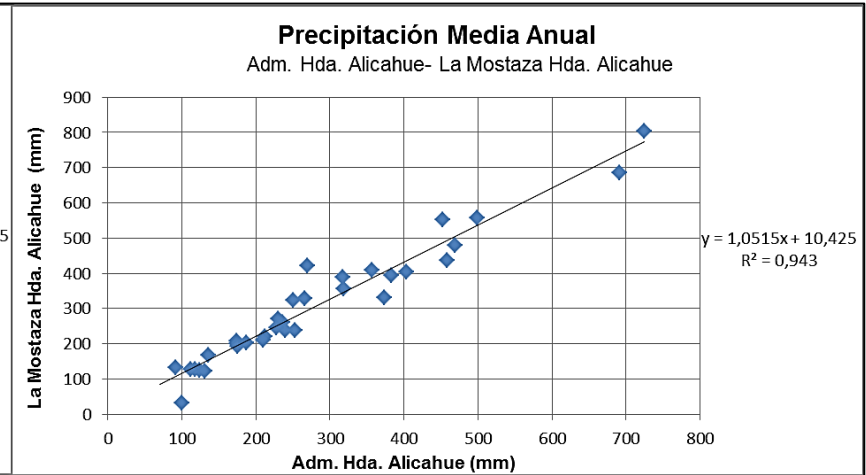
Lagunitas



Mina Cerro Negro



La Mostaza Hda. Alicahue



Los Andes

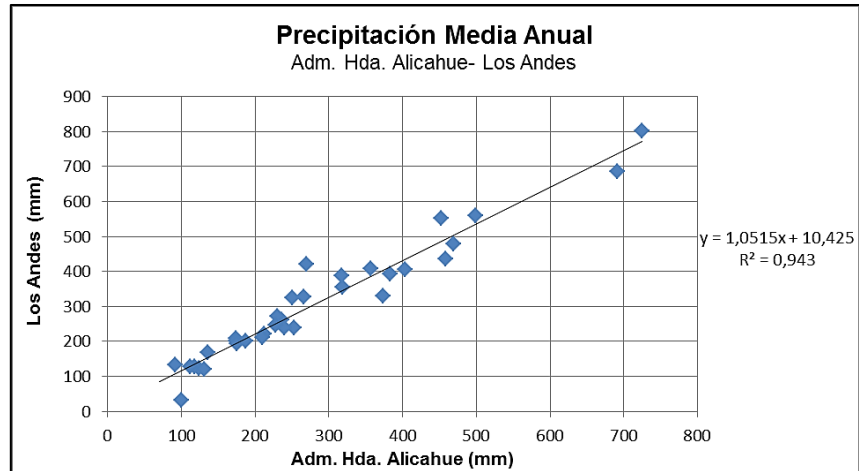


Tabla 2.44 “Información estadística fluviométrica ampliada y rellenada en (m³/s) de la cuenca del río Huasco”.

Año	Río Tránsito en Angostura Pinte	Río Conay en las Lozas
1980	3,36	1,65
1981	5,49	2,73
1982	2,99	1,46
1983	6,72	3,36
1984	10,52	5,30
1985	5,10	3,36
1986	3,22	1,99
1987	6,38	5,99
1988	4,51	2,81
1989	3,20	2,22
1990	2,69	1,32
1991	2,56	1,17
1992	4,45	1,67
1993	5,23	2,60
1994	2,22	1,33
1995	1,77	1,02
1996	1,30	0,89
1997	5,25	2,21
1998	8,92	5,17
1999	3,62	2,09
2000	3,41	1,69
2001	3,63	1,95
2002	5,93	2,51
2003	5,94	3,09
2004	2,65	1,51
2005	3,13	1,17
2006	2,90	1,22
2007	3,13	1,02
2008	3,77	1,41
2009	1,67	1,07
2010	1,51	0,74
2011	1,83	0,79

Nota: Los datos ampliados y rellenados son de color rojo

Fuente: Elaboración propia en base a información suministrada por la D.G.A

Tabla 2.45 “Información estadística fluviométrica ampliada y rellenada en (m³/s) de la cuenca del río Elqui”.

Año	Estero Derecho en Alcohuz	Río Cochiguaz en el Peñón	Río Toro antes junta Río la Laguna	Embalse Laguna
1980	0,98	2,31	0,66	1,82
1981	1,90	3,92	0,79	3,21
1982	1,15	2,61	0,68	2,08
1983	2,23	4,51	0,58	3,71
1984	3,88	6,70	0,62	4,31
1985	1,67	4,08	0,80	2,64
1986	0,92	1,83	0,60	1,84
1987	2,87	6,17	1,16	4,95
1988	2,44	5,59	0,90	4,32
1989	0,60	1,33	0,75	1,70
1990	0,40	1,26	0,50	1,56
1991	0,97	1,95	0,61	0,87
1992	1,55	3,96	0,79	2,49
1993	1,27	2,89	0,67	2,57
1994	0,58	1,48	0,68	1,38
1995	0,51	1,25	0,48	1,52
1996	0,32	0,87	0,50	1,17
1997	3,59	6,13	1,07	2,27
1998	3,04	6,04	1,18	4,46
1999	0,56	1,62	0,59	2,15
2000	0,80	1,88	0,58	1,00
2001	0,86	2,06	0,62	1,40
2002	2,27	4,60	0,88	2,88
2003	1,64	3,93	0,84	3,41
2004	0,72	1,81	0,65	1,42
2005	1,01	2,02	0,66	1,51
2006	1,02	2,60	0,71	2,89
2007	0,70	2,14	0,70	2,62
2008	1,00	2,93	0,60	2,08
2009	0,79	2,11	0,40	1,12
2010	0,47	1,13	0,65	0,90
2011	0,51	1,10	0,55	0,53

Nota: Los datos ampliados y rellenados son de color rojo

Fuente: Elaboración propia en base a información suministrada por la D.G.A

Tabla 2.46 “Información estadística fluviométrica ampliada y rellenada en (m³/s) de la cuenca del río Choapa”

Año	R. Illapel en las Burras	Río Chalinga en la Palmilla	Río Choapa en Cuncumen
1980	2,66	1,02	11,35
1981	1,54	0,77	5,52
1982	3,58	1,23	16,81
1983	3,55	1,22	18,50
1984	6,03	1,79	13,94
1985	1,86	0,84	8,34
1986	1,69	0,80	8,91
1987	8,27	2,29	21,92
1988	4,69	1,48	13,37
1989	1,44	0,75	7,58
1990	0,99	1,30	4,89
1991	3,24	1,34	10,64
1992	4,67	1,33	12,94
1993	2,97	1,29	9,02
1994	1,22	0,63	5,30
1995	0,66	0,33	3,57
1996	0,69	0,27	2,24
1997	7,19	2,08	16,43
1998	4,76	1,73	10,34
1999	1,14	0,57	5,48
2000	2,76	1,01	10,20
2001	2,35	1,05	11,71
2002	7,02	1,72	18,34
2003	3,37	1,39	11,79
2004	1,16	0,71	5,50
2005	2,83	0,86	14,43
2006	1,99	0,86	12,72
2007	1,11	0,62	7,44
2008	1,59	0,82	10,52
2009	1,14	0,80	8,20
2010	0,84	0,53	4,08
2011	0,84	0,37	3,38

Nota: Los datos ampliados y rellenados son de color rojo

Fuente: Elaboración propia en base a información suministrada por la D.G.A

Tabla 2.47 "Información estadística fluviométrica ampliada y rellenada en (m³/s) de la cuenca del río Aconcagua (Ligua Petorca)".

Año	Río Pedernal en Tejada	Río Sobrante en Piñadero	Río Alicahue en Colliguay	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	Río Juncal en Juncal	Río Colorado en Colorado	Estero Pocuro en el Sifón
1980	0,67	1,03	1,34	7,34	7,33	10,06	0,88
1981	0,34	0,59	0,84	3,93	6,59	5,23	0,63
1982	0,71	2,66	3,59	16,54	6,29	14,54	2,63
1983	0,77	1,90	2,30	12,12	11,03	16,84	1,69
1984	0,99	2,37	3,60	17,59	5,87	10,94	1,95
1985	0,15	0,56	1,20	7,49	6,76	6,53	0,56
1986	0,26	0,63	1,48	8,43	6,36	9,64	1,09
1987	1,21	5,05	5,93	20,91	8,10	18,80	2,56
1988	0,18	1,12	1,55	8,23	7,23	9,44	0,52
1989	0,19	0,64	0,79	5,05	5,29	3,67	0,66
1990	0,08	0,32	0,46	4,38	4,51	0,73	0,23
1991	0,34	1,23	1,36	7,31	4,48	6,37	1,06
1992	0,51	1,33	1,74	10,00	6,07	8,39	1,35
1993	0,22	0,80	1,21	7,11	6,08	7,95	0,76
1994	0,06	0,32	0,47	4,04	4,98	2,42	0,36
1995	0,03	0,17	0,35	2,97	4,88	1,17	0,27
1996	0,04	0,14	0,24	1,37	3,53	0,05	0,15
1997	1,57	3,24	3,05	13,90	4,03	8,21	2,93
1998	0,14	0,85	1,19	8,15	6,19	5,41	0,45
1999	0,12	0,59	0,86	4,48	4,75	2,60	0,42
2000	0,47	1,44	1,71	9,81	5,37	6,19	1,47
2001	0,42	1,17	1,50	8,66	7,07	5,97	0,85
2002	1,05	2,45	2,86	13,27	6,18	8,17	1,81
2003	0,15	0,80	1,14	8,36	7,94	5,43	0,45
2004	0,20	0,54	0,59	3,73	4,64	0,67	0,38
2005	0,62	1,18	1,55	12,29	5,60	8,86	1,27
2006	0,17	1,01	1,08	12,72	8,50	7,16	1,18
2007	0,19	0,47	0,70	5,40	6,05	4,74	0,53
2008	0,22	0,84	1,23	11,18	6,51	10,53	0,91
2009	0,14	0,69	0,82	6,59	5,20	3,56	0,77
2010	0,11	0,39	0,40	3,51	5,65	0,62	0,43
2011	0,14	0,36	0,58	4,87	3,52	0,21	0,25

Nota: Los datos ampliados y rellenados son de color rojo

Fuente: Elaboración propia en base a información suministrada por la D.G.A

Tabla 2.48 “Información estadística pluviométrica ampliada y rellenada en (mm) de la cuenca del río Huasco”.

Año	El Corral	San Félix	Tambos	Conay Retén	El Parral	Junta del Carmen
1980	160,1	196,6	207,3	251,3	199,9	101,9
1981	22,1	30,8	36,1	27,5	23,4	15,5
1982	73,9	67,5	112,9	111,5	89,7	34,0
1983	84,5	74,8	134,4	128,6	103,1	108,5
1984	125,4	369,6	175,2	195,0	155,5	203,5
1985	11,2	12,0	15,0	9,7	9,4	27,0
1986	57,8	55,5	89,1	85,3	69,0	50,1
1987	158,8	209,7	259,3	249,2	198,2	166,9
1988	15,2	1,0	16,9	16,3	14,6	4,5
1989	30,2	56,3	84,2	72,9	54,3	37,7
1990	23,2	27,2	39,3	32,4	29,4	14,0
1991	74,5	157,6	139,1	132,8	126,2	159,9
1992	81,1	114,2	171,1	167,9	120,1	135,9
1993	5,6	6,5	17,8	7,2	3,4	12,5
1994	10,5	21,5	69,8	65,0	43,4	4,8
1995	2,0	1,8	18,5	8,0	12,1	1,5
1996	33,5	13,5	29,3	20,0	27,0	1,5
1997	250,5	282,0	373,4	402,2	320,6	234,5
1998	52,5	45,4	68,7	63,7	23,0	40,0
1999	25,5	17,7	34,2	25,4	35,5	15,0
2000	113,5	102,8	141,7	144,8	112,6	104,0
2001	17,0	9,2	64,3	58,9	32,6	4,0
2002	174,8	197,2	219,9	231,7	188,2	141,2
2003	10,0	2,7	20,0	9,7	8,9	0,0
2004	58,0	67,2	86,5	83,5	75,2	54,6
2005	58,5	35,3	52,5	45,8	49,6	32,6
2006	8,0	7,5	14,5	3,5	1,0	0,0
2007	40,5	5,7	56,1	49,7	35,1	2,0
2008	60,7	55,0	70,4	65,6	64,5	37,0
2009	42,5	12,5	27,1	17,5	18,7	20,0
2010	40,5	50,5	60,4	54,5	48,5	52,8
2011	45,0	34,0	53,6	47,0	36,9	28,2

Nota: Los datos ampliados y rellenados son de color rojo

Fuente: Elaboración propia en base a información suministrada por la D.G.A

Tabla 2.49 "Información estadística pluviométrica ampliada y rellenada en (mm) de la cuenca del río Elqui".

Año	Pisco Elqui	Fdo. Los Nichos	La Ortiga	Cochiguaz	La Laguna Embalse	Juntas	Hurtado	Rivadavia	Huanta
1980	171,3	269,4	108,5	222,1	301,5	210,3	165,7	172,7	120,1
1981	40,5	37,5	34,5	35,7	68,0	36,5	58,0	53,8	35,1
1982	208,1	199,5	209,0	165,9	330,5	157,9	141,0	115,1	78,9
1983	202,0	201,5	280,5	167,5	167,0	159,4	262,0	193,0	134,6
1984	382,5	489,0	395,5	398,6	352,5	374,9	440,0	350,6	247,3
1985	49,2	54,9	57,0	49,7	114,5	49,6	60,0	45,2	29,0
1986	58,7	78,2	119,5	68,4	160,2	67,0	101,5	79,9	53,8
1987	236,2	328,6	434,1	269,6	406,0	254,7	406,7	198,9	138,8
1988	7,7	10,1	9,1	13,7	45,5	16,0	8,0	19,8	10,8
1989	6,0	63,5	83,0	56,0	121,0	50,1	109,5	52,1	63,3
1990	53,9	70,1	74,3	63,1	67,5	49,6	65,8	47,3	31,4
1991	171,3	226,5	279,5	166,5	169,5	216,6	211,7	196,0	127,4
1992	153,9	211,9	218,0	166,5	143,5	170,0	205,8	178,0	98,8
1993	38,5	36,0	42,0	29,7	74,0	34,6	69,7	24,9	11,0
1994	53,0	62,9	72,5	56,2	114,5	104,0	34,0	56,0	30,0
1995	2,0	1,0	5,0	8,0	65,5	16,0	11,7	2,0	8,0
1996	40,0	57,4	76,0	45,0	43,0	27,5	85,5	44,7	30,0
1997	402,7	434,7	662,5	361,8	404,0	328,5	260,0	333,0	256,0
1998	29,2	26,5	42,0	25,5	51,0	81,0	34,5	23,5	21,4
1999	39,7	91,6	93,0	81,1	113,5	52,2	49,8	58,0	24,1
2000	130,5	182,0	193,5	137,5	193,0	132,3	177,0	169,0	80,8
2001	77,4	114,5	114,0	84,0	177,0	102,2	140,6	58,4	46,1
2002	263,7	328,5	321,1	277,0	314,0	289,6	354,5	262,3	202,6
2003	84,1	106,0	110,7	82,0	129,0	55,6	87,0	45,3	19,8
2004	37,5	76,8	95,7	102,5	110,0	29,2	112,5	80,5	42,2
2005	101,9	107,9	131,5	109,2	219,5	62,5	83,0	86,9	45,9
2006	37,8	45,0	55,1	40,1	139,0	68,7	105,0	43,6	19,5
2007	41,1	56,0	94,7	68,0	216,5	120,1	48,5	25,8	39,7
2008	167,1	166,2	241,8	165,0	162,5	99,8	191,8	122,0	84,2
2009	96,5	71,2	76,1	52,5	69,5	13,1	64,5	73,7	38,5
2010	50,2	58,6	76,0	51,0	54,5	71,6	136,5	64,5	38,9
2011	100,4	103,3	124,7	68,0	107,0	41,0	188,5	91,5	92,4

Nota: Los datos ampliados y rellenados son de color rojo

Fuente: Elaboración propia en base a información suministrada por la D.G.A

Tabla 2.50 "Información estadística pluviométrica ampliada y rellenada en (mm) de la cuenca del río Choapa".

Año	Huintil Hda.	Illapel DGA	Hda. San Agustín	Salamanca	Cuncumen	La Tranquilla	Coirón
1980	368,5	253,2	335,9	402,0	365,5	334,5	483,3
1981	163,0	130,7	129,6	187,3	196,5	153,5	224,5
1982	346,0	292,7	355,4	413,2	545,5	472,0	575,0
1983	243,5	215,1	325,7	317,0	225,0	260,1	386,5
1984	353,0	306,5	350,7	453,7	471,5	322,5	471,5
1985	87,0	55,9	112,2	91,8	92,0	83,4	132,2
1986	196,0	157,7	241,5	187,9	287,0	240,0	302,1
1987	646,5	513,4	778,0	807,8	812,0	757,1	1056,5
1988	100,5	57,5	94,0	95,9	76,0	76,7	122,5
1989	167,5	104,3	196,5	192,2	261,0	198,5	300,0
1990	93,5	63,4	80,0	72,2	121,2	94,0	102,0
1991	237,0	200,8	302,0	268,7	331,7	334,6	318,0
1992	416,5	307,2	457,5	419,3	431,0	431,5	470,9
1993	233,5	162,5	249,0	227,0	332,5	312,5	339,3
1994	85,9	71,0	80,0	82,9	97,5	97,5	97,8
1995	101,2	93,7	111,5	126,9	128,5	146,5	170,5
1996	129,5	95,9	167,0	126,6	159,5	153,5	197,3
1997	537,1	436,0	524,5	556,6	788,0	738,5	792,3
1998	35,7	15,8	49,0	44,6	55,0	45,5	83,8
1999	180,0	148,0	186,0	178,5	242,5	212,1	245,3
2000	325,0	252,0	361,0	286,6	307,0	382,5	420,9
2001	255,3	204,9	278,2	318,3	322,5	296,4	365,0
2002	466,9	393,9	471,0	528,6	525,5	525,9	583,0
2003	101,4	103,3	120,5	135,0	168,0	169,1	173,0
2004	205,7	197,4	223,0	225,1	219,0	215,1	166,7
2005	188,1	123,1	242,0	171,7	346,0	286,7	267,8
2006	173,5	158,2	182,0	195,9	205,0	205,0	215,5
2007	122,6	98,0	150,5	148,0	113,0	139,5	184,9
2008	184,2	158,0	222,5	211,3	303,0	269,6	323,3
2009	169,8	141,0	190,0	173,0	242,0	211,5	239,1
2010	164,6	99,0	193,0	196,3	154,0	174,2	207,0
2011	214,7	185,2	213,5	185,0	256,7	196,8	217,5

Nota: Los datos ampliados y rellenados son de color rojo

Fuente: Elaboración propia en base a información suministrada por la D.G.A

Tabla 2.51 "Información estadística pluviométrica ampliada y rellenada en (mm) de la cuenca del río Aconcagua (Ligua Petorca)".

Año	Frutillar Alto	Hda. El Sobrante	Hda. Chalaco	Hda. Pedernal	Lagunitas	Mina Cerro Negro	Adm. Hda Alicahue	La Mostaza Hda. Alicahue	Los Andes	Riecillos	Vilcuya	Resg. Los Patos	San Felipe
1980	336,5	286,1	288,0	382,9	476,8	401,3	382,5	393,0	388,4	645,8	445,4	382,5	257,7
1981	191,0	187,6	148,0	159,4	1777,3	208,9	212,5	220,9	177,6	345,7	229,9	188,0	146,2
1982	444,8	298,4	282,5	384,8	868,0	536,5	452,5	553,1	509,3	1196,8	704,5	594,0	249,8
1983	361,5	318,9	336,0	388,9	1371,7	388,8	403,1	404,3	342,7	555,1	451,7	364,5	306,0
1984	550,4	372,6	423,8	550,6	509,9	624,9	458,0	435,9	377,5	606,0	428,9	482,9	398,1
1985	106,6	100,9	108,2	114,1	1167,2	105,9	124,0	123,8	118,0	309,8	182,6	130,8	97,5
1986	209,6	148,3	161,5	217,6	1569,1	358,4	210,1	210,0	232,5	865,5	354,3	299,8	203,2
1987	844,0	591,4	643,7	893,5	389,0	845,7	724,5	803,1	537,0	303,8	868,1	805,2	603,0
1988	117,0	67,1	76,8	91,8	863,8	51,6	117,5	127,2	75,5	133,9	150,5	81,9	61,7
1989	214,0	180,9	216,0	217,4	494,4	235,5	252,5	237,8	218,3	492,5	350,2	278,8	160,2
1990	106,6	66,1	74,0	87,7	1308,9	135,6	112,0	127,4	105,5	186,8	158,0	103,8	80,3
1991	341,7	255,5	293,0	344,6	928,4	370,7	357,0	408,4	361,6	804,7	480,4	393,0	284,7
1992	464,1	367,5	377,7	418,5	752,9	392,5	469,4	478,5	475,2	596,9	510,5	397,0	325,0
1993	215,9	174,2	208,0	147,8	734,0	225,9	236,5	261,2	260,3	643,8	283,6	215,6	184,9
1994	109,9	72,2	74,2	67,6	674,3	116,0	92,0	133,4	106,4	330,9	191,2	143,5	79,2
1995	153,3	127,8	129,0	129,3	247,1	127,5	174,5	201,2	53,2	244,1	236,2	159,5	132,8
1996	192,3	98,5	172,3	125,7	1443,8	159,0	130,5	121,3	114,0	196,8	169,7	93,6	97,7
1997	538,9	385,9	501,3	632,3	405,4	687,5	691,0	685,8	558,5	899,3	853,6	606,0	505,5
1998	36,6	58,9	48,2	49,7	976,6	62,3	100,0	32,3	52,5	103,1	95,6	77,1	34,5
1999	253,7	211,8	242,0	230,1	1280,2	277,5	230,2	270,9	252,0	448,1	347,0	291,5	204,6
2000	405,8	310,3	347,5	328,6	1001,0	354,1	270,0	421,8	299,0	671,7	497,1	406,5	302,4
2001	350,8	243,6	259,0	379,6	1479,8	322,5	250,0	324,2	259,1	537,4	360,0	300,8	230,2
2002	650,1	402,4	483,1	596,6	730,0	604,5	499,3	558,4	466,7	887,5	598,5	551,5	454,1
2003	176,1	104,0	153,0	179,6	674,3	210,3	175,5	193,1	160,5	338,0	232,0	190,5	126,9
2004	313,1	260,5	274,6	326,2	247,1	372,5	373,2	330,9	308,5	422,4	385,0	283,1	254,9
2005	228,8	160,9	225,0	304,2	1443,8	398,9	318,6	355,1	307,0	1025,0	614,0	372,9	251,0
2006	260,0	235,7	221,5	246,0	405,4	341,8	266,0	328,2	316,5	682,3	379,7	107,5	268,2
2007	147,7	143,5	129,9	175,3	976,6	181,1	187,2	201,6	123,5	344,1	195,5	162,2	118,3
2008	271,2	194,2	113,3	202,0	1280,2	308,5	317,5	388,0	300,1	815,0	485,5	339,3	241,1
2009	225,2	189,5	183,2	184,3	1001,0	233,0	239,2	237,7	209,5	395,9	318,5	189,0	183,2
2010	205,0	184,0	206,8	215,3	1479,8	222,5	227,7	245,2	213,5	247,7	260,5	153,0	180,8
2011	166,1	108,5	137,0	187,2	730,0	145,6	135,7	168,9	125,5	254,5	193,8	151,0	114,5

Nota: Los datos ampliados y rellenados son de color rojo

Fuente: Elaboración propia en base a información suministrada por la D.G.A

a) Método Curva doble acumulada para estaciones fluviométricas.

