

**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN**

INFORME TÉCNICO
ESTIMACIÓN DE RECARGA EN CUENCAS
ALTIPLÁNICAS SELECCIONADAS

REALIZADO POR:
División de Estudios y Planificación
SDT N° 317

Santiago, agosto de 2011

Profesionales
Luis Rojas Badilla
Carlos Salazar Méndez

Agosto de 2011

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	3
2	METODOLOGÍA PROPUESTA	4
2.1	MODELO CONCEPTUAL. RELACIÓN ESCORRENTÍA TOTAL- PRECIPITACIÓN MEDIA.	5
2.1.1	VARIANTE HIDROGEOLÓGICA, HIPÓTESIS DE ZONIFICACIÓN	6
2.1.2	VARIANTE HIDROLÓGICA. DESAGREGACIÓN ESTACIONAL DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL	15
2.2	DETERMINACIÓN DE LA RECARGA NETA	19
3	APLICACIÓN METODOLOGICA	21
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	25
5	ANEXOS	26

1 INTRODUCCIÓN

Las condiciones de extrema aridez de la XV, I, II y III Regiones, determinan que los recursos subterráneos de la meseta altiplánica y de las quebradas con vertiente pacífica sean la principal fuente de abastecimiento de recursos de agua continentales, sin embargo, corresponden también a sectores con escasa información y conocimiento hidrológico lo que dificulta la evaluación de disponibilidades.

Mejorar e incrementar el conocimiento de los procesos hidrogeológicos e hidrológicos que intervienen y determinan los flujos aprovechables de estos sistemas es un trabajo de largo plazo, no obstante, el incremento de la demanda de agua implica la búsqueda de soluciones de corto a mediano plazo, que a partir de la información disponible y en forma razonable, desarrolle herramientas que se puedan hacer cargo de la evaluación hidrológica.

En esta línea de trabajo la DGA abordó entre los años 2008 y 2009 el estudio del altiplano chileno¹, con el objeto de actualizar el conocimiento y caracterizar regionalmente la hidrografía, hidrología, hidrogeología, hidroquímica e isotopía de las cuencas, así como, para realizar estimaciones de balances hídricos en tres sectores o cuencas pilotos (Salar del Huasco en la I región, Cuenca de Tujacto en la II región y Salares de Maricunga y Pedernales en la III Región). Las estimaciones se realizaron sobre la base de la información existente y de metodologías basadas en las condiciones hidrológicas particulares. Específicamente, respecto de las descargas naturales, se propuso determinar la evaporación desde suelos mediante un “Domo de Control”. Para la determinación de recarga se propuso una metodología basada conceptualmente en una simplificación del proceso de recarga en ambientes áridos, en la que se incorporó principalmente las particularidades hidráulicas e hidrogeológicas de los suelos y formaciones geológicas de la cuenca de drenaje.

Con este estudio se obtuvo un marco general de las principales características hidrológicas del altiplano, en términos de los procesos fundamentales que las originan, sin embargo, a nivel de cuenca piloto y de la propuesta metodológica para estimar recarga, los resultados obtenidos son imprecisos y difícilmente replicables y no justifican el nivel de detalle metodológico, así también, el método “in situ” para determinar evaporación desde el suelo, el “Domo de Control”, posee una alta demanda de tiempo y costos elevados, restringiendo su aplicación (lisímetros).

No obstante lo anterior, no se descartó que en esta línea de trabajo fuese posible avanzar con una mayor simplificación hidráulica e hidrogeológica del proceso de recarga, a través de la implementación de un modelo general de distribución de suelos, esta vez a escala de la cuenca de drenaje.

¹ Levantamiento Hidrogeológico para el desarrollo de nuevas fuentes de agua en áreas prioritarias de la zona norte de Chile. Regiones XV, I, II y III. DGA-2008 y 2009. SIT N° 157 y SIT N° 195

Consecuentemente, en el año 2010 la DGA desarrolla un nuevo estudio para estimación de la recarga en la zona altiplánica y cuencas de vertiente pacífico², con el cual se buscó avanzar en la formulación metodológica y sistematización hidrológica e hidrogeológica de la información base. Como metodología de trabajo se propuso la ejecución secuencial de balances hídricos sobre tres macro zonas concéntricas dentro de la cuenca de drenaje. Macro zonas compuestas por tres grupos de suelos específicos asociados según un número de orden, tal que la zona perimetral o Z3, incluyera suelos típicos de cabecera de las cuencas, mayormente impermeables; zona intermedia o Z2, suelos volcánicos y sedimentarios antiguos de permeabilidad media, y la zona 1, receptora final, compuesta de materiales de acarreo propios de los cauces y acuíferos detríticos asociados a los valles y quebradas de la red de drenaje de la cuenca. No obstante la simpleza de este modelo conceptual su aplicación requirió de antecedentes con un nivel de detalle superior al disponible, y en particular la regionalización de los parámetros no tuvo resultados aceptables, presentando una baja predictividad a escala regional.

Sin perjuicio de las consideraciones ya efectuadas, entre estos estudios previos también se observaron significativas diferencias de la conformación de isoyetas de precipitación media, que sin lugar a dudas constituyen una significativa fuente de error. En este sentido, para una misma cuenca fue posible observar variaciones de hasta un 100% en la precipitación media, situación que se generaliza en mayor o menor medida en cuencas con menor información pluviométrica.

Sobre la base de los avances mencionados y la necesidad original de contar con una herramienta de aplicación simple y de precisión razonable es que a continuación se presenta una propuesta metodológica basada en un modelo simplificado del comportamiento de la escorrentía a nivel regional. Orientada a estimar la recarga neta en cuencas del norte de Chile con escasa información hidrométrica.

2 METODOLOGÍA PROPUESTA

En términos generales, se puede concluir que la escasa información disponible ha sido principal dificultad para desarrollar una metodología que sea de aplicación regional y que determine la recarga de cuencas altiplánicas.

Una metodología para estimar recarga puede estar basada en un modelo conceptual muy coherente, sin embargo, si su calibración requiere información no disponible, implícitamente se produce una distorsión de los coeficientes de ajustes, limitando la validez del método al ámbito local

Consecuentemente, una metodología de trabajo robusta debe incorporar las simplificaciones temporales y espaciales de las variables hidrológicas e hidrogeológicas de mayor importancia, en consistencia con la información disponible, de manera que toda

² "Metodología para la estimación de recarga en cuencas altiplánicas y precordilleranas de vertiente pacífica en el norte de Chile, XV, I, II y III Regiones". DGA-2010. SIT N° 221

particularidad no cubierta se propague aleatoriamente sobre los resultados. En este sentido, la línea de trabajo debe ser dirigida desde un principio a nivel regional.

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

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

2.1 Modelo Conceptual. Relación Escorrentía Total- Precipitación Media.

La recarga de los acuíferos altiplánicos tiene como fuente principal la precipitación, que se infiltra con mayor facilidad por zonas de mayor permeabilidad, y que se ve favorecida por eventos de mayor envergadura que son capaces de saturar el suelo y conducir agua hasta el acuífero. Las distintas clases de suelos constituyen zonas de transferencia del agua subterránea hacia las zonas más bajas de la cuenca. Si una cuenca o subcuenca posee caudal de salida conocido (superficial y subterráneo), es razonable asumir que su valor medio de largo plazo representa su escorrentía total.

Una primera relación entre la precipitación media y la escorrentía total en cuencas del Norte de Chile fue la adoptada por la JICA en 1995, a partir de la cual fue estimada la recarga media de la Pampa del Tamarugal, ver figura A-1 de Anexo.

$$Q_s = f * P_c * A$$

$$P_c = m f + C$$

$$Q_s = F(P_c) = P_c(P_c - C) * A / m$$

$$Q_s = (A/m) * P_c^2 - (C * A/m) * P_c$$

En donde,

P_c = Precipitación media anual de largo plazo de la cuenca

Q_s = Caudal medio superficial de salida de la cuenca ó escorrentía total (largo plazo)

A = Área de la cuenca

f = Coeficiente de escorrentía de la cuenca

m y C = Coeficientes de ajuste lineal.

Evidentemente, para que esta relación sea teóricamente correcta el flujo subterráneo pasante debe ser nulo ó poco significativo respecto del caudal superficial, hipótesis que podría no ser válida en todos los casos y constituir un elemento distorsionador de la relación. En este caso, el efecto se haría presente por el lado seguro de la estimación.

Esta relación, de extrema simplicidad y validez cuasi regional, si bien presenta un ajuste lineal de $r = 0.75$ y $r^2 = 0.5$, de mediana calidad, tiene buenas posibilidades de mejorar su conceptualización como de ampliar el dominio de aplicación.

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

Tal como se indicó anteriormente, la necesidad de mantener un enfoque metodológico simplificado sugiere que las variantes o hipótesis de trabajo sean evaluadas en forma independiente, estableciéndose las siguientes dos líneas de trabajo.

2.1.1 Variante Hidrogeológica, Hipótesis de Zonificación

En este caso se propone la diferenciación de la cuenca drenaje en dos tipos de suelos o zonas hidrogeológicas, una de cabecera asociada a suelos poco permeables (principalmente rocas antiguas y formaciones volcánicas impermeables), denominada Z2, que evacua su escurrimiento aguas abajo a la zona siguiente, ó zona Z1, de permeabilidad mayor, asociada a las distintas formaciones de origen sedimentario (antiguas y modernas). En los siguientes términos:

$$Q_2 = f_2 P_c Z_2$$

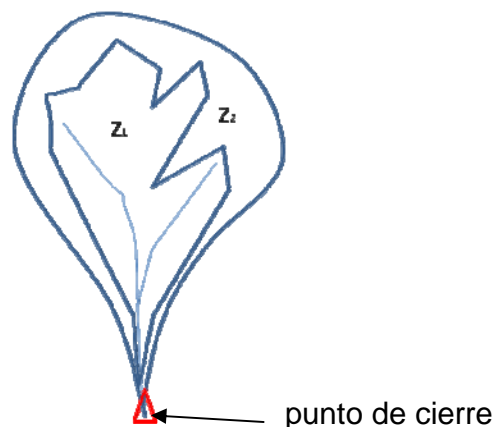
$$Q_2 / Z_1 = P_{2_1}$$

$$Q_1 = f_1 (P_c + P_{2_1}) Z_1$$

$$Q_1 = f_1 P_c Z_1 + f_1 f_2 P_c Z_2$$

$$P_c = m_2 f_2 + C_2$$

$$(P_c + P_{2_1}) = m_1 f_1 + C_1$$



En donde m_1 , m_2 , C_1 , C_2 son coeficientes de ajuste lineal.

La convergencia del ajuste es obtenido mediante la función SOLVER de EXCEL, que minimiza el cuadrado de la desviación entre la escorrentía total observada (caudal de la estación fluviométrica) y la calculada, teniendo como variable de ajuste los coeficientes de ajuste lineal. Los resultados obtenidos se indican en la tabla n°1 siguiente:

Tabla 1
 Calculo de parámetros y escorrentía para cuencas de control

	Nombre de la cuenca	Elev. media cuenca (msnm)	Área zona 2 (km ²)	Área zona 1 (km ²)	Área total (km ²)	Q _{pp}	P anual promedio	Q _{salida} (l/s)	f2	f1	Q2	P ₂₋₁	P1	Q1	Qobs	d ² /Qobs	d/Qobs
						(l/s)	(mm)										
1	Río Lluta Alto	4345	614	713	1327	12452	287	1921	0.49	0.27	2734	121	408	2521	1921	187	0.31
2	Río Lluta bajo Río Azufre	4448	170	211	381	3690	294	371	0.50	0.27	792	118	412	757	371	402	1.04
3	Río Caquena	4672	260	188	448	5474	380	1097	0.63	0.34	1980	332	712	1440	1097	107	0.31
4	Río San José alto	3386	980	378	1358	5287	120	599	0.23	0.23	868	72	192	523	599	10	0.13
5	Río Codpa hasta Cala-Cala	3901	326	44	370	1588	131	146	0.25	0.27	338	242	373	138	146	0	0.05
6	Río Camarones hasta Conanoxa	3177	1435	571	2006	6728	103	517	0.21	0.22	968	53	156	620	517	21	0.20
7	Quebrada Camiña hasta Altusa	4084	506	13	519	2623	157	324	0.29	0.60	729	1769	1926	478	324	73	0.47
8	Quebrada de Tarapaca hasta Sibaya	4214	508	40	548	2226	124	155	0.24	0.29	477	376	500	186	155	6	0.20
9	Río Collacagua hasta Peñablanca	4294	640	81	721	2526	109	129	0.22	0.25	477	186	295	188	129	27	0.46
10	Río Piga hasta Collacagua (Hiasco)	4292	333	65	398	1430	112	143	0.22	0.24	261	126	238	116	143	5	0.19
11	Río Guatacondo hasta Copaquire	4347	156	33	189	599	97	39	0.20	0.23	95	90	187	44	39	1	0.14
12	Río Loa hasta Lequena	4102	1522	574	2096	7573	110	512	0.22	0.22	1154	63	173	703	512	71	0.37
13	Río Salado	3602	1210	1141	2351	8009	105	558	0.21	0.21	844	23	128	989	558	332	0.77
14	Río Salado hasta Curti	4285	432	115	547	2374	133	285	0.25	0.24	460	126	259	228	285	11	0.20
15	Río San Pedro de Atacama	4027	1068	324	1392	3725	82	739	0.17	0.21	484	47	129	283	739	282	0.62
16	Canal Cuno hasta Socaire	4727	125	13	138	242	54	165	0.13	0.21	28	68	122	11	165	144	0.94
17	Río de La Ola (Pedernales)	4026	573	646	1219	1785	46	629	0.12	0.20	99	5	51	204	629	287	0.68
18	Río Lamas (Maricunga)	4919	637	419	1056	1677	50	258	0.13	0.20	126	10	60	157	258	40	0.39
19	Río Jorquera	3799	2558	1541	4099	6506	50	725	0.13	0.20	507	10	60	585	725	27	0.19
20	Río Pulido	3569	1343	562	1905	3484	58	1567	0.14	0.20	339	19	77	277	1567	1062	0.82
21	Río Manflas	3566	602	345	947	1705	57	572	0.14	0.20	148	14	71	155	572	305	0.73
22	Río Tránsito hasta Río Carmen	3361	2935	1043	3978	9135	72	4079	0.16	0.21	1065	32	104	716	4079	2773	0.82
23	Río Tránsito hasta Angostura de Pinte	3709	1875	780	2655	6811	81	3681	0.17	0.21	832	34	115	595	3681	2587	0.84
24	Río el Carmen hasta Río el Tránsito	3471	2105	887	2992	6723	71	2325	0.16	0.21	746	27	98	566	2325	1331	0.76
25	Río Carmen hasta San Félix	3632	1990	718	2708	6128	71	2836	0.16	0.21	705	31	102	481	2836	1955	0.83

12046

Fuente: Elaboración propia a partir de datos e información básica obtenida del estudio SIT N° 221.

