



INFORME TÉCNICO

**ESTUDIO PRELIMINAR DE RECURSOS
SUPERFICIALES RÍO CAMIÑA**

REALIZADO POR:
División de Estudios y Planificación
SDT N° 326

Santiago, Marzo de 2012

Michael Finger

Carlos Naudon G.

Andrea Osses V.

Miguel Ángel Caro H.

Adrián Lillo Zenteno

TABLA DE CONTENIDOS

1	Introducción	1
2	Red Hidrométrica.....	2
2.1	Red de Estaciones Pluviométricas.....	3
2.2	Estaciones Fluviométricas	4
3	Precipitación	5
4	Análisis de Caudales.....	12
5	Evapotranspiración	16
6	Fluviometría.....	18
7	Demanda.....	19
8	Infiltraciones y Retornos de las Zonas de Riego.....	19
9	Infiltraciones del Cauce	20
10	Geología	20
11	Geometría Acuífera	21
12	Parámetros Hidráulicos	22
13	Caudales Subterráneos.....	23
14	Modelo Conceptual.....	24
15	Resultados.....	26
15.1	Calibración	26
15.2	Caso base (Actual).....	29
15.3	Escenario Futuro.....	31
15.4	Escenarios de Sensibilidad	33
16	Conclusiones.....	37
17	Referencias.....	38

1 INTRODUCCIÓN

El río Camiña se ubica en la primera región de Tarapacá, nace a los pies del cerro Pumire aproximadamente en los 4.800 msnm, desarrollando su curso desde el sector Noreste a Sureste, atravesando varios poblados pequeños, siendo el mayor de ellos, el poblado de Camiña. A 146 km de su origen, se une con la quebrada Tiviliche, a una altura de 600 msnm, y luego continúa su curso al mar por un tramo de 16 km denominado quebrada Tana, desembocando en el Océano Pacífico al norte del poblado de Pisagua. El área aportante de la cuenca del río Camiña hasta su junta con la quebrada Tiviliche es del orden de los 1.558 km², y una longitud de cauce de 146 km.

La cuenca del río Camiña presenta las características típicas de las cuencas altiplánicas de la región, es decir, presenta formaciones rocosas altamente impermeables en su parte alta, pasando a formaciones más permeables en su parte media y baja, donde se presentan configuraciones del tipo desérticas.

El Régimen Pluvial presente en la cuenca, corresponde al altiplánico, es decir presenta precipitaciones intensas en los meses de Diciembre-Marzo, y precipitaciones prácticamente nulas el resto del año. Las precipitaciones de mayor intensidad se presentan en la parte alta de la cuenca con una componente nival menor, disminuyendo su magnitud con la altura hacia el sector medio o valle central, y ya en el sector bajo costero, las precipitaciones no existen. De acuerdo con los registros históricos, la precipitación media anual es del orden de los 230 mm sobre los 4.000 msnm, disminuyendo con la altura hasta los 35 mm cerca de los 2500 msnm, siendo nulas en la sección baja costera alrededor de los 200 msnm.

El caudal medio anual fluctúa en torno a los 300 l/s a la altura del pueblo de Camiña, según registros de estación Camiña en Altusa, presentando sus mayores valores en los meses de diciembre a marzo, por el efecto del invierno altiplánico, donde se produce la recarga subterránea que alimenta el río durante el resto del año. El curso superficial del río presenta tramos intermitentes aguas abajo del poblado de Camiña, es decir, presenta flujo subterráneo sin presencia superficial, en varios tramos, para finalmente aguas abajo del sector de la Puerta, perder por completo toda presencia superficial.

A lo largo del cauce del río se desarrolla agricultura por parte de las comunidades aymaras, dicha actividad es básicamente de subsistencia, por lo que no comprende grandes áreas cultivables, las cuales abarcan al año 2010 cerca de 152 ha, que corresponden a menos del 1% del área de la cuenca.

Considerando lo anterior y la necesidad creciente de la DGA regional de estimar adecuadamente la disponibilidad superficial del recurso a lo largo de la cuenca, el presente reporte técnico entrega los resultados obtenidos sobre disponibilidad de caudales en diferentes puntos del curso del río, considerando la información registrada a la fecha y los resultados obtenidos por otros estudios realizados en la cuenca.

En la Figura 1-1 se presenta la ubicación y el área de la cuenca del río Camiña. Por su parte, el Cuadro 1-1 muestra el área aportante a las estaciones fluviométricas de la cuenca y el largo del cauce involucrado.



Figura 1-1 Cuenca aportante al río Camiña

Estación	Área [km ²]	Largo Cauce [km ²]
Camiña en Altusa	530	64.6
Camiña en Pacagua	695	100.4
Camiña en Tiviliche	1558	145.4

Cuadro 1-1 Área y Largo de Cauces, cuencas y subcuencas Río Camiña

2 RED HIDROMÉTRICA

La cuenca del río Camiña en la actualidad no cuenta con una buena red de monitoreo, en lo que se refiere a caudales como a precipitaciones. Existe deficiencia desde el punto de vista de la cobertura como de la continuidad de los registros, de modo que,

no se dispone una adecuada información para realizar los análisis hidrológicos y de recursos pertinentes.

Dicha cuenca puede considerarse más bien como una cuenca no controlada, dado el estado actual de operación de sus estaciones y registros.

En los puntos 2.1 y 2.2 se profundiza por separado acerca de precipitaciones y caudales.

2.1 RED DE ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS

En la región de Tarapacá, tanto en la cuenca del río Camiña, como sus cuencas norte y sur se dispone de un total de 15 estaciones meteorológicas, distribuidas como se indica en la Figura 2-1. De las estaciones indicadas solo 9 de ellas disponen de un periodo de registro superior a 15 años, mientras que tan solo 8 superan los 15 años de información efectiva, y a su vez, de ellas solo 6 se encuentran vigentes al año 2012.

En base a lo señalado, se validaron solo 9 estaciones para ser empleadas en los análisis posteriores, y se validó adicionalmente la estación Cuya, ya que por su ubicación, y como lo demuestran sus registros, su precipitación es siempre nula. En la Figura 2-2, se indican las estaciones mencionadas ordenadas por altura y se indica su precipitación media anual (Pp.a), obtenida como el promedio de los años con información disponible en cada caso. Resulta fácil de comprobar a partir de la gráfica que efectivamente la precipitación se incrementa directamente con la altura, como se señala en muchos estudios de la zona. De las estaciones seleccionadas, solo la de Camiña y Pumire se encuentran dentro de la cuenca analizada.