Tabla 2.53 “Cálculo de C.D.A. de las estaciones fluviométricas en (m³/s) para la cuenca del río Huasco”

Año	Patrón	Acumulada		
		Patrón	Río Tránsito en Angostura Pinte	Río Conay en las Lozas
1980	2,56	2,56	3,36	1,77
1981	4,29	6,85	8,85	4,86
1982	2,27	9,12	11,84	6,40
1983	5,28	14,40	18,56	10,25
1984	8,36	22,76	29,08	16,44
1985	4,23	26,99	34,18	19,80
1986	2,61	29,59	37,40	21,79
1987	6,19	35,78	43,78	27,78
1988	3,66	39,44	48,29	30,59
1989	2,71	42,15	51,49	32,81
1990	2,01	44,15	54,18	34,13
1991	1,87	46,02	56,74	35,30
1992	3,06	49,08	61,19	36,97
1993	3,92	52,99	66,42	39,57
1994	1,78	54,77	68,64	40,90
1995	1,40	56,16	70,41	41,92
1996	1,10	57,26	71,71	42,81
1997	3,73	60,99	76,96	45,02
1998	7,06	68,05	85,88	50,23
1999	2,86	70,91	89,50	52,32
2000	2,55	73,46	92,91	54,01
2001	2,79	76,25	96,54	55,96
2002	4,22	80,47	102,47	58,47
2003	4,52	84,98	108,41	61,56
2004	2,08	87,06	111,06	63,07
2005	2,15	89,21	114,19	64,24
2006	2,06	91,27	117,09	65,46
2007	2,08	93,35	120,22	66,48
2008	2,90	96,24	123,99	68,50
2009	1,20	97,44	125,66	69,23
2010	1,13	98,57	127,17	69,97
2011	1,31	99,88	129,00	70,76

Fuente: Elaboración propia en base a información suministrada por la D.G.A.

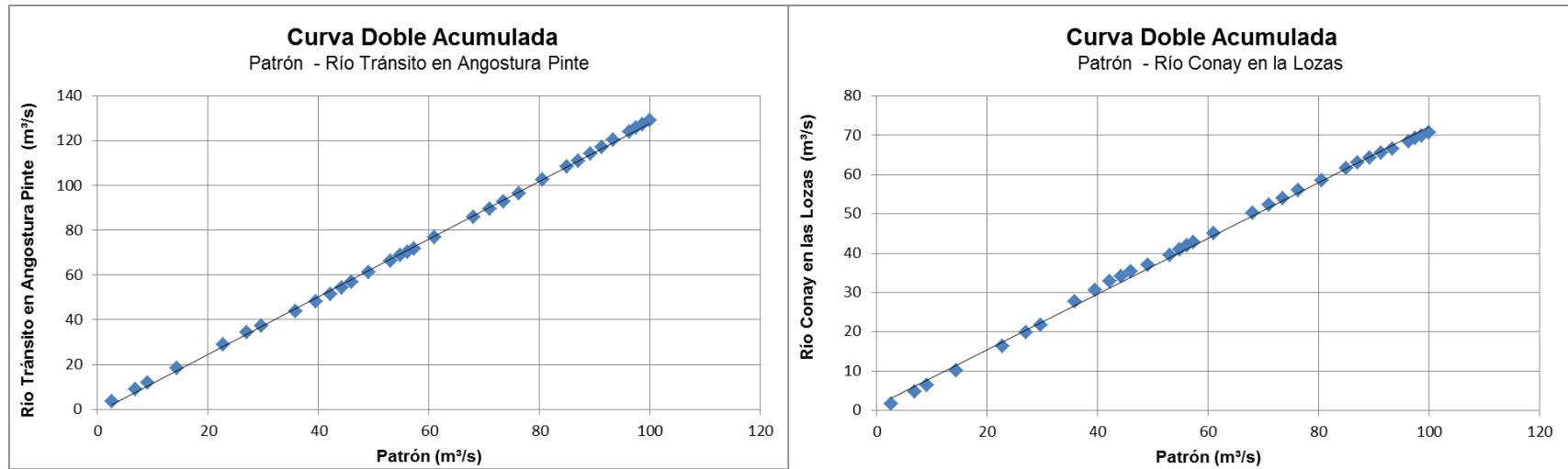


Figura 2.15 "C.D.A. de cada estación fluviométrica de la cuenca del río Huasco"

Tabla 2.54 "Cálculo de C.D.A. de las estaciones fluviométricas en (m³/s) para la cuenca del río Elqui"

Año	Patrón	Acumulada				
		Patrón	Estero Derecho en Alcohuz	Río Cochiguaz en el Peñón	Río Toro antes junta Río la Laguna	Embalse Laguna
1980	2,06	2,06	0,98	2,31	0,66	1,82
1981	3,57	5,63	2,87	6,23	1,44	5,03
1982	2,34	7,98	4,02	8,84	2,13	7,11
1983	4,11	12,08	6,25	13,35	2,71	10,82
1984	5,51	17,59	10,13	20,05	3,33	15,13
1985	3,36	20,95	11,80	24,13	4,13	17,77
1986	1,84	22,78	12,72	25,96	4,73	19,61
1987	5,56	28,34	15,59	32,13	5,89	24,56
1988	4,96	33,30	18,03	37,72	6,79	28,88
1989	1,52	34,81	18,63	39,05	7,54	30,58
1990	1,41	36,22	19,03	40,31	8,04	32,14
1991	1,41	37,63	20,00	42,26	8,65	33,01
1992	3,23	40,86	21,55	46,22	9,44	35,50
1993	2,73	43,59	22,82	49,11	10,11	38,07
1994	1,43	45,02	23,40	50,59	10,79	39,45
1995	1,39	46,40	23,91	51,84	11,27	40,97
1996	1,02	47,42	24,23	52,71	11,77	42,14
1997	4,20	51,62	27,82	58,84	12,84	44,41
1998	5,25	56,87	30,86	64,88	14,02	48,87
1999	1,89	58,76	31,42	66,50	14,61	51,02
2000	1,44	60,20	32,22	68,38	15,19	52,02
2001	1,73	61,93	33,08	70,44	15,81	53,42
2002	3,74	65,67	35,35	75,04	16,69	56,30
2003	3,67	69,34	36,99	78,97	17,53	59,71
2004	1,62	70,95	37,71	80,78	18,18	61,13
2005	1,77	72,72	38,72	82,80	18,84	62,64
2006	2,75	75,46	39,74	85,40	19,55	65,53
2007	2,38	77,84	40,44	87,54	20,25	68,15
2008	2,51	80,35	41,44	90,47	20,85	70,23
2009	1,62	81,96	42,23	92,58	21,25	71,35
2010	1,02	82,98	42,70	93,71	21,90	72,25
2011	0,82	83,79	43,21	94,81	22,45	72,78

Fuente: Elaboración propia en base a información suministrada por la D.G.A.

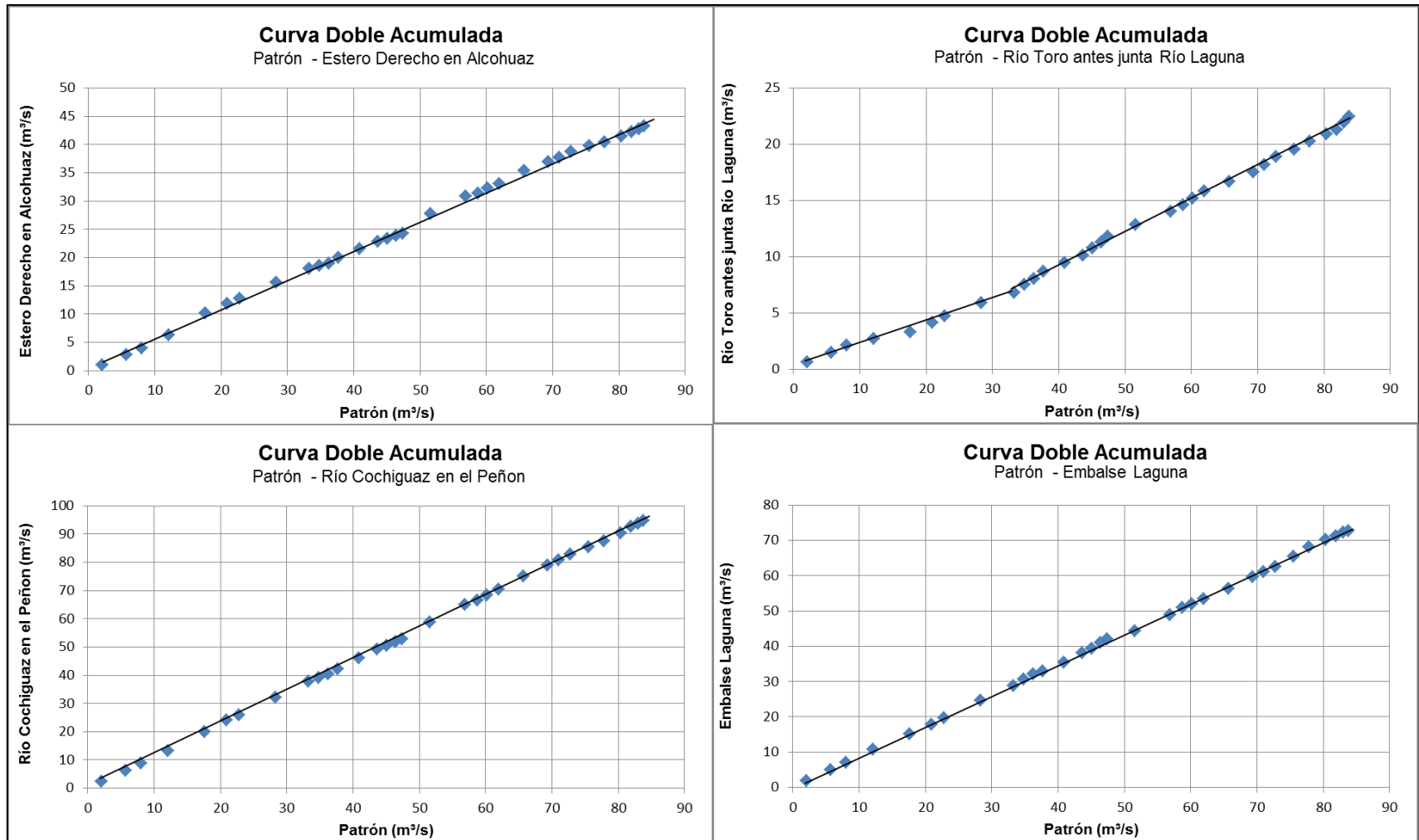


Figura 2.16 "C.D.A. de cada estación fluviométrica de la cuenca del río Elqui"

Tabla 2.55 “Cálculo de C.D.A. de las estaciones fluviométricas en (m³/s) para la cuenca del río Choapa”

Año	Estación Patrón	Acumulado			
		Estación Patrón	Río Illapel en las Burras	Río Chalinga en la Palmilla	Río Choapa en Cuncumen
1980	7,01	7,01	2,66	1,02	11,35
1981	3,53	10,54	4,20	1,79	16,87
1982	10,20	20,73	7,78	3,02	33,68
1983	11,03	31,76	11,33	4,25	52,18
1984	9,99	41,74	17,36	6,03	66,12
1985	5,10	46,84	19,22	6,88	74,46
1986	5,30	52,14	20,91	7,68	83,37
1987	15,10	67,24	29,18	9,97	105,29
1988	9,03	76,27	33,87	11,46	118,66
1989	4,51	80,78	35,31	12,20	126,24
1990	2,94	83,72	36,30	13,50	131,13
1991	6,94	90,66	39,54	14,84	141,77
1992	8,81	99,46	44,21	16,17	154,71
1993	6,00	105,46	47,18	17,46	163,73
1994	3,26	108,72	48,40	18,09	169,03
1995	2,12	110,83	49,06	18,42	172,60
1996	1,47	112,30	49,75	18,69	174,84
1997	11,81	124,11	56,94	20,77	191,27
1998	7,55	131,66	61,70	22,50	201,61
1999	3,31	134,97	62,84	23,07	207,09
2000	6,48	141,45	65,60	24,08	217,29
2001	7,03	148,48	67,95	25,13	229,00
2002	12,68	161,16	74,97	26,85	247,34
2003	7,58	168,74	78,34	28,24	259,13
2004	3,33	172,07	79,50	28,95	264,63
2005	8,63	180,70	82,33	29,81	279,06
2006	7,36	188,05	84,32	30,67	291,78
2007	4,28	192,33	85,43	31,29	299,22
2008	6,06	198,38	87,02	32,11	309,74
2009	4,67	203,05	88,16	32,91	317,94
2010	2,46	205,51	89,00	33,44	322,02
2011	2,11	207,62	89,84	33,81	325,40

Fuente: Elaboración propia en base a información suministrada por la D.G.A.

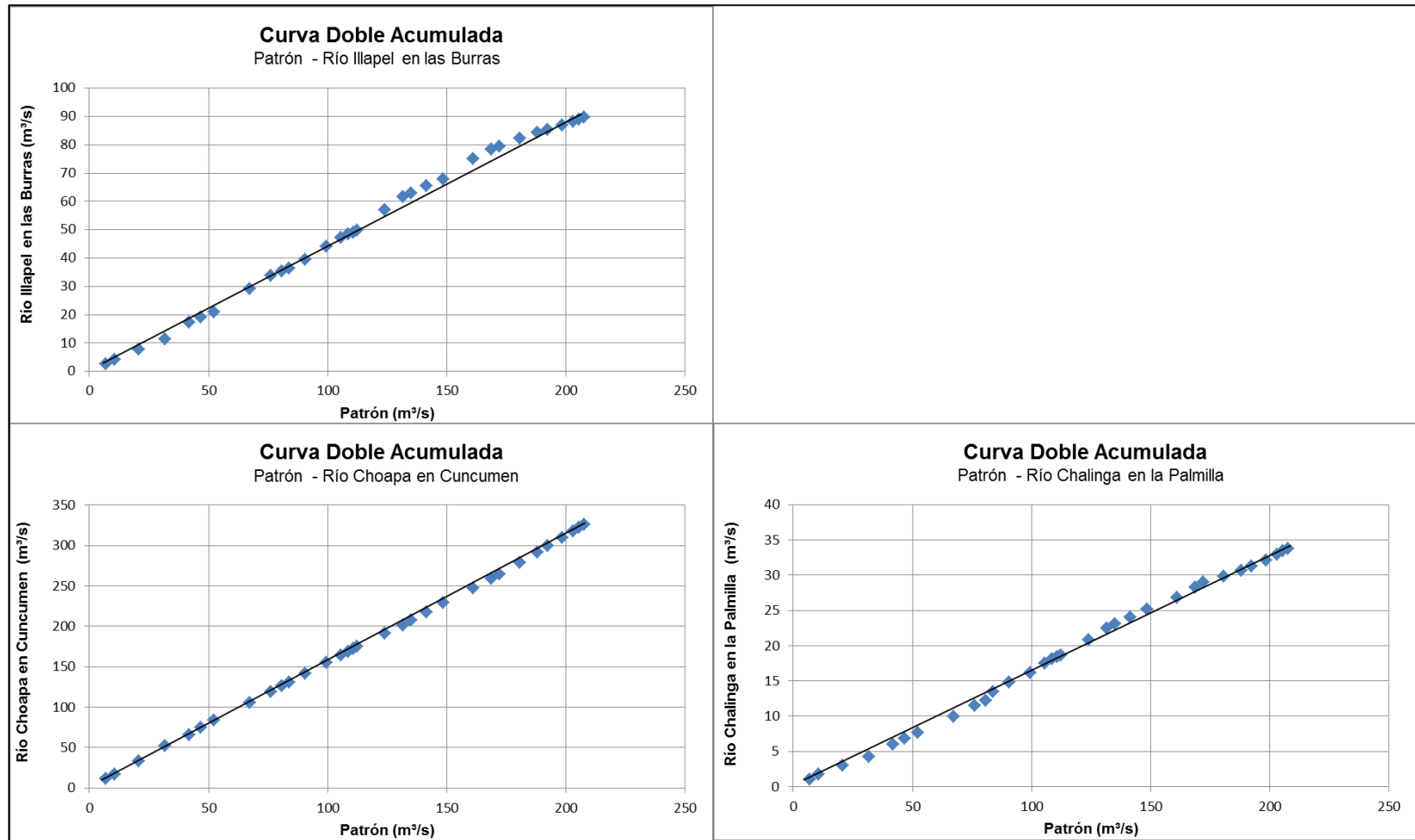


Figura 2.17 "C.D.A. de cada estación fluviométrica de la cuenca del río Choapa"

Tabla 2.56 "Cálculo de C.D.A. de las estaciones fluviométricas en (m³/s) para la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca)"

Año	Estación Patrón	Acumulada							
		Estación Patrón	Río Pedernal en Tejada	Río Sobrante en Piñadero	Río Alicahue en Colliguay	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	Río Juncal en Juncal	Río Colorado en Colorado	Estero Pocuro en el Sifón
1980	5,34	5,34	0,67	1,03	1,34	7,34	7,33	10,06	0,88
1981	3,79	9,12	1,01	1,62	2,18	11,27	13,92	15,29	1,51
1982	8,81	17,93	1,72	4,28	5,77	27,81	20,21	29,83	4,13
1983	8,48	26,42	2,49	6,18	8,07	39,93	31,24	46,67	5,82
1984	9,02	35,44	3,48	8,55	11,67	57,53	37,11	57,61	7,77
1985	5,15	40,59	3,63	9,11	12,87	65,02	43,87	64,14	8,33
1986	5,42	46,01	3,89	9,74	14,35	73,45	50,23	73,78	9,42
1987	11,65	57,66	5,10	14,79	20,29	94,36	58,33	92,58	11,98
1988	5,67	63,33	5,28	15,91	21,84	102,59	65,56	102,02	12,50
1989	3,71	67,04	5,47	16,55	22,63	107,64	70,85	105,69	13,16
1990	3,12	70,16	5,55	16,87	23,09	112,02	75,36	106,42	13,39
1991	4,38	74,54	5,89	18,10	24,45	119,33	79,84	112,79	14,45
1992	5,94	80,48	6,40	19,43	26,19	129,33	85,91	121,18	15,80
1993	4,80	85,28	6,62	20,23	27,40	136,44	91,99	129,13	16,56
1994	3,16	88,44	6,68	20,55	27,87	140,48	96,97	131,55	16,92
1995	2,73	91,17	6,71	20,72	28,22	143,45	101,85	132,72	17,19
1996	1,71	92,89	6,75	20,86	28,46	144,82	105,38	132,77	17,34
1997	6,99	99,88	8,32	24,10	31,51	158,72	109,41	140,98	20,27
1998	5,18	105,06	8,46	24,95	32,70	166,87	115,60	146,39	20,72
1999	3,36	108,42	8,58	25,54	33,56	171,35	120,35	148,99	21,14
2000	5,63	114,05	9,05	26,98	35,27	181,16	125,72	155,18	22,61
2001	5,74	119,79	9,47	28,15	36,77	189,82	132,79	161,15	23,46
2002	7,44	127,23	10,52	30,60	39,63	203,09	138,97	169,32	25,27
2003	5,81	133,04	10,67	31,40	40,77	211,45	146,91	174,75	25,72
2004	2,99	136,03	10,87	31,94	41,36	215,18	151,55	175,42	26,10
2005	6,48	142,51	11,49	33,12	42,91	227,47	157,15	184,28	27,37
2006	7,43	149,94	11,66	34,13	43,99	240,19	165,65	191,44	28,55
2007	4,05	154,00	11,85	34,60	44,69	245,60	171,70	196,18	29,08
2008	6,31	160,30	12,07	35,44	45,92	256,78	178,21	206,71	29,99
2009	4,20	164,51	12,21	36,13	46,74	263,37	183,41	210,27	30,76
2010	3,19	167,69	12,32	36,52	47,14	266,88	189,06	210,89	31,19
2011	2,99	170,68	12,46	36,88	47,72	271,75	192,58	211,10	31,44

Fuente: Elaboración propia en base a información suministrada por la D.G.A.

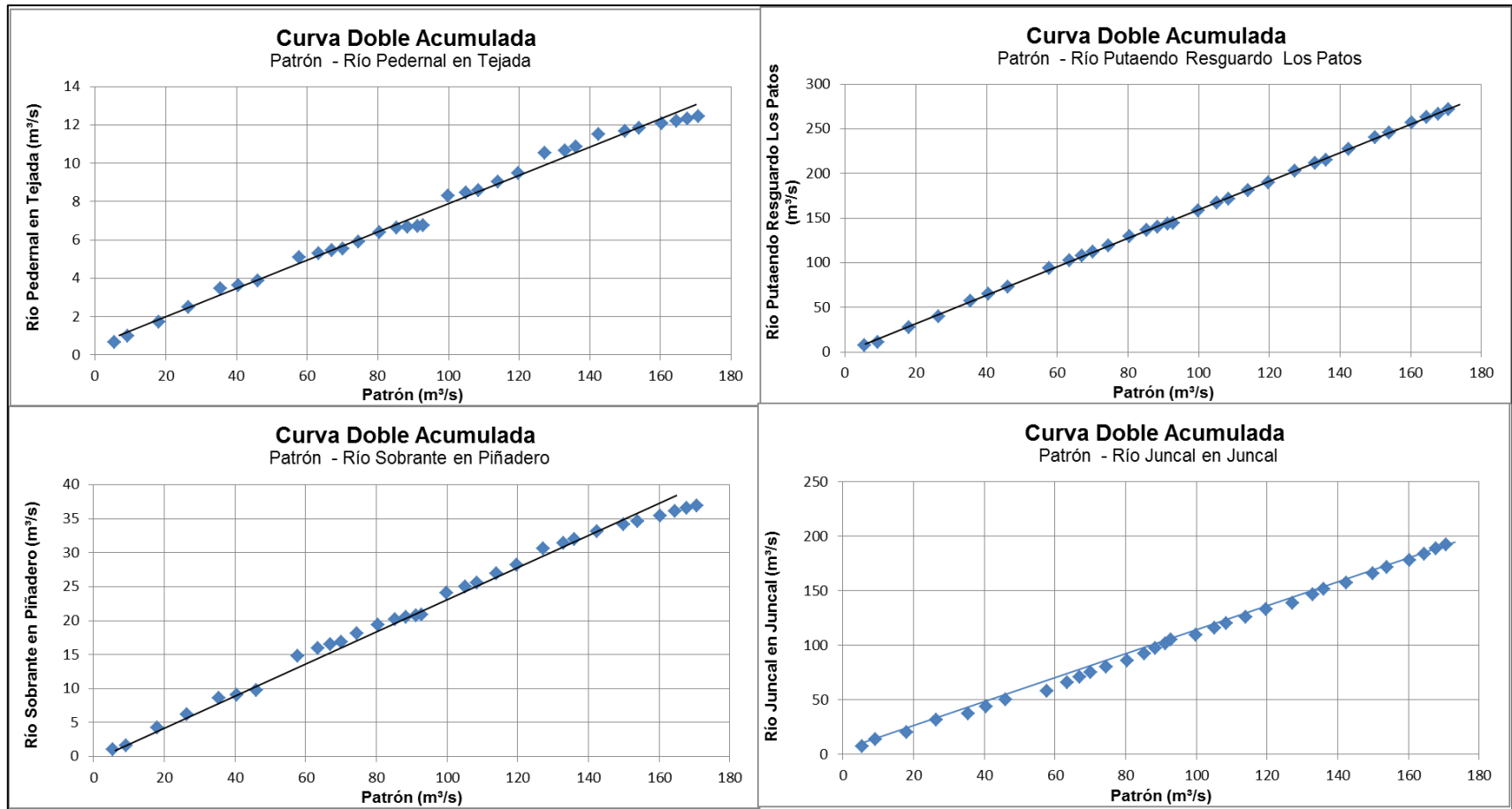


Figura 2.18 “C.D.A. de cada estación fluviométrica de la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca)”

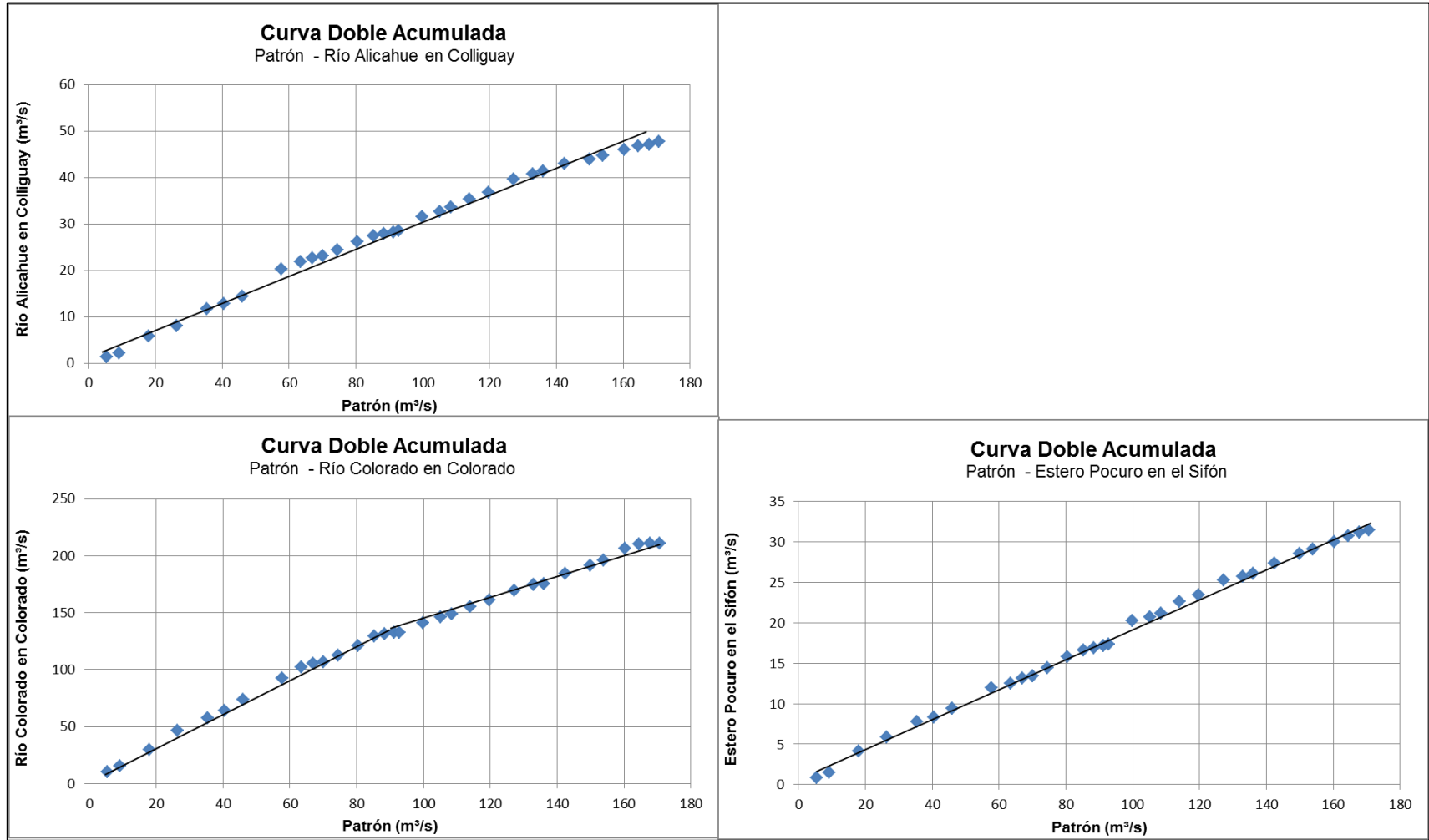


Figura 2.19 “C.D.A. de cada estación fluviométrica de la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca)”

b) Método Curva doble acumulada para estaciones pluviométricas.