El ajuste lineal de los parámetros f1 y f2 se muestra en la figura n°1 siguiente.

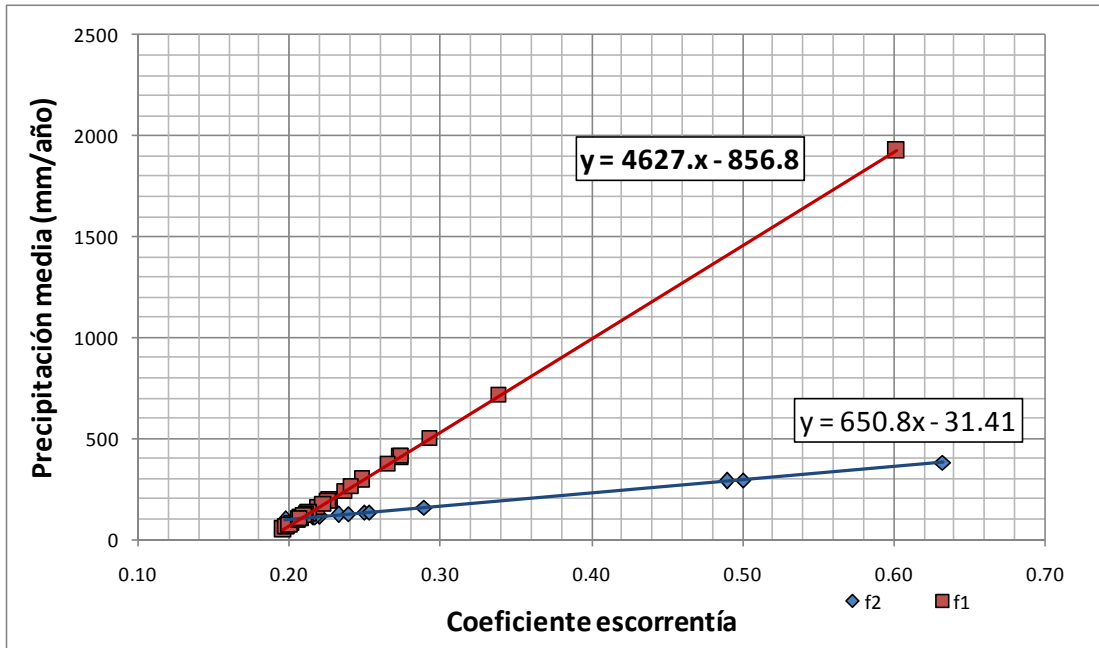


Figura N°1. Ajuste de parámetros f1 y f2

Y la comparación entre los caudales observados y calculados según las figuras n° 2 y 3.

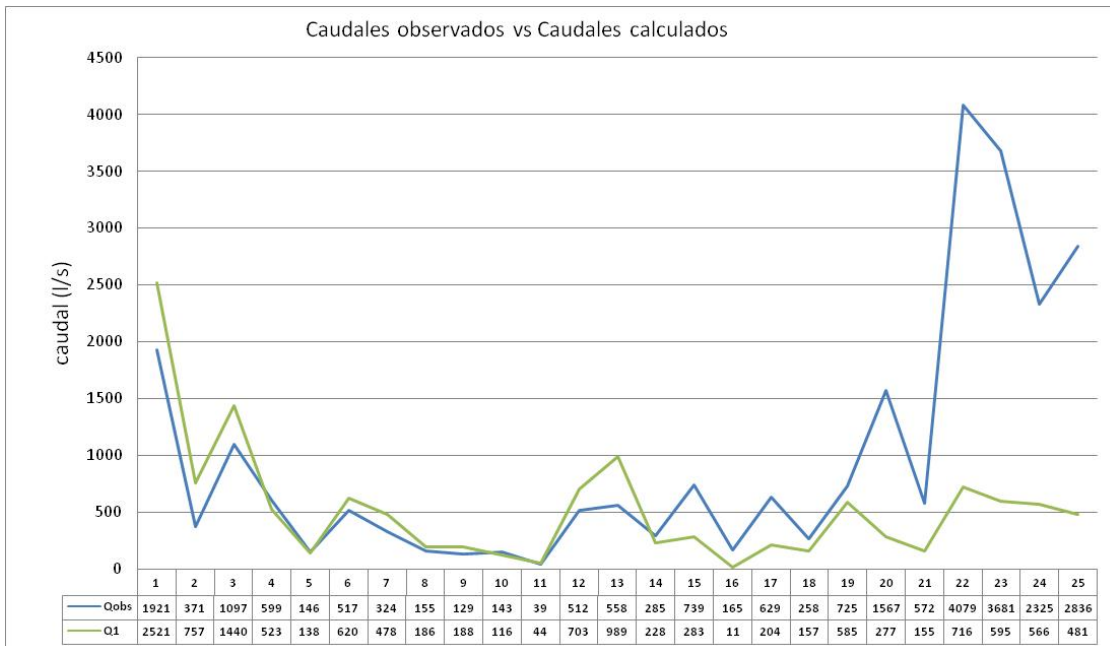


Figura 2. Comparación entre caudal calculado y caudal observado.

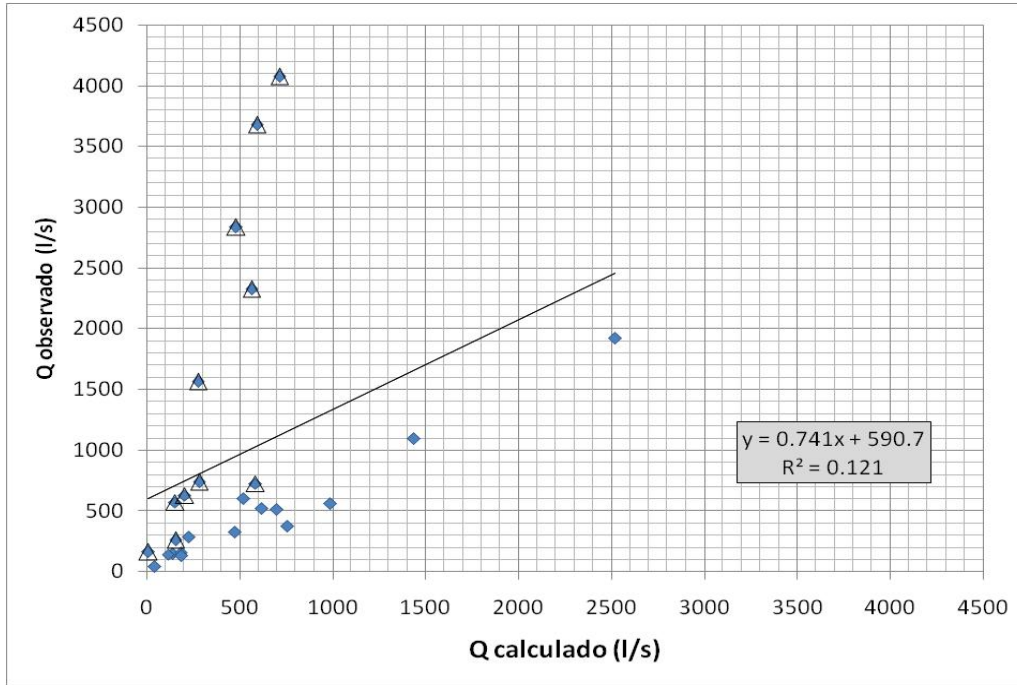


Figura 3. Caudal observado v/s caudal calculado (l/s)

Como se puede apreciar, el mejor ajuste no es suficiente para reproducir satisfactoriamente la esorrentía total de las 25 cuencas, más bien, se observan dos grupos o tendencias perfectamente identificables, por debajo y por arriba de los caudales observados. Este quiebre o separación es coincidente tanto con una precipitación media anual aproximada de 100 mm, como con una coordenada UTM N 7500000, como se aprecia en la figura n° 4 siguiente.

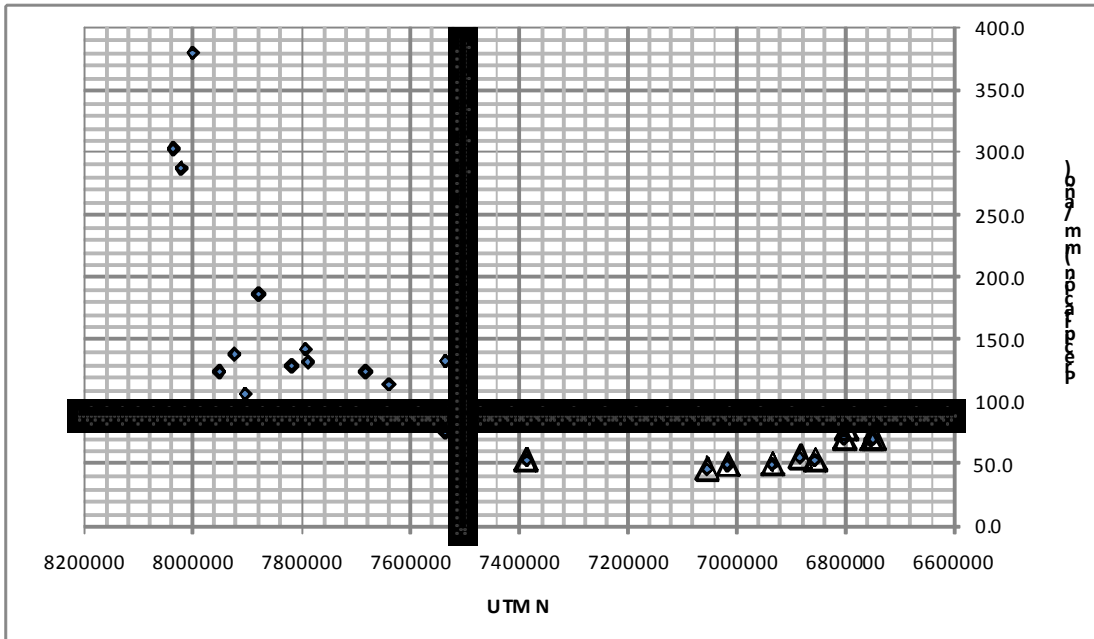


Figura 4. Precipitación media v/s UTM N

Si se prescinde el grupo de cuencas bajo el umbral de 100 mm ó del grupo situado más al sur, se obtiene una nueva correlación que alcanza la siguiente calibración, figuras n° 5, 6 y 7 y TablaN°2.

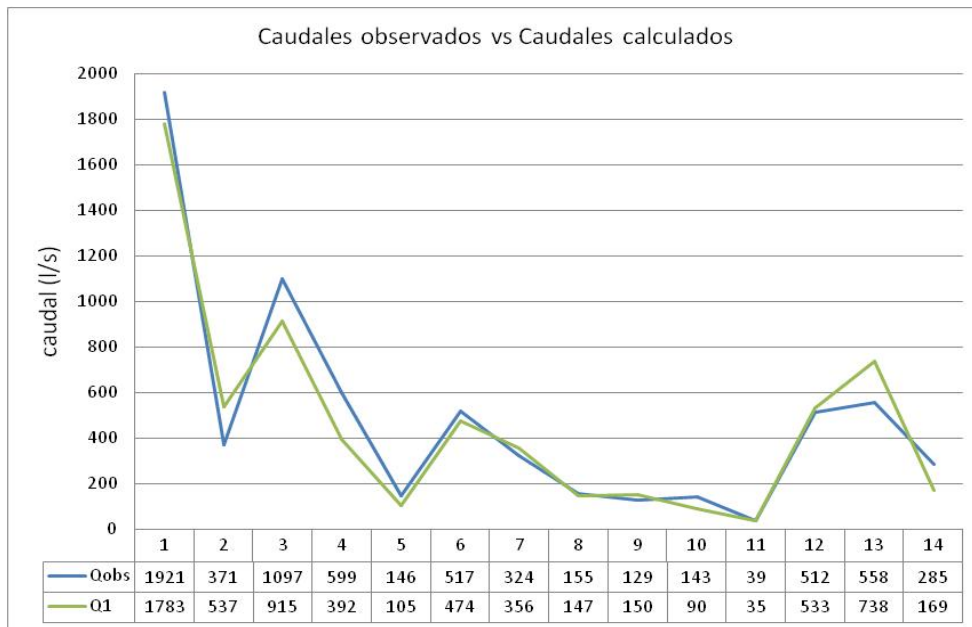


Figura 5. Comparación entre caudal calculado y caudal observado.