Figura 2-1 Ubicación de estaciones meteorológicas en la zona de estudio

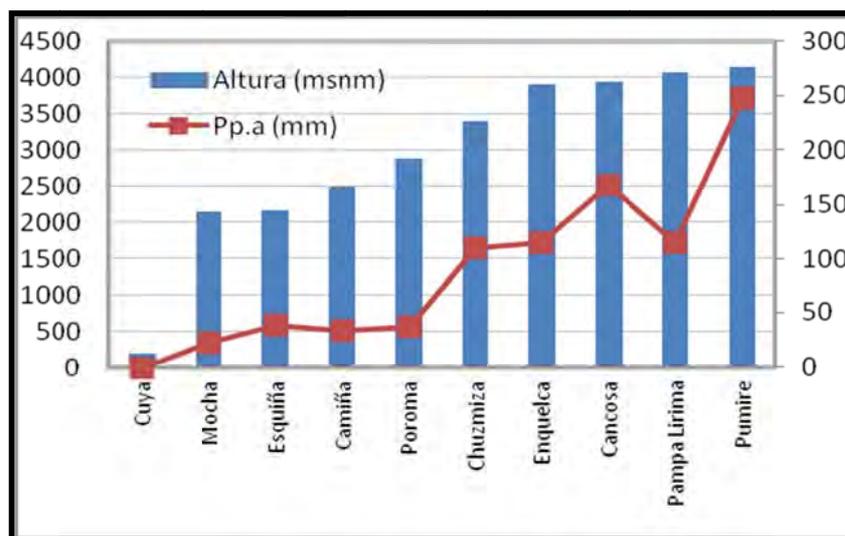


Figura 2-2 Precipitación media anual de estaciones meteorológicas seleccionadas

El Cuadro 2-1 muestra los años de registro, la altura y la precipitación media anual de las estaciones meteorológicas.

N°	Nombre Estación	Periodo de Registro	Años con Registros	Altura [m.s.n.m.]	Precipitación media anual [mm]
1	Cuya	1965-1979	15	200	0.0
2	Mocha	1988/95; 1997-2012	24	2150	22.9
3	Esquiña	1975-2012	38	2170	39.1
4	Camiña	1971/72; 1974/85; 1988-2012	39	2500	34.0
5	Apamilca (Camiña)	1986-1990	5	2600	5.9
6	Quebrada Tarapacá Sibaya	2004-2012	9	2830	33.9
7	Poroma	1968/69; 1972; 1975-2012	41	2880	37.4
8	Chuzmiza	1988-2012	25	3400	110.1
9	Caritaya (embalse)	1932/36; 1964/65	7	3600	140.5
10	Quebrada Camiña 3 km aguas arriba de Tarcavire	2006-2012	7	3694	4.0
11	Enquelca (ex Caraguano)	1985/91; 1996-2012	24	3900	114.2
12	Cancosa	1976/89; 1991-2012	36	3930	167.7
13	Pampa Lirima	1977-1989	13	4076	114.3
14	Pumire	1962-1991	30	4150	248.0
15	Puchultiza	1982-1988	7	4300	173.9

Cuadro 2-1 Años de registro, altura y precipitación media anual de Estaciones meteorológicas de la zona de estudio

2.2 ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS

A diferencia del caso de las estaciones meteorológicas, la red fluviométrica en la zona es escasa, y en la cuenca del río Camiña solo existe una estación medianamente operativa, que se instaló en el año 2006 y que corresponde a Camiña 3 km aguas arriba de Tarcavire, la que a su vez es meteorológica, la que por diferentes

inconvenientes, jamás ha operado regularmente, existiendo en la actualidad un proyecto de traslado para la misma.

Por ello en el presente se puede considerar a esta cuenca como una cuenca no controlada, con los inconvenientes que ello provoca para la evaluación del recurso hídrico. Sin embargo en el pasado hubo tres estaciones ubicadas en la cuenca, las que se indican tanto en la Figura 2-3, como en el cuadro n°3, información que en el caso de la estación Camiña en Altusa será utilizada en el posterior análisis.

Figura 2-3 Estaciones Fluviométricas en la cuenca del río Camiña



3 PRECIPITACIÓN

Como se planteo en el capítulo 2.1, las estaciones Camiña y Pumire, caracterizan el régimen pluvial sobre la cuenca, tanto en su parte alta como en su parte media, por ello se procedió a extender sus valores anuales, para luego extender sus valores mensuales, con el objeto de disponer de la información pluvial requerida para un posterior análisis de caudales.

Se establecieron correlaciones anuales entre las estaciones Camiña, Esquiña, Enquelca y Pumire, los resultados se presentan gráficamente en las figuras n°-7 a n°-10.