Tabla 2.58 "Cálculo de C.D.A. de las estaciones pluviométricas en (mm) para la cuenca del río Huasco"

Año	Patrón	Acumulada			
		Patrón	El Corral	Tambos	El Parral
1980	183,3	183,3	160,1	207,3	199,9
1981	24,6	207,9	182,3	243,4	223,3
1982	71,0	278,9	256,2	356,3	313,0
1983	104,0	382,8	340,6	490,7	416,1
1984	256,0	638,9	466,1	665,9	571,6
1985	16,2	655,1	477,2	680,9	581,0
1986	63,6	718,7	535,0	770,0	650,0
1987	208,6	927,3	693,8	1029,3	848,2
1988	7,3	934,6	709,0	1046,2	862,8
1989	55,6	990,2	739,3	1130,4	917,1
1990	24,5	1014,8	762,5	1169,7	946,5
1991	150,1	1164,9	837,0	1308,8	1072,7
1992	139,3	1304,2	918,1	1479,9	1192,8
1993	8,7	1312,9	923,7	1497,7	1196,2
1994	30,4	1343,4	934,2	1567,5	1239,6
1995	3,8	1347,1	936,2	1586,0	1251,7
1996	11,7	1358,8	969,7	1615,3	1278,7
1997	306,2	1665,0	1220,2	1988,7	1599,3
1998	49,7	1714,7	1272,7	2057,4	1622,3
1999	19,4	1734,1	1298,2	2091,6	1657,8
2000	117,2	1851,3	1411,7	2233,2	1770,4
2001	24,0	1875,3	1428,7	2297,6	1803,0
2002	190,0	2065,4	1603,5	2517,5	1991,2
2003	4,1	2069,5	1613,5	2537,5	2000,1
2004	68,4	2137,9	1671,5	2624,0	2075,3
2005	37,9	2175,8	1730,0	2676,5	2124,9
2006	3,7	2179,5	1738,0	2691,0	2125,9
2007	19,1	2198,6	1778,5	2747,1	2161,0
2008	52,5	2251,2	1839,2	2817,4	2225,5
2009	16,7	2267,8	1881,7	2844,5	2244,2
2010	52,6	2320,4	1922,2	2904,9	2292,7
2011	36,4	2356,8	1967,2	2958,5	2329,6

Fuente: Elaboración propia en base a información suministrada por la D.G.A.

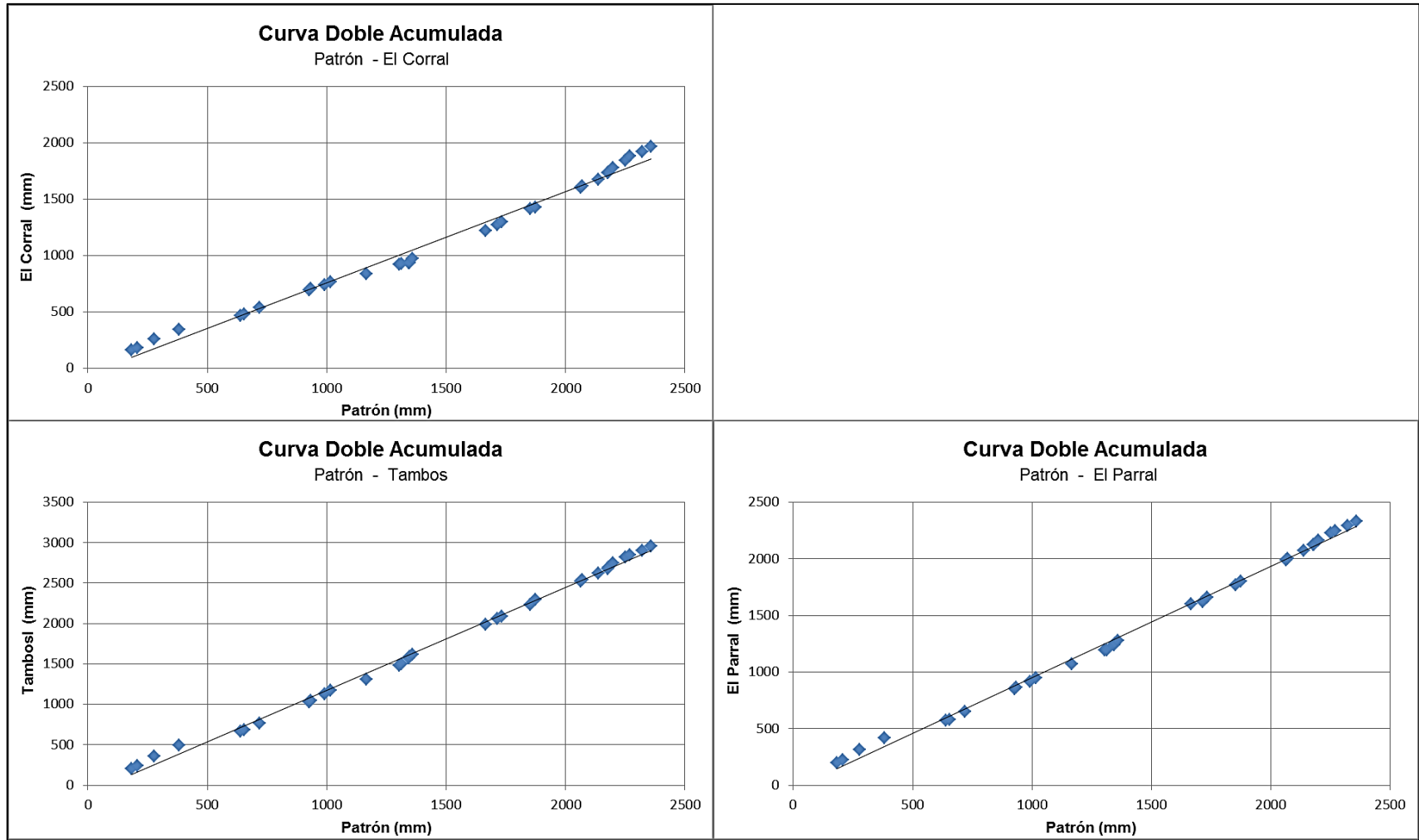


Figura 2.20 "C.D.A. de cada estación pluviométrica de la cuenca del río Huasco"

Tabla 2.59 "Cálculo de C.D.A. de las estaciones pluviométricas en (mm) para la cuenca del río Elqui"

Año	Patron	Acumulada				
		Patron	La Ortiga	Cochiguaz	Juntas	Huanta
1980	216,1	216,1	108,5	222,1	210,3	120,1
1981	51,6	267,7	143,0	257,8	246,9	155,2
1982	198,8	466,5	352,0	423,7	404,8	234,1
1983	205,1	671,6	632,5	591,2	564,2	368,7
1984	402,9	1074,5	1028,0	989,7	939,2	616,0
1985	64,8	1139,3	1085,0	1039,4	988,7	644,9
1986	95,7	1235,0	1204,5	1107,8	1055,7	698,7
1987	315,3	1550,3	1638,6	1377,4	1310,5	837,5
1988	18,2	1568,5	1647,7	1391,1	1326,4	848,3
1989	70,4	1638,9	1730,7	1447,1	1376,5	911,6
1990	60,9	1699,8	1805,0	1510,2	1426,1	943,0
1991	195,0	1894,8	2084,5	1676,7	1642,7	1070,4
1992	178,6	2073,5	2302,5	1843,2	1812,7	1169,2
1993	48,6	2122,1	2344,5	1872,9	1847,3	1180,2
1994	64,1	2186,2	2417,0	1929,1	1951,3	1210,2
1995	16,4	2202,6	2422,0	1937,1	1967,3	1218,2
1996	54,1	2256,7	2498,0	1982,1	1994,8	1248,2
1997	366,9	2623,6	3160,5	2343,9	2323,3	1504,2
1998	32,9	2656,5	3202,5	2369,4	2404,3	1525,6
1999	70,5	2727,1	3295,5	2450,5	2456,5	1549,7
2000	170,3	2897,4	3489,0	2588,0	2588,8	1630,5
2001	113,6	3010,9	3603,0	2672,0	2691,0	1676,6
2002	304,6	3315,5	3924,1	2949,0	2980,6	1879,2
2003	90,3	3405,8	4034,8	3031,0	3036,2	1899,0
2004	83,5	3489,3	4130,5	3133,5	3065,4	1941,2
2005	119,8	3609,1	4262,0	3242,7	3127,9	1987,1
2006	74,1	3683,2	4317,1	3282,8	3196,6	2006,6
2007	77,6	3760,8	4411,8	3350,8	3316,7	2046,3
2008	161,9	3922,7	4653,6	3515,8	3416,5	2130,5
2009	75,1	3997,8	4729,7	3568,3	3429,6	2169,0
2010	72,9	4070,6	4805,7	3619,3	3501,2	2207,9
2011	118,1	4188,8	4930,4	3687,3	3542,2	2300,3

Fuente: Elaboración propia en base a información suministrada por la D.G.A.

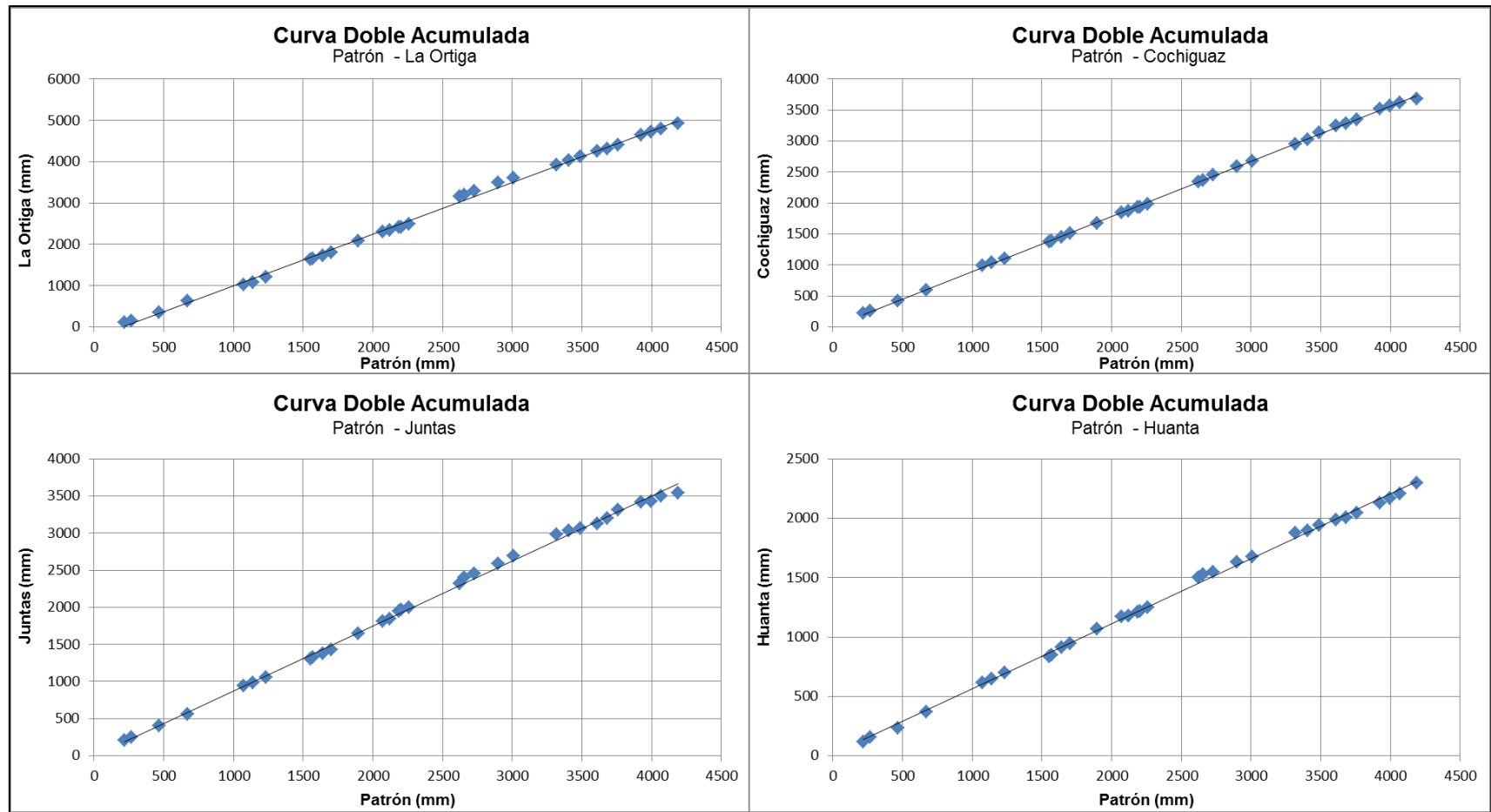


Figura 2.21 "C.D.A. de cada estación pluviométrica de la cuenca del río Elqui"

Tabla 2.60 "Cálculo de C.D.A. de las estaciones pluviométricas en (mm) para la cuenca del río Choapa"

Año	Patrón	Acumulada			
		Patrón	Illapel DGA	Salamanca	Coirón
1980	351,1	351,1	253,2	402,0	483,3
1981	160,7	511,8	383,9	589,3	707,8
1982	429,7	941,5	676,6	1002,5	1282,8
1983	263,6	1205,1	891,7	1319,5	1669,3
1984	374,4	1579,5	1198,2	1773,2	2140,8
1985	93,7	1673,1	1254,1	1865,0	2273,0
1986	241,1	1914,3	1411,8	2052,9	2575,1
1987	748,4	2662,7	1925,2	2860,7	3631,6
1988	86,8	2749,5	1982,7	2956,6	3754,1
1989	205,9	2955,3	2087,0	3148,8	4054,1
1990	97,2	3052,5	2150,4	3221,0	4156,1
1991	301,3	3353,8	2351,2	3489,7	4474,1
1992	434,1	3788,0	2658,4	3909,0	4945,0
1993	281,9	4069,8	2820,9	4136,0	5284,3
1994	90,2	4160,1	2891,9	4218,9	5382,1
1995	121,9	4282,0	2985,6	4345,8	5552,6
1996	152,4	4434,4	3081,5	4472,4	5749,9
1997	647,0	5081,4	3517,5	5029,0	6542,2
1998	46,3	5127,7	3533,3	5073,6	6626,0
1999	205,2	5332,8	3681,3	5252,1	6871,3
2000	343,9	5676,7	3933,3	5538,7	7292,2
2001	288,1	5964,8	4138,2	5857,0	7657,2
2002	497,3	6462,1	4532,1	6385,6	8240,2
2003	139,8	6601,9	4635,4	6520,6	8413,2
2004	215,7	6817,6	4832,8	6745,7	8579,9
2005	265,7	7083,3	4955,9	6917,4	8847,7
2006	191,4	7274,7	5114,1	7113,3	9063,2
2007	131,4	7406,1	5212,1	7261,3	9248,1
2008	244,8	7650,9	5370,1	7472,6	9571,4
2009	203,3	7854,2	5511,1	7645,6	9810,5
2010	171,5	8025,7	5610,1	7841,9	10017,5
2011	220,4	8246,1	5795,3	8026,9	10235,0

Fuente: Elaboración propia en base a información suministrada por la D.G.A.

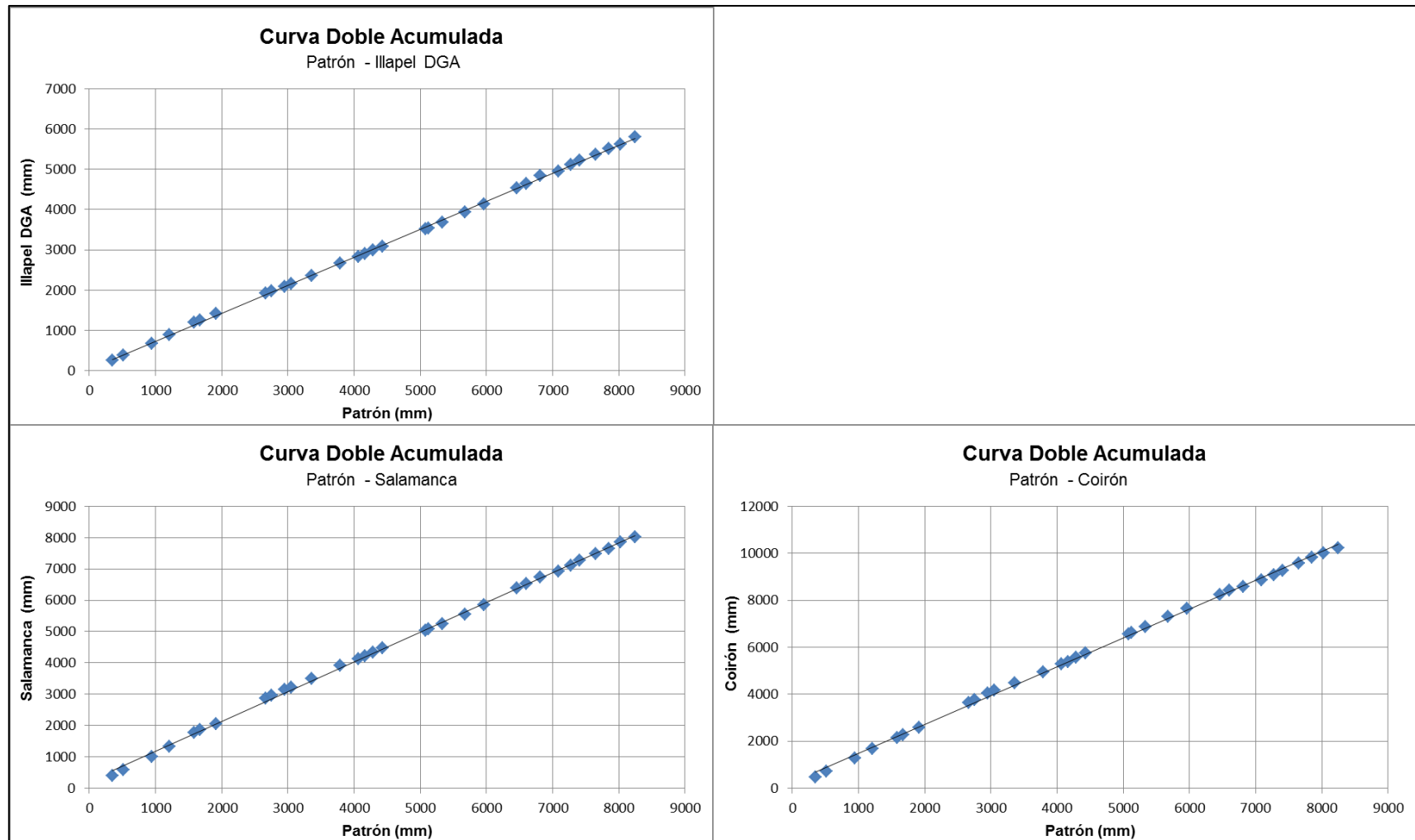


Figura 2.22 “C.D.A. de cada estación pluviométrica de la cuenca del río Choapa”

Tabla 2.61 "Cálculo de C.D.A. de las estaciones pluviométricas (mm) para la cuenca del río Aconcagua"

Año	Patrón	Acumulada				
		Patrón	Frutillar Alto	Lagunitas	Mina Cerro Negro	La Mostaza Hda. Alicahue
1980	384,4	384,4	336,5	476,8	401,3	393,0
1981	199,4	583,8	527,5	2254,1	610,2	613,9
1982	519,2	1103,0	972,3	3122,1	1146,7	1167,0
1983	385,2	1488,2	1333,8	4493,8	1535,5	1571,3
1984	455,4	1943,6	1884,2	5003,7	2160,4	2007,2
1985	142,9	2086,4	1990,8	6170,9	2266,3	2131,0
1986	299,2	2385,6	2200,4	7740,0	2624,7	2341,0
1987	663,4	3049,0	3044,4	8129,0	3470,4	3144,1
1988	95,2	3144,2	3161,4	8992,8	3522,0	3271,3
1989	263,0	3407,2	3375,4	9487,2	3757,5	3509,1
1990	108,2	3515,4	3482,0	10796,1	3893,1	3636,5
1991	397,2	3912,6	3823,7	11724,5	4263,8	4044,9
1992	437,5	4350,1	4287,8	12477,4	4656,3	4523,4
1993	261,6	4611,7	4503,7	13211,4	4882,2	4784,6
1994	128,6	4740,3	4613,6	13885,7	4998,2	4918,0
1995	154,0	4894,4	4766,9	14132,8	5125,7	5119,2
1996	133,2	5027,6	4959,2	15576,6	5284,7	5240,5
1997	625,9	5653,5	5498,1	15982,0	5972,2	5926,3
1998	68,8	5722,3	5534,7	16958,6	6034,5	5958,6
1999	273,0	5995,4	5788,4	18238,8	6312,0	6229,5
2000	381,5	6376,8	6194,2	19239,8	6666,1	6651,3
2001	313,3	6690,1	6545,0	20719,6	6988,6	6975,5
2002	548,9	7239,0	7195,1	21449,6	7593,1	7533,9
2003	184,4	7423,4	7371,2	22123,9	7803,4	7727,0
2004	320,9	7744,4	7684,3	22371,0	8175,9	8057,9
2005	397,6	8142,0	7913,1	23814,8	8574,8	8413,0
2006	302,6	8444,6	8173,1	24220,2	8916,6	8741,2
2007	175,5	8620,1	8320,8	25196,8	9097,7	8942,8
2008	334,2	8954,3	8592,0	26477,0	9406,2	9330,8
2009	232,5	9186,8	8817,2	27478,0	9639,2	9568,5
2010	209,9	9396,7	9022,2	28957,8	9861,7	9813,7
2011	156,4	9553,1	9188,3	29687,8	10007,3	9982,6

Fuente: Elaboración propia en base a información suministrada por la D.G.A.