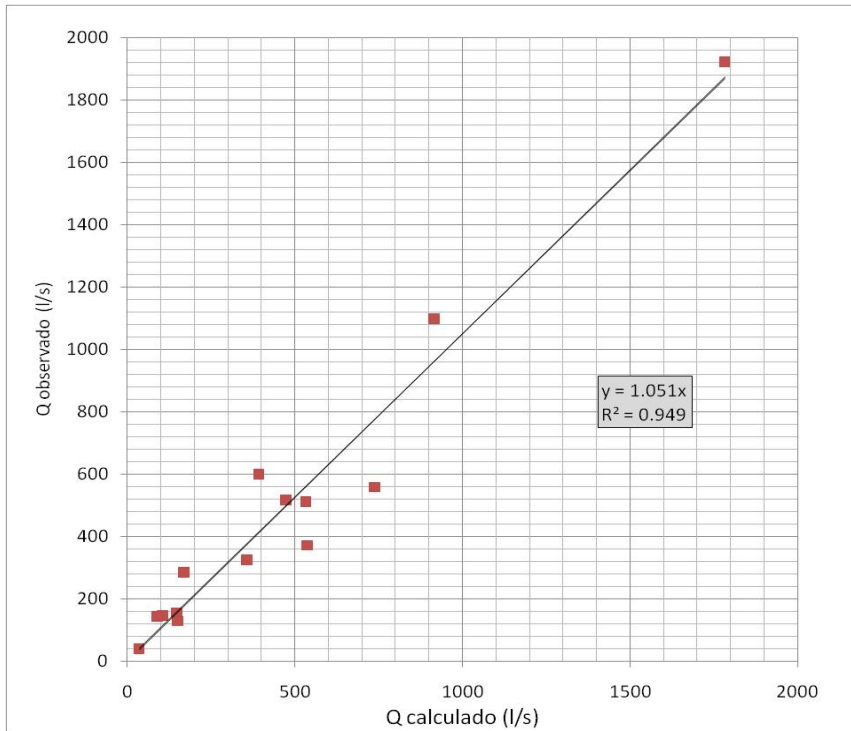


Figura 6. Caudal calculado v/s caudal observado (l/s)

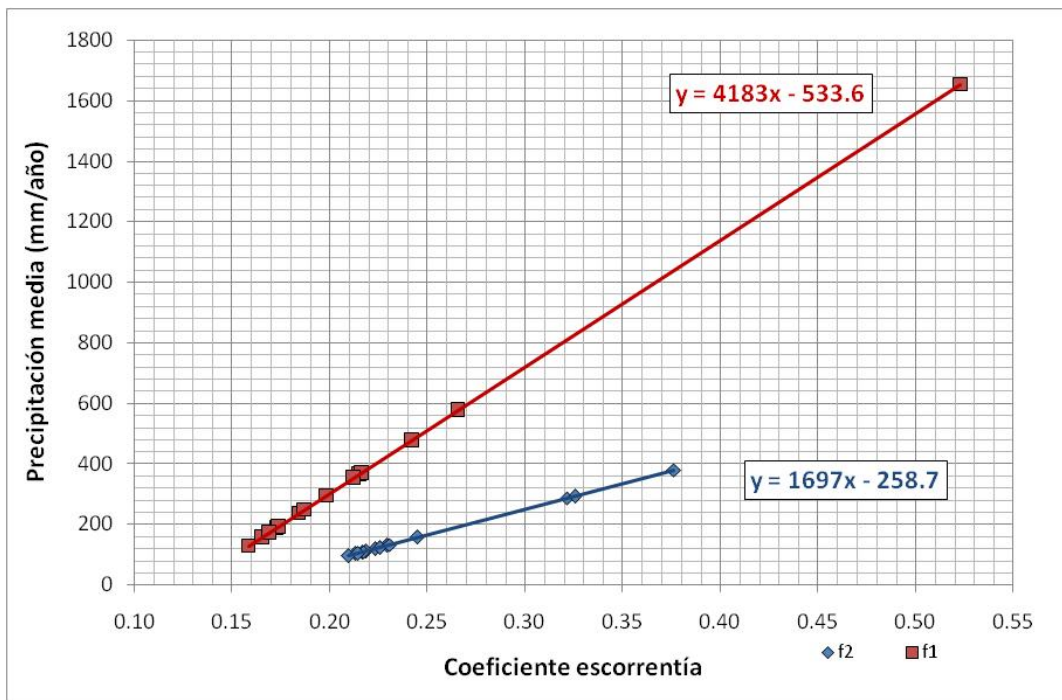


Figura nº 7 Ajuste de parámetros f1 y f2.

Si bien este nuevo ajuste es altamente satisfactorio, el modelo tiene restricciones de uso en cuencas ubicadas al norte de la coordenada UTM N 7.460.000 y/o precipitaciones medias superiores a 100mm/año.

Respecto de aquellas cuencas, fuera de la correlación anterior, y ubicadas más al sur, no fue posible encontrar un ajuste independiente que fuese aceptable o del orden de la anterior.

De cualquier manera, estos resultados indican la existencia de una variable de mayor importancia que las consideraciones hidrogeológicas adoptadas sobre la cuenca de drenaje, y que se relacionaría tanto con el monto de la precipitación media como con la distribución latitudinal. Incertidumbre que se discute con mayor detalle en el punto 2.1.2 siguiente.

Tabla N° 2.
Cálculo de parámetros y escorrentía para cuencas de control. Nueva condición

	Nombre de la cuenca	media cuenca (msnm)	Área zona 2 (km ²)	Área zona 1(km ²)	Área total (km ²)	Q _{pp}	P anual prom	Q _{salida} (l/s)	f2	f1	Q2	P ₂₋₁	P1	Q1	Qobs	d ² /Qobs	d/Qobs
						(l/s)	(mm)										
1	Río Lluta Alto	4345	614	713	1327	12452	287	1921	0.32	0.22	1796	79	366	1783	1921	10	0.07
2	Río Lluta bajo Río Azufre	4448	170	211	381	3690	294	371	0.33	0.22	516	77	371	537	371	74	0.45
3	Río Caquena	4672	260	188	448	5474	380	1097	0.38	0.27	1179	198	578	915	1097	30	0.17
4	Río San José alto	3386	980	378	1358	5287	120	599	0.22	0.17	832	69	189	392	599	71	0.34
5	Río Codpa hasta Cala-Cala	3901	326	44	370	1588	131	146	0.23	0.21	311	223	354	105	146	12	0.28
6	Río Camarones hasta Conanoxa	3177	1435	571	2006	6728	103	517	0.21	0.17	999	55	158	474	517	4	0.08
7	Quebrada Camiña hasta Altusa	4084	506	13	519	2623	157	324	0.24	0.52	617	1497	1654	356	324	3	0.10
8	Quebrada de Tarapaca hasta Siba	4214	508	40	548	2226	124	155	0.23	0.24	450	355	479	147	155	0	0.05
9	Río Collacagua hasta Peñablanca	4294	640	81	721	2526	109	129	0.22	0.20	479	187	296	150	129	4	0.17
10	Río Piga hasta Collacagua (Huasc)	4292	333	65	398	1430	112	143	0.22	0.18	258	125	237	90	143	20	0.37
11	Río Guatacondo hasta Copaquire	4347	156	33	189	599	97	39	0.21	0.17	101	96	193	35	39	0	0.10
12	Río Loa hasta Lequena	4102	1522	574	2096	7573	110	512	0.22	0.17	1153	63	173	533	512	1	0.04
13	Río Salado	3602	1210	1141	2351	8009	105	558	0.21	0.16	863	24	129	738	558	58	0.32
14	Río Salado hasta Curti	4285	432	115	547	2374	133	285	0.23	0.19	420	115	248	169	285	47	0.41
																334	

2.1.2 Variante Hidrológica. Desagregación Estacional de la Precipitación Media Anual

Los resultados del punto anterior ya sugieren una fuerte relación entre la precipitación media anual y la latitud de una cuenca, dado que ambas variables independientemente determinan el quiebre de comportamiento para un mismo grupo de cuencas. Un análisis más detallado sugiere que tanto el monto de la precipitación media, como su distribución estacional de invierno y verano, podrían ser los factores de mayor influencia sobre el modelo de escurrimiento. Principalmente porque es posible plantear fundadamente que:

- La magnitud de la precipitación estival por efecto del “invierno altiplánico” (octubre-marzo), disminuye gradualmente hacia el sur, al mismo tiempo que la precipitación de invierno (abril-septiembre), se incrementa.
- Las precipitaciones medias dependen de las isoyetas de precipitación media, que a su vez, dependen de los criterios y consideraciones hidrológicas adoptadas para su trazado. En este caso como se han observado diferencias muy significativas de esta variable, se ha estimado adecuado asumir de aquí en adelante las isoyetas propuestas en el Balance Nacional de Aguas de 1987, que constituyen el mejor referente de precipitaciones a nivel nacional.

La figura n°8 siguiente, presenta las precipitaciones medias de las 25 cuencas del estudio, desagregadas en invierno y verano, según su coordenada UTM N y la línea de quiebre deducida del punto anterior.

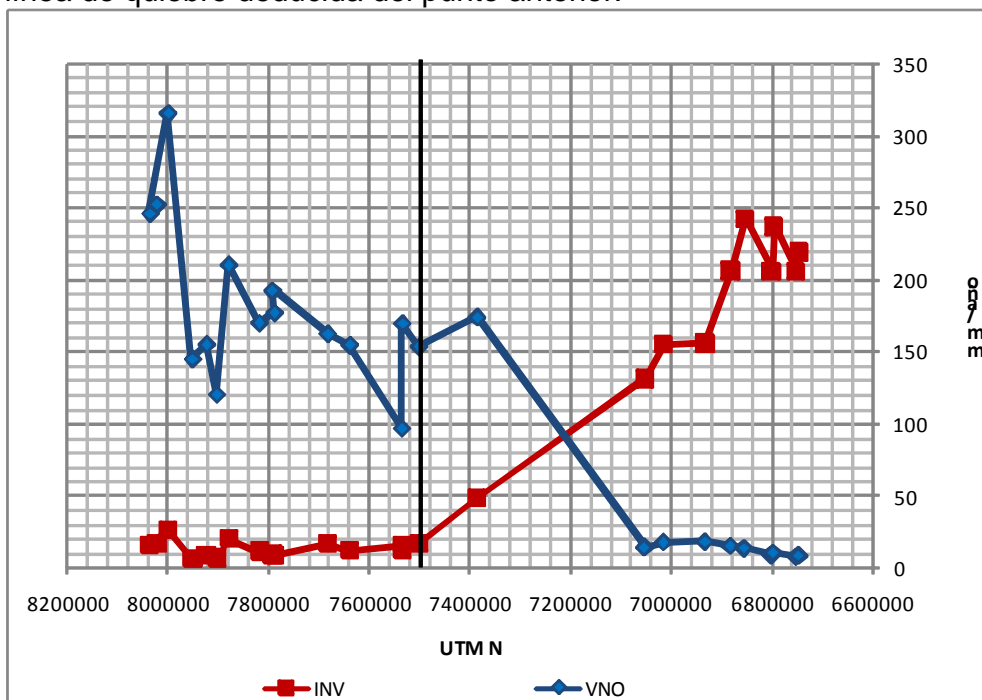


Figura n° 8 Distribución estacional de Precipitaciones Medias en cuencas del estudio

En consecuencia, también es posible proponer que la relación entre la precipitación media y la escorrentía total fuese formulada en dos relaciones paralelas, es decir, una relación entre la precipitación media anual de invierno y la escorrentía generada por ella, y otra entre la precipitación media anual de verano y su propia escorrentía. Lo anterior basado en que:

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

Fundamentos bajo los cuales el modelo de escurrimiento JICA puede ser planteado en los siguientes términos:

$$Q_{INV} = f_{inv} P_{inv} A$$
$$Q_{VNO} = f_{vno} P_{vno} A$$

$$P_{inv} = m_1 f_1 + C_1$$
$$P_{vno} = m_2 f_2 + C_2$$

$$Q_s = Q_{INV} + Q_{VNO}$$

P_{INV} = Precipitación media anual de invierno

P_{vno} = Precipitación media anual de verano

Q_{INV} = Escorrentía media anual de invierno

Q_{VNO} = Escorrentía media anual de verano

f_{inv} = Coeficiente de escorrentía de invierno

f_{vno} = Coeficiente de escorrentía de verano

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

A = Área de la cuenca

m_i y C_i = Coeficientes de ajuste lineal.

Este nuevo ajuste de coeficientes se presenta en la Tabla N°3 y las figuras 9 y 10 siguientes:

Tabla N° 3.
Cálculo de parámetros y escorrentía para cuencas de control. Variante Hidrológica

Cuenca N°	UTM N (m)	Elev. media cuenca (msnm)	Nombre de la cuenca	Área total (km ²)	P Vno (mm/año)	P Inv (mm/año)	fvno	finv	Qvno (l/s)	QInv (l/s)	Qcal (l/s)	QObs (l/s)	d ² /Qobs	d/Qobs
1	8023749	4345	Río Lluta Alto	1326	253	17	0.16	0.00	1646	0	1646	1921	39.4	0.14
2	8038066	4448	Río Lluta bajo Río Azufre	381	246	16	0.15	0.00	449	0	449	371	16.6	0.21
3	8002060	4672	Río Caquena	448	316	26	0.20	0.00	888	0	888	1097	39.9	0.19
4	7952919	3386	Río San José alto	1358	145	7	0.08	0.00	523	0	523	599	9.6	0.13
5	7925348	3901	Río Codpa hasta Cala-Cala	370	155	9	0.09	0.00	165	0	165	146	2.4	0.13
6	7904671	3177	Río Camarones hasta Conanoxa	2006	120	7	0.07	0.00	513	0	513	517	0.0	0.01
7	7880957	4084	Quebrada Camiña hasta Altusa	519	211	20	0.13	0.00	440	0	440	324	41.8	0.36
8	7819950	4214	Quebrada de Tarapaca hasta Sibaya	548	170	12	0.10	0.00	296	0	296	155	128.8	0.91
9	7789862	4294	Río Collacagua hasta Peña blanca	722	177	9	0.10	0.00	426	0	426	129	686.1	2.31
10	7793980	4292	Río Piga hasta Collacagua (Husco)	399	193	9	0.12	0.00	281	0	281	143	132.7	0.96
11	7683722	4347	Río Guatacondo hasta Copaquire	189	163	17	0.10	0.00	93	0	93	39	73.9	1.38
12	7640075	4102	Río Loa hasta Lequena	2096	155	12	0.09	0.00	927	0	927	512	335.6	0.81
13	7536476	3602	Río Salado	2351	97	16	0.05	0.00	369	0	369	558	63.9	0.34
14	7535382	4285	Río Salado hasta Curti	547	170	12	0.10	0.00	294	0	294	285	0.3	0.03
15	7502542	4027	Río San Pedro de Atacama	1391	154	17	0.09	0.00	605	0	605	739	24.4	0.18
16	7386620	4727	Canal Cuno hasta Socaire	138	174	49	0.10	0.00	78	0	78	165	45.7	0.53
17	7053685	4026	Río de La Ola (Pedernales)	1219	14	132	0.00	0.04	0	201	201	629	291.5	0.68
18	7015706	4919	Río Lamas (Maricunga)	1056	18	156	0.00	0.07	0	362	362	258	42.0	0.40
19	6933311	3799	Río Jorquera	4099	18	156	0.00	0.07	0	1434	1434	710	737.6	1.02
20	6882437	3569	Río Pulido	1905	15	207	0.00	0.13	0	1676	1676	1449	35.5	0.16
21	6855012	3566	Río Manflas	946	14	243	0.00	0.18	0	1299	1299	571	927.7	1.27
22	6801726	3361	Río Tránsito hasta Río Carmen	3978	9	207	0.00	0.13	0	3483	3483	4079	87.0	0.15
23	6797681	3709	Río Tránsito hasta Angostura de Pinte	2654	10	237	0.00	0.17	0	3434	3434	3681	16.6	0.07
24	6752104	3471	Río el Carmen hasta Río el Tránsito	2992	8	207	0.00	0.13	0	2618	2618	2325	36.8	0.13
25	6746525	3632	Río Carmen hasta San Félix	2708	8	220	0.00	0.15	0	2826	2826	2836	0.0	0.00
													3816	0.50