Figura n° 7: Correlación de Pp. Anual Est. Camiña v/s Est. Esquiña

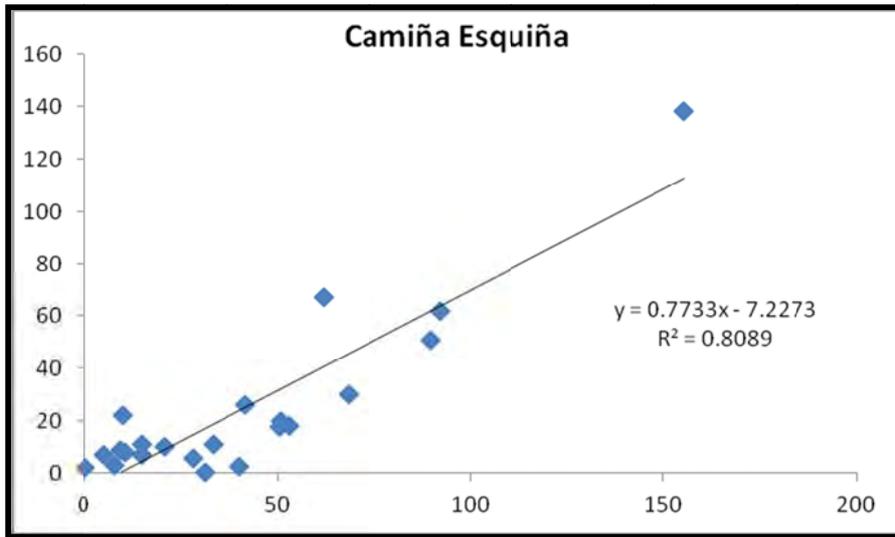


Figura n° 8: Correlación de Pp. Anual Est. Camiña v/s Est. Enquelca

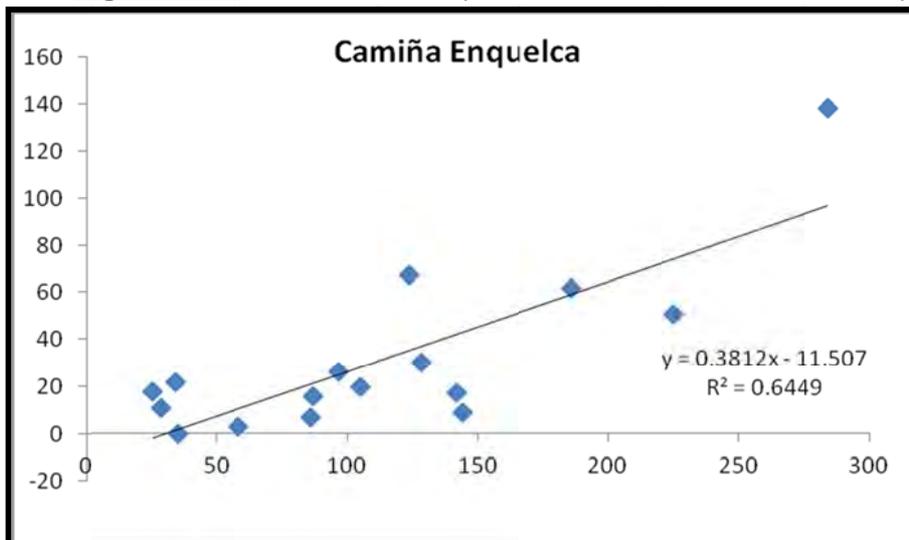


Figura n°9: Correlación de Pp. Anual Est. Enquelca v/s Est. Esquiña

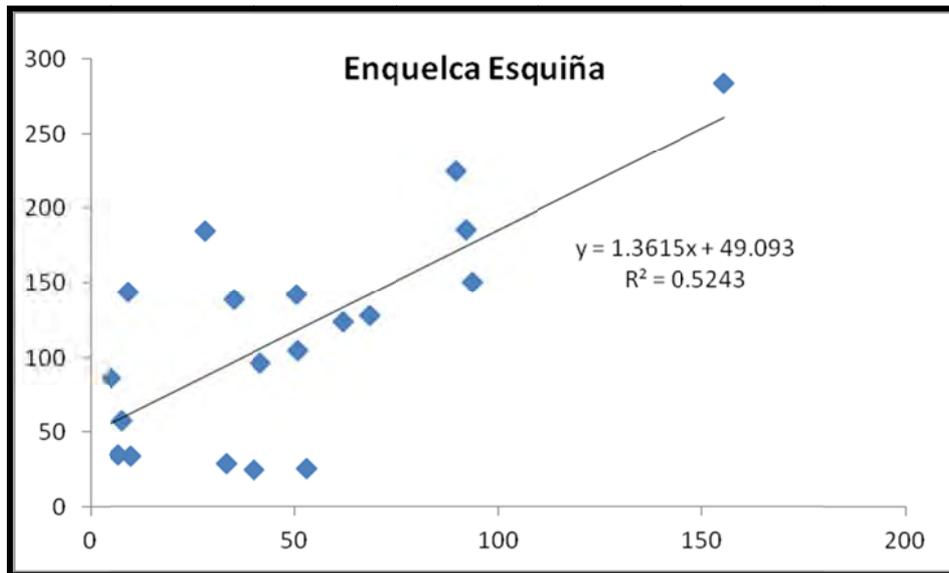
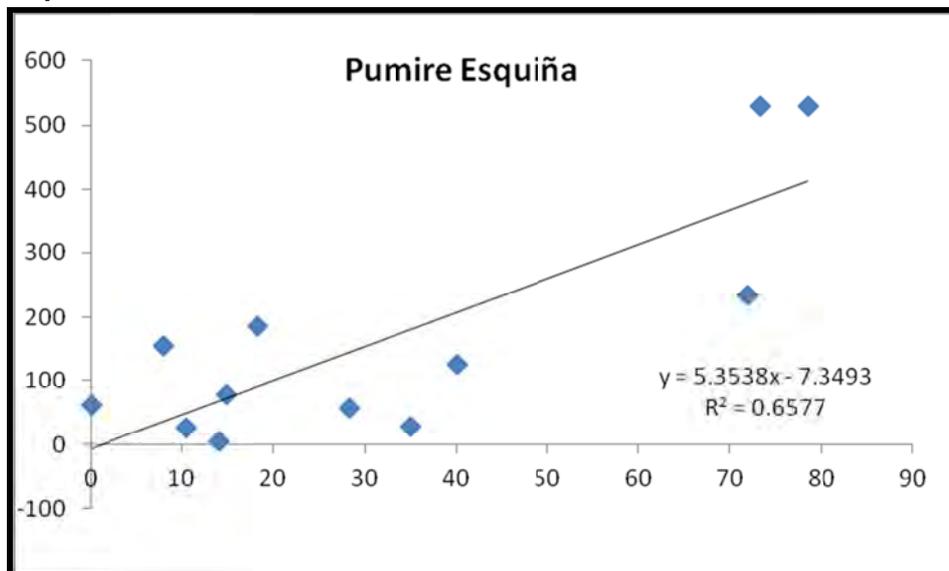


Figura n°10: Correlación de Pp. Anual Est. Pumire v/s Est. Esquiña



Como se observa, los factores de correlación, si bien no son tan buenos como se desearía, son aceptables, y en el caso de Camiña v/s Esquiña, es bastante bueno, por lo que la extensión de estadísticas resulta confiable.

Para la extensión de los valores mensuales, se procede a establecer correlaciones a nivel mensual entre la estación Camiña y esquíña, los casos de enero y febrero se muestran en las figuras n° 11 y n° 12.