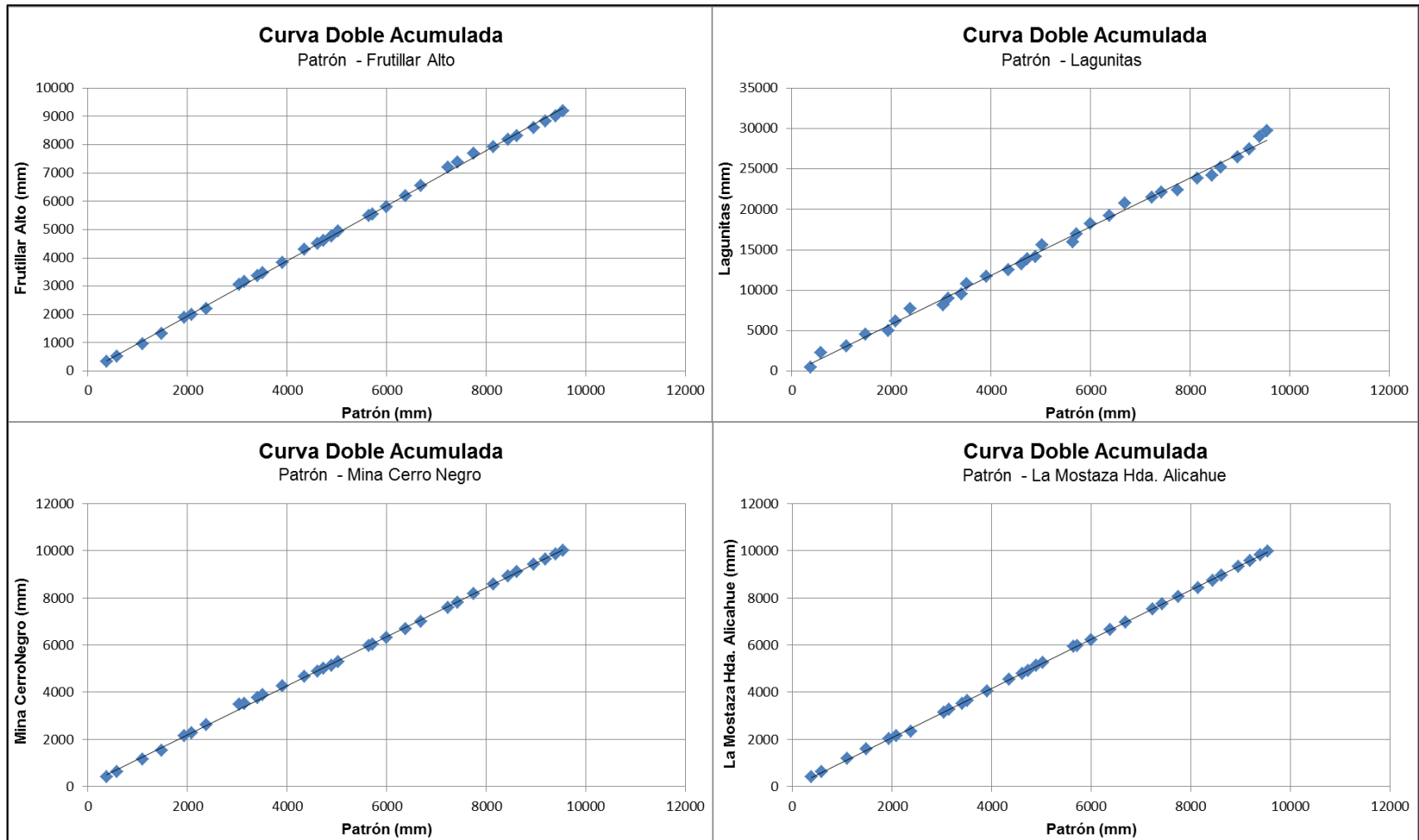


Figura 2.23 “C.D.A. de cada estación pluviométrica de la cuenca del río Aconcagua (Ligua- Petorca)”

Tabla 2.66 "Valores de área (km²) y altura (m) para elaboración de las respectivas "Curvas Hipsométricas" (Continuación)

Cuenca del río Aconcagua (Ligua - Petorca)													
Río Pedernal en Tejada		Río Sobrante en Piñadero		Río Alicahue en Colliguay		Río Putaendo Resguardo los Patos		Río Juncal en Juncal		Río Colorado en Colorado		Estero Pocuro en el Sifón	
H (m)	A (km ²)	H (m)	A (km ²)	H (m)	A (km ²)	H (m)	A (km ²)	H (m)	A (km ²)	H (m)	A (km ²)	H (m)	A (km ²)
1600	0	1400	0	780	0	1220	0	1800	0	1100	0	1000	0
1800	0,5	1600	2,3	1000	0,4	1400	14,1	2000	0,1	1200	1,2	1200	3,4
2000	3,5	1800	7,4	1200	6,9	1600	45,4	2200	0,5	1400	5,9	1400	21,9
2200	9,6	2000	16,3	1400	20,9	1800	89,4	2400	9,8	1600	13,6	1600	57,2
2400	17,0	2200	34,0	1600	37,7	2000	140,1	2600	20,9	1800	25,3	1800	96,5
2600	26,9	2400	59,2	1800	62,0	2200	205,2	2800	39,6	2000	43,8	2000	122,7
2800	40,7	2600	93,3	2000	90,7	2400	276,0	3000	62,2	2200	72,6	2200	141,8
3000	52,6	2800	129,6	2200	125,8	2600	358,4	3200	94,6	2400	109,6	2400	151,6
3200	57,2	3000	158,6	2400	163,3	2800	438,0	3400	124,4	2600	155,7	2600	159,0
3400	60,1	3200	185,8	2600	198,4	3000	519,1	3600	153,9	2800	219,1	2800	163,1
		3400	207,6	2800	239,6	3200	592,0	3800	181,8	3000	294,8	3000	165,6
		3600	218,6	3000	264,6	3400	681,1	4000	198,3	3200	446,8	3200	167,9
				3200	290,8	3600	771,8	4200	213,0	3400	646,7	3400	171,1
				3400	318,4	3800	888,5	4400	217,8	3600	731,2		
				3600	336,7	4000	924,8	4600	221,3	3800	744,2		
				3800	343,0	4200	949,0	4800	223,2	4000	795,9		
						4400	961,3	5000	225,0	4200	831,4		
								5200	225,2	4400	847,3		
										4600	848,5		
										4800	849,2		

Fuente: Elaboración propia en base a información extraída de planos hipsométricos (I.G.M.)

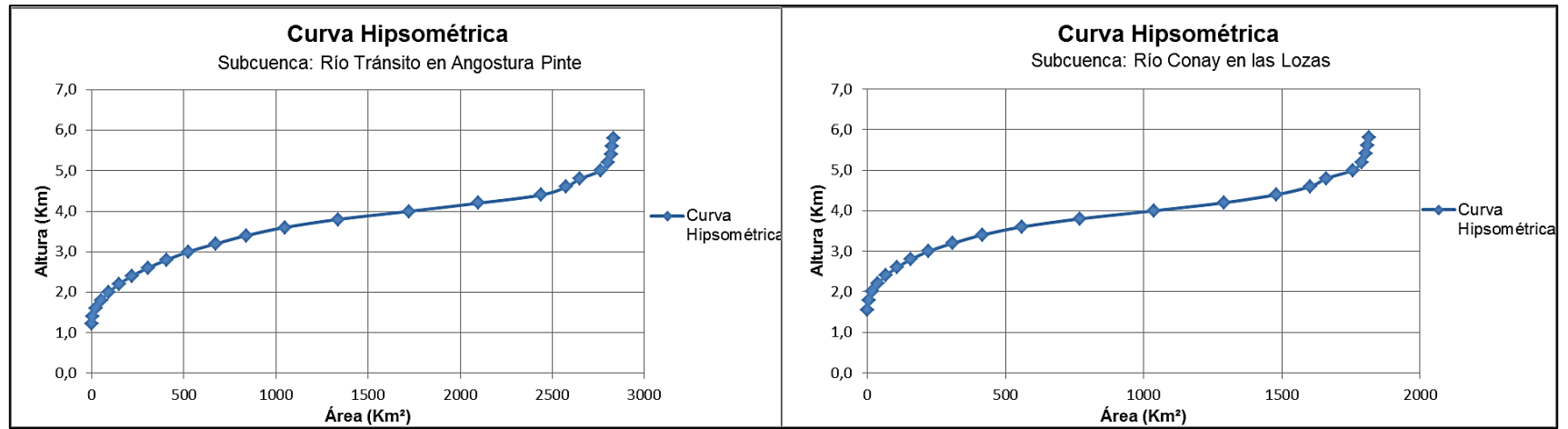


Figura 2.25 "Curvas Hipsométricas, pertenecientes a la cuenca del río Huasco"

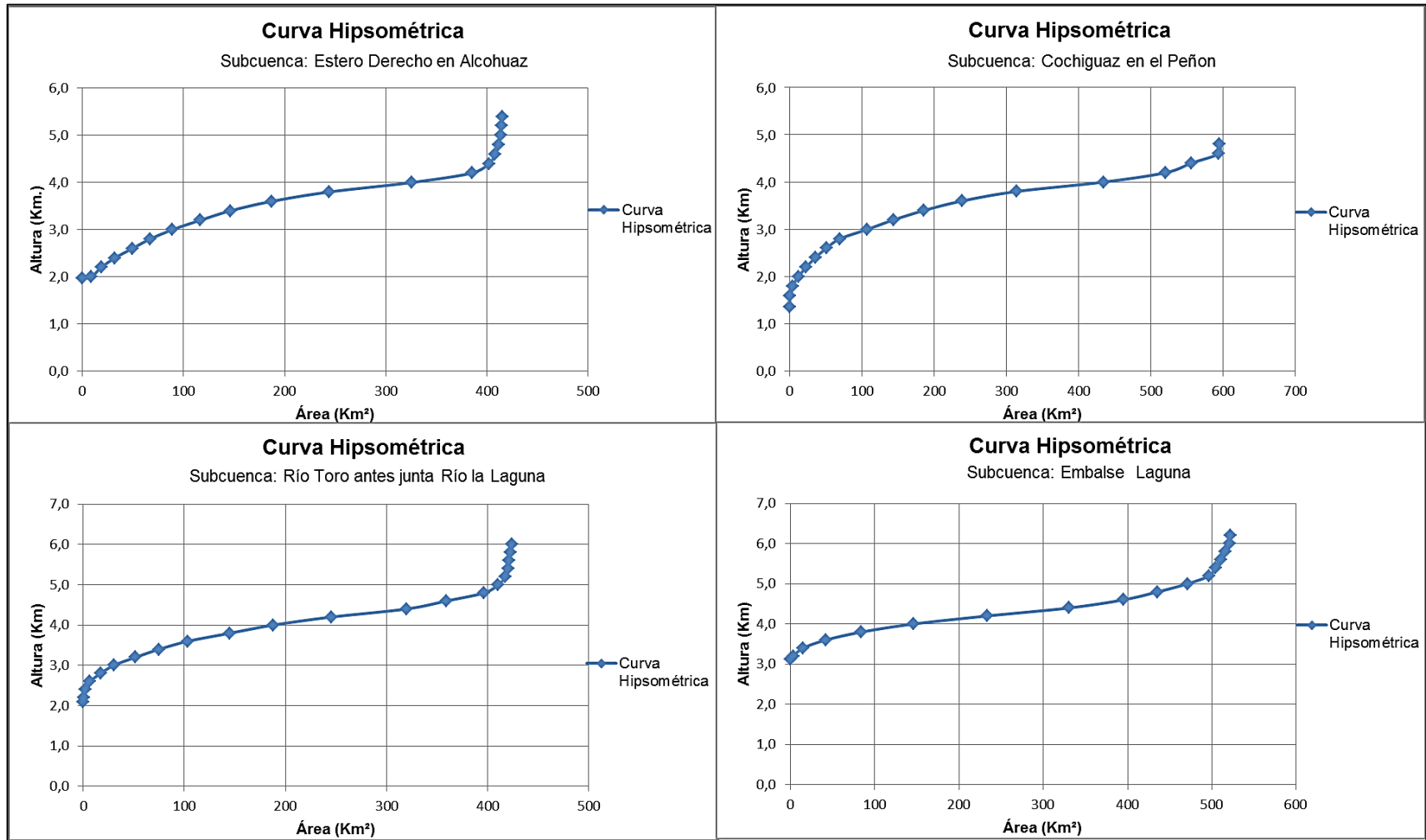


Figura 2.26 "Curvas Hipsométricas, pertenecientes a la cuenca del río Elqui"

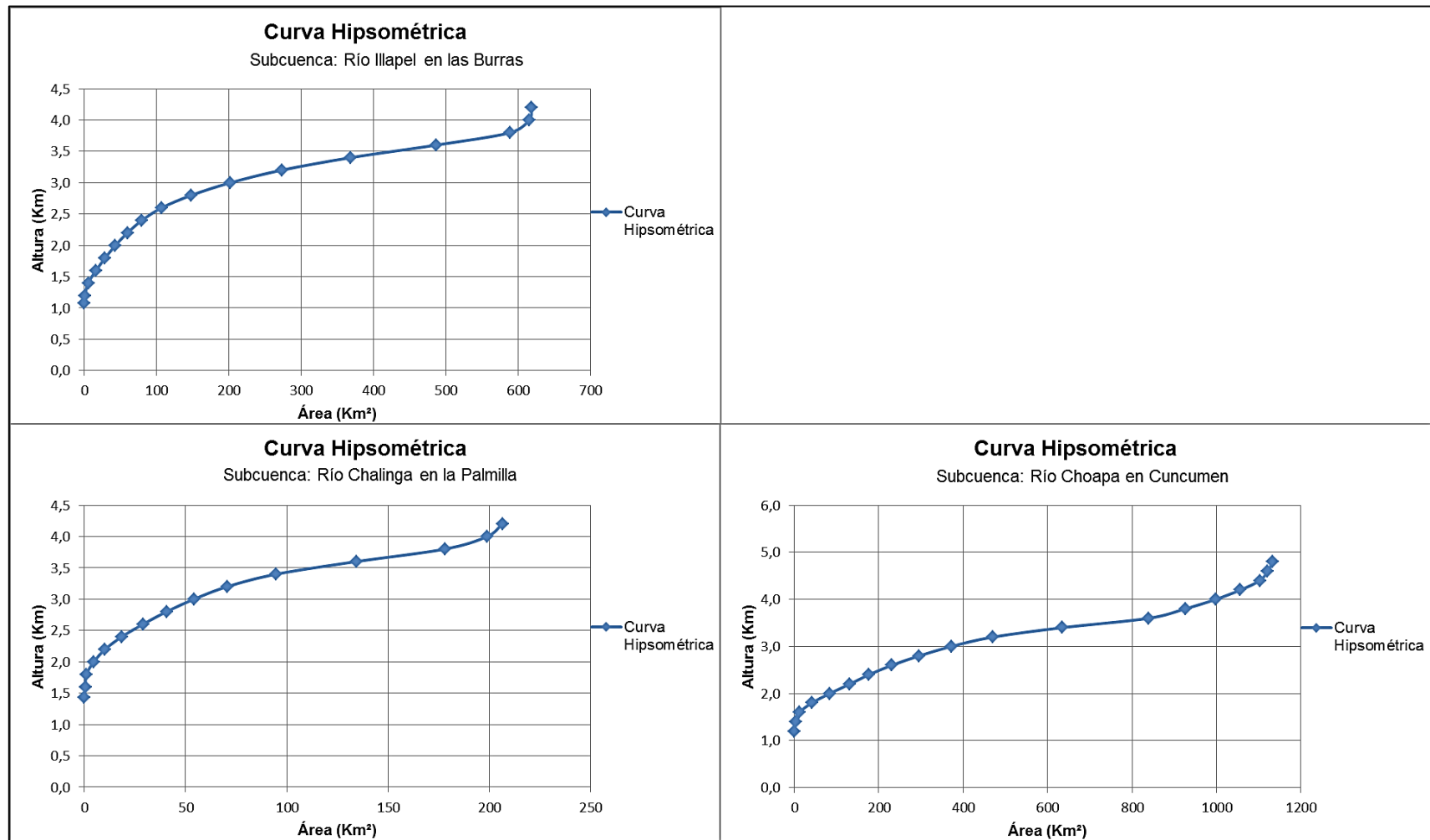


Figura 2.27 "Curvas Hipsométricas, pertenecientes a la cuenca del río Choapa"

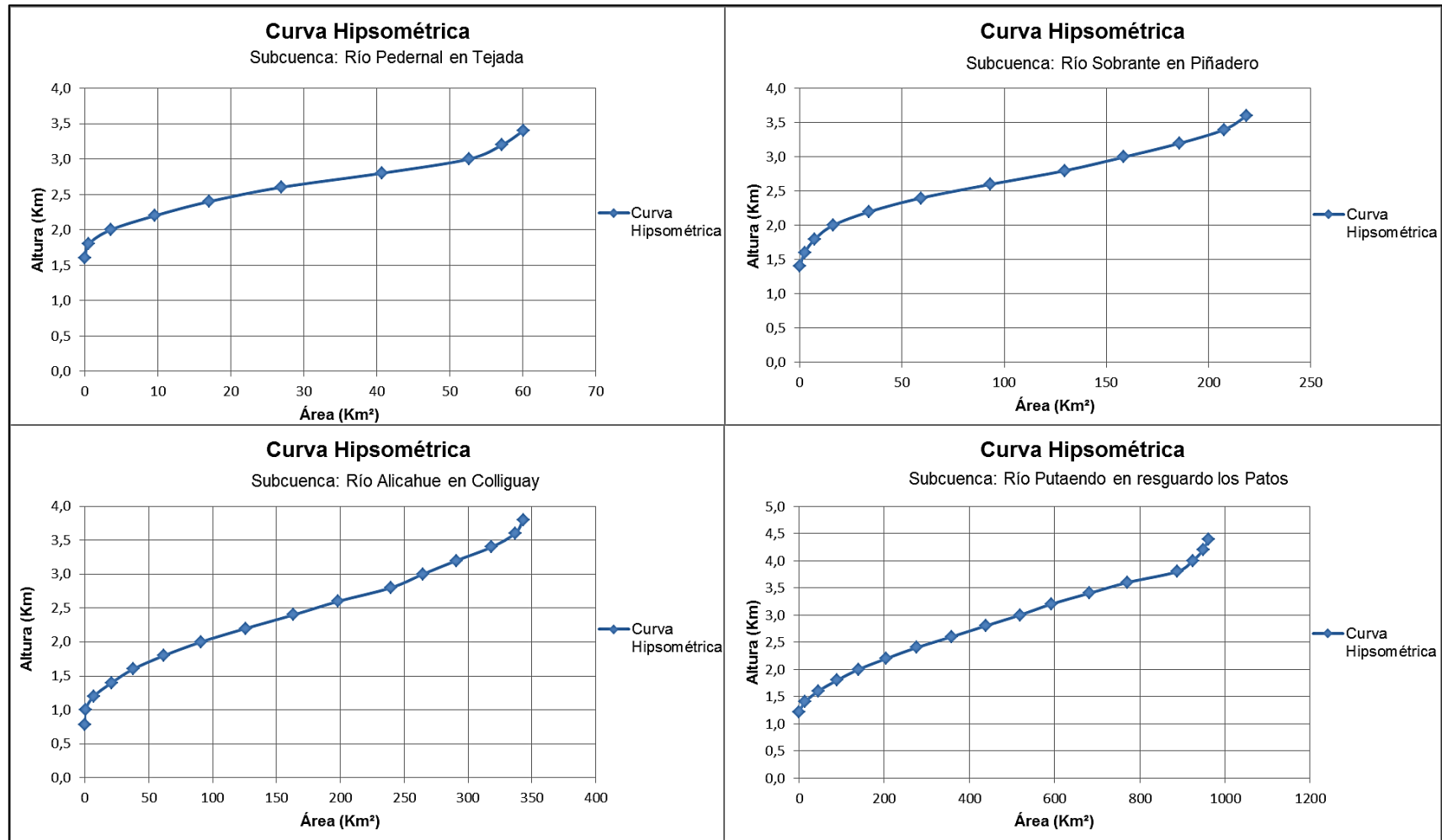


Figura 2.28 “Curvas Hipsométricas, pertenecientes a la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca)”

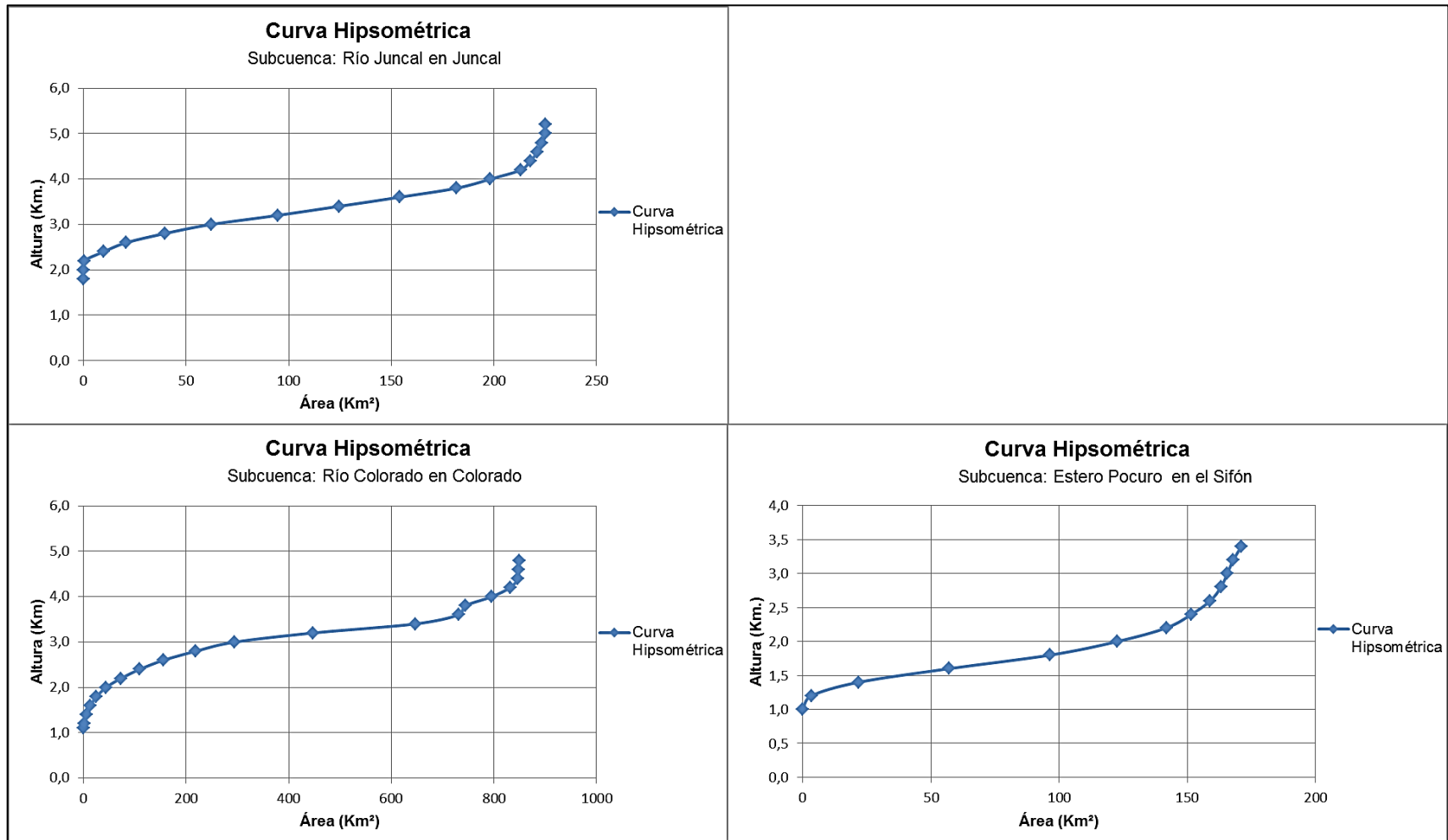


Figura 2.28 "Curvas Hipsométricas, pertenecientes a la cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca)" (Continuación)

Tabla 2.68 "Precipitación media anual de las estaciones pluviométricas de la cuenca del río Huasco".