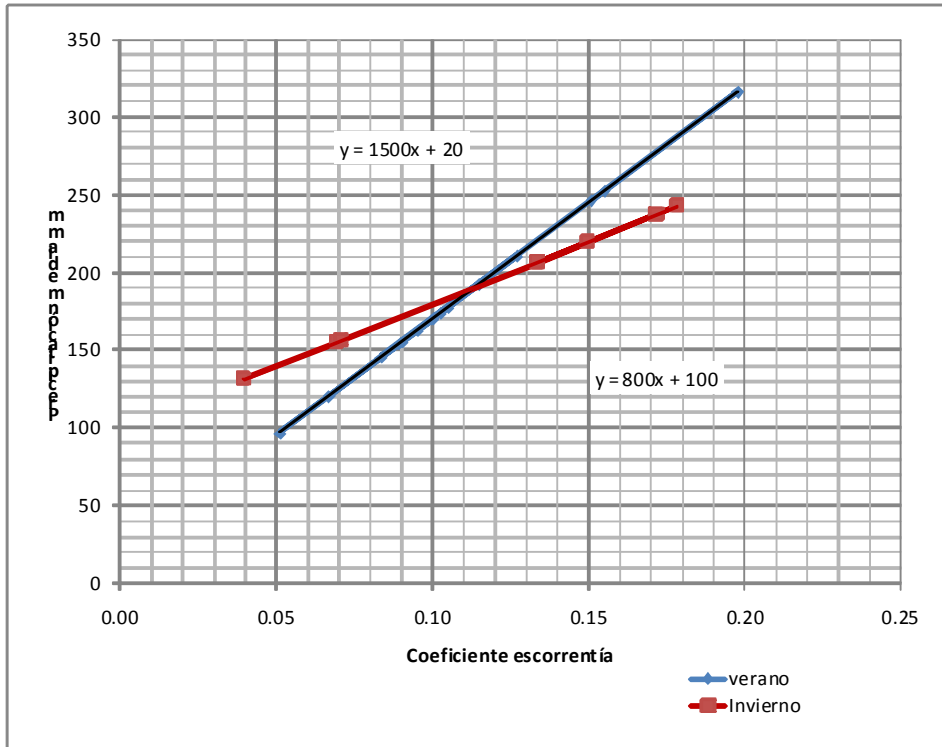


Figura n° 9 Ajuste de parámetros f1 y f2.

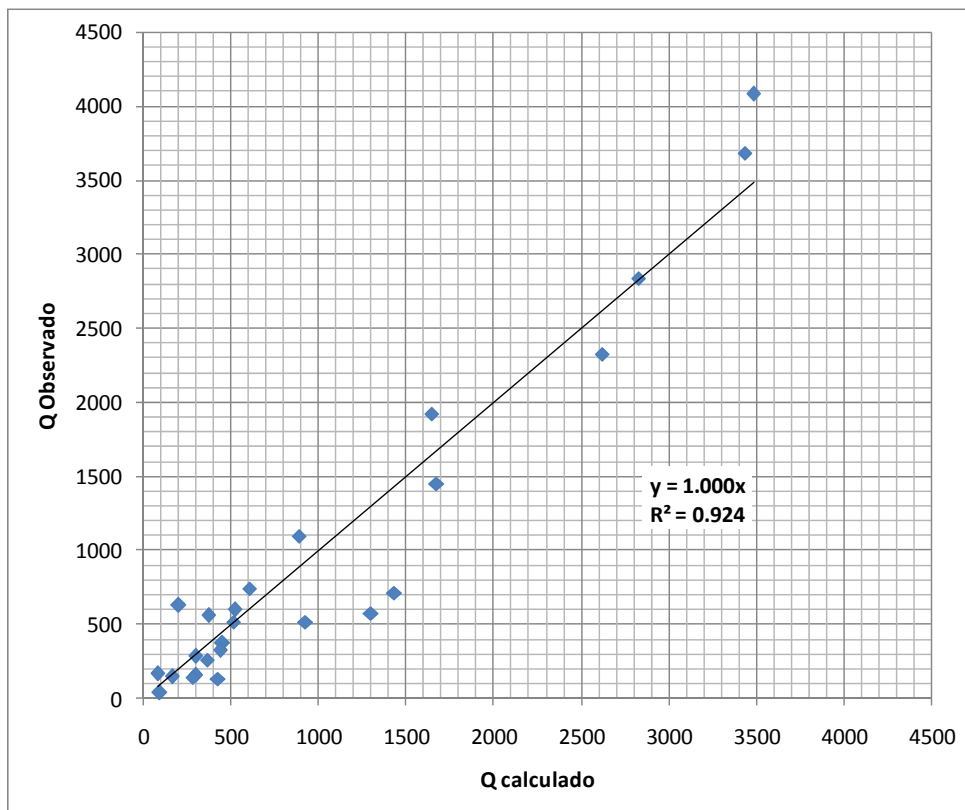


Figura n° 10. Caudal calculado v/s caudal observado (l/s). Variación hidrológica

Estos resultados indican un mayor incremento del coeficiente de escurrimiento en invierno que en verano, explicado razonablemente por las diferentes condiciones climáticas. Sin embargo, llama la atención el alto nivel de precipitación media de invierno (100 mm/año), a partir del cual recién se comienza a notar un aporte al escurrimiento, no así la precipitación de verano, que con sólo 20 mm/año ya muestra influencia sobre el escurrimiento total. Consecuentemente, se estima pertinente que estos parámetros sean observados con cierta precaución puesto que son el reflejo de una tendencia regional, dado que las relaciones deducidas son el resultado de condiciones medias de largo plazo, en las que se producen variaciones naturales no contempladas, así como, la fusión de los errores de estimaciones de los distintos parámetros involucrados, especialmente de las precipitaciones medias.

Sin perjuicio de lo anterior, el ajuste obtenido entre el caudal medio observado y la escorrentía total estimada resulta ser de muy buena calidad, con una recta del tipo $y=x$ y un $r^2=0.92$. Situación que finalmente es considerada adecuada para el nivel de información disponible y la cobertura o dominio de aplicación alcanzado.

2.2 Determinación de la Recarga Neta

Efectuar una estimación de recarga en acuíferos del altiplano chileno, sin contar siquiera con control hidrométrico, es una materia compleja, sobre todo si para ello se cuenta sólo con una estimación de las precipitaciones medias. Sin embargo, con la relación propuesta en el punto anterior, y en el contexto de una condición de equilibrio de largo plazo, también es posible contar con la estimación de una escorrentía total de salida desde cada subcuenca que contenga acuíferos, o que descarguen sobre uno. Sin embargo, para estimar recarga se requiere contar con una relación adicional, esta vez, entre la escorrentía total y la escorrentía base que determina la recarga neta del o los acuíferos de una cuenca o subcuenca.

Consecuentemente, el trabajo metodológico siguiente está centrado en el análisis del comportamiento estacional observado por los caudales medios mensuales que han sido controlados históricamente a la salida de las 25 cuencas seleccionadas del estudio, con el objeto de encontrar una eventual relación entre recarga neta y el caudal de salida ó escorrentía total. Para ello se adoptan las siguientes hipótesis y conceptos hidrológicos de base:

- a. Tal como se asumió en el punto 2.1, los flujos subterráneos son despreciables y los caudales superficiales controlados a la salida de las 25 cuencas representan la escorrentía total.

- b. Se entenderá como “recarga neta de la cuenca”, aquella parte de la escorrentía total de salida de una cuenca, compuesta por el agua que ha infiltrado al menos una vez y que ha transitado subterráneamente en algún momento, tal que su permanencia dentro de la cuenca es superior a la de un año hidrológico.
- c. Esta recarga neta o caudal base interanual de salida de la cuenca puede ser estimada, en términos de caudal medio mensual, como el promedio de los mínimos decadales observados entre los meses de junio, julio y agosto. Lo anterior sobre la base que:
- Las precipitaciones de invierno sobre las cuencas seleccionadas de la zona norte son escasas y de bajo monto, y hacia el sur son mayoritariamente sólidas. Por lo que los aportes al escurrimiento durante son significativamente menores que en verano. Las bajas temperaturas limitan el deshielo de las nieves y la escorrentía de salida se aproxima al caudal base de la cuenca, y períodos de sequía interanual, puede llegar a estar muy cerca de este valor.
 - Durante el verano, el caudal base persiste pero es difícil de ser medido, debido a las mayores pérdidas de evaporación y evapotranspiración, que incluso pueden llegar a consumir la totalidad del flujo base en años secos, y/o períodos de sequía interanual.
 - Por otra parte, existe consenso en interpretar las series hidrológicas del norte bajo la perspectiva de ciclos hidrológicos decadales, a partir de lo cual resulta razonable estimar el flujo base como el promedio del conjunto de los 4 mínimos decadales observados históricamente.

En el anexo es posible observar las fluctuaciones anuales de la temperatura, la evaporación y la distribución de caudales para los meses de invierno de junio, julio y agosto, en algunas estaciones de control hidrométrico específicas localizadas en la zona de estudio, y en el gráfico siguiente, la relación que se obtiene entre el promedio de estos mínimos decadales y la escorrentía total observada para las 25 cuencas seleccionadas.

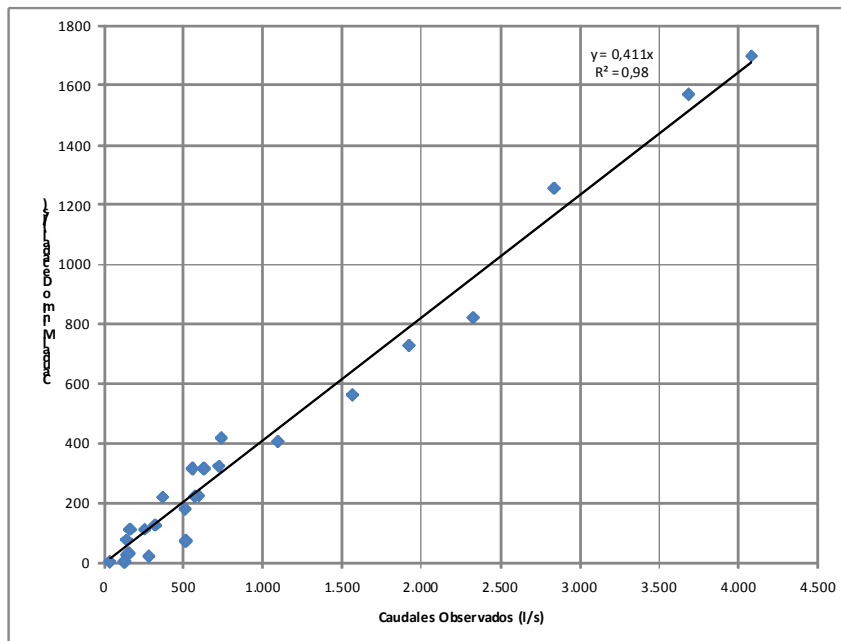


Figura n° 11 Correlación entre el caudal medio anual histórico observado y mínimos decadales promedios, cuencas 1 a 25.

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

3 APLICACIÓN METODOLOGICA

Es claro que las hipótesis asumidas determinan el alcance de la metodología propuesta. Así, se entiende que su dominio de aplicación cubre las cuencas y subcuencas altiplánicas o de vertiente Pacífica, entre la XV y III regiones, y altura mínima de 1500 msnm. Sin perjuicio que se debe poner atención en la interpretación de resultados en ciertas situaciones específicas, como por ejemplo en la aplicación en cuencas con sección de salida sin flujo superficial pero con una significativa capacidad de flujo pasante subterráneo; en subcuencas de aporte de acuíferos regionales, a salares o zonas terminales de cuencas altiplánicas endorreicas; y específicamente en los sectores previos a la manifestación de los afloramientos naturales propios de estos sistemas. Dependiendo de cada situación específica, la recarga podrá responder y adoptar conceptualmente un valor distinto, que se encontrará entre la escorrentía total estimada y el 40% de esta o recarga neta como fue denominada.

Si bien el objetivo de la metodología fue apoyar la evaluación de recursos hídricos disponibles en cuencas no controladas, el campo de aplicación puede ser extendido a cuencas con control fluviométrico, sobre las cuales se requiera estimar la escorrentía subterránea o recarga neta, para lo cual se deberá poner especial atención en interpretar adecuadamente que representa el caudal superficial controlado y que la recarga neta.