Figura n°11: Correlación de Pp. Enero Est. Camiña v/s Est. Esquíña

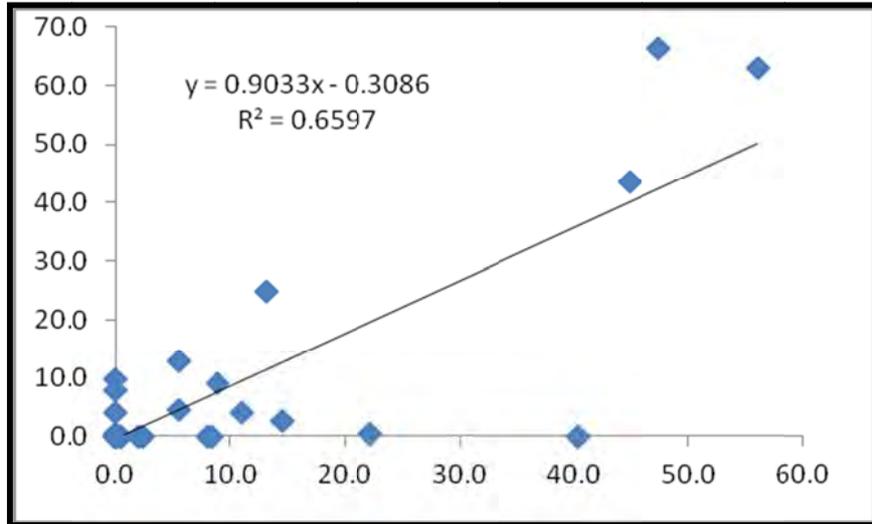
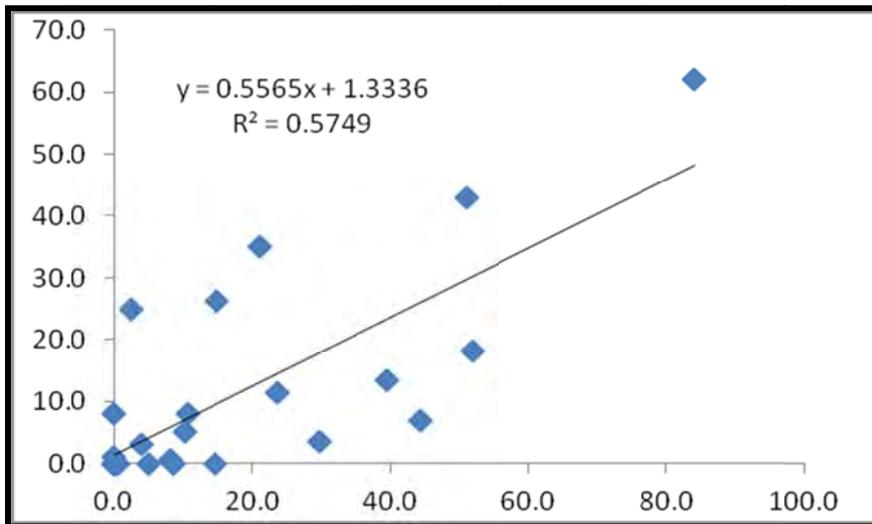


Figura n°12: Correlación de Pp. Febrero Est. Camiña v/s Est. Esquíña.



Para el caso de la estación Pumire se acepta que la distribución mensual respecto del total anual se mantiene, dicha distribución se obtiene a partir de los registros de años completos, y estos valores fueron aplicados finalmente a los valores anuales extendidos.

En el cuadro n°5 se presentan los valores extendidos de la estación Camiña, los valores de la estación Pumires se presentan en el cuadro n°6.

Cuadro n° 5: Valores de precipitación extendida estación Camiña.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Pp.anual
1976	0.0	35.0	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	37.8
1977	10.5	38.2	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.6
1978	0.0	1.3	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	3.2
1979	12.9	1.3	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.2
1980	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0
1981	0.0	5.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0
1982	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
1983	0.0	3.0	1.9	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	13.9
1984	63.0	25.0	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	4.5	0.0	0.0	123.9
1985	0.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	5.8
1986	32.4	24.7	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	62.7
1987	33.3	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	40.8
1988	8.4	2.2	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	14.1
1989	0.0	18.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.1
1990	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	7.5
1991	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0
1992	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.5	11.0
1993	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	8.0
1994	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
1995	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
1996	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.5	0.0	0.0	0.0	0.0	22.0
1997	43.5	11.5	5.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	62.0
1998	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1999	0.0	43.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51.0
2000	0.0	26.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.2
2001	25.0	62.0	0.0	51.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	138.5
2002	9.8	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.3
2003	0.0	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0
2004	13.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0
2005	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.0
2006	4.0	13.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.5
2007	4.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0
2008	66.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	67.4
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2010	0.0	1.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0

Cuadro n° 6: Valores de precipitación extendida estación Pumire.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Pp.anual
1962	0.0	0.0	0.0	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.5	9.5	35.0
1963	107.2	130.0	82.2	2.0	0.0	2.0	0.0	0.0	32.2	0.0	0.5	14.2	370.3
1964	31.4	65.2	27.4	31.8	0.0	0.0	0.0	8.5	0.0	0.0	0.0	66.6	230.9
1965	24.5	32.1	15.7	0.0	0.0	0.0	0.5	1.5	38.2	0.0	0.0	7.0	119.5
1966	0.0	37.2	3.5	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.7	21.4	66.5
1967	26.5	114.0	52.8	6.4	0.0	8.5	1.0	0.0	0.0	0.0	2.4	23.0	234.6
1968	127.0	102.5	80.4	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	9.0	0.0	326.1
1969	115.3	77.3	36.0	0.0	0.0	3.7	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	28.5	263.3
1970	129.1	98.2	30.7	6.5	28.5	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	16.2	312.7
1971	116.8	173.7	0.0	17.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.0	70.5	400.5
1972	226.6	155.6	84.8	0.0	0.0	0.0	24.0	0.0	36.0	0.0	0.0	61.4	588.4
1973	212.0	165.0	91.0	10.5	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	486.5
1974	228.1	213.3	0.0	49.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	490.4
1975	182.6	319.0	129.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.5	671.1
1976	65.0	191.0	135.0	16.5	0.0	14.0	0.0	8.0	42.0	0.0	0.0	58.0	529.5
1977	3.5	437.5	43.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	1.0	41.0	530.0
1978	77.0	0.0	77.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	154.5
1979	123.0	8.5	38.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	186.5
1980	0.0	6.5	19.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.0
1981	0.0	44.5	25.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	78.5
1982	40.0	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	62.0
1983	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	4.5
1984	103.5	88.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	0.0	18.0	0.0	0.0	234.5
1985	0.0	56.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	57.8
1986	33.6	22.5	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.4	83.5
1987	125.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	125.0
1988	27.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.6
1989	0.0	0.0	0.0	0.0	14.6	9.5	5.7	19.7	64.1	14.2	50.3	0.0	276.4
1990	7.0	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.5	44.0
1991	46.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.5
1992	24.7	25.3	11.7	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.8	72.9
1993	70.3	72.1	33.2	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.2	207.8
1994	12.6	12.9	6.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	37.3
1995	40.1	41.2	19.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.4	118.6
1996	74.8	76.8	35.4	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.8	221.3
1997	190.6	195.6	90.1	18.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	68.4	563.5
1998	95.0	97.5	44.9	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	34.1	280.8
1999	158.8	162.9	75.0	15.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	56.9	469.4
2000	87.0	89.3	41.1	8.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.2	257.2

4 ANÁLISIS DE CAUDALES

Como se mencionó en el punto 2.2, la estación Camiña en Altusa cuenta con un registro fluviométrico desde 1979 a 1997, con 19 años de información y representa con mediana certeza el régimen en natural del río en este punto. Primariamente se intentó establecer una relación entre las precipitaciones de la cuenca y el caudal registrado en ella, pero no se obtuvo resultados satisfactorios, lo que se presenta en el punto 5.1.