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Precipitación media anual (mm)
1	El Corral	1820	62,7
2	San Félix	1150	73,2
3	Tambos	1400	92,5
4	Conay Reten	1450	90,1
5	El Parral	1400	72,8
6	Junta del Carmen	770	57,7

Fuente: Elaboración propia en base a información estadística suministrada por la D.G.A.

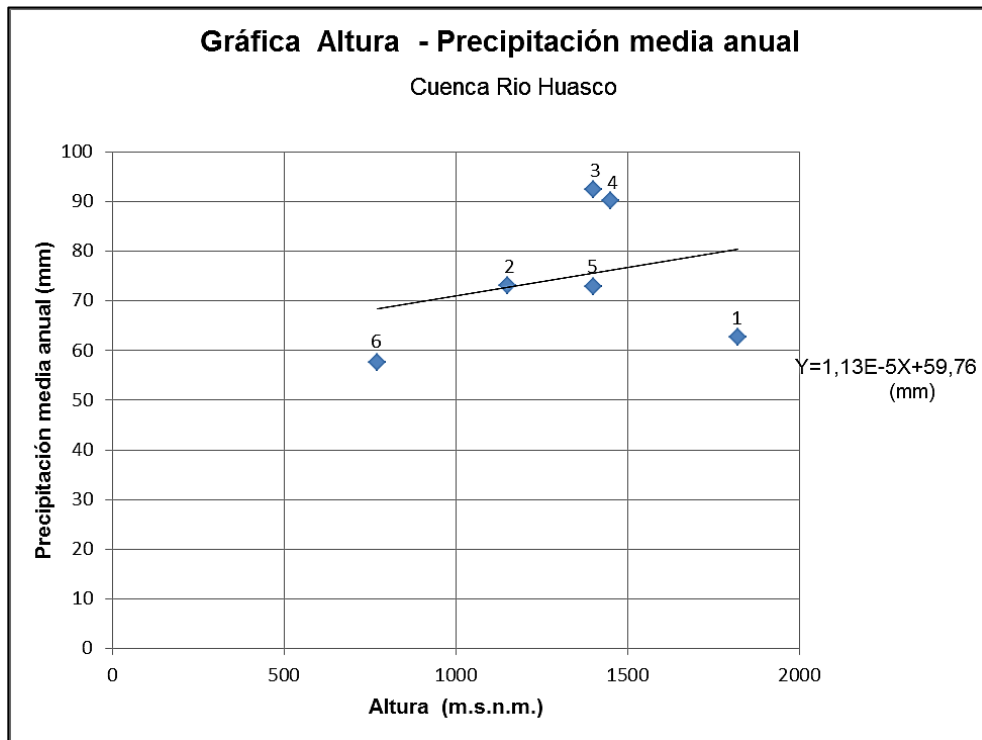


Figura 2.30 "Gráfica Altura – Precipitación media anual de la cuenca del río Huasco"

Tabla 2.69 "Precipitación media anual de las estaciones pluviométricas de la cuenca del río Elqui".

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Precipitación media anual (mm)
1	Pisco Elqui	1250	110,5
2	Fdo. Los Nichos	1330	136,5
3	La Ortiga	1560	154,1
4	Cochiguaz	1560	115,2
5	La Laguna Embalse	3160	162,6
6	Juntas	2150	110,7
7	Hurtado	1100	139,7
8	Rivadavia	820	105,3
9	Huanta	1240	71,9

Fuente: Elaboración propia en base a información estadística suministrada por la D.G.A.

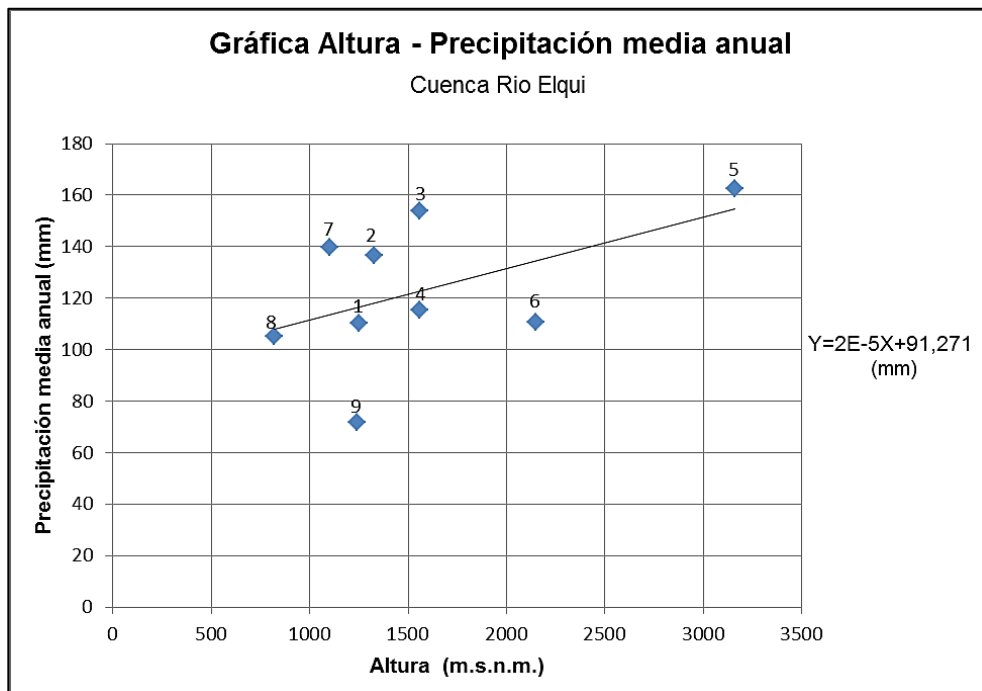


Figura 2.31 "Gráfica Altura - Precipitación media anual de la cuenca del río Elqui"

Tabla 2.70 "Precipitación media anual de las estaciones pluviométricas de la cuenca del río Choapa".

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	Precipitación media anual (mm)
1	Huintil Hda.	650	227,9
2	Illapel DGA	290	181,1
3	Hda. San Agustín	1250	249,2
4	Salamanca	510	250,8
5	Cuncumen	1100	286,9
6	La Tranquilla	1000	266,8
7	Coirón	840	319,8
8	El Soldado	3290	453,0

Fuente: Elaboración propia en base a información estadística suministrada por la D.G.A

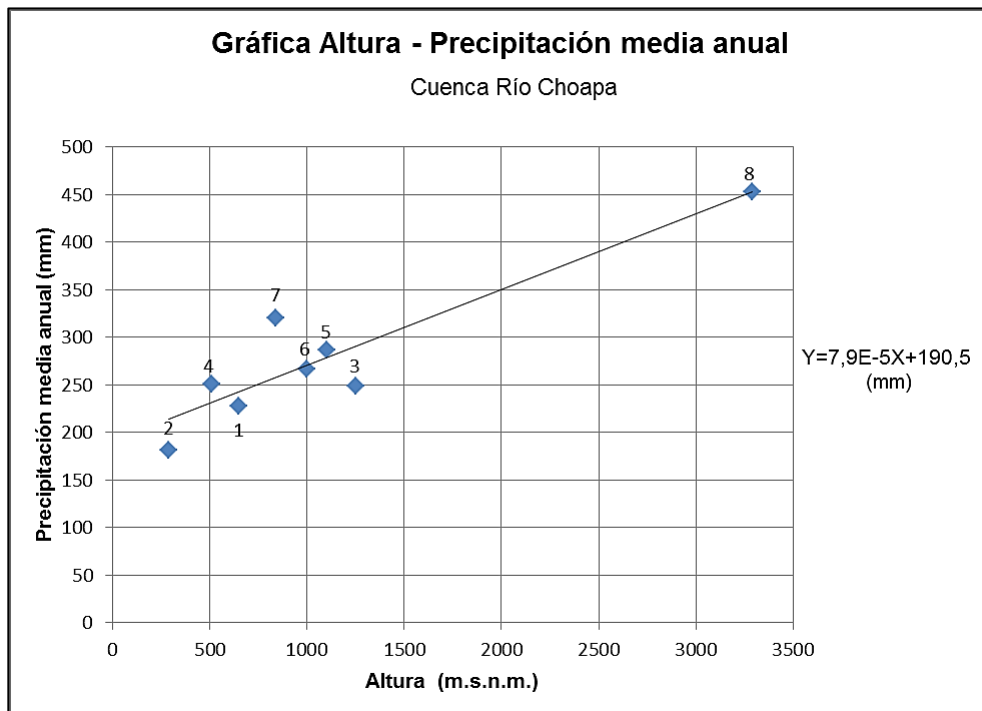


Figura 2.32 "Gráfica Altura – Precipitación media anual de la cuenca del río Choapa"

a) Cuenca del río Huasco

Tabla 2.72 "Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Río Tránsito en Angostura Pinte"

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Pi(m)	Api (Km ²)	Pi*Api (m*Km ²)
1	0,0	283,3	1,225	2,550	1887,463	0,0811	283,27	22,974
2	283,3	566,5	2,550	3,035	2792,468	0,0913	283,27	25,871
3	566,5	849,8	3,035	3,442	3238,463	0,0964	283,27	27,299
4	849,8	1133,1	3,442	3,675	3558,240	0,1000	283,27	28,322
5	1133,1	1416,4	3,675	3,814	3744,322	0,1021	283,27	28,918
6	1416,4	1699,6	3,814	3,956	3884,900	0,1037	283,27	29,368
7	1699,6	1982,9	3,956	4,071	4000,000	0,1050	283,27	29,737
8	1982,9	2266,2	4,071	4,326	4000,000	0,1050	283,27	29,737
9	2266,2	2549,5	4,326	4,674	4000,000	0,1050	283,27	29,737
10	2549,5	2832,7	4,674	5,800	4000,000	0,1050	283,27	29,737
Σ							2832,7	281,699

Pma (mm)	99,44
----------	-------

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.73 "Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Río Conay en las Lozas"

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Pi(m)	Api (Km ²)	Pi*Api (m*Km ²)
1	0,0	181,5	1,560	2,874	2217,168	0,0848	181,50	15,396
2	181,5	363,0	2,874	3,302	3088,110	0,0947	181,50	17,182
3	363,0	544,5	3,302	3,583	3442,633	0,0987	181,50	17,909
4	544,5	726,0	3,583	3,796	3689,583	0,1015	181,50	18,416
5	726,0	907,5	3,796	3,866	3830,909	0,1031	181,50	18,706
6	907,5	1089,0	3,866	4,052	3959,208	0,1045	181,50	18,969
7	1089,0	1270,5	4,052	4,198	4000,000	0,1050	181,50	19,053
8	1270,5	1452,0	4,198	4,436	4000,000	0,1050	181,50	19,053
9	1452,0	1633,5	4,436	4,766	4000,000	0,1050	181,50	19,053
10	1633,5	1815,0	4,766	5,800	4000,000	0,1050	181,50	19,053
Σ							1815,0	182,789

Pma (mm)	100,71
----------	--------

Fuente: Elaboración propia

b) Cuenca del río Elqui.

Tabla 2.74 "Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Estero Derecho en Alcohuaz"

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Pi(m)	Api (Km ²)	Pi*Api (m*Km ²)
1	0,0	41,5	1,971	2,509	2239,831	0,1363	41,51	5,658
2	41,5	83,0	2,509	2,946	2727,228	0,1461	41,51	6,064
3	83,0	124,5	2,946	3,248	3096,675	0,1535	41,51	6,373
4	124,5	166,0	3,248	3,497	3372,180	0,1591	41,51	6,603
5	166,0	207,5	3,497	3,670	3583,523	0,1633	41,51	6,779
6	207,5	249,0	3,670	3,823	3746,411	0,1666	41,51	6,915
7	249,0	290,5	3,823	3,926	3874,461	0,1692	41,51	7,022
8	290,5	332,0	3,926	4,031	3978,843	0,1713	41,51	7,109
9	332,0	373,5	4,031	4,172	4000,000	0,1717	41,51	7,127
10	373,5	415,1	4,172	5,400	4000,000	0,1717	41,51	7,127
Σ							415,1	66,776

Pma (mm)	160,89
----------	--------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.75 "Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Río Cochiguaz en el Peñón"

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Pi(m)	Api (Km ²)	Pi*Api (m*Km ²)
1	0,0	59,5	1,360	2,692	2026,116	0,1320	59,47	7,850
2	59,5	118,9	2,692	3,066	2878,925	0,1492	59,47	8,870
3	118,9	178,4	3,066	3,355	3210,389	0,1558	59,47	9,266
4	178,4	237,9	3,355	3,598	3476,366	0,1612	59,47	9,584
5	237,9	297,3	3,598	3,766	3682,027	0,1653	59,47	9,830
6	297,3	356,8	3,766	3,887	3826,813	0,1682	59,47	10,003
7	356,8	416,3	3,887	3,988	3937,691	0,1705	59,47	10,136
8	416,3	475,7	3,988	4,084	4000,000	0,1717	59,47	10,211
9	475,7	535,2	4,084	4,298	4000,000	0,1717	59,47	10,211
10	535,2	594,7	4,298	4,800	4000,000	0,1717	59,47	10,211
Σ							594,7	96,172

Pma (mm)	161,73
----------	--------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.76 "Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Río Toro antes junta Río la Laguna"

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Pi(m)	Api (Km ²)	Pi*Api (m*Km ²)
1	0,0	42,4	2,091	3,114	2602,469	0,1436	42,40	6,088
2	42,4	84,8	3,114	3,466	3290,003	0,1574	42,40	6,675
3	84,8	127,2	3,466	3,712	3589,147	0,1634	42,40	6,930
4	127,2	169,6	3,712	3,915	3813,451	0,1680	42,40	7,121
5	169,6	212,0	3,915	4,088	4000,000	0,1717	42,40	7,280
6	212,0	254,4	4,088	4,226	4000,000	0,1717	42,40	7,280
7	254,4	296,8	4,226	4,341	4000,000	0,1717	42,40	7,280
8	296,8	339,2	4,341	4,487	4000,000	0,1717	42,40	7,280
9	339,2	381,6	4,487	4,699	4000,000	0,1717	42,40	7,280
10	381,6	424,0	4,699	6,000	4000,000	0,1717	42,40	7,280
Σ							424,0	70,493

Pma (mm)	166,27
----------	--------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.77 "Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Embalse Laguna".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Pi(m)	Api (Km ²)	Pi*Api (m*Km ²)
1	0,0	52,2	3,130	3,651	3390,301	0,1594	52,19	8,322
2	52,2	104,4	3,651	3,861	3755,666	0,1668	52,19	8,705
3	104,4	156,6	3,861	4,026	3943,577	0,1706	52,19	8,902
4	156,6	208,8	4,026	4,146	4000,000	0,1717	52,19	8,962
5	208,8	261,0	4,146	4,268	4000,000	0,1717	52,19	8,962
6	261,0	313,2	4,268	4,378	4000,000	0,1717	52,19	8,962
7	313,2	365,3	4,378	4,503	4000,000	0,1717	52,19	8,962
8	365,3	417,5	4,503	4,720	4000,000	0,1717	52,19	8,962
9	417,5	469,7	4,720	5,005	4000,000	0,1717	52,19	8,962
10	469,7	521,9	5,005	6,200	4000,000	0,1717	52,19	8,962
Σ							521,9	88,661

Pma (mm)	169,88
----------	--------

Fuente: Elaboración propia.

c) Cuenca del río Choapa.

Tabla 2.78 "Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Río Illapel en las Burras".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Pi(m)	Api (Km ²)	Pi*Api (m*Km ²)
1	0,0	61,8	1,079	2,223	1650,750	0,3208	61,84	19,840
2	61,8	123,7	2,223	2,682	2452,359	0,3836	61,84	23,722
3	123,7	185,5	2,682	2,938	2810,212	0,4116	61,84	25,455
4	185,5	247,4	2,938	3,122	3030,199	0,4289	61,84	26,520
5	247,4	309,2	3,122	3,274	3197,947	0,4420	61,84	27,333
6	309,2	371,0	3,274	3,409	3341,478	0,4532	61,84	28,028
7	371,0	432,9	3,409	3,514	3461,815	0,4627	61,84	28,610
8	432,9	494,7	3,514	3,591	3552,911	0,4698	61,84	29,052
9	494,7	556,5	3,591	3,709	3650,191	0,4774	61,84	29,523
10	556,5	618,4	3,709	4,200	3954,469	0,5012	61,84	30,996
Σ							618,4	269,078

Pma (mm)	435,13
-----------------	--------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.79 "Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Río Chalinga en la Palmilla".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Pi(m)	Api (Km ²)	Pi*Api (m*Km ²)
1	0,0	20,6	1,431	2,440	1935,415	0,3447	20,64	7,115
2	20,6	41,3	2,440	2,811	2625,243	0,3997	20,64	8,249
3	41,3	61,9	2,811	3,096	2953,346	0,4258	20,64	8,789
4	61,9	82,6	3,096	3,302	3199,248	0,4454	20,64	9,193
5	82,6	103,2	3,302	3,445	3373,794	0,4593	20,64	9,480
6	103,2	123,8	3,445	3,550	3497,762	0,4692	20,64	9,684
7	123,8	144,5	3,550	3,651	3600,857	0,4774	20,64	9,853
8	144,5	165,1	3,651	3,746	3698,792	0,4852	20,64	10,014
9	165,1	185,8	3,746	3,868	3807,096	0,4938	20,64	10,193
10	185,8	206,4	3,868	4,200	4000,000	0,5092	20,64	10,510
Σ							206,4	93,079

Pma (mm)	450,96
-----------------	--------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.80 "Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Río Choapa en Cuncumen".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Pi(m)	Api (Km ²)	Pi*Api (m*Km ²)
1	0,0	113,4	1,200	2,124	1662,036	0,3229	113,35	36,604
2	113,4	226,7	2,124	2,587	2355,533	0,3782	113,35	42,866
3	226,7	340,1	2,587	2,906	2746,714	0,4093	113,35	46,399
4	340,1	453,4	2,906	3,153	3029,619	0,4319	113,35	48,953
5	453,4	566,8	3,153	3,306	3229,254	0,4478	113,35	50,756
6	566,8	680,1	3,306	3,462	3383,803	0,4601	113,35	52,152
7	680,1	793,5	3,462	3,575	3518,578	0,4708	113,35	53,369
8	793,5	906,8	3,575	3,740	3657,652	0,4819	113,35	54,625
9	906,8	1020,2	3,740	4,055	3897,338	0,5010	113,35	56,789
10	1020,2	1133,5	4,055	4,800	4000,000	0,5092	113,35	57,716
Σ							1133,5	500,228

Pma (mm)	441,31
----------	--------

Fuente: Elaboración propia.

d) Cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca).

Tabla 2.81 "Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Río Pedernal en Tejada".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Pi(m)	Api (Km ²)	Pi*Api (m*Km ²)
1	0,0	6,0	1,600	2,139	1869,4	0,604	6,01	3,628
2	6,0	12,0	2,139	2,265	2201,6	0,711	6,01	4,273
3	12,0	18,0	2,265	2,420	2342,3	0,757	6,01	4,545
4	18,0	24,0	2,420	2,542	2481,0	0,802	6,01	4,815
5	24,0	30,0	2,542	2,646	2593,9	0,838	6,01	5,034
6	30,0	36,0	2,646	2,733	2689,2	0,869	6,01	5,218
7	36,0	42,0	2,733	2,823	2777,6	0,897	6,01	5,390
8	42,0	48,1	2,823	2,923	2873,0	0,928	6,01	5,575
9	48,1	54,1	2,923	3,063	2993,4	0,967	6,01	5,809
10	54,1	60,1	3,063	3,400	3231,7	1,044	6,01	6,271
Σ							60,1	50,557

Pma (mm)	841,73
----------	--------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.82 "Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Río Sobrante en Piñadero".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Pi(m)	Api (Km ²)	Pi*Api (m*Km ²)
1	0,0	21,9	1,400	2,060	1730,0	0,559	21,86	12,219
2	21,9	43,7	2,060	2,276	2168,1	0,701	21,86	15,313
3	43,7	65,6	2,276	2,439	2357,5	0,762	21,86	16,650
4	65,6	87,4	2,439	2,568	2503,2	0,809	21,86	17,679
5	87,4	109,3	2,568	2,688	2627,9	0,849	21,86	18,559
6	109,3	131,2	2,688	2,812	2750,1	0,888	21,86	19,422
7	131,2	153,0	2,812	2,963	2887,5	0,933	21,86	20,393
8	153,0	174,9	2,963	3,125	3043,8	0,983	21,86	21,496
9	174,9	196,7	3,125	3,308	3216,3	1,039	21,86	22,714
10	196,7	218,6	3,308	3,600	3454,0	1,116	21,86	24,393
Σ							218,6	188,838

Pma (mm)	863,86
-----------------	--------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.83 "Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Río Alicahue en Colliguay".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Pi(m)	Api (Km ²)	Pi*Api (m*Km ²)
1	0,0	34,3	0,780	1,559	1169,4	0,378	34,30	12,963
2	34,3	68,6	1,559	1,849	1703,9	0,551	34,30	18,886
3	68,6	102,9	1,849	2,070	1959,7	0,633	34,30	21,721
4	102,9	137,2	2,070	2,255	2162,7	0,699	34,30	23,970
5	137,2	171,5	2,255	2,448	2351,5	0,760	34,30	26,062
6	171,5	205,8	2,448	2,644	2546,1	0,823	34,30	28,218
7	205,8	240,1	2,644	2,808	2726,4	0,881	34,30	30,216
8	240,1	274,4	2,808	3,066	2937,4	0,949	34,30	32,554
9	274,4	308,7	3,066	3,343	3204,6	1,035	34,30	35,515
10	308,7	343,0	3,343	3,800	3571,5	1,154	34,30	39,580
Σ							343,0	269,685

Pma (mm)	786,17
-----------------	--------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.84 "Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Río Putaendo en Resguardo los Patos".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Pi(m)	Api (Km ²)	Pi*Api (m*Km ²)
1	0,0	96,1	1,218	1,822	1520,003	0,491	96,13	47,215
2	96,1	192,3	1,822	2,166	1993,854	0,644	96,13	61,928
3	192,3	288,4	2,166	2,422	2293,718	0,741	96,13	71,240
4	288,4	384,5	2,422	2,662	2541,764	0,821	96,13	78,942
5	384,5	480,6	2,662	2,921	2791,507	0,902	96,13	86,697
6	480,6	576,8	2,921	3,133	3027,109	0,978	96,13	94,013
7	576,8	672,9	3,133	3,351	3241,947	1,047	96,13	100,684
8	672,9	769,0	3,351	3,591	3470,787	1,121	96,13	107,790
9	769,0	865,2	3,591	3,747	3669,081	1,185	96,13	113,947
10	865,2	961,3	3,747	4,400	4000,000	1,292	96,13	124,222
Σ							961,3	886,677

Pma (mm)	922,38
----------	--------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.85 "Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Río Colorado en Colorado".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Pi(m)	Api (Km ²)	Pi*Api (m*Km ²)
1	0,0	84,9	1,100	2,265	1682,646	0,544	84,92	46,173
2	84,9	169,8	2,265	2,652	2458,653	0,794	84,92	67,460
3	169,8	254,8	2,652	2,883	2767,713	0,894	84,92	75,938
4	254,8	339,7	2,883	3,054	2968,608	0,959	84,92	81,449
5	339,7	424,6	3,054	3,164	3109,007	1,004	84,92	85,301
6	424,6	509,5	3,164	3,262	3213,327	1,038	84,92	88,163
7	509,5	594,5	3,262	3,347	3304,908	1,068	84,92	90,675
8	594,5	679,4	3,347	3,500	3423,608	1,106	84,92	93,931
9	679,4	764,3	3,500	3,901	3700,595	1,196	84,92	101,529
10	764,3	849,2	3,901	4,800	4000,000	1,292	84,92	109,743
Σ							849,2	840,362

Pma (mm)	989,54
----------	--------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.86 "Cálculo de la precipitación media anual de la subcuenca Estero Pocuro en el Sifón".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Pi(m)	Api (Km ²)	Pi*Api (m*Km ²)
1	0,0	17,1	1,000	1,348	1174,0	0,379	17,11	6,492
2	17,1	34,2	1,348	1,471	1409,4	0,455	17,11	7,793
3	34,2	51,3	1,471	1,568	1519,5	0,491	17,11	8,402
4	51,3	68,4	1,568	1,658	1613,3	0,521	17,11	8,920
5	68,4	85,6	1,658	1,746	1701,9	0,550	17,11	9,410
6	85,6	102,7	1,746	1,844	1794,8	0,580	17,11	9,923
7	102,7	119,8	1,844	1,974	1909,0	0,617	17,11	10,554
8	119,8	136,9	1,974	2,148	2061,1	0,666	17,11	11,395
9	136,9	154,0	2,148	2,470	2309,3	0,746	17,11	12,767
10	154,0	171,1	2,470	3,400	2935,1	0,948	17,11	16,226
						Σ	171,1	101,883

Pma (mm)	595,41
-----------------	--------

Fuente: Elaboración propia.