Cabe señalar que la estimación de la precipitación media de una cuenca, desagregada en invierno y verano, también constituye una fuente de dispersión en los resultados, toda vez que sobre las 25 cuencas del estudio los cálculos se basan en criterios específicos relacionados con el número y representatividad asignada a las estaciones pluviométricas cercanas al centroide de cada cuenca.

Sobre la base de lo anterior es que se ha desarrollado un procedimiento simplificado para estimar la componente de invierno y verano de la precipitación media sobre cualquier cuenca situada en el área de estudio, cuyo aporte a la desviación estándar de los resultados finales es mínimo, y constituye un excelente aporte a la simplificación de los cálculos. Esta consiste en la modelación simple de los coeficiente de distribución de la precipitación media obtenidos para las 25 cuencas del estudio, ajustándolos mediante una función distribución de tipo exponencial de media $\mu = 7.250.000$ y desviación estándar $\sigma = 175.000$, tal cual se indica en la figura N° 12 siguiente.

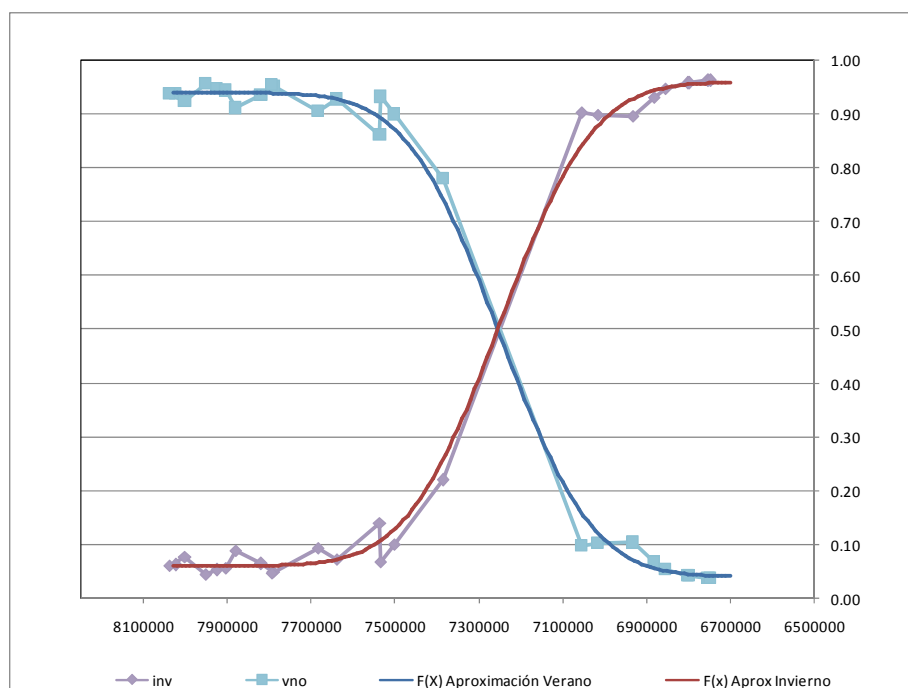


Figura N° 12 Ajuste Exponencial de los Coeficientes de Distribución Invierno-Verano de la Precipitación Media Anual en Cuencas Seleccionadas.

A partir de lo cual se pudo replantear la distribución de las precipitaciones de invierno y verano para las 25 cuencas en función de su latitud, como se aprecia en la figura n° 13 siguiente.

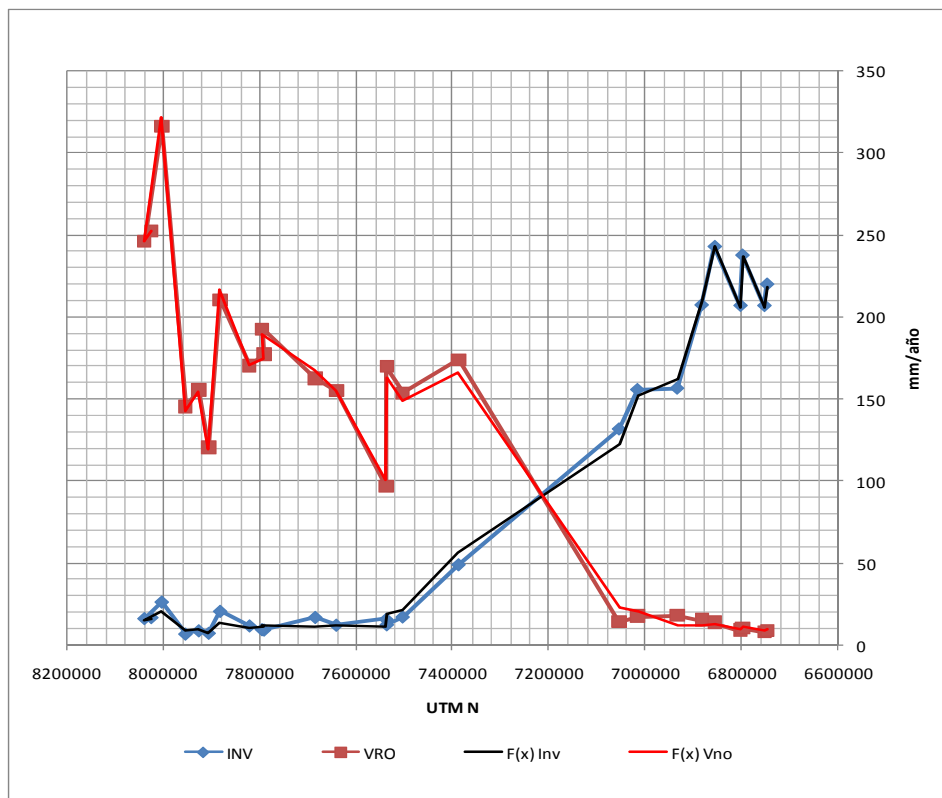


Figura N° 13 Precipitaciones Medias de Invierno y Verano, observadas y estimadas, para las 25 cuencas del estudio.

En la Tabla n° 4 siguiente se entregan los coeficientes de distribución calculados para la totalidad del área de estudio, a partir de la cual es posible adoptar el valor más cercano a la coordenada UTM N respectiva.

Tabla N° 4.
Coeficientes de distribución de invierno y verano de la precipitación media anual

UTM N	F(x) Vno	F(x) Inv
8030000	0.940	0.060
8020000	0.940	0.060
8010000	0.940	0.060
8000000	0.940	0.060
7990000	0.940	0.060
7980000	0.940	0.060
7970000	0.940	0.060
7960000	0.940	0.060
7950000	0.940	0.060
7940000	0.940	0.060
7930000	0.940	0.060
7920000	0.940	0.060
7910000	0.940	0.060
7900000	0.940	0.060
7890000	0.940	0.060
7880000	0.940	0.060
7870000	0.940	0.060
7860000	0.940	0.060
7850000	0.940	0.060
7840000	0.940	0.060
7830000	0.940	0.060
7820000	0.939	0.061
7810000	0.939	0.061
7800000	0.939	0.061
7790000	0.939	0.061
7780000	0.939	0.061
7770000	0.939	0.061
7760000	0.938	0.062
7750000	0.938	0.062
7740000	0.938	0.062
7730000	0.937	0.063
7720000	0.937	0.063
7710000	0.936	0.064
7700000	0.935	0.065
7690000	0.935	0.065
7680000	0.934	0.066
7670000	0.933	0.067
7660000	0.931	0.069
7650000	0.930	0.070
7640000	0.928	0.072
7630000	0.927	0.073
7620000	0.924	0.076
7610000	0.922	0.078

UTM N	F(x) Vno	F(x) Inv
7590000	0.917	0.083
7580000	0.913	0.087
7570000	0.910	0.090
7560000	0.906	0.094
7550000	0.901	0.099
7540000	0.896	0.104
7530000	0.891	0.109
7520000	0.885	0.115
7510000	0.878	0.122
7500000	0.871	0.129
7490000	0.863	0.137
7480000	0.855	0.145
7470000	0.846	0.154
7460000	0.836	0.164
7450000	0.826	0.174
7440000	0.815	0.185
7430000	0.803	0.197
7420000	0.791	0.209
7410000	0.778	0.222
7400000	0.764	0.236
7390000	0.749	0.251
7380000	0.734	0.266
7370000	0.718	0.282
7360000	0.702	0.298
7350000	0.685	0.315
7340000	0.667	0.333
7330000	0.649	0.351
7320000	0.630	0.370
7310000	0.611	0.389
7300000	0.591	0.409
7290000	0.571	0.429
7280000	0.551	0.449
7270000	0.531	0.469
7260000	0.511	0.489
7250000	0.490	0.510
7240000	0.469	0.531
7230000	0.449	0.551
7220000	0.429	0.571
7210000	0.409	0.591
7200000	0.389	0.611
7190000	0.369	0.631
7180000	0.350	0.650
7170000	0.331	0.669

UTM N	F(x) Vno	F(x) Inv
7160000	0.313	0.687
7150000	0.295	0.705
7140000	0.278	0.722
7130000	0.262	0.738
7120000	0.246	0.754
7110000	0.231	0.769
7100000	0.216	0.784
7090000	0.202	0.798
7080000	0.189	0.811
7070000	0.177	0.823
7060000	0.165	0.835
7050000	0.154	0.846
7040000	0.144	0.856
7030000	0.134	0.866
7020000	0.125	0.875
7010000	0.117	0.883
7000000	0.109	0.891
6990000	0.102	0.898
6980000	0.095	0.905
6970000	0.089	0.911
6960000	0.084	0.916
6950000	0.079	0.921
6940000	0.074	0.926
6930000	0.070	0.930
6920000	0.067	0.933
6910000	0.063	0.937
6900000	0.060	0.940
6890000	0.058	0.942
6880000	0.056	0.944
6870000	0.053	0.947
6860000	0.052	0.948
6850000	0.050	0.950
6840000	0.049	0.951
6830000	0.047	0.953
6820000	0.046	0.954
6810000	0.045	0.955
6800000	0.045	0.955
6790000	0.044	0.956
6780000	0.043	0.957
6770000	0.043	0.957
6760000	0.042	0.958
6750000	0.042	0.958
6740000	0.042	0.958

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Una metodología para estimar recarga puede estar basada en un modelo conceptual muy coherente, sin embargo, si su calibración requiere información no disponible, implícitamente se produce una distorsión de los coeficientes de ajustes, limitando la validez del método al ámbito local
- Consecuentemente una metodología debe incorporar las simplificaciones temporales y espaciales de las variables hidrológicas e hidrogeológicas de mayor importancia, en consistencia con la información disponible, de manera que toda particularidad no cubierta se propague aleatoriamente sobre los resultados. En este sentido, la línea de trabajo debe ser dirigida desde un principio a nivel regional.
- Entre las metodologías analizadas, la relación entre la precipitación media y la escorrentía total adoptada por la JICA en cuencas del Norte de Chile, es la que recoge con mayor coherencia los requisitos de simplificación y representatividad regional que se persigue, sin perjuicio de las modificaciones o complejizaciones efectuadas para su mejoramiento.
- La relación JICA, desagregada en invierno y verano, presenta valores de escorrentía total que se ajusten de mejor manera a la totalidad del área de estudio, que aquella que considera modificaciones hidrogeológicas sobre la cuenca de drenaje. En este sentido, la precipitación media sobre la cuenca demuestra ser la variable más influyente del estudio.
- Los coeficientes de distribución de Invierno y Verano, de la precipitación media anual de una cuenca situada en el área de estudio, pueden ser modelados mediante una función de distribución de tipo exponencial de media $\mu = 7.250.000$ y desviación estándar $\sigma = 175.000$.
- La recarga neta de una cuenca entre la XV y III regiones se encuentra íntimamente ligada a la escorrentía total de salida. Se ha podido estimar que aproximadamente un 40% de la escorrentía total que sale de una cuenca corresponde a recarga neta.