En segundo término se procedió a comparar los caudales obtenidos o mejor dicho, generados por dos estudios anteriores realizados en la cuenca, el primero corresponde al estudio presentado por la consultora ARRAU a la DOH en el año 2010, para el diseño de un Embalse en el sector de Umiña, el que elaboró un modelo ARMA para la generación de caudales. Mientras que el segundo corresponde a un estudio hecho por GCF para las cuencas altiplánicas, el que generó a través de su propio modelo probabilístico caudales en Altusa. Los resultados de ambos modelos son presentados en el punto 5.2 y comentados.

5.1- Relación Precipitación Caudal

Se procede a comparar los valores de caudales y precipitaciones, de las estaciones Camiña en Altusa con Camiña y Pumire, tanto a nivel mensual como diario, con el objeto de ver si existe alguna relación directa, para ello primero se procede a graficar dichos valores.

Figura n° 13: Caudales medios mensuales Est. Camiña en Altusa v/s Precipitación mensual Estaciones Pumire y Camiña.

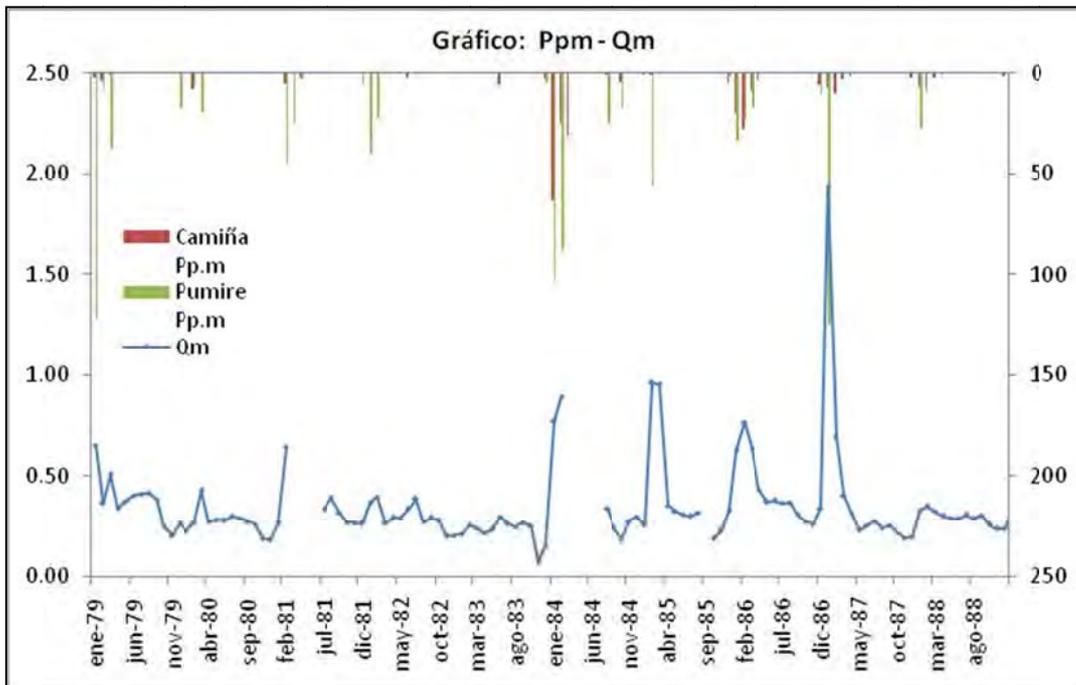
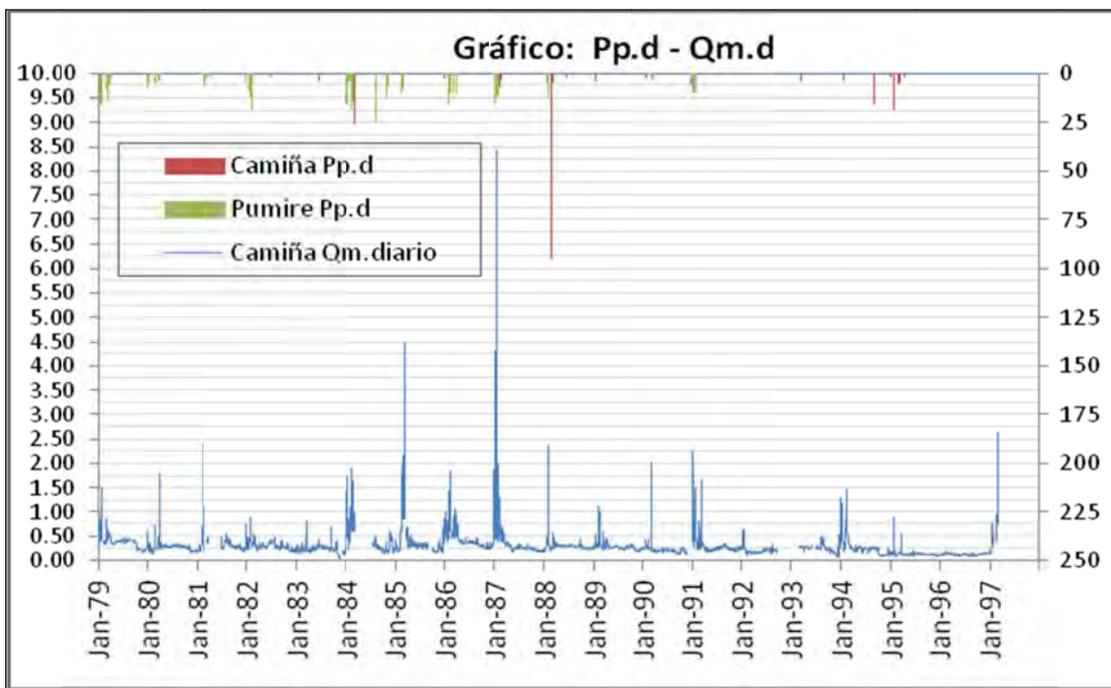
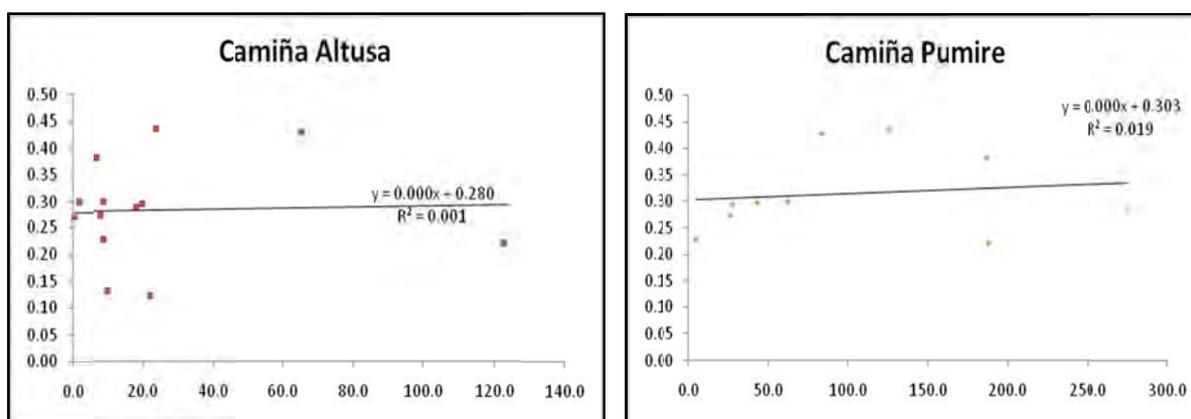