2.2.7.3 Temperatura medio anual.

Tabla 2.90 "Temperatura media anual de las estaciones de temperatura de la 3° Región de Chile".

Código	Estación de temperatura	Altura (m.s.n.m.)	Temperatura medio anual (°C)
1	Conay	1450	18,8
2	Potrerillos	2850	12,1
3	Lautaro Embalse	1110	24,0

Fuente: Elaboración propia en base a registros de la D.G.A. y del Estudio Balance Hídrico Nacional

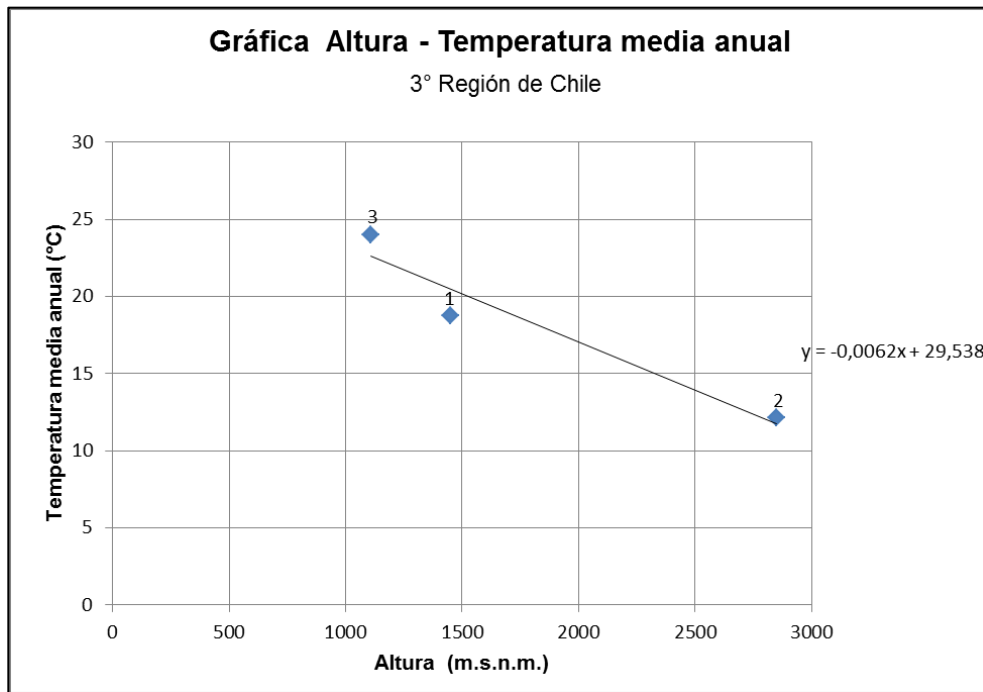


Figura 2.35 "Gráfica Altura - Temperatura media anual de la 3° Región de Chile"

Tabla 2.91 “Temperatura media anual de las estaciones de temperatura de la 4° Región de Chile”.

Código	Estación de temperatura	Altura (m.s.n.m.)	Temperatura medio anual (°C)
1	La Tranquilla	1000	16,5
2	Hurtado	1100	16,5
3	Los Molles	1450	14,5
4	Ramadas	1350	15,5
5	Andacollo	1025	18,8

Fuente: Elaboración propia en base a información estadística proveniente de la D.G.A.

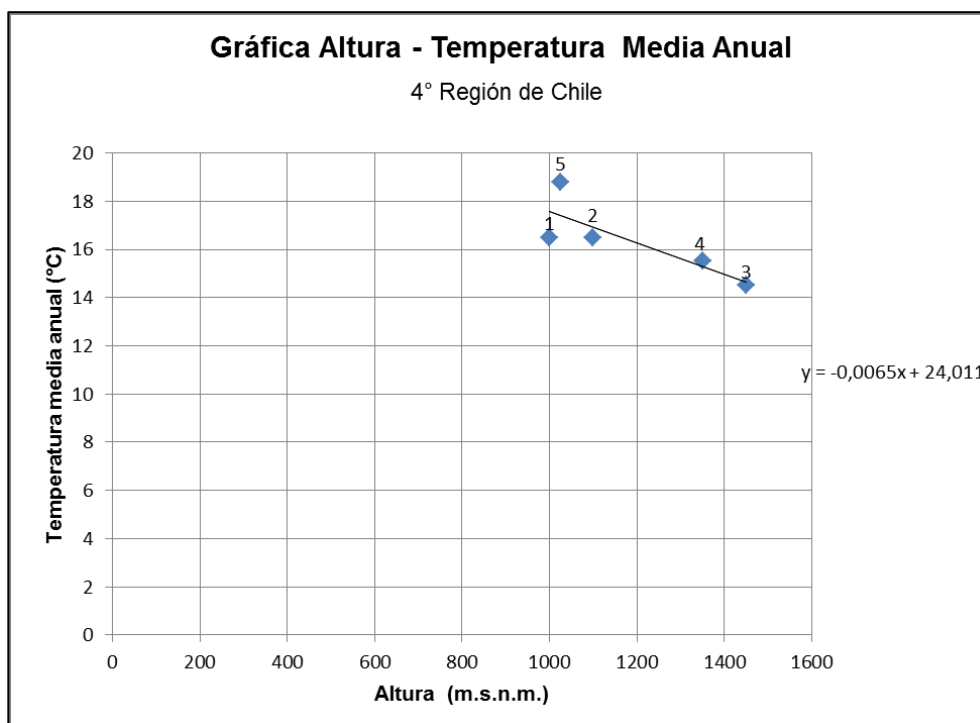


Figura 2.36 “Gráfica Altura - Temperatura media anual de la 4° Región de Chile”

a) Cuenca del río Huasco

Tabla 2.93 "Cálculo de la temperatura media anual de la subcuenca Río Tránsito en Angostura Pinte".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Ti(°C)	Api (Km ²)	Ti*Api (°C*Km ²)
1	0,0	283,3	1,225	2,550	1887,5	17,8	283,27	5036,322
2	283,3	566,5	2,550	3,035	2792,5	12,1	283,27	3439,169
3	566,5	849,8	3,035	3,442	3238,5	9,4	283,27	2652,075
4	849,8	1133,1	3,442	3,675	3558,2	7,4	283,27	2087,732
5	1133,1	1416,4	3,675	3,814	3744,3	6,2	283,27	1759,334
6	1416,4	1699,6	3,814	3,956	3884,9	5,3	283,27	1511,243
7	1699,6	1982,9	3,956	4,071	4013,1	4,5	283,27	1284,932
8	1982,9	2266,2	4,071	4,326	4198,5	3,4	283,27	957,834
9	2266,2	2549,5	4,326	4,674	4500,3	1,5	283,27	425,106
10	2549,5	2832,7	4,674	4,800	4737,1	0,0	283,27	7,208
Σ							2832,7	19160,956

Tma (°C)	6,76
-----------------	------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.94 "Cálculo de la temperatura media anual de la subcuenca Río Conay en las Lozas".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Ti(°C)	Api (Km ²)	Ti*Api (°C*Km ²)
1	0,0	181,5	1,560	2,874	2217,2	15,7	181,50	2854,019
2	181,5	363,0	2,874	3,302	3088,1	10,3	181,50	1869,221
3	363,0	544,5	3,302	3,583	3442,6	8,1	181,50	1468,353
4	544,5	726,0	3,583	3,796	3689,6	6,6	181,50	1189,120
5	726,0	907,5	3,796	3,866	3830,9	5,7	181,50	1029,318
6	907,5	1089,0	3,866	4,052	3959,2	4,9	181,50	884,248
7	1089,0	1270,5	4,052	4,198	4125,0	3,8	181,50	696,807
8	1270,5	1452,0	4,198	4,436	4316,6	2,6	181,50	480,169
9	1452,0	1633,5	4,436	4,766	4600,6	0,9	181,50	158,962
10	1633,5	1815,0	4,766	5,800	5282,9	-3,4	181,50	-612,441
Σ							1815,0	10017,776

Tma (°C)	5,52
-----------------	------

Fuente: Elaboración propia.

b) Cuenca del río Elqui.

Tabla 2.95 "Cálculo de la temperatura media anual de la subcuenca Estero Derecho en Alcohuaz".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Ti(°C)	Api (Km ²)	Ti*Api (°C*Km ²)
1	0,0	41,5	1,971	2,509	2239,8	9,5	41,51	396,232
2	41,5	83,0	2,509	2,946	2727,2	6,4	41,51	265,596
3	83,0	124,5	2,946	3,248	3096,7	4,0	41,51	166,573
4	124,5	166,0	3,248	3,497	3372,2	2,2	41,51	92,730
5	166,0	207,5	3,497	3,670	3583,5	0,9	41,51	36,084
6	207,5	249,0	3,670	3,823	3746,4	-0,2	41,51	-7,574
7	249,0	290,5	3,823	3,926	3874,5	-1,0	41,51	-41,895
8	290,5	332,0	3,926	4,031	3978,8	-1,7	41,51	-69,873
9	332,0	373,5	4,031	4,172	4101,9	-2,5	41,51	-102,856
10	373,5	415,1	4,172	5,400	4786,2	-6,9	41,51	-286,276
Σ							415,1	448,742

Tma (°C)	1,08
-----------------	------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.96 "Cálculo de la temperatura media anual de la subcuenca Río Cochiguaz en el Peñón".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Ti(°C)	Api (Km ²)	Ti*Api (°C*Km ²)
1	0,0	59,5	1,360	2,692	2026,1	10,9	59,47	649,757
2	59,5	118,9	2,692	3,066	2878,9	5,4	59,47	322,270
3	118,9	178,4	3,066	3,355	3210,4	3,3	59,47	194,985
4	178,4	237,9	3,355	3,598	3476,4	1,6	59,47	92,848
5	237,9	297,3	3,598	3,766	3682,0	0,2	59,47	13,872
6	297,3	356,8	3,766	3,887	3826,8	-0,7	59,47	-41,727
7	356,8	416,3	3,887	3,988	3937,7	-1,4	59,47	-84,305
8	416,3	475,7	3,988	4,084	4035,9	-2,1	59,47	-122,037
9	475,7	535,2	4,084	4,298	4190,9	-3,1	59,47	-181,526
10	535,2	594,7	4,298	4,800	4549,0	-5,4	59,47	-319,066
Σ							594,7	525,071

Tma (°C)	0,88
-----------------	------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.97 "Cálculo de la temperatura media anual de la subcuenca Río Toro antes junta río La Laguna".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Ti(°C)	Api (Km ²)	Ti*Api (°C*Km ²)
1	0,0	42,4	2,091	3,114	2602,5	7,2	42,40	305,464
2	42,4	84,8	3,114	3,466	3290,0	2,8	42,40	117,223
3	84,8	127,2	3,466	3,712	3589,1	0,8	42,40	35,320
4	127,2	169,6	3,712	3,915	3813,5	-0,6	42,40	-26,092
5	169,6	212,0	3,915	4,088	4001,6	-1,8	42,40	-77,597
6	212,0	254,4	4,088	4,226	4157,3	-2,8	42,40	-120,222
7	254,4	296,8	4,226	4,341	4283,3	-3,6	42,40	-154,727
8	296,8	339,2	4,341	4,487	4413,9	-4,5	42,40	-190,479
9	339,2	381,6	4,487	4,699	4593,2	-5,7	42,40	-239,581
10	381,6	424,0	4,699	6,000	5349,6	-10,5	42,40	-446,676
Σ							424,0	-797,366

Tma (°C)	-1,88
-----------------	-------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.98 "Cálculo de la temperatura media anual de la subcuenca Embalse Laguna".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Ti(°C)	Api (Km ²)	Ti*Api (°C*Km ²)
1	0,0	52,2	3,130	3,651	3390,3	2,1	52,19	110,499
2	52,2	104,4	3,651	3,861	3755,7	-0,2	52,19	-12,644
3	104,4	156,6	3,861	4,026	3943,6	-1,5	52,19	-75,977
4	156,6	208,8	4,026	4,146	4086,4	-2,4	52,19	-124,130
5	208,8	261,0	4,146	4,268	4207,4	-3,2	52,19	-164,894
6	261,0	313,2	4,268	4,378	4323,1	-3,9	52,19	-203,898
7	313,2	365,3	4,378	4,503	4440,3	-4,7	52,19	-243,391
8	365,3	417,5	4,503	4,720	4611,5	-5,8	52,19	-301,094
9	417,5	469,7	4,720	5,005	4862,8	-7,4	52,19	-385,789
10	469,7	521,9	5,005	6,200	5602,6	-12,2	52,19	-635,144
Σ							521,9	-2036,461

Tma (°C)	-3,90
-----------------	-------

Fuente: Elaboración propia.

c) Cuenca del río Choapa.

Tabla 2.99 "Cálculo de la temperatura media anual de la subcuenca Río Illapel en las Burras".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Ti(°C)	Api (Km ²)	Ti*Api (°C*Km ²)	
1	0,0	61,8	1,079	2,223	1650,8	13,4	61,84	825,584	
2	61,8	123,7	2,223	2,682	2452,4	8,2	61,84	505,474	
3	123,7	185,5	2,682	2,938	2810,2	5,9	61,84	362,571	
4	185,5	247,4	2,938	3,122	3030,2	4,4	61,84	274,723	
5	247,4	309,2	3,122	3,274	3197,9	3,4	61,84	207,735	
6	309,2	371,0	3,274	3,409	3341,5	2,4	61,84	150,419	
7	371,0	432,9	3,409	3,514	3461,8	1,7	61,84	102,364	
8	432,9	494,7	3,514	3,591	3552,9	1,1	61,84	65,986	
9	494,7	556,5	3,591	3,709	3650,2	0,4	61,84	27,139	
10	556,5	618,4	3,709	4,200	3954,5	-1,5	61,84	-94,370	
							Σ	618,4	2427,626

Tma (°C)	3,93
-----------------	------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.100 "Cálculo de la temperatura media anual de la subcuenca Río Chalinga en la Palmilla".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Ti(°C)	Api (Km ²)	Ti*Api (°C*Km ²)	
1	0,0	20,6	1,431	2,440	1935,4	11,5	20,64	237,620	
2	20,6	41,3	2,440	2,811	2625,2	7,1	20,64	145,673	
3	41,3	61,9	2,811	3,096	2953,3	4,9	20,64	101,940	
4	61,9	82,6	3,096	3,302	3199,2	3,4	20,64	69,164	
5	82,6	103,2	3,302	3,445	3373,8	2,2	20,64	45,899	
6	103,2	123,8	3,445	3,550	3497,8	1,4	20,64	29,376	
7	123,8	144,5	3,550	3,651	3600,9	0,8	20,64	15,634	
8	144,5	165,1	3,651	3,746	3698,8	0,1	20,64	2,580	
9	165,1	185,8	3,746	3,868	3807,1	-0,6	20,64	-11,855	
10	185,8	206,4	3,868	4,200	4034,0	-2,0	20,64	-42,094	
							Σ	206,4	593,937

Tma (°C)	2,88
-----------------	------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.101 "Cálculo de la temperatura media anual de la subcuenca Río Choapa en Cuncumen".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Ti(°C)	Api (Km ²)	Ti*Api (°C*Km ²)
1	0,0	113,4	1,200	2,124	1662,0	13,3	113,35	1505,043
2	113,4	226,7	2,124	2,587	2355,5	8,8	113,35	997,415
3	226,7	340,1	2,587	2,906	2746,7	6,3	113,35	711,076
4	340,1	453,4	2,906	3,153	3029,6	4,4	113,35	503,995
5	453,4	566,8	3,153	3,306	3229,3	3,2	113,35	357,865
6	566,8	680,1	3,306	3,462	3383,8	2,2	113,35	244,738
7	680,1	793,5	3,462	3,575	3518,6	1,3	113,35	146,084
8	793,5	906,8	3,575	3,740	3657,7	0,4	113,35	44,285
9	906,8	1020,2	3,740	4,055	3897,3	-1,2	113,35	-131,161
10	1020,2	1133,5	4,055	4,800	4427,3	-4,6	113,35	-519,094
Σ							1133,5	3860,245

Tma (°C)	3,41
-----------------	------

Fuente: Elaboración propia.

d) Cuenca del río Aconcagua (Ligua – Petorca)

Tabla 2.102 "Cálculo de la temperatura media anual de la subcuenca Río Pedernal en Tejada".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Ti(°C)	Api (Km ²)	Ti*Api (°C*Km ²)
1	0,0	6,0	1,600	2,139	1869,4	11,9	6,01	71,579
2	6,0	12,0	2,139	2,265	2201,6	9,7	6,01	58,460
3	12,0	18,0	2,265	2,420	2342,3	8,8	6,01	52,908
4	18,0	24,0	2,420	2,542	2481,0	7,9	6,01	47,429
5	24,0	30,0	2,542	2,646	2593,9	7,2	6,01	42,973
6	30,0	36,0	2,646	2,733	2689,2	6,5	6,01	39,212
7	36,0	42,0	2,733	2,823	2777,6	5,9	6,01	35,719
8	42,0	48,1	2,823	2,923	2873,0	5,3	6,01	31,953
9	48,1	54,1	2,923	3,063	2993,4	4,5	6,01	27,199
10	54,1	60,1	3,063	3,400	3231,7	3,0	6,01	17,790
Σ							60,1	425,222

Tma (°C)	7,08
-----------------	------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.103 "Cálculo de la temperatura media anual de la subcuenca Río Sobrante en Piñadero".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Ti(°C)	Api (Km ²)	Ti*Api (°C*Km ²)
1	0,0	21,9	1,400	2,060	1730,0	12,8	21,86	280,535
2	21,9	43,7	2,060	2,276	2168,1	10,0	21,86	217,585
3	43,7	65,6	2,276	2,439	2357,5	8,7	21,86	190,376
4	65,6	87,4	2,439	2,568	2503,2	7,8	21,86	169,432
5	87,4	109,3	2,568	2,688	2627,9	6,9	21,86	151,519
6	109,3	131,2	2,688	2,812	2750,1	6,1	21,86	133,960
7	131,2	153,0	2,812	2,963	2887,5	5,2	21,86	114,210
8	153,0	174,9	2,963	3,125	3043,8	4,2	21,86	91,758
9	174,9	196,7	3,125	3,308	3216,3	3,1	21,86	66,967
10	196,7	218,6	3,308	3,600	3454,0	1,5	21,86	32,811
Σ							218,6	1449,153

Tma (°C)	6,63
-----------------	------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.104 "Cálculo de la temperatura media anual de la subcuenca Río Alicahue en Colliguay".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Ti(°C)	Api (Km ²)	Ti*Api (°C*Km ²)
1	0,0	34,3	0,780	1,559	1169,4	16,5	34,30	566,648
2	34,3	68,6	1,559	1,849	1703,9	13,0	34,30	446,108
3	68,6	102,9	1,849	2,070	1959,7	11,3	34,30	388,430
4	102,9	137,2	2,070	2,255	2162,7	10,0	34,30	342,658
5	137,2	171,5	2,255	2,448	2351,5	8,7	34,30	300,079
6	171,5	205,8	2,448	2,644	2546,1	7,5	34,30	256,201
7	205,8	240,1	2,644	2,808	2726,4	6,3	34,30	215,552
8	240,1	274,4	2,808	3,066	2937,4	4,9	34,30	167,982
9	274,4	308,7	3,066	3,343	3204,6	3,1	34,30	107,727
10	308,7	343,0	3,343	3,800	3571,5	0,7	34,30	25,001
Σ							343,0	2816,386

Tma (°C)	8,21
-----------------	------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.105 "Cálculo de la temperatura media anual de la subcuenca Río Putaendo en Resguardo los Patos".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Ti(°C)	Api (Km ²)	Ti*Api (°C*Km ²)
1	0,0	96,1	1,218	1,822	1520,0	14,2	96,13	1366,364
2	96,1	192,3	1,822	2,166	1993,9	11,1	96,13	1066,941
3	192,3	288,4	2,166	2,422	2293,7	9,1	96,13	877,459
4	288,4	384,5	2,422	2,662	2541,8	7,5	96,13	720,721
5	384,5	480,6	2,662	2,921	2791,5	5,9	96,13	562,910
6	480,6	576,8	2,921	3,133	3027,1	4,3	96,13	414,036
7	576,8	672,9	3,133	3,351	3241,9	2,9	96,13	278,281
8	672,9	769,0	3,351	3,591	3470,8	1,4	96,13	133,679
9	769,0	865,2	3,591	3,747	3669,1	0,1	96,13	8,378
10	865,2	961,3	3,747	4,400	4073,7	-2,6	96,13	-247,323
Σ							961,3	5181,446

Tma (°C)	5,39
-----------------	------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.106 "Cálculo de la temperatura media anual de la subcuenca Río Colorado en Colorado".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Ti(°C)	Api (Km ²)	Ti*Api (°C*Km ²)
1	0,0	84,9	1,100	2,265	1682,6	13,1	84,92	1116,302
2	84,9	169,8	2,265	2,652	2458,7	8,0	84,92	683,106
3	169,8	254,8	2,652	2,883	2767,7	6,0	84,92	510,578
4	254,8	339,7	2,883	3,054	2968,6	4,7	84,92	398,431
5	339,7	424,6	3,054	3,164	3109,0	3,8	84,92	320,055
6	424,6	509,5	3,164	3,262	3213,3	3,1	84,92	261,820
7	509,5	594,5	3,262	3,347	3304,9	2,5	84,92	210,696
8	594,5	679,4	3,347	3,500	3423,6	1,7	84,92	144,433
9	679,4	764,3	3,500	3,901	3700,6	-0,1	84,92	-10,191
10	764,3	849,2	3,901	4,800	4350,7	-4,4	84,92	-373,087
Σ							849,2	3262,146

Tma (°C)	3,84
-----------------	------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.107 "Cálculo de la temperatura media anual de la subcuenca Estero Pocuro en el Sifón".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	Ti(°C)	Api (Km ²)	Ti*Api (°C*Km ²)
1	0,0	17,1	1,000	1,348	1174,0	16,5	17,11	282,136
2	17,1	34,2	1,348	1,471	1409,4	14,9	17,11	255,660
3	34,2	51,3	1,471	1,568	1519,5	14,2	17,11	243,270
4	51,3	68,4	1,568	1,658	1613,3	13,6	17,11	232,725
5	68,4	85,6	1,658	1,746	1701,9	13,0	17,11	222,757
6	85,6	102,7	1,746	1,844	1794,8	12,4	17,11	212,313
7	102,7	119,8	1,844	1,974	1909,0	11,7	17,11	199,463
8	119,8	136,9	1,974	2,148	2061,1	10,7	17,11	182,351
9	136,9	154,0	2,148	2,470	2309,3	9,0	17,11	154,442
10	154,0	171,1	2,470	3,400	2935,1	4,9	17,11	84,045
						Σ	171,1	2069,162

Tma (°C)	12,09
-----------------	-------

Fuente: Elaboración propia.