5 ANEXOS

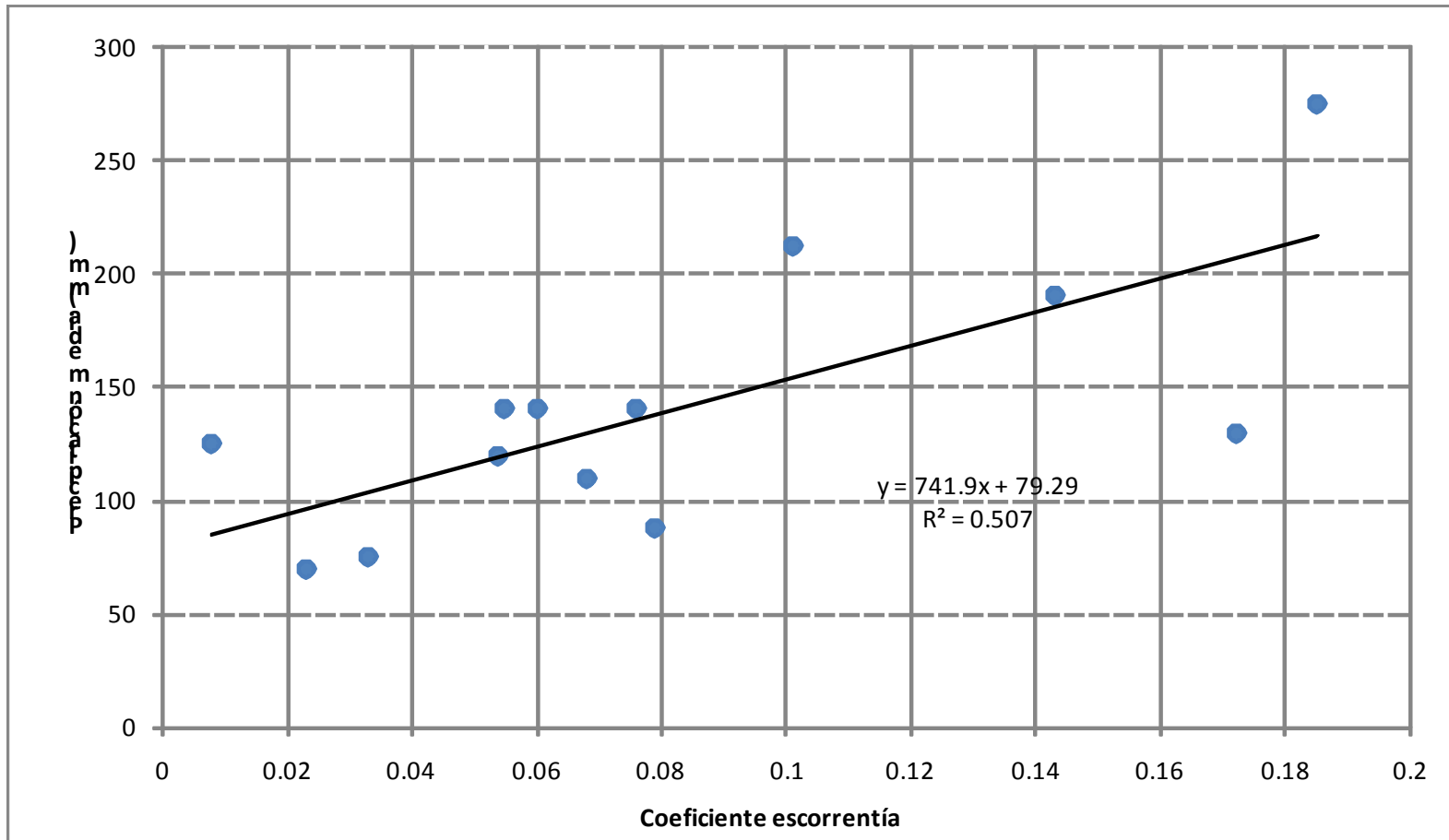
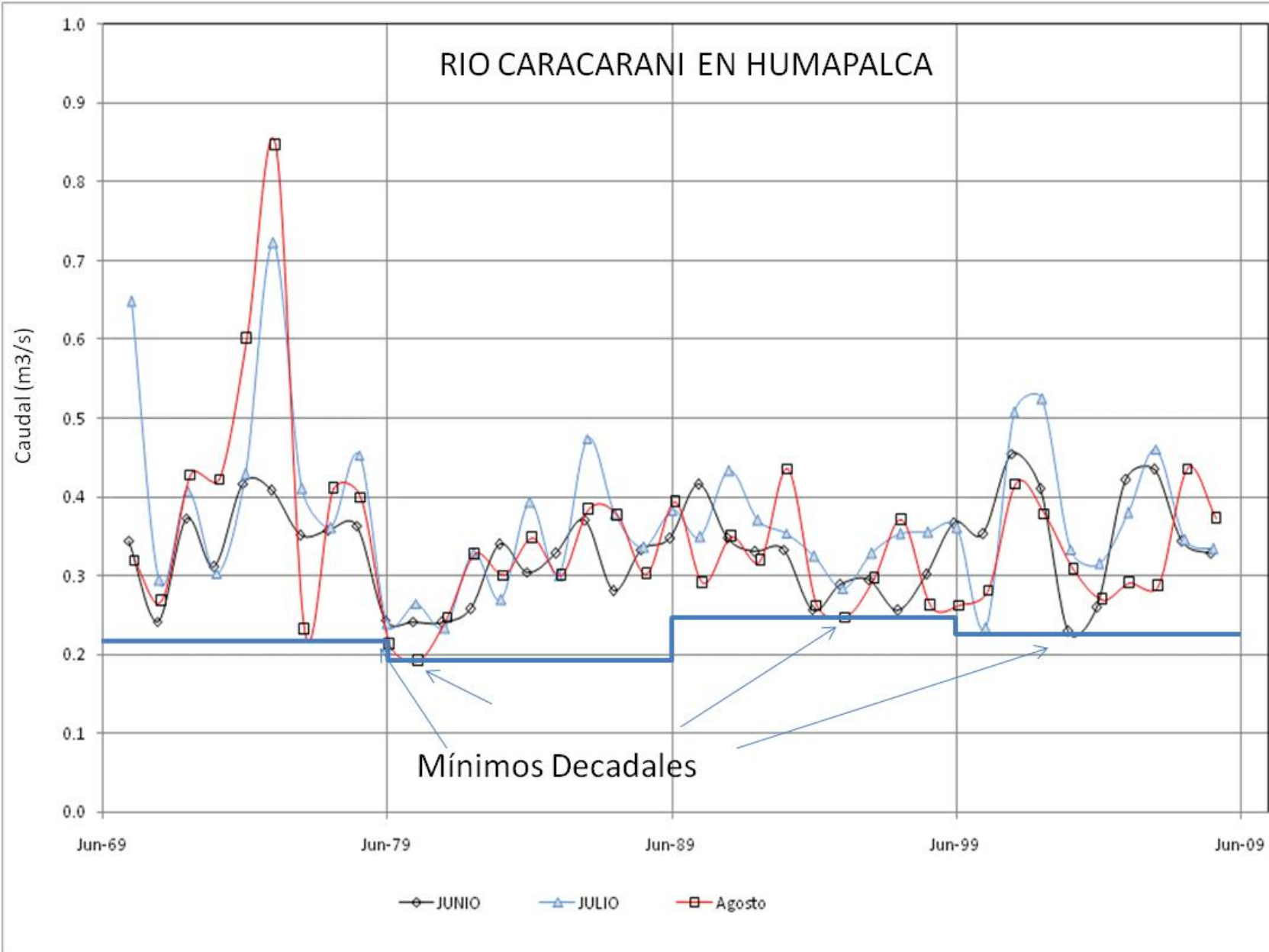
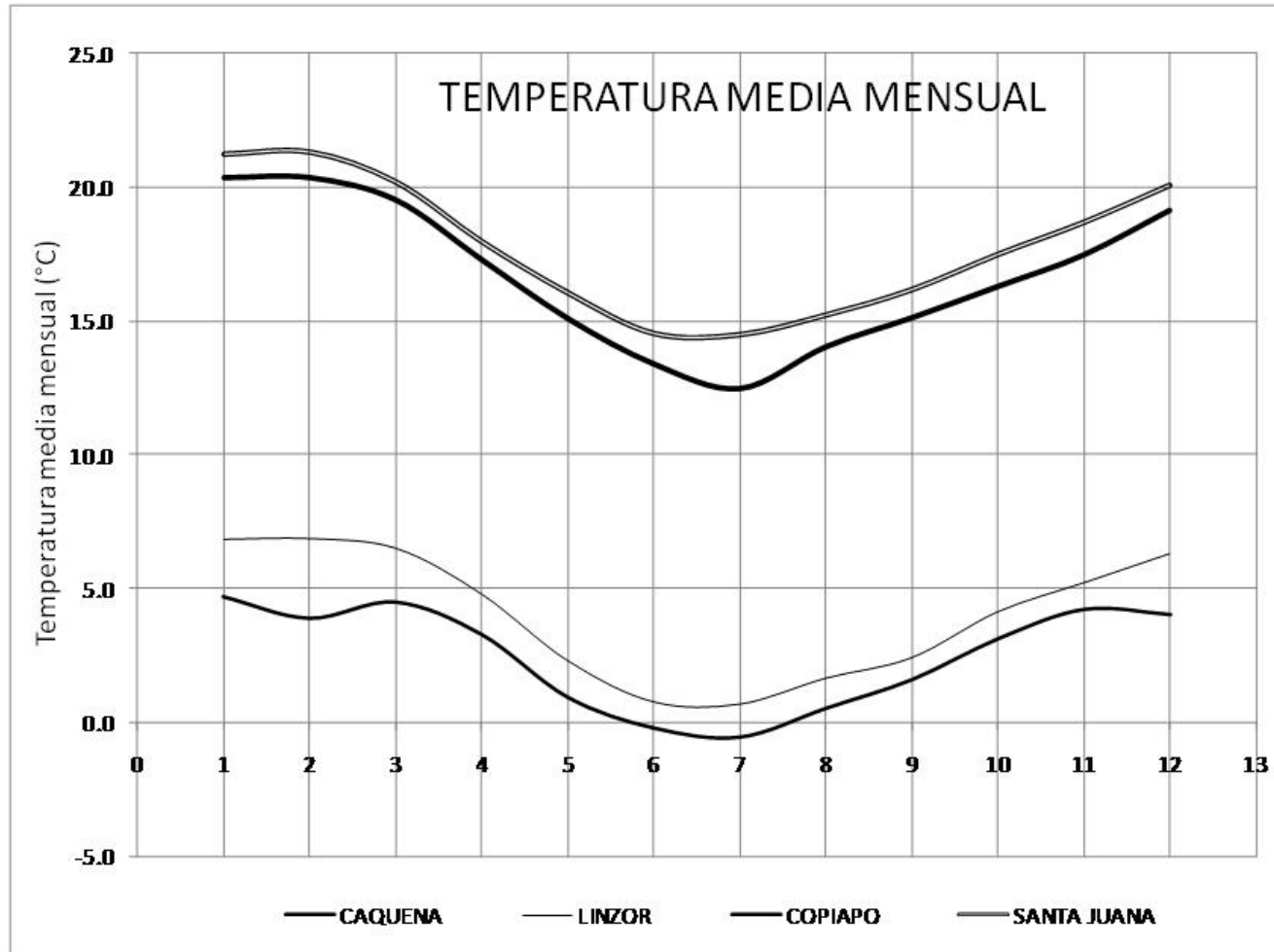
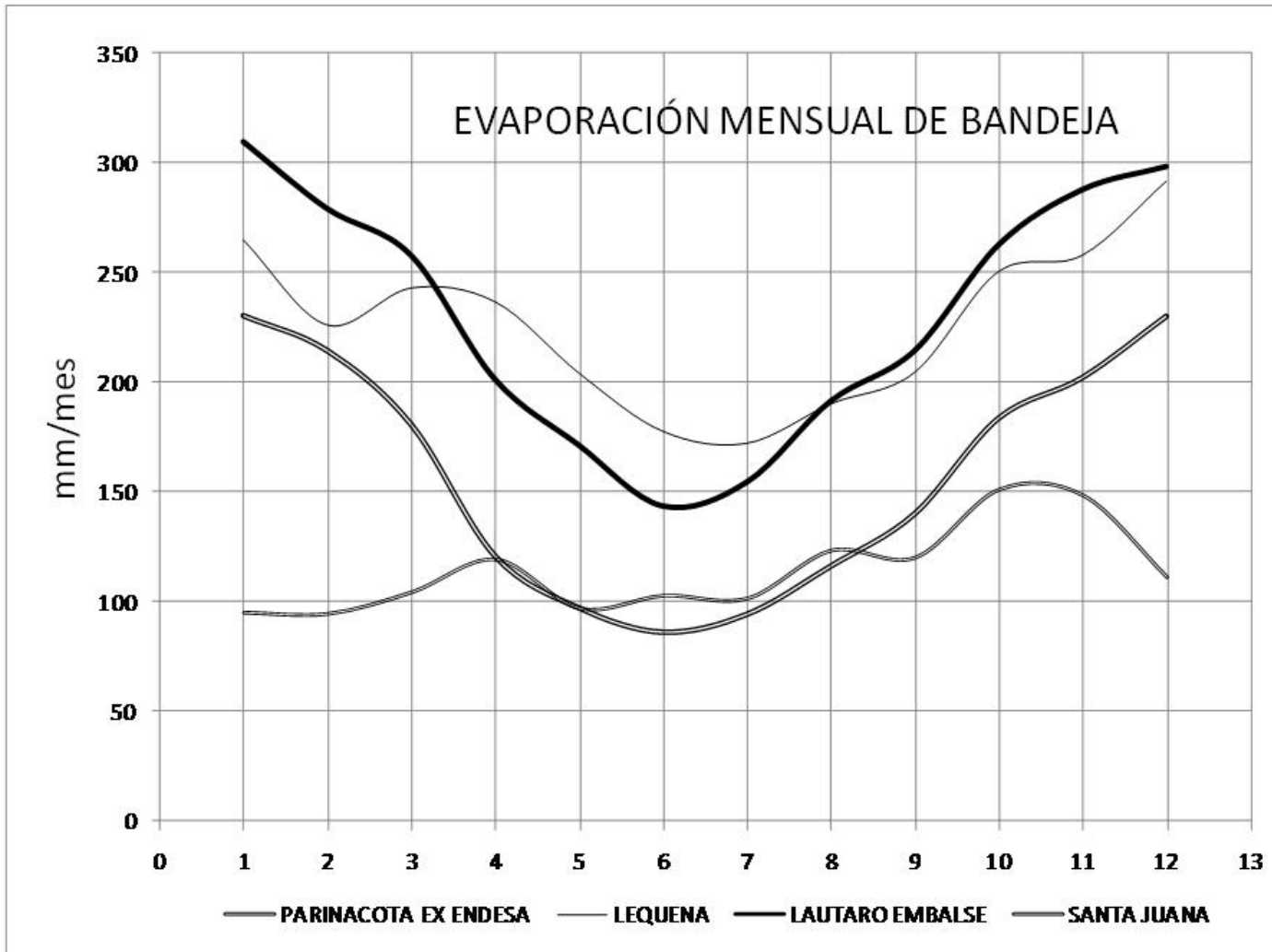
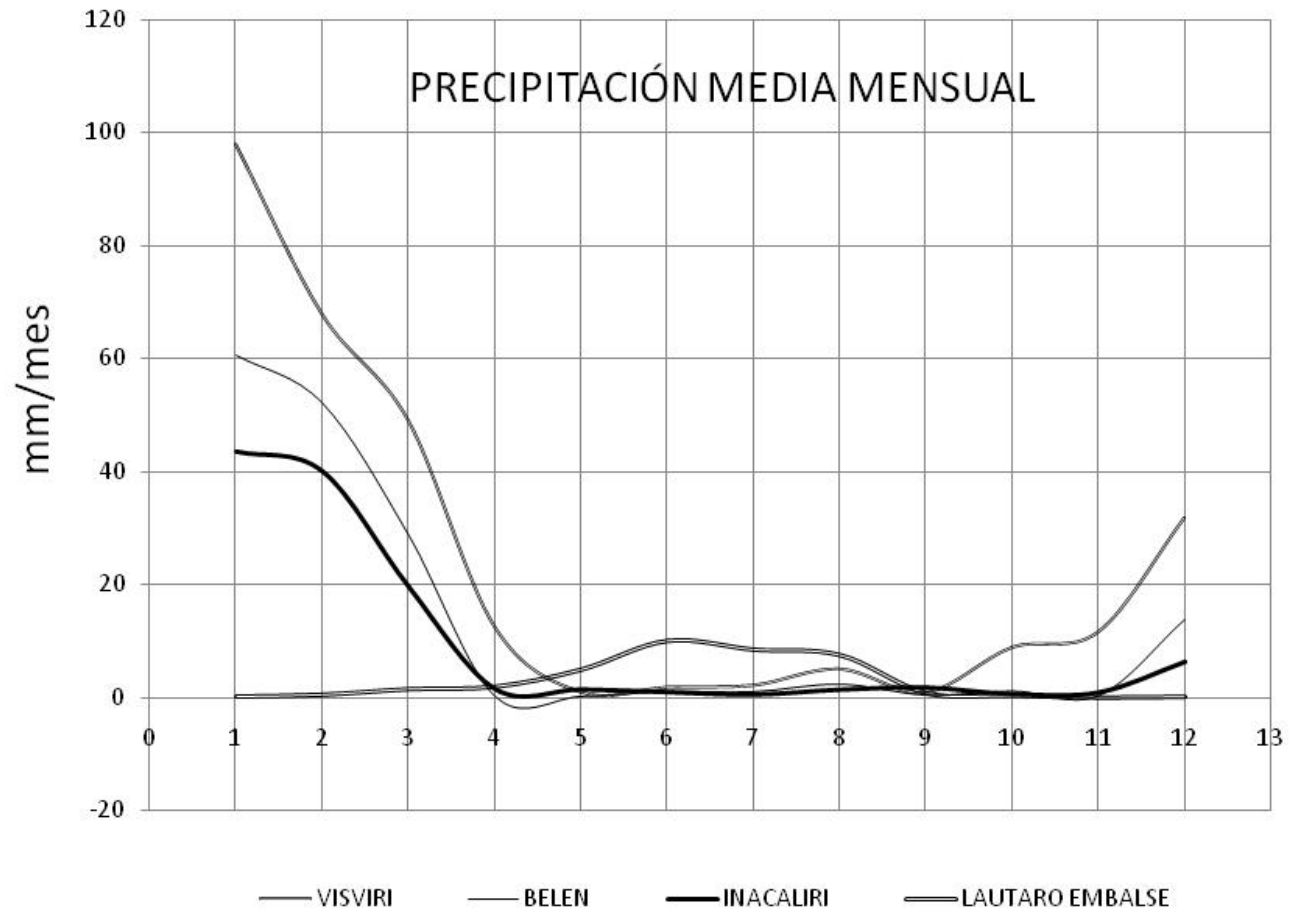