Figura n° 14: Caudales medios diarios Est. Camiña en Altusa v/s Precipitación diarias Estaciones Pumire y Camiña



Tras una inspección preliminar de los valores y sus graficas, se plantea concordancia entre los valores lo que lleva a suponer que debiera existir una correlación entre los valores registrados de precipitación y los caudales observados. Pero al intentar obtener dicha correlación tanto a nivel mensual o estacional no se encontró ninguna, descartándose este camino para la generación de caudales a partir de las series de precipitaciones.

Figura n° 15: Correlación entre Caudales medios mensuales y precipitaciones.



5.1- Revisión de caudales generados por modelos

En esta etapa se trabaja con la serie de caudales generados por los dos modelos, el de GCF y el de ARRAU o DOH, se procede a comparar los valores de caudales registrados en el periodo 1978-1997 en la estación Camiña en Altusa, con los valores generados por los modelos

En la figura n°-16, se presenta los valores generados por el modelo GCF, donde se grafica desde el año 1978 al 2008, periodo de 30 años de serie extendida, al comparar dichos valores con los registrados en el periodo 1978 a 1996 en Camiña en Altusa, se concluye que el modelo GCF representa bastante bien el comportamiento de los caudales en el punto. Ahora bien en la figura n°18 se presentan los resultados de ARRAU para el mismo periodo, resultando ser un modelo tan aceptable como el anterior, aunque en algunos puntos sus valores se encuentran por debajo de lo registrado. En la figura n°18 se comparan ambos modelos simultáneamente, para el periodo 1978-1996, donde se aprecian ciertas diferencias entre ambos modelos, en los periodos sin registro y en algunos otros, en general, se aprecia que el modelo de Arrau se comporta de mejor manera.

Finalmente dado que para el análisis y asignación de derechos, se requieren las curvas de variación estacional, y las diferencias entre ambos modelos resultan poco significativas, a priori no resulta claro cual modelo ocupar, o si los resultados modelados diferirán tan significativamente con los valores de la serie registrada.