2.2.7.4 Evapotranspiración medio anual (ETP).

Tabla 2.110 “Evapotranspiración potencial de la cuenca del río Huasco”.

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	ETP media anual (mm)
1	El Corral	1820	1602,0
2	San Félix	1150	1811,0
3	Tambos	1400	1711,0
4	Conay Reten	1450	1706,0
5	El Parral	1400	1689,0
6	Junta del Carmen	770	1804,0

Fuente: Elaboración propia en base a registros del visualizador de la ETP en Chile.

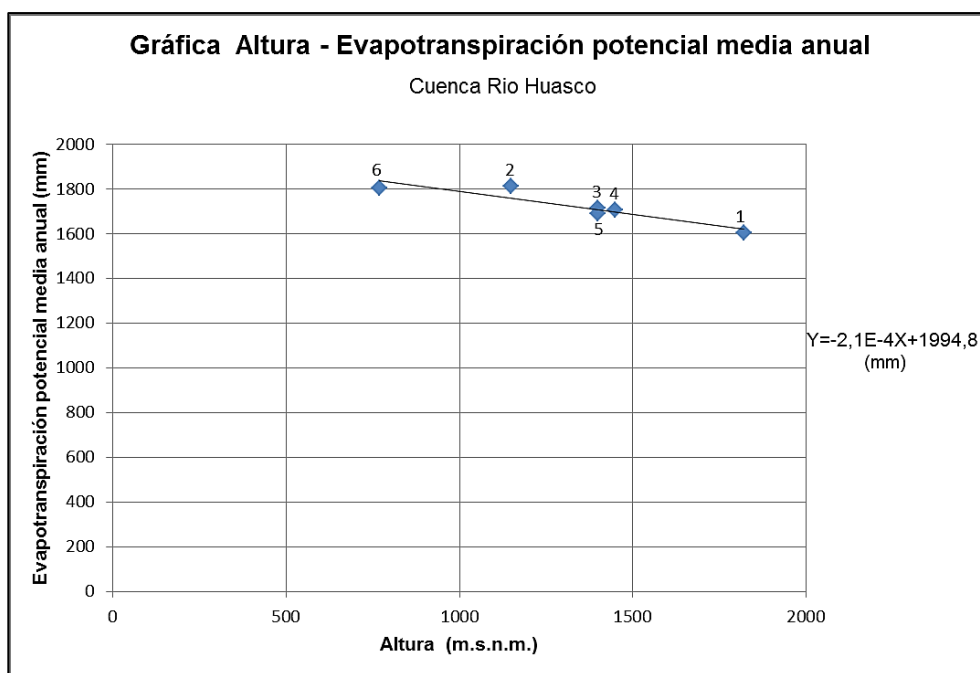


Figura 2.38 “Gráfica Altura – ETP media anual de la cuenca del río Huasco”

Tabla 2.111 “Evapotranspiración potencial de la cuenca del río Elqui”.

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	ETP media anual (mm)
1	Pisco Elqui	1250	1821,0
2	Fdo. Los Nichos	1330	1712,0
3	La Ortiga	1560	1599,0
4	Cochiguaz	1560	1576,0
5	La Laguna Embalse	3160	1292,0
6	Juntas	2150	1621,0
7	Hurtado	1100	1743,0
8	Rivadavia	820	1800,0
9	Huanta	1240	1762,0

Fuente: Elaboración propia en base a registros del visualizador de la ETP en Chile.

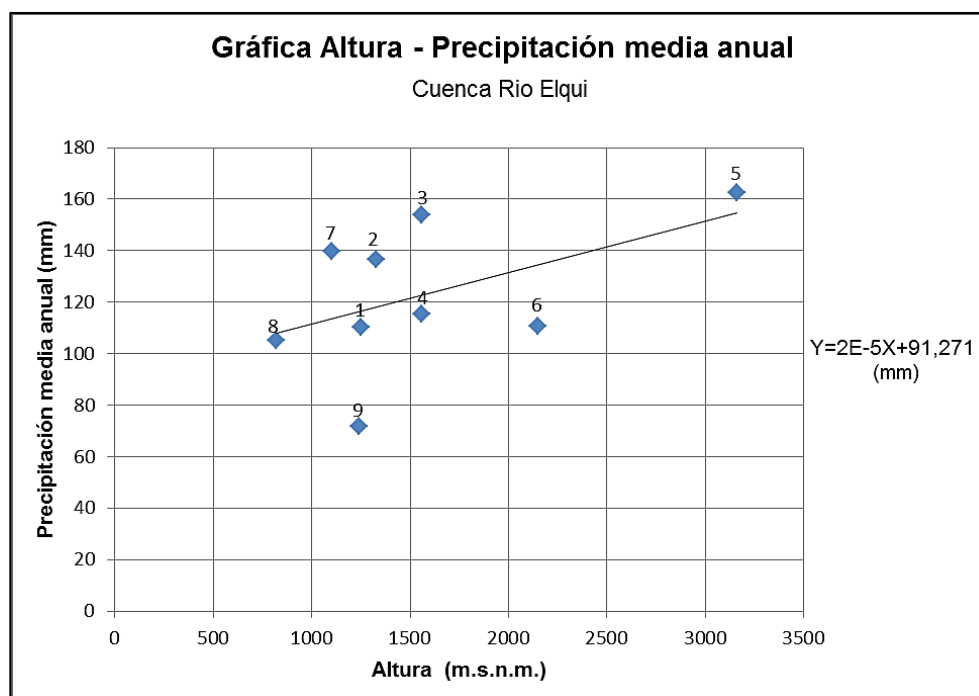


Figura 2.39 “Gráfica Altura – ETP media anual de la cuenca del río Elqui”

Tabla 2.112 “Evapotranspiración potencial de la cuenca del río Choapa”.

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	ETP media anual (mm)
1	Huintil Hda.	650	1247,0
2	Illapel DGA	290	1300,0
3	Hda. San Agustín	1250	1213,0
4	Salamanca	510	1299,0
5	Cuncumen	1100	1172,0
6	La Tranquilla	1000	1295,0
7	Coirón	840	1268,0
8	El Soldado	3290	899,0

Fuente: Elaboración propia en base a registros del visualizador de la ETP en Chile.

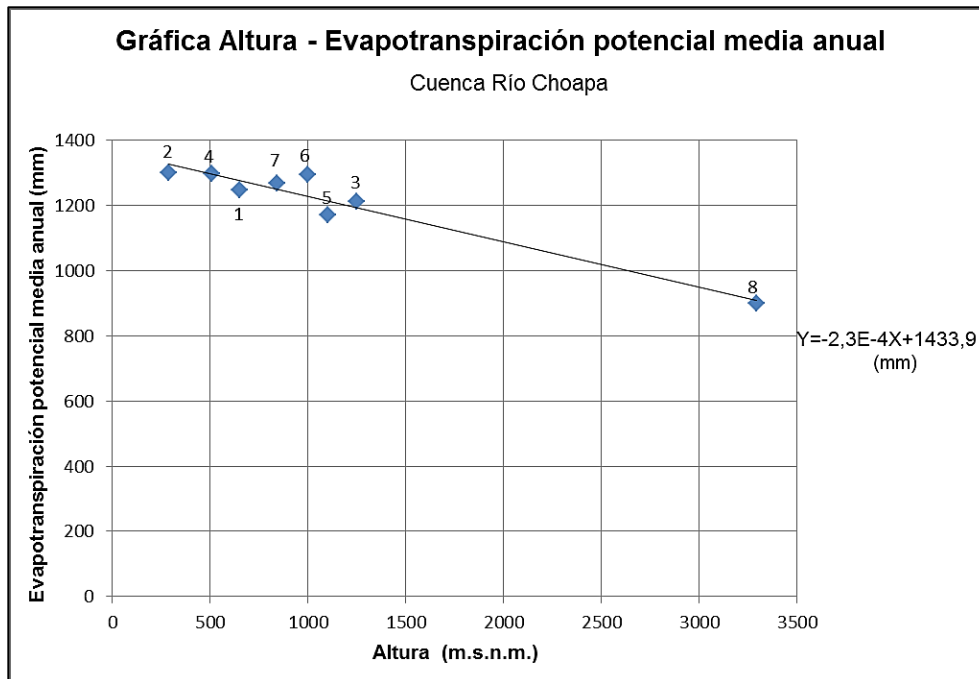


Figura 2.40 “Gráfica Altura – ETP media anual de la cuenca del río Choapa”

a) Cuenca del río Huasco.

Tabla 2.114 "Cálculo de la ETP media anual de la subcuenca Río Tránsito en Angostura Pinte".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	ETPi(m)	Api (Km ²)	ETPi*Api (m*Km ²)	
1	0,0	283,3	1,225	2,550	1887,463	1,6060	283,27	454,936	
2	283,3	566,5	2,550	3,035	2792,468	1,4196	283,27	402,122	
3	566,5	849,8	3,035	3,442	3238,463	1,3277	283,27	376,095	
4	849,8	1133,1	3,442	3,675	3558,240	1,2618	283,27	357,434	
5	1133,1	1416,4	3,675	3,814	3744,322	1,2235	283,27	346,575	
6	1416,4	1699,6	3,814	3,956	3884,900	1,1945	283,27	338,371	
7	1699,6	1982,9	3,956	4,071	4013,136	1,1681	283,27	330,887	
8	1982,9	2266,2	4,071	4,326	4198,481	1,1299	283,27	320,071	
9	2266,2	2549,5	4,326	4,674	4500,344	1,0677	283,27	302,455	
10	2549,5	2832,7	4,674	5,800	5237,140	0,9159	283,27	259,458	
Σ								2832,7	3488,404

ETPma (mm)	1231,47
-------------------	---------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.115 "Cálculo de la ETP media anual de la subcuenca Río Conay en las Lozas".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	ETPi (m)	Api (Km ²)	ETPi*Api (m*Km ²)	
1	0,0	181,5	1,560	2,874	2217,168	1,5381	181,50	279,155	
2	181,5	363,0	2,874	3,302	3088,110	1,3587	181,50	246,590	
3	363,0	544,5	3,302	3,583	3442,633	1,2856	181,50	233,334	
4	544,5	726,0	3,583	3,796	3689,583	1,2347	181,50	224,101	
5	726,0	907,5	3,796	3,866	3830,909	1,2056	181,50	218,817	
6	907,5	1089,0	3,866	4,052	3959,208	1,1792	181,50	214,019	
7	1089,0	1270,5	4,052	4,198	4124,978	1,1450	181,50	207,821	
8	1270,5	1452,0	4,198	4,436	4316,570	1,1056	181,50	200,658	
9	1452,0	1633,5	4,436	4,766	4600,640	1,0471	181,50	190,036	
10	1633,5	1815,0	4,766	5,800	5282,859	0,9065	181,50	164,528	
Σ								1815,0	2179,059

ETPma (mm)	1200,61
-------------------	---------

Fuente: Elaboración propia.

b) Cuenca del río Elqui.

Tabla 2.116 "Cálculo de la ETP media anual de la subcuenca Estero Derecho en Alcohuaz".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	ETPi (m)	Api (Km ²)	ETPi*Api (m*Km ²)
1	0,0	41,5	1,971	2,509	2239,831	1,5144	41,51	62,856
2	41,5	83,0	2,509	2,946	2727,228	1,4089	41,51	58,477
3	83,0	124,5	2,946	3,248	3096,675	1,3289	41,51	55,157
4	124,5	166,0	3,248	3,497	3372,180	1,2693	41,51	52,682
5	166,0	207,5	3,497	3,670	3583,523	1,2235	41,51	50,783
6	207,5	249,0	3,670	3,823	3746,411	1,1883	41,51	49,319
7	249,0	290,5	3,823	3,926	3874,461	1,1605	41,51	48,169
8	290,5	332,0	3,926	4,031	3978,843	1,1380	41,51	47,231
9	332,0	373,5	4,031	4,172	4101,902	1,1113	41,51	46,125
10	373,5	415,1	4,172	5,400	4786,231	0,9632	41,51	39,977
						Σ	415,1	510,775

ETPma (mm)	1230,63
-------------------	---------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.117 "Cálculo de la ETP media anual de la subcuenca Río Cochiguaz en el Peñón".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	ETPi (m)	Api (Km ²)	ETPi*Api (m*Km ²)
1	0,0	59,5	1,360	2,692	2026,116	1,5607	59,47	92,806
2	59,5	118,9	2,692	3,066	2878,925	1,3761	59,47	81,828
3	118,9	178,4	3,066	3,355	3210,389	1,3043	59,47	77,561
4	178,4	237,9	3,355	3,598	3476,366	1,2467	59,47	74,137
5	237,9	297,3	3,598	3,766	3682,027	1,2022	59,47	71,489
6	297,3	356,8	3,766	3,887	3826,813	1,1709	59,47	69,626
7	356,8	416,3	3,887	3,988	3937,691	1,1469	59,47	68,198
8	416,3	475,7	3,988	4,084	4035,949	1,1256	59,47	66,933
9	475,7	535,2	4,084	4,298	4190,864	1,0921	59,47	64,939
10	535,2	594,7	4,298	4,800	4549,034	1,0145	59,47	60,329
						Σ	594,7	727,845

ETPma (mm)	1223,98
-------------------	---------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.118 "Cálculo de la ETP media anual de la subcuenca Río Toro antes junta Río la Laguna".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	ETPi (m)	Api (Km ²)	ETPi*Api (m*Km ²)
1	0,0	42,4	2,091	3,114	2602,469	1,4359	42,40	60,879
2	42,4	84,8	3,114	3,466	3290,003	1,2871	42,40	54,569
3	84,8	127,2	3,466	3,712	3589,147	1,2223	42,40	51,823
4	127,2	169,6	3,712	3,915	3813,451	1,1738	42,40	49,764
5	169,6	212,0	3,915	4,088	4001,568	1,1330	42,40	48,038
6	212,0	254,4	4,088	4,226	4157,251	1,0993	42,40	46,609
7	254,4	296,8	4,226	4,341	4283,279	1,0720	42,40	45,452
8	296,8	339,2	4,341	4,487	4413,861	1,0438	42,40	44,254
9	339,2	381,6	4,487	4,699	4593,201	1,0050	42,40	42,608
10	381,6	424,0	4,699	6,000	5349,598	0,8412	42,40	35,666
						Σ	424,0	479,661

ETPma (mm)	1131,34
-------------------	---------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.119 "Cálculo de la ETP media anual de la subcuenca Embalse Laguna".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	ETPi (m)	Api (Km ²)	ETPi*Api (m*Km ²)
1	0,0	52,2	3,130	3,651	3390,301	1,2654	52,19	66,041
2	52,2	104,4	3,651	3,861	3755,666	1,1863	52,19	61,913
3	104,4	156,6	3,861	4,026	3943,577	1,1456	52,19	59,790
4	156,6	208,8	4,026	4,146	4086,446	1,1147	52,19	58,176
5	208,8	261,0	4,146	4,268	4207,391	1,0885	52,19	56,810
6	261,0	313,2	4,268	4,378	4323,118	1,0634	52,19	55,502
7	313,2	365,3	4,378	4,503	4440,293	1,0381	52,19	54,178
8	365,3	417,5	4,503	4,720	4611,497	1,0010	52,19	52,244
9	417,5	469,7	4,720	5,005	4862,789	0,9466	52,19	49,405
10	469,7	521,9	5,005	6,200	5602,625	0,7864	52,19	41,046
						Σ	521,9	555,106

ETPma (mm)	1063,58
-------------------	---------

Fuente: Elaboración propia.

c) Cuenca del río Choapa.

Tabla 2.120 "Cálculo de la ETP media anual de la subcuenca Río Illapel en las Burras".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	ETPi (m)	Api (Km ²)	ETPi*Api (m*Km ²)
1	0,0	61,8	1,079	2,223	1650,750	1,0595	61,84	65,521
2	61,8	123,7	2,223	2,682	2452,359	0,8778	61,84	54,280
3	123,7	185,5	2,682	2,938	2810,212	0,7966	61,84	49,262
4	185,5	247,4	2,938	3,122	3030,199	0,7467	61,84	46,178
5	247,4	309,2	3,122	3,274	3197,947	0,7087	61,84	43,825
6	309,2	371,0	3,274	3,409	3341,478	0,6762	61,84	41,813
7	371,0	432,9	3,409	3,514	3461,815	0,6489	61,84	40,125
8	432,9	494,7	3,514	3,591	3552,911	0,6282	61,84	38,848
9	494,7	556,5	3,591	3,709	3650,191	0,6062	61,84	37,484
10	556,5	618,4	3,709	4,200	3954,469	0,5372	61,84	33,217
						Σ	618,4	450,553

ETPma (mm)	728,60
-------------------	--------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.121 "Cálculo de la ETP media anual de la subcuenca Río Chalinga en la Palmilla".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	ETPi (m)	Api (Km ²)	ETPi*Api (m*Km ²)
1	0,0	20,6	1,431	2,440	1935,415	0,9950	20,64	20,537
2	20,6	41,3	2,440	2,811	2625,243	0,8386	20,64	17,308
3	41,3	61,9	2,811	3,096	2953,346	0,7642	20,64	15,773
4	61,9	82,6	3,096	3,302	3199,248	0,7084	20,64	14,622
5	82,6	103,2	3,302	3,445	3373,794	0,6688	20,64	13,805
6	103,2	123,8	3,445	3,550	3497,762	0,6407	20,64	13,225
7	123,8	144,5	3,550	3,651	3600,857	0,6173	20,64	12,742
8	144,5	165,1	3,651	3,746	3698,792	0,5951	20,64	12,284
9	165,1	185,8	3,746	3,868	3807,096	0,5706	20,64	11,777
10	185,8	206,4	3,868	4,200	4033,963	0,5191	20,64	10,715
						Σ	206,4	142,788

ETPma (mm)	691,79
-------------------	--------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.122 "Cálculo de la ETP media anual de la subcuenca Río Choapa en Cuncumen".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	ETPi (m)	Api (Km ²)	ETPi*Api (m*Km ²)
1	0,0	113,4	1,200	2,124	1662,036	1,0570	113,35	119,810
2	113,4	226,7	2,124	2,587	2355,533	0,8997	113,35	101,985
3	226,7	340,1	2,587	2,906	2746,714	0,8110	113,35	91,930
4	340,1	453,4	2,906	3,153	3029,619	0,7469	113,35	84,659
5	453,4	566,8	3,153	3,306	3229,254	0,7016	113,35	79,528
6	566,8	680,1	3,306	3,462	3383,803	0,6666	113,35	75,555
7	680,1	793,5	3,462	3,575	3518,578	0,6360	113,35	72,091
8	793,5	906,8	3,575	3,740	3657,652	0,6045	113,35	68,516
9	906,8	1020,2	3,740	4,055	3897,338	0,5501	113,35	62,356
10	1020,2	1133,5	4,055	4,800	4427,313	0,4299	113,35	48,734
						Σ	1133,5	805,164

ETPma (mm)	710,33
-------------------	--------

Fuente: Elaboración propia.

d) Cuenca del río Aconcagua (Ligua-Petorca).

Tabla 2.123 "Cálculo de la ETP media anual de la subcuenca Río Pedernal en Tejada".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	ETPi (m)	Api (Km ²)	ETPi*Api (m*Km ²)
1	0,0	6,0	1,600	2,139	1869,357	0,786	6,01	4,718
2	6,0	12,0	2,139	2,265	2201,639	0,625	6,01	3,752
3	12,0	18,0	2,265	2,420	2342,276	0,557	6,01	3,343
4	18,0	24,0	2,420	2,542	2481,036	0,489	6,01	2,939
5	24,0	30,0	2,542	2,646	2593,900	0,435	6,01	2,611
6	30,0	36,0	2,646	2,733	2689,177	0,389	6,01	2,334
7	36,0	42,0	2,733	2,823	2777,643	0,346	6,01	2,076
8	42,0	48,1	2,823	2,923	2873,022	0,300	6,01	1,799
9	48,1	54,1	2,923	3,063	2993,440	0,241	6,01	1,449
10	54,1	60,1	3,063	3,400	3231,742	0,126	6,01	0,756
Σ							60,1	25,775

ETPma (mm)	429,14
-------------------	--------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.124 "Cálculo de la ETP media anual de la subcuenca Río Sobrante en Piñadero".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	ETPi (m)	Api (Km ²)	ETPi*Api (m*Km ²)
1	0,0	21,9	1,400	2,060	1730,000	0,853	21,86	18,646
2	21,9	43,7	2,060	2,276	2168,092	0,641	21,86	14,009
3	43,7	65,6	2,276	2,439	2357,451	0,549	21,86	12,005
4	65,6	87,4	2,439	2,568	2503,204	0,479	21,86	10,462
5	87,4	109,3	2,568	2,688	2627,867	0,418	21,86	9,142
6	109,3	131,2	2,688	2,812	2750,069	0,359	21,86	7,849
7	131,2	153,0	2,812	2,963	2887,511	0,292	21,86	6,394
8	153,0	174,9	2,963	3,125	3043,763	0,217	21,86	4,740
9	174,9	196,7	3,125	3,308	3216,294	0,133	21,86	2,914
10	196,7	218,6	3,308	3,600	3453,994	0,018	21,86	0,398
Σ							218,6	86,558

ETPma (mm)	395,97
-------------------	--------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.125 "Cálculo de la ETP media anual de la subcuenca Río Alicahue en Colliguay".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	ETPi (m)	Api (Km ²)	ETPi*Api (m*Km ²)	
1	0,0	34,3	0,780	1,559	1169,355	1,124	34,30	38,573	
2	34,3	68,6	1,559	1,849	1703,929	0,866	34,30	29,693	
3	68,6	102,9	1,849	2,070	1959,718	0,742	34,30	25,445	
4	102,9	137,2	2,070	2,255	2162,710	0,643	34,30	22,073	
5	137,2	171,5	2,255	2,448	2351,539	0,552	34,30	18,936	
6	171,5	205,8	2,448	2,644	2546,133	0,458	34,30	15,704	
7	205,8	240,1	2,644	2,808	2726,405	0,371	34,30	12,710	
8	240,1	274,4	2,808	3,066	2937,368	0,268	34,30	9,205	
9	274,4	308,7	3,066	3,343	3204,590	0,139	34,30	4,767	
10	308,7	343,0	3,343	3,800	3571,467	-0,039	34,30	-1,327	
Σ								343,0	175,779

ETPma (mm)	512,42
-------------------	--------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.126 "Cálculo de la ETP media anual de la subcuenca Río Putaendo en Resg. Los Patos".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	ETPi (m)	Api (Km ²)	ETPi*Api (m*Km ²)	
1	0,0	96,1	1,218	1,822	1520,003	0,955	96,13	91,772	
2	96,1	192,3	1,822	2,166	1993,854	0,725	96,13	69,716	
3	192,3	288,4	2,166	2,422	2293,718	0,580	96,13	55,757	
4	288,4	384,5	2,422	2,662	2541,764	0,460	96,13	44,211	
5	384,5	480,6	2,662	2,921	2791,507	0,339	96,13	32,586	
6	480,6	576,8	2,921	3,133	3027,109	0,225	96,13	21,619	
7	576,8	672,9	3,133	3,351	3241,947	0,121	96,13	11,619	
8	672,9	769,0	3,351	3,591	3470,787	0,010	96,13	0,967	
9	769,0	865,2	3,591	3,747	3669,081	-0,086	96,13	-8,263	
10	865,2	961,3	3,747	4,400	4073,741	-0,282	96,13	-27,099	
Σ								961,3	292,886

ETPma (mm)	304,68
-------------------	--------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.127 "Cálculo de la ETP media anual de la subcuenca Río Colorado en Colorado".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	ETPi (m)	Api (Km ²)	ETPi*Api (m*Km ²)	
1	0,0	84,9	1,100	2,265	1682,646	0,876	84,92	74,387	
2	84,9	169,8	2,265	2,652	2458,653	0,500	84,92	42,476	
3	169,8	254,8	2,652	2,883	2767,713	0,351	84,92	29,766	
4	254,8	339,7	2,883	3,054	2968,608	0,253	84,92	21,505	
5	339,7	424,6	3,054	3,164	3109,007	0,185	84,92	15,732	
6	424,6	509,5	3,164	3,262	3213,327	0,135	84,92	11,442	
7	509,5	594,5	3,262	3,347	3304,908	0,090	84,92	7,676	
8	594,5	679,4	3,347	3,500	3423,608	0,033	84,92	2,794	
9	679,4	764,3	3,500	3,901	3700,595	-0,101	84,92	-8,596	
10	764,3	849,2	3,901	4,800	4350,672	-0,416	84,92	-35,328	
Σ								849,2	161,853

ETPma (mm)	190,58
-------------------	--------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2.128 "Cálculo de la ETP media anual de la subcuenca Estero Pocuro en el Sifón".