Figura A-1 Ajuste gráfico de la Relación Precipitación Media Anual - Escorrentía Total en la I Región









Cuenca	RIO LLUTA EN ALCERRECA				RIO CARACARANI EN HUMAPA				RIO CAQUENA EN VERTEDERO				ACUEDUCTO AZAPA EN BOCATO				RIO CODPA EN CALA-CALA			
	año	jun	jul	ago	Min	jun	jul	ago	Min	jun	jul	ago	Min	jun	jul	ago	Min	jun	jul	ago
1970	1.180	1.853	1.014	1.014	0.345	0.648	0.320	0.320	0.854	0.901	0.859	0.854	0.554	0.606	0.589	0.554	0.307	0.466	0.252	0.252
1971	0.662	1.618	1.429	0.662	0.242	0.294	0.268	0.242	0.875	0.897	0.889	0.875	0.598	0.594	0.546	0.546	0.087	0.084	0.087	0.084
1972	1.346	1.357	1.201	1.201	0.373	0.406	0.428	0.373	0.504	0.439	0.526	0.439	0.000	0.000	0.112	0.000	0.112	0.096	0.115	0.096
1973	1.367	1.429	1.284	1.284	0.312	0.303	0.423	0.303	0.439	0.333	0.333	0.333	0.000	0.000	0.000	0.000	0.184	0.141	0.138	0.138
1974	1.709	1.723	2.224	1.709	0.417	0.430	0.601	0.417	0.207	0.238	0.257	0.207	0.868	0.837	0.841	0.837	0.069	0.081	0.084	0.069
1975	2.542	1.808	1.539	1.539	0.409	0.722	0.846	0.409	0.672	0.711	0.721	0.672	0.096	0.089	0.530	0.089	0.099	0.081	0.108	0.081
1976	1.580	1.588	1.591	1.580	0.352	0.410	0.231	0.231	0.641	1.160	1.128	0.641	0.877	0.898	0.829	0.829	0.362	0.318	0.303	0.303
1977	1.492	1.530	1.530	1.492	0.358	0.361	0.410	0.358	1.349	0.356	1.398	0.356	0.278	0.256	0.262	0.256	0.057	0.051	0.043	0.043
1978	0.917	1.529	1.467	0.917	0.364	0.453	0.400	0.364	1.077	1.129	1.067	1.067	1.036	1.042	0.830	0.830	0.164	0.157	0.127	0.127
1979	1.410	1.397	1.298	1.298	0.244	0.239	0.213	0.213	1.121	1.177	1.112	1.112	0.902	0.894	0.768	0.768	0.231	0.205	0.186	0.186
1980	0.810	0.810	0.831	0.810	0.242	0.265	0.191	0.191	1.042	1.116	1.079	1.042	0.629	0.524	0.477	0.477	0.105	0.100	0.105	0.100
1981	0.975	1.265	1.715	0.975	0.241	0.234	0.248	0.234	0.986	0.534	0.748	0.534	0.708	0.734	0.696	0.696	0.149	0.185	0.254	0.149
1982	1.327	1.204	1.132	1.132	0.258	0.328	0.327	0.258	1.174	1.094	0.921	0.921	0.625	0.634	0.548	0.548	0.278	0.273	0.288	0.273
1983	1.326	1.305	1.288	1.288	0.340	0.270	0.301	0.270	0.952	0.919	0.844	0.844	0.546	0.276	0.154	0.154	0.054	0.077	0.045	0.045
1984	1.540	1.556	1.430	1.430	0.305	0.393	0.348	0.305	1.123	1.079	1.010	1.010	0.851	0.945	0.782	0.782	0.141	0.086	0.083	0.083
1985	1.367	1.180	1.218	1.180	0.328	0.300	0.300	0.300	0.368	0.305	1.074	0.305	0.761	0.830	0.863	0.761	0.078	0.058	0.048	0.048
1986	1.575	1.558	1.566	1.558	0.370	0.474	0.384	0.370	1.465	1.533	1.325	1.325	0.333	0.742	0.340	0.333	0.069	0.053	0.100	0.053
1987	1.243	1.601	1.239	1.239	0.281	0.378	0.376	0.281	1.207	1.688	1.144	1.144	0.918	0.909	0.281	0.281	0.071	0.062	0.047	0.047
1988	1.582	1.558	1.334	1.334	0.333	0.336	0.302	0.302	1.220	1.224	1.157	1.157	0.856	0.785	0.775	0.775	0.069	0.057	0.045	0.045
1989	1.396	1.374	1.303	1.303	0.348	0.383	0.393	0.348	1.130	1.155	1.105	1.105	0.844	0.842	0.825	0.825	0.076	0.053	0.028	0.028
1990	1.595	1.337	1.202	1.202	0.416	0.349	0.291	0.291	1.383	1.057	0.988	0.988	0.553	0.500	0.450	0.450	0.047	0.041	0.041	0.041
1991	1.403	1.455	1.213	1.213	0.348	0.433	0.349	0.348	1.079	1.139	1.028	1.028	0.682	0.620	0.578	0.578	0.059	0.051	0.045	0.045
1992	0.890	1.125	1.130	0.890	0.331	0.371	0.319	0.319	0.285	0.445	1.016	0.285	1.795	2.271	2.487	1.795	0.047	0.050	0.053	0.047
1993	1.182	1.521	1.909	1.182	0.333	0.354	0.436	0.333	0.268	0.185	1.780	0.185	0.547	0.528	0.672	0.528	0.081	0.146	0.178	0.081
1994	1.481	1.499	1.372	1.372	0.257	0.325	0.263	0.257	0.972	0.802	0.835	0.802	0.569	0.579	0.595	0.569	0.116	0.100	0.046	0.046
1995	1.504	1.525	1.252	1.252	0.288	0.284	0.248	0.248	1.103	1.087	1.035	1.035	0.417	0.475	0.478	0.417	0.039	0.055	0.051	0.039
1996	1.601	1.762	1.667	1.601	0.295	0.328	0.296	0.295	1.010	1.102	1.043	1.010	0.393	0.424	0.380	0.380	0.053	0.081	0.056	0.053
1997	1.506	1.366	1.617	1.366	0.256	0.353	0.371	0.256	0.894	0.907	1.043	0.894	0.678	0.635	0.561	0.561	0.211	0.271	0.197	0.197
1998	1.279	1.250	1.231	1.231	0.302	0.355	0.262	0.262	0.858	0.827	0.776	0.776	0.448	0.469	0.421	0.421	0.184	0.073	0.035	0.035
1999	1.742	1.653	1.437	1.437	0.367	0.361	0.263	0.263	0.842	0.950	0.929	0.842	0.790	0.615	0.581	0.581	0.748	0.974	0.022	0.022
2000	1.280	1.534	1.562	1.280	0.353	0.234	0.282	0.234	1.223	1.270	0.993	0.993	0.731	0.457	0.748	0.457	0.067	0.052	0.033	0.033
2001	0.650	0.713	0.551	0.551	0.455	0.508	0.417	0.417	1.533	1.671	1.698	1.533	0.539	0.824	0.360	0.360	0.211	0.121	0.086	0.086
2002	6.530	5.946	8.123	5.946	0.410	0.525	0.379	0.379	1.390	1.799	1.277	1.277	0.379	0.361	0.534	0.361	0.075	0.097	0.046	0.046
2003	1.619	2.591	1.923	1.619	0.229	0.333	0.308	0.229	1.468	1.687	1.197	1.197	0.768	0.798	0.722	0.722	0.032	0.017	0.007	0.007
2004	1.116	1.233	1.105	1.105	0.260	0.315	0.269	0.260	1.271	1.548	1.604	1.271	0.759	0.693	0.742	0.693	0.303	0.433	0.328	0.303
2005	1.036	1.230	1.278	1.036	0.422	0.380	0.291	0.291	1.068	1.148	1.087	1.068	0.389	0.652	0.686	0.389	0.116	0.113	0.083	0.083
2006	2.118	1.581	1.453	1.453	0.435	0.461	0.287	0.287	1.087	1.310	1.263	1.087	0.702	0.796	0.826	0.702	0.104	0.087	0.084	0.084
2007	0.816	1.062	0.777	0.777	0.344	0.346	0.436	0.344	1.044	1.195	0.934	0.934	0.821	0.803	0.712	0.712	0.132	0.121	0.125	0.121
2008	1.650	1.734	1.336	1.336	0.328	0.334	0.372	0.328	0.927	0.974	1.055	0.927	0.762	0.728	0.731	0.728	0.062	0.052	0.116	0.052
			Min1	0.662			Min1	0.213			Min1	0.207			Min1	0.000			Min1	0.043
			Min2	0.810			Min2	0.191			Min2	0.305			Min2	0.154			Min2	0.028
			Min3	0.890			Min3	0.248			Min3	0.185			Min3	0.380			Min3	0.022
			Min4	0.551			Min4	0.229			Min4	0.927			Min4	0.360			Min4	0.007
			Prom	0.728			Prom	0.220			Prom	0.406			Prom	0.224			Prom	0.025