Figura n° 16: Caudales modelados x GCF v/s registrados en Camiña en Altusa

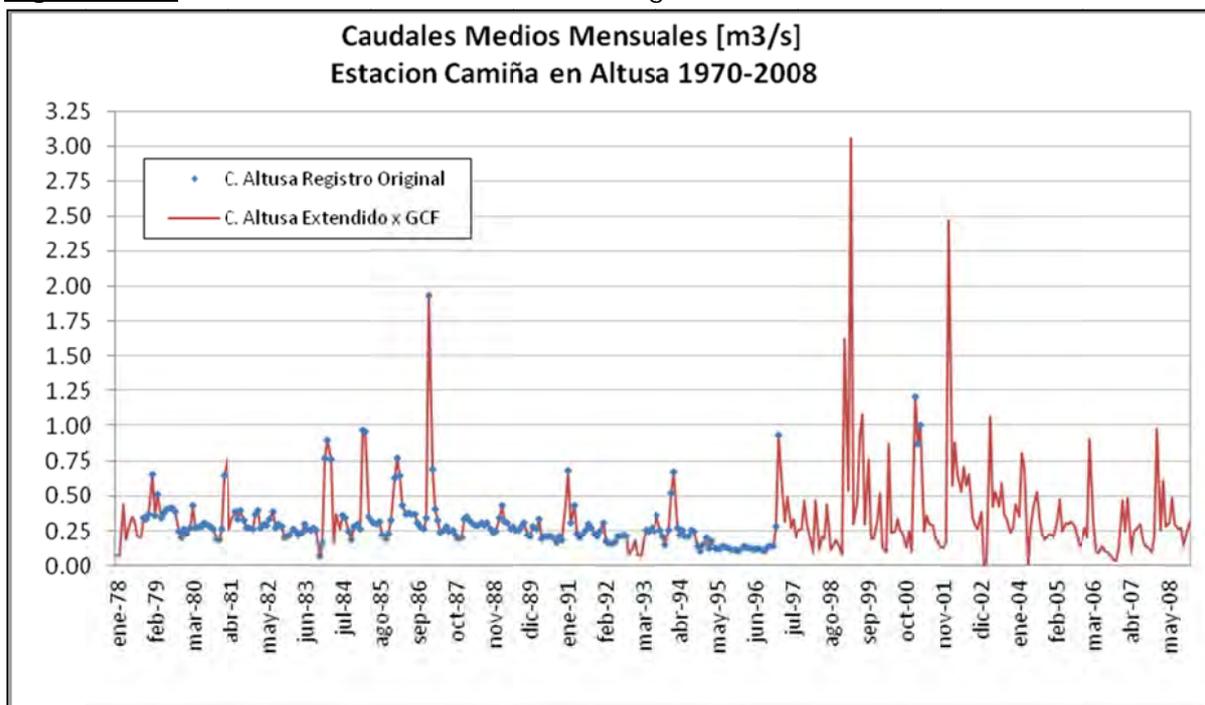


Figura n° 17: Caudales modelados x Arrau v/s registrados en Camiña en Altusa

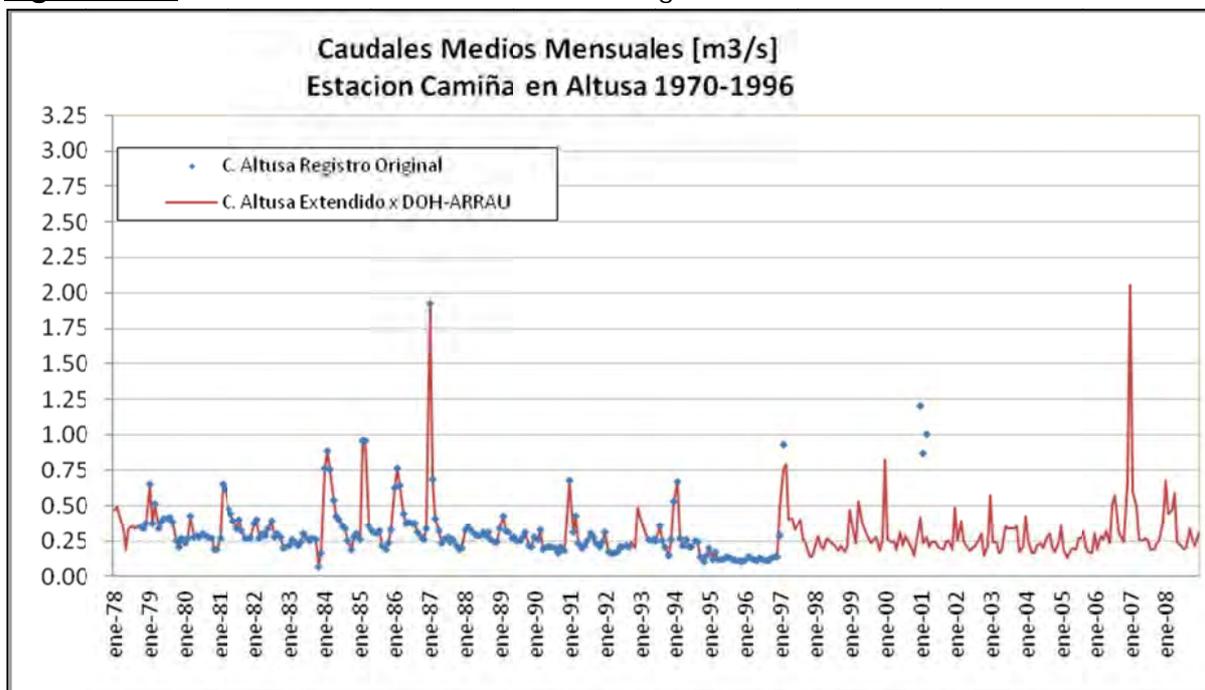
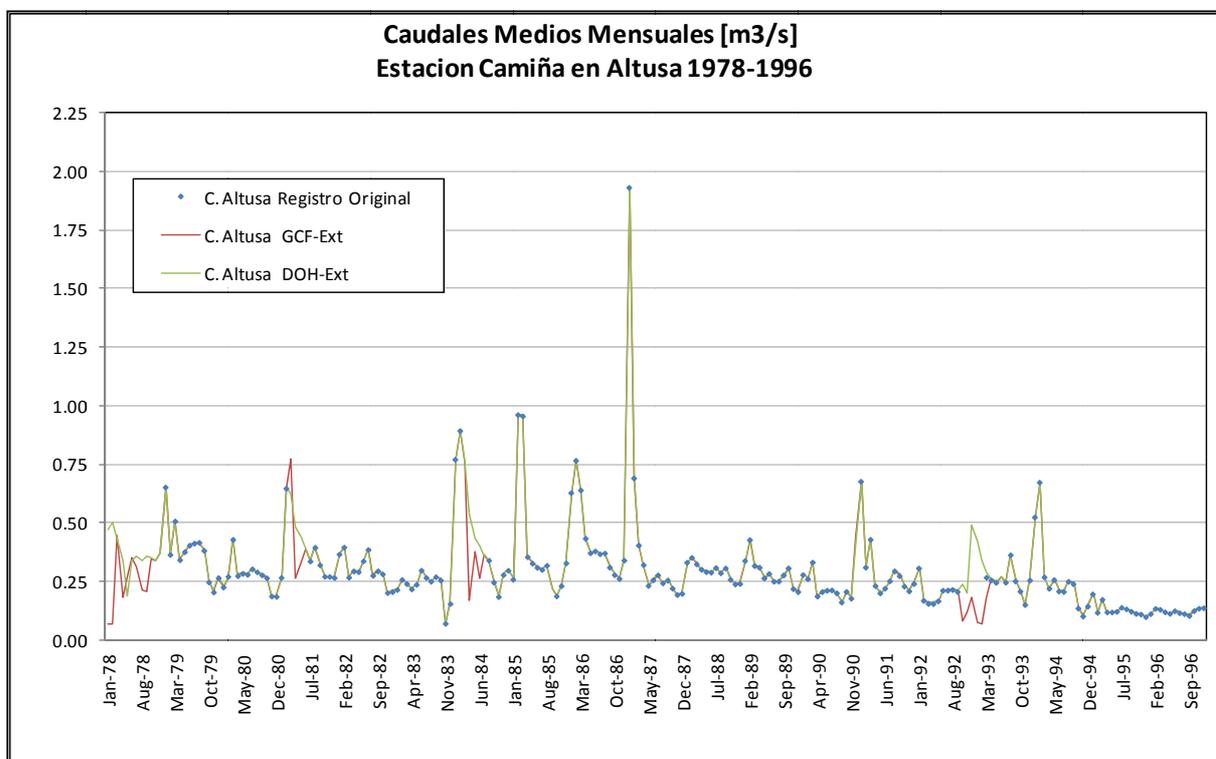
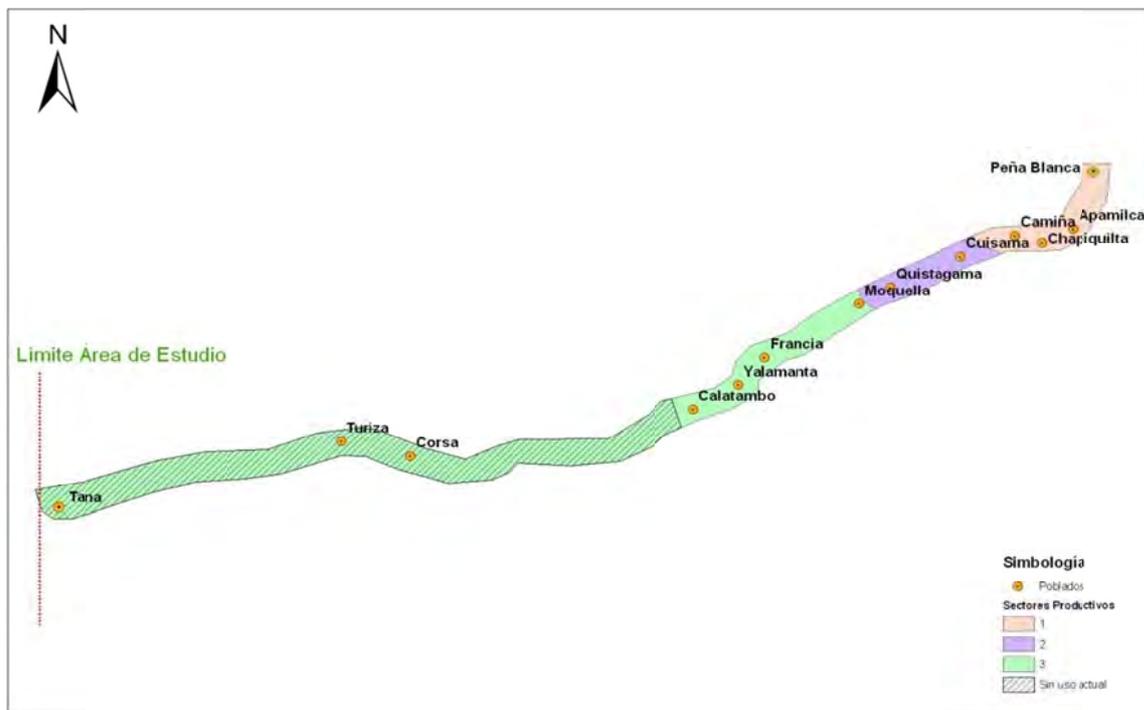


Figura n° 18: Caudales modelados por Arrau & GCF v/s registrados en Camiña en Altusa



Evapotranspiración

Evapotranspiración potencial se estimó por ARRAU, para tres sectores que se muestran en la figura a continuación.