Intervalo	Área (Km ²)		Altura (Km)		Altura media (m)	ETPi (m)	Api (Km ²)	ETPi*Api (m*Km ²)	
1	0,0	17,1	1,000	1,348	1174,002	1,122	17,11	19,203	
2	17,1	34,2	1,348	1,471	1409,387	1,008	17,11	17,252	
3	34,2	51,3	1,471	1,568	1519,537	0,955	17,11	16,340	
4	51,3	68,4	1,568	1,658	1613,289	0,910	17,11	15,563	
5	68,4	85,6	1,658	1,746	1701,907	0,867	17,11	14,829	
6	85,6	102,7	1,746	1,844	1794,760	0,822	17,11	14,059	
7	102,7	119,8	1,844	1,974	1909,003	0,766	17,11	13,113	
8	119,8	136,9	1,974	2,148	2061,142	0,693	17,11	11,852	
9	136,9	154,0	2,148	2,470	2309,265	0,572	17,11	9,796	
10	154,0	171,1	2,470	3,400	2935,136	0,269	17,11	4,610	
Σ								171,1	136,617

ETPma (mm)	798,40
-------------------	--------

Fuente: Elaboración propia.

Anexos 2

“Etapa 2”

Tabla 2.133 "Cálculo de escorrentía media anual a través del modelo precipitación-escorrentía de Turc"

Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	A(Km ²)	Q ma(m ³ /s)	E(Qma) (mm)	Pma (mm)	Tma (°C)	L	P/L	D (mm)	Es(mm)
1	Río Tránsito en Angostura Pinte	1225	2832,7	4,03	44,88	99,44	6,76	484,58	0,21	102,45	-3,009
2	Río Conay en las Lozas	1560	1815,0	2,14	37,20	100,71	5,52	446,40	0,23	103,28	-2,567
3	Estero Derecho en Alcohuaz	1971	415,1	1,35	102,60	160,89	1,08	327,09	0,49	150,56	10,330
4	Río Cochiguaz en el Peñon	1360	594,7	2,96	157,12	161,73	0,88	322,11	0,50	150,68	11,053
5	Río Toro antes junta Río la Laguna	2091	424,0	0,70	52,19	166,27	-1,88	252,65	0,66	144,00	22,262
6	Embalse Laguna	3130	521,9	2,27	137,42	169,88	-3,90	199,48	0,85	133,25	36,622
7	Río Illapel en las Burras	1079	618,4	2,81	143,18	438,30	3,93	401,17	1,09	302,91	135,387
8	Río Chalinga en la Palmilla	1431	206,4	1,06	161,44	450,96	2,88	373,13	1,21	293,51	157,451
9	Río Choapa en Cuncumen	1200	1133,5	10,17	282,91	441,31	3,41	387,11	1,14	297,56	143,752
10	Río Pedernal en Tejada	1600	60,1	0,39	204,48	841,73	7,08	494,73	1,70	432,10	409,635
11	Río Sobrante en Piñadero	1400	218,6	1,15	166,26	863,86	6,63	480,30	1,80	424,83	439,036
12	Río Alicahue en Colliguay	780	343,0	1,49	137,09	786,17	8,21	532,93	1,48	448,24	337,935
13	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	1218	961,3	8,49	278,59	922,38	5,39	442,58	2,08	402,81	519,566
14	Río Juncal en Juncal	1800	225,2	6,02	842,71	1060,73	2,21	355,72	2,98	338,98	721,750
15	Río Colorado en Colorado	1100	849,2	6,60	244,97	989,54	3,84	398,86	2,48	372,56	616,987
16	Estero Pocuro en el Sifón	1000	171,1	0,98	181,08	595,41	12,09	690,72	0,86	464,50	130,907

Fuente: Elaboración propia en base a información proveniente de la Tabla 2.130.

Tabla 2.136 "Cálculo de escorrentía media anual a través del modelo precipitación-escorrentía de Coutagne"

Cuenca	Código	Estación	A(Km ²)	E(Qma) (mm)	Pma (mm)	Tma (°C)	1/8*λ	1/2*λ	Caso	D(mm)	Es(mm)
Río Huasco	1	Río Tránsito en Angostura Pinte	2832,73	44,88	99,44	6,76	218,37	873,49	2	99,44	0,00
	2	Río Conay en las Lozas	1814,96	37,20	100,71	5,52	196,59	786,37	2	100,71	0,00
Río Elqui	3	Estero Derecho en Alcohuaz	415,05	102,60	160,89	1,08	118,92	475,68	1	133,68	27,21
	4	Río Cochiguaz en el Peñon	594,65	157,12	161,73	0,88	115,45	461,81	1	133,41	28,32
	5	Río Toro antes junta Río la Laguna	423,98	52,19	166,27	-1,88	67,09	268,35	1	114,76	51,51
	6	Embalse Laguna	521,92	137,42	169,88	-3,90	31,72	126,87	3	63,43	106,44
Río Choapa	7	Río Illapel en las Burras	618,38	143,18	438,30	3,93	168,70	674,80	1	295,96	142,34
	8	Río Chalinga en la Palmilla	206,40	161,44	450,96	2,88	150,36	601,43	1	281,89	169,07
	9	Río Choapa en Cuncumen	1133,51	282,91	441,31	3,41	159,60	638,39	1	288,77	152,54
Río Aconcagua (Ligua-Petorca)	10	Río Pedernal en Tejada	60,06	204,48	841,73	7,08	223,89	895,57	1	446,17	395,57
	11	Río Sobrante en Piñadero	218,60	166,26	863,86	6,63	216,01	864,05	1	432,03	431,84
	12	Río Alicahue en Colliguay	343,03	137,09	786,17	8,21	243,68	974,72	1	469,12	317,05
	13	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	961,30	278,59	922,38	5,39	194,33	777,30	3	388,65	533,72
	14	Río Juncal en Juncal	225,21	842,71	1060,73	2,21	138,63	554,51	3	277,25	783,47
	15	Río Colorado en Colorado	849,24	244,97	989,54	3,84	167,22	668,89	3	334,44	655,10
	16	Estero Pocuro en el Sifón	171,11	181,08	595,41	12,09	311,62	1246,46	1	453,20	142,21

Fuente: Elaboración propia en base a información proveniente de la Tabla 2.130.

Tabla 2.139 “Cálculo de escorrentía media anual a través del modelo precipitación-escorrentía de Turc-Pike”

Cuenca	Código	Estación	Altura (m.s.n.m.)	A(Km ²)	Q ma (m ³ /s)	E (Qma) (mm)	Pma (mm)	Tma (°C)	ETPma (mm)	D (mm)	Es (mm)
Río Huasco	1	Río Tránsito en Angostura Pinte	1225	2832,7	4,03	44,88	99,44	6,76	1231,47	99,12	0,32
	2	Río Conay en las Lozas	1560	1815,0	2,14	37,20	100,71	5,52	1200,61	100,36	0,35
Río Elqui	3	Estero Derecho en Alcohuaz	1971	415,1	1,35	102,60	160,89	1,08	1230,63	159,53	1,36
	4	Río Cochiguaz en el Peñón	1360	594,7	2,96	157,12	161,73	0,88	1223,98	160,34	1,39
	5	Río Toro antes junta Río la Laguna	2091	424,0	0,70	52,19	166,27	-1,88	1131,34	164,50	1,77
	6	Embalse Laguna	3130	521,9	2,27	137,42	169,88	-3,90	1063,58	167,75	2,13
Río Choapa	7	Río Illapel en las Burras	1079	618,4	2,81	143,18	438,30	3,93	728,60	375,58	62,72
	8	Río Chalinga en la Palmilla	1431	206,4	1,06	161,44	450,96	2,88	691,79	377,78	73,18
	9	Río Choapa en Cuncumen	1200	1133,5	10,17	282,91	441,31	3,41	710,33	374,86	66,45
Río Aconcagua (Ligua-Petorca)	10	Río Pedernal en Tejada	1600	60,1	0,39	204,48	841,73	7,08	429,14	382,32	459,42
	11	Río Sobrante en Piñadero	1400	218,6	1,15	166,26	863,86	6,63	395,97	359,96	503,91
	12	Río Alicahue en Colliguay	780	343,0	1,49	137,09	786,17	8,21	512,42	429,29	356,89
	13	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	1218	961,3	8,49	278,59	922,38	5,39	304,68	289,30	633,07
	14	Río Juncal en Juncal	1800	225,2	6,02	842,71	1060,73	2,21	70,22	70,06	990,66
	15	Río Colorado en Colorado	1100	849,2	6,60	244,97	989,54	3,84	190,58	187,15	802,40
	16	Estero Pocuro en el Sifón	1000	171,1	0,98	181,08	595,41	12,09	798,40	477,30	118,11

Fuente: Elaboración propia en base a información proveniente de la Tabla 2.130.

Tabla 2.141 "Cálculo de escorrentía media anual a través del modelo precipitación-escorrentía de Pizarro"

Cuenca	Código	Estación	E(Qma) (mm)	Pma (mm)	Tma (°C)	ETPma (mm)	P/ETP	D (mm)	Es(mm)	Error relativo (%)
Río Huasco	1	Río Tránsito en Angostura Pinte	44,88	99,44	6,76	1231,47	0,08	7,71	91,730	104
	2	Río Conay en las Lozas	37,20	100,71	5,52	1200,61	0,08	8,10	92,609	149
Río Elqui	3	Estero Derecho en Alcohuaz	102,60	160,89	1,08	1230,63	0,13	19,72	141,169	38
	4	Río Cochiguaz en el Peñón	157,12	161,73	0,88	1223,98	0,13	20,02	141,711	10
	5	Río Toro antes junta Río la Laguna	52,19	166,27	-1,88	1131,34	0,15	22,72	143,542	175
	6	Embalse Laguna	137,42	169,88	-3,90	1063,58	0,16	25,08	144,799	5
Río Choapa	7	Río Illapel en las Burras	143,18	438,30	3,93	728,60	0,60	198,13	240,167	68
	8	Río Chalinga en la Palmilla	161,44	450,96	2,88	691,79	0,65	215,98	234,981	46
	9	Río Choapa en Cuncumen	282,91	441,31	3,41	710,33	0,62	204,21	237,098	16
Río Aconcagua (Ligua- Putando)	10	Río Pedernal en Tejada	204,48	841,73	7,08	429,14	1,96	723,34	118,393	42
	11	Río Sobrante en Piñadero	166,26	863,86	6,63	395,97	2,18	766,37	97,492	41
	12	Río Alicahue en Colliguay	137,09	786,17	8,21	512,42	1,53	616,66	169,517	24
	13	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	278,59	922,38	5,39	304,68	3,03	877,69	44,682	84
	14	Río Juncal en Juncal	842,71	1060,73	2,21	70,22	15,11	1060,73	0,000	100
	15	Río Colorado en Colorado	244,97	989,54	3,84	190,58	5,19	984,04	5,502	98
	16	Estero Pocuro en el Sifón	181,08	595,41	12,09	798,40	0,75	312,96	282,447	56

Fuente: Elaboración propia en base a información proveniente de la Tabla 2.130.

$$E_S = P * e^{\left(\frac{-P}{ETP}\right)} \text{ (mm)}$$

Anexos 3

“Etapa 3”

Tabla 2.142 "Error cuadrático del modelo de precipitación-escorrentía de Turc"

Código	Subcuenca	Pma (mm)	E(Qma) (mm)	Es (mm)	(P(Qma)-Es) ²
1	Río Tránsito en Angostura Pinte	99,44	44,88	-3,01	2293
2	Río Conay en las Lozas	100,71	37,20	-2,57	1582
3	Estero Derecho en Alcohuz	160,89	102,60	10,33	8514
4	Río Cochiguaz en el Peñón	161,73	157,12	11,05	21335
5	Río Toro antes junta Río la Laguna	166,27	52,19	22,26	896
6	Embalse Laguna	169,88	137,42	36,62	10161
7	Río Illapel en las Burras	438,30	143,18	135,39	61
8	Río Chalinga en la Palmilla	450,96	161,44	157,45	16
9	Río Choapa en Cuncumen	441,31	282,91	143,75	19365
10	Río Pedernal en Tejada	841,73	204,48	409,64	42088
11	Río Sobrante en Piñadero	863,86	166,26	439,04	74405
12	Río Alicahue en Colliguay	786,17	137,09	337,93	40339
13	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	922,38	278,59	519,57	58068
14	Río Juncal en Juncal	1060,73	842,71	721,75	14631
15	Río Colorado en Colorado	989,54	244,97	616,99	138396
16	Estero Pocuro en el Sifón	595,41	181,08	130,91	2518
$\Sigma(P(Qma)-Es)^2$					434667

Fuente: Elaboración propia en base a registros obtenidos en la Etapa 2.

Tabla 2.143 "Error cuadrático del ajuste del modelo de precipitación-escorrentía de Turc"

Código	Subcuenca	Pma (mm)	E(Qma) (mm)	Es (mm)	(P(Qma)-Es) ²
1	Río Tránsito en Angostura Pinte	99,44	44,88	24,50	415
2	Río Conay en las Lozas	100,71	37,20	24,81	153
3	Estero Derecho en Alcohuz	160,89	102,60	104,66	4
4	Río Cochiguaz en el Peñón	161,73	157,12	115,90	1699
5	Río Toro antes junta Río la Laguna	166,27	52,19	103,98	2683
6	Embalse Laguna	169,88	137,42	136,40	1
7	Río Illapel en las Burras	438,30	143,18	113,56	877
8	Río Chalinga en la Palmilla	450,96	161,44	161,70	0
9	Río Choapa en Cuncumen	441,31	282,91	125,26	24855
10	Río Pedernal en Tejada	841,73	204,48	207,58	10
11	Río Sobrante en Piñadero	863,86	166,26	213,27	2210
12	Río Alicahue en Colliguay	786,17	137,09	193,71	3205
13	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	922,38	278,59	230,85	2279
14	Río Juncal en Juncal	1060,73	842,71	828,04	215
15	Río Colorado en Colorado	989,54	244,97	311,82	4469
16	Estero Pocuro en el Sifón	595,41	181,08	146,66	1185
$\Sigma(P(Qma)-Es)^2$					44262

Fuente: Elaboración propia en base a registros obtenidos en la Etapa 2.

Tabla 2.145 "Error cuadrático del modelo de precipitación-escorrentía de Coutagne"

Código	Subcuenca	Pma (mm)	E(Qma) (mm)	Es (mm)	(P(Qma)-Es) ²
1	Río Tránsito en Angostura Pinte	99,44	44,88	5,66	1538
2	Río Conay en las Lozas	100,71	37,20	6,45	946
3	Estero Derecho en Alcohuz	160,89	102,60	27,21	5684
4	Río Cochiguaz en el Peñón	161,73	157,12	28,32	16589
5	Río Toro antes junta Río la Laguna	166,27	52,19	51,51	0
6	Embalse Laguna	169,88	137,42	113,73	561
7	Río Illapel en las Burras	438,30	143,18	142,34	1
8	Río Chalinga en la Palmilla	450,96	161,44	169,07	58
9	Río Choapa en Cuncumen	441,31	282,91	152,54	16998
10	Río Pedernal en Tejada	841,73	204,48	395,57	36513
11	Río Sobrante en Piñadero	863,86	166,26	431,84	70528
12	Río Alicahue en Colliguay	786,17	137,09	317,05	32386
13	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	922,38	278,59	547,26	72183
14	Río Juncal en Juncal	1060,73	842,71	1014,54	29527
15	Río Colorado en Colorado	989,54	244,97	731,96	237157
16	Estero Pocuro en el Sifón	595,41	181,08	142,21	1511
$\Sigma(P(Qma)-Es)^2$					522182

Fuente: Elaboración propia en base a registros obtenidos en la Etapa 2.

Tabla 2.146 "Error cuadrático del ajuste del modelo de precipitación-escorrentía de Coutagne"

Código	Subcuenca	Pma (mm)	E(Qma) (mm)	Es (mm)	(P(Qma)-Es) ²
1	Río Tránsito en Angostura Pinte	99,44	44,88	21,20	560
2	Río Conay en las Lozas	100,71	37,20	21,71	240
3	Estero Derecho en Alcohuz	160,89	102,60	101,51	1
4	Río Cochiguaz en el Peñón	161,73	157,12	140,51	276
5	Río Toro antes junta Río la Laguna	166,27	52,19	88,35	1307
6	Embalse Laguna	169,88	137,42	118,13	372
7	Río Illapel en las Burras	438,30	143,18	116,95	688
8	Río Chalinga en la Palmilla	450,96	161,44	150,96	110
9	Río Choapa en Cuncumen	441,31	282,91	128,50	23843
10	Río Pedernal en Tejada	841,73	204,48	197,17	54
11	Río Sobrante en Piñadero	863,86	166,26	206,93	1654
12	Río Alicahue en Colliguay	786,17	137,09	177,13	1603
13	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	922,38	278,59	243,35	1242
14	Río Juncal en Juncal	1060,73	842,71	806,47	1313
15	Río Colorado en Colorado	989,54	244,97	341,79	9373
16	Estero Pocuro en el Sifón	595,41	181,08	127,46	2875
$\Sigma(P(Qma)-Es)^2$					45512

Fuente: Elaboración propia en base a registros obtenidos en la Etapa 2.

Tabla 2.148 "Error cuadrático del modelo de precipitación-escorrentía de Turc-Pike"

Código	Subcuenca	Pma (mm)	E(Qma) (mm)	Es (mm)	(P(Qma)-Es) ²
1	Río Tránsito en Angostura Pinte	99,44	44,88	0,32	1985
2	Río Conay en las Lozas	100,71	37,20	0,35	1358
3	Estero Derecho en Alcohuz	160,89	102,60	1,36	10250
4	Río Cochiguaz en el Peñón	161,73	157,12	1,39	24250
5	Río Toro antes junta Río la Laguna	166,27	52,19	1,77	2542
6	Embalse Laguna	169,88	137,42	2,13	18306
7	Río Illapel en las Burras	438,30	143,18	62,72	6473
8	Río Chalinga en la Palmilla	450,96	161,44	73,18	7790
9	Río Choapa en Cuncumen	441,31	282,91	66,45	46854
10	Río Pedernal en Tejada	841,73	204,48	459,42	64992
11	Río Sobrante en Piñadero	863,86	166,26	503,91	114002
12	Río Alicahue en Colliguay	786,17	137,09	356,89	48311
13	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	922,38	278,59	633,07	125656
14	Río Juncal en Juncal	1060,73	842,71	990,66	21890
15	Río Colorado en Colorado	989,54	244,97	802,40	310724
16	Estero Pocuro en el Sifón	595,41	181,08	118,11	3966
$\Sigma(P(Qma)-Es)^2$					809350

Fuente: Elaboración propia en base a registros obtenidos en la Etapa 2.

Tabla 2.149 "Error cuadrático del ajuste del modelo de precipitación-escorrentía de Turc-Pike"

Código	Subcuenca	Pma (mm)	E(Qma) (mm)	Es (mm)	(P(Qma)-Es) ²
1	Río Tránsito en Angostura Pinte	99,44	44,88	24,07	433
2	Río Conay en las Lozas	100,71	37,20	24,37	165
3	Estero Derecho en Alcohuz	160,89	102,60	38,93	4053
4	Río Cochiguaz en el Peñón	161,73	157,12	39,14	13919
5	Río Toro antes junta Río la Laguna	166,27	52,19	40,24	143
6	Embalse Laguna	169,88	137,42	41,11	9277
7	Río Illapel en las Burras	438,30	143,18	106,07	1377
8	Río Chalinga en la Palmilla	450,96	161,44	109,13	2736
9	Río Choapa en Cuncumen	441,31	282,91	106,80	31016
10	Río Pedernal en Tejada	841,73	204,48	203,83	0
11	Río Sobrante en Piñadero	863,86	166,26	209,27	1850
12	Río Alicahue en Colliguay	786,17	137,09	190,29	2830
13	Río Putaendo en Resguardo Los Patos	922,38	278,59	224,48	2928
14	Río Juncal en Juncal	1060,73	842,71	858,72	256
15	Río Colorado en Colorado	989,54	244,97	262,46	306
16	Estero Pocuro en el Sifón	595,41	181,08	144,09	1368
$\Sigma(P(Qma)-Es)^2$					72659

Fuente: Elaboración propia en base a registros obtenidos en la Etapa 2.

Bibliografía

Roberto Pizarro, Dayanna Aravena, y Claudia Sanguesa, "Evaluación de Métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de la VII Región de Chile."

D.G.A. "Estudio Hidrológico en el Sector de Chorrillo, Puerto Toro, 1987".

James McPhee, "Clase teórica de Hidrología" Universidad de Chile.

Sandoval y Osses, "Estudio Hidrológico realizado al río Achibueno y Purapel.

Sánchez Aravena (2001) "Análisis y evolución comparative (Budyko, Coutagne, Grunsky, Peñuelas, Pizarro, Turc y Turc Pike) en la cuenca del río Malleco, IX Región. Universidad de Talca.

Chow V.T., 1964 "Handbook of applied hydrology (a compendium of water-resources technology)", 1418 págs, Mc.Graw-Hill Co. New York.

Chow V.T 1994 "Hidrología Aplicada"

Simón Navarrete, Mintegui Aguirre, García Rodríguez y Robredo Sánchez 1990-91 "Proyecto de restauración hidrológico-forestal de las cuencas alimentadoras de la ramblas de Aulago y Aljibe" I.A.R.A. – Almería

Cristian Sandoval y Roberto Pizarro, "Análisis comparativo de los modelos precipitación escorrentía de Grunsky, Peñuelas, Coutagne y Turc, en la cuenca del río Achibueno y en la cuenca del río Purapel VII región, 2000, Universidad de Talca.

Ricardo Edwards G. – Ingenieros Ltda, "Estudio de síntesis de catastros de usuarios de aguas e infraestructura de aprovechamiento", Departamento de estudio, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, 1991.

D.G.A, "Contribución del Comité Chileno para el Programa Hidrológico Internacional (UNESCO) al Balance Hídrico de América del Sur"

CEDEC, "Estudio Integral de Riego del Valle de Huasco", Volumen II, Parte II y Parte III, Comisión Nacional de Riego, 1985.

INA Ingenieros Consultores, "Estudio Integral de Riego Valle de Elqui", Volumen III, Recursos de aguas, Comisión Nacional de Riego.

INGENDESA, "Estudio Integral de Riego Proyecto Choapa" Volumen V, Comisión Nacional de Riego, 1995.

CICA, "Estudio Integral de Riego de los Valles de Aconcagua, Putaendo, Ligua y Petorca", Tomo II, Comisión Nacional de Riego, 1982.