Cuenca	RIO CAMARONES EN CONANOXA				QUEBRADA CAMIÑA EN ALTUSA				Q. TARAPACA EN SIBAYA				RIO COLLACAGUA EN PEÑABI				RIO PIGA EN COLLACAGUA				
	año	jun	jul	ago	Min	jun	jul	ago	Min	jun	jul	ago	Min	jun	jul	ago	Min	jun	jul	ago	Min
1970	0.553	0.487	0.214	0.214	0.653	0.915	0.414	0.414	0.273	0.414	0.242	0.242	0.048	0.071	0.037	0.037	0.277	0.480	0.240	0.240	
1971	0.164	0.141	0.117	0.117	0.194	0.179	0.149	0.149	0.083	0.083	0.090	0.083	0.013	0.013	0.012	0.012	0.114	0.125	0.149	0.114	
1972	0.194	0.145	0.170	0.145	0.244	0.198	0.198	0.198	0.064	0.058	0.071	0.058	0.014	0.012	0.013	0.012	0.110	0.110	0.119	0.110	
1973	0.103	0.068	0.057	0.057	0.446	0.326	0.266	0.266	0.115	0.092	0.096	0.092	0.035	0.027	0.024	0.024	0.236	0.218	0.181	0.181	
1974	0.224	0.224	0.224	0.224	0.349	0.379	0.338	0.338	0.088	0.105	0.114	0.088	0.011	0.012	0.011	0.011	0.074	0.098	0.090	0.074	
1975	0.135	0.096	0.116	0.096	0.204	0.161	0.176	0.161	0.104	0.087	0.125	0.087	0.013	0.010	0.013	0.010	0.092	0.084	0.101	0.084	
1976	0.690	0.483	0.483	0.483	0.726	0.596	0.480	0.480	0.266	0.234	0.242	0.234	0.035	0.030	0.026	0.026	0.254	0.254	0.218	0.218	
1977	0.024	0.019	0.016	0.016	0.088	0.075	0.053	0.053	0.033	0.030	0.028	0.028	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035	0.035	0.027	0.027	
1978	0.400	0.311	0.222	0.222	0.351	0.316	0.211	0.211	0.169	0.163	0.140	0.140	0.016	0.016	0.012	0.012	0.118	0.116	0.112	0.112	
1979	0.291	0.226	0.194	0.194	0.405	0.414	0.417	0.405	0.193	0.180	0.174	0.174	0.036	0.032	0.027	0.027	0.138	0.141	0.133	0.133	
1980	0.101	0.088	0.088	0.088	0.281	0.304	0.291	0.281	0.102	0.098	0.109	0.098	0.015	0.015	0.015	0.015	0.173	0.075	0.079	0.075	
1981	0.120	0.120	0.154	0.120	0.388	0.337	0.396	0.337	0.116	0.148	0.216	0.116	0.239	0.191	0.241	0.191	0.164	0.155	0.109	0.109	
1982	0.079	0.399	0.335	0.079	0.338	0.387	0.276	0.276	0.155	0.155	0.173	0.155	0.207	0.211	0.236	0.207	0.140	0.134	0.105	0.105	
1983	0.342	0.362	0.387	0.342	0.299	0.267	0.251	0.251	0.182	0.120	0.073	0.073	0.253	0.009	0.005	0.005	0.186	0.170	0.160	0.160	
1984	0.734	0.629	0.489	0.489	0.265	0.364	0.341	0.265	0.108	0.151	0.141	0.108	0.328	0.288	0.434	0.288	0.140	0.124	0.117	0.117	
1985	0.483	0.473	0.369	0.369	0.311	0.301	0.319	0.301	0.103	0.088	0.144	0.088	0.269	0.459	0.282	0.269	0.199	0.194	0.186	0.186	
1986	1.009	0.363	0.286	0.286	0.380	0.368	0.371	0.368	0.091	0.111	0.118	0.091	0.014	0.017	0.016	0.014	0.146	0.145	0.147	0.145	
1987	0.461	0.438	0.432	0.432	0.257	0.278	0.244	0.244	0.141	0.141	0.087	0.087	0.125	0.128	0.125	0.125	0.165	0.171	0.163	0.163	
1988	0.282	0.323	0.217	0.217	0.290	0.309	0.287	0.287	0.018	0.022	0.028	0.018	0.143	0.135	0.149	0.135	0.182	0.160	0.125	0.125	
1989	0.209	0.276	0.170	0.170	0.284	0.251	0.252	0.251	0.502	0.461	0.481	0.461	0.136	0.199	0.199	0.136	0.119	0.097	0.149	0.097	
1990	0.215	0.208	0.139	0.139	0.213	0.214	0.202	0.202	0.055	0.118	0.094	0.055	0.182	0.189	0.189	0.182	0.144	0.140	0.096	0.096	
1991	0.164	0.327	0.189	0.164	0.222	0.253	0.295	0.222	0.073	0.036	0.098	0.036	0.153	0.169	0.164	0.153	0.145	0.148	0.140	0.140	
1992	0.070	0.093	0.093	0.070	0.213	0.213	0.216	0.213	0.047	0.077	0.094	0.047	0.000	0.000	0.175	0.000	0.086	0.088	0.074	0.074	
1993	0.335	0.455	0.397	0.335	0.268	0.247	0.364	0.247	0.065	0.045	0.060	0.045	0.188	0.221	0.240	0.188	0.097	0.090	0.095	0.090	
1994	0.348	0.342	0.219	0.219	0.210	0.208	0.251	0.208	0.059	0.051	0.071	0.051	0.191	0.159	0.170	0.159	0.102	0.139	0.143	0.102	
1995	0.188	0.240	0.154	0.154	0.123	0.140	0.133	0.123	0.027	0.049	0.088	0.027	0.176	0.160	0.192	0.160	0.147	0.139	0.134	0.134	
1996	0.157	0.194	0.167	0.157	0.125	0.117	0.112	0.112	0.065	0.067	0.109	0.065	0.153	0.118	0.117	0.117	0.196	0.173	0.168	0.168	
1997	0.265	0.307	0.230	0.230	0.275	0.330	0.204	0.204	0.067	0.061	0.081	0.061	0.115	0.125	0.158	0.115	0.167	0.159	0.139	0.139	
1998	0.189	0.266	0.177	0.177	0.189	0.445	0.116	0.116	0.029	0.037	0.049	0.029	0.247	0.236	0.179	0.179	0.087	0.100	0.114	0.087	
1999	0.398	0.398	0.133	0.133	0.920	1.083	0.298	0.298	0.097	0.118	0.085	0.085	0.241	0.275	0.233	0.233	0.209	0.189	0.189	0.189	
2000	0.122	0.140	0.122	0.122	0.247	0.331	0.253	0.247	0.201	0.152	0.125	0.125	0.168	0.185	0.159	0.159	0.151	0.163	0.142	0.142	
2001	0.220	0.193	0.138	0.138	0.296	0.290	0.189	0.189	0.077	0.080	0.053	0.053	0.298	0.286	0.280	0.280	0.235	0.231	0.213	0.213	
2002	0.216	0.168	0.216	0.168	0.711	0.575	0.657	0.575	0.251	0.227	0.185	0.185	0.208	0.192	0.193	0.192	0.142	0.141	0.127	0.127	
2003	0.234	0.312	0.195	0.195	0.419	0.591	0.369	0.369	0.127	0.140	0.127	0.127	0.338	0.307	0.346	0.307	0.132	0.162	0.142	0.132	
2004	1.077	1.254	0.917	0.917	0.411	0.534	0.341	0.341	0.125	0.144	0.153	0.125	0.530	0.163	0.127	0.127	0.168	0.183	0.178	0.168	
2005	0.545	0.413	0.277	0.277	0.300	0.320	0.280	0.280	0.143	0.143	0.107	0.107	0.536	0.386	0.282	0.282	0.143	0.184	0.178	0.143	
2006	0.868	0.815	0.802	0.802	0.137	0.105	0.091	0.091	0.166	0.132	0.130	0.130	0.526	0.183	0.115	0.115	0.232	0.216	0.220	0.216	
2007	0.952	0.700	0.595	0.595	0.261	0.302	0.186	0.186	0.108	0.095	0.103	0.095	0.190	0.206	0.198	0.190	0.180	0.174	0.159	0.159	
2008	0.348	0.344	0.496	0.344	0.486	0.299	0.267	0.267	0.326	0.162	0.201	0.162	0.005	0.005	0.010	0.005	0.173	0.185	0.166	0.166	
			Min1	0.016				Min1	0.053			Min1	0.028			Min1	0.000			Min1	0.027
			Min2	0.079				Min2	0.244			Min2	0.018			Min2	0.005			Min2	0.075
			Min3	0.070				Min3	0.112			Min3	0.027			Min3	0.000			Min3	0.074
			Min4	0.122				Min4	0.091			Min4	0.053			Min4	0.005			Min4	0.127
			Prom	0.072				Prom	0.125			Prom	0.032			Prom	0.003			Prom	0.076

Cuenca	RIO HUATACONDO EN COPAQUIRE				RIO LOA ANTES REPRESA LEQUENA				RIO SALADO A. J. LOA				RIO SALADO A. J. CURTI			
	año	jun	jul	ago	Min	jun	jul	ago	Min	jun	jul	ago	Min	jun	jul	ago
1970	0.126	0.190	0.126	0.126	0.216	0.313	0.173	0.173	0.621	0.435	0.369	0.369	0.034	0.068	0.034	0.034
1971	0.031	0.031	0.031	0.031	0.518	0.418	0.158	0.158	0.693	1.045	0.700	0.693	0.060	0.060	0.060	0.060
1972	0.005	0.002	0.005	0.002	0.144	0.118	0.135	0.118	0.632	0.576	0.631	0.576	0.005	0.005	0.005	0.005
1973	0.153	0.076	0.076	0.076	0.267	0.193	0.193	0.193	0.768	0.829	0.679	0.679	0.214	0.214	0.107	0.107
1974	0.009	0.009	0.018	0.009	0.097	0.105	0.105	0.097	0.906	0.356	0.687	0.356	0.049	0.049	0.099	0.049
1975	0.021	0.021	0.042	0.021	0.569	0.571	0.542	0.542	0.522	0.584	0.565	0.522	0.031	0.015	0.031	0.015
1976	0.259	0.259	0.259	0.259	0.572	0.575	0.558	0.558	0.603	0.445	0.611	0.445	0.173	0.191	0.187	0.173
1977	0.015	0.015	0.015	0.015	0.629	0.631	0.629	0.629	0.664	0.266	0.658	0.266	0.024	0.150	0.134	0.024
1978	0.044	0.044	0.050	0.044	0.528	0.532	0.494	0.494	0.775	0.492	0.668	0.492	0.160	0.161	0.201	0.160
1979	0.043	0.044	0.044	0.043	0.412	0.428	0.444	0.412	1.044	0.885	0.805	0.805	0.135	0.108	0.108	0.108
1980	0.019	0.022	0.029	0.019	0.054	0.493	0.504	0.054	0.954	0.593	0.642	0.593	0.147	0.143	0.089	0.089
1981	0.022	0.022	0.025	0.022	0.495	0.508	0.513	0.495	0.847	0.565	0.685	0.565	0.080	0.075	0.095	0.075
1982	0.015	0.010	0.011	0.010	0.496	0.497	0.504	0.496	0.834	0.620	0.596	0.596	0.058	0.090	0.051	0.051
1983	0.012	0.013	0.004	0.004	0.511	0.548	0.488	0.488	0.781	0.466	0.633	0.466	0.078	0.147	0.070	0.070
1984	0.028	0.025	0.026	0.025	0.481	0.668	0.710	0.481	0.645	0.668	0.530	0.530	0.090	0.082	0.064	0.064
1985	0.031	0.037	0.041	0.031	0.572	0.594	0.547	0.547	0.672	0.445	0.440	0.440	0.074	0.108	0.066	0.066
1986	0.014	0.009	0.013	0.009	0.698	0.626	0.633	0.626	0.515	0.358	0.586	0.358	0.071	0.083	0.098	0.071
1987	0.027	0.028	0.040	0.027	0.563	0.665	0.724	0.563	0.894	1.177	0.593	0.593	0.056	0.050	0.051	0.050
1988	0.008	0.009	0.014	0.008	0.770	0.595	0.600	0.595	1.114	0.901	1.138	0.901	0.055	0.041	0.042	0.041
1989	0.018	0.008	0.014	0.008	0.546	0.584	0.591	0.546	0.549	0.441	0.522	0.441	0.058	0.034	0.030	0.030
1990	0.008	0.007	0.011	0.007	0.691	0.565	0.606	0.565	0.730	1.073	0.671	0.671	0.049	0.044	0.053	0.044
1991	0.014	0.016	0.020	0.014	0.602	0.639	0.612	0.602	0.809	1.000	0.583	0.583	0.052	0.104	0.040	0.040
1992	0.002	0.002	0.002	0.002	0.625	0.720	0.638	0.625	0.849	0.358	0.589	0.358	0.055	0.060	0.046	0.046
1993	0.000	0.000	0.002	0.000	0.531	0.571	0.598	0.531	0.883	0.586	0.784	0.586	0.061	0.072	0.082	0.061
1994	0.002	0.003	0.005	0.002	0.550	0.558	0.583	0.550	0.755	0.761	0.652	0.652	0.047	0.052	0.063	0.047
1995	0.002	0.002	0.002	0.002	0.521	0.516	0.542	0.516	0.798	0.253	0.692	0.253	0.155	0.150	0.160	0.150
1996	0.002	0.002	0.002	0.002	0.558	0.607	0.645	0.558	0.866	1.299	0.612	0.612	0.030	0.043	0.068	0.030
1997	0.002	0.002	0.002	0.002	0.739	0.684	0.702	0.684	0.691	0.365	0.549	0.365	0.074	0.083	0.094	0.074
1998	0.004	0.005	0.006	0.004	0.521	0.525	0.537	0.521	0.694	0.562	0.677	0.562	0.180	0.067	0.060	0.060
1999	0.384	0.384	0.000	0.000	0.589	0.535	0.540	0.535	0.890	0.888	0.753	0.753	0.176	0.183	0.138	0.138
2000	0.005	0.006	0.006	0.005	0.745	0.623	0.626	0.623	0.745	0.388	0.674	0.388	0.139	0.023	0.140	0.023
2001	0.087	0.073	0.048	0.048	0.065	0.065	0.049	0.049	0.865	0.430	0.617	0.430	0.315	0.281	0.236	0.236
2002	0.017	0.016	0.017	0.016	0.505	0.585	0.569	0.505	0.748	1.051	0.526	0.526	0.187	0.205	0.147	0.147
2003	0.010	0.011	0.011	0.010	0.567	0.589	0.559	0.559	0.509	0.494	0.456	0.456	0.222	0.220	0.189	0.189
2004	0.014	0.016	0.017	0.014	0.601	0.545	0.534	0.534	0.596	0.651	0.556	0.556	0.168	0.166	0.153	0.153
2005	0.020	0.007	0.008	0.007	0.566	0.586	0.581	0.566	0.681	0.727	0.703	0.681	0.168	0.174	0.157	0.157
2006	0.062	0.063	0.063	0.062	0.497	0.545	0.543	0.497	0.683	0.650	0.629	0.629	0.099	0.093	0.089	0.089
2007	0.015	0.012	0.009	0.009	0.515	0.522	0.510	0.510	0.824	0.611	0.572	0.572	0.228	0.268	0.216	0.216
2008	0.004	0.000	0.004	0.000	0.450	0.467	0.469	0.450	0.536	0.505	0.469	0.469	0.210	0.110	0.207	0.110
			Min1	0.002			Min1	0.097			Min1	0.266			Min1	0.005
			Min2	0.004			Min2	0.054			Min2	0.358			Min2	0.030
			Min3	0.000			Min3	0.516			Min3	0.253			Min3	0.030
			Min4	0.000			Min4	0.049			Min4	0.388			Min4	0.023
			Prom	0.002			Prom	0.179			Prom	0.316			Prom	0.022