Fuente: ARRAU Ingenieros

Los valores de evapotranspiración potencial promedio mensual se detalla en el cuadro 5-1. La evapotranspiración neta considera una reducción por la precipitación efectiva que se muestra en el cuadro a 5-2.

Cuadro 5-1 Evapotranspiración Potencial (mm/mes)

SECTOR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	TOTAL
1	113,4	103,7	108,6	118,2	130,7	145,6	155,4	161,7	151,5	146,1	140,6	124,5	1600
2	127,6	116,6	122,2	133	147,1	163,8	174,8	181,9	170,5	164,3	158,2	140	1800
3	127,6	116,6	122,2	133	147,1	163,8	174,8	181,9	170,5	164,3	158,2	140	1800

Fuente: ARRAU Ingenieros

CUADRO 5-2 Precipitación Efectiva (mm/mes)

SECTOR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
1	5,0	12,0	8,0	6,0	1,0	1,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0	2,0
2	4,0	1,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	4,0	7,0	4,0	3,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0

Fuente: ARRAU Ingenieros

Evapotranspiración se realiza tanto por cultivos agrícolas como por vegetación nativa. Las áreas bajo cultivo se estimaron en 152 ha por ARRAU. Para estimar el área de vegetación nativa y el área de vegetación total (cultivos agrícolas y vegetación nativa), fue digitalizado sobre la a base de fotografías aéreas del GoogleEarth Portable y la superficie total calculada en ARCGIS. La superficie total resultante fue 460 ha, al sustraer el área agrícola resultó en una superficie de vegetación nativa de 308 ha.

Para estimar la evapotranspiración real de las áreas de vegetación nativas es necesario considerar la evolución de las plantas a lo largo del año. Esta evolución se representa con la aplicación de coeficientes de cultivo. La vegetación de las valles fue caracterizada por ARRAU y su descripción se incluye a continuación.

“Así, crecen pequeñas arboledas de plátanos (**Musa paradisiaca**), olivos (**Olea europea**), higueras (**Ficus sp.**), cítricos en los oasis del sur de esta región, pastos artificiales y una variada e intensa explotación hortícola. Son comunes plantas como la brea, la grama salada (**Distichlis sp.**), la chilca (**Baccharis petiolata**), la cola de zorro (**Hordeum sp.**), la totora (**Thypha angustifolia**), el junquillo (**Juncus procerus**), la lengua de vaca (**Sagittaria chilensis**), la pullaya (**Grindelia sp.**), cola de caballo, etc. Entre los árboles destacan, el chañar (**Geofroea decorticans**), el algarrobo del norte (**Prosopis atacamensis**), el pimiento boliviano (**Schinus molle**). A su vez, el sauce (**Salix humboldtiana**) ha sido casi totalmente extinguido. Las especies arbustivas son las más escasa, dominando los pastos y matorrales bajos.”

No se encontró mucha información sobre las demandas de agua de plantas nativas en este zona del país. No obstante, Salazar et al 1999 investigó los requerimientos hídricos de Vegas y Bofedales en el Norte de Chile. Los coeficientes de cultivo se muestran a continuación

Cuadro 5-3 Coeficientes de cultivo. Kc

EESPECIE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
COJINES	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
VEGAS	0.63	0.63	0.63	0.56	0.41	0.41	0.41	0.56	0.56	0.56	0.63	0.63

Fuente: Análisis de Requerimientos Hídricos de Vegas y Bofedales en el Norte de Chile. (Salazar C. et al., 1999).

5 FLUVIOMETRÍA

El desarrollo de una serie de datos de caudal rellenado y extendido para la estación en Altuza está bien documentado en (DEP-DGA, 2012). Esta serie es la que se usa como entrada de caudal superficial al balance hídrico.

Además, en el estudio de ARRAU, efectuó una campaña de aforos a lo largo del río Camiña en 2009. Los resultados se muestran a continuación.

CUADRO 6-1 Resultado aforos

Campaña	Sector	Caudal (L/s)
Marzo	Alpajeres	279,3
	Vila-Vila	297,4
	Quistagama	174,7
	Calatambo	117,8
	Corza	15,6
Mayo	Alpajeres	205,2
	Vila-Vila	232,8
	Quistagama	41,5
	Calatambo	19,3
	Corza	9,3
Septiembre	Alpajeres	229,8
	Vila-Vila	186,8
	Quistagama	90,7
	Calatambo	3,2
	Corza	11,3

Fuente: Arrau Ingenieros.

Los aforos muestran que baja bastante el caudal entre Vila-Vila, cerca de Altuza, y Calatambo, este hecho se explica principalmente por ser en ese tramo del río donde se desarrolla la actividad agrícola y los poblados. Se debe prestar especial atención al tramo aguas arriba de Vila-Vila, donde se observa una situación compleja respecto a las interacciones superficiales-subterráneas con el río, ganando flujo base en Marzo y Mayo y convirtiéndose a un río que pierde caudal hacia el acuífero en Septiembre. El tramo entre Calatambo y Corza es de interés para poder representar el caudal en la zona de Corza y Turiza con el modelo de balance hídrico. El cambio en caudal en este tramo varía significativamente de una pérdida grande a una pérdida pequeña de caudal al acuífero, hasta un aporte pequeño del acuífero al flujo base. En todos los casos se demuestra relativamente baja cantidad de caudal superficial, el cual nunca excede los 16 L/s.

6 DEMANDA

En el estudio de ARRAU se estimó una demanda bruta de 2.722.646 m³/año, que equivale a aproximadamente 0.57 L/s/ha en base a una superficie regada de 152 ha. La distribución mensual de la demanda se muestra a continuación.

CUADRO 7-1 Demanda Bruta Total Área Regada (m³/mes)

SECTOR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	TOTAL
1	86.829	71.506	62.962	73.557	83.587	83.512	115.413	153.620	177.572	192.256	185.382	124.315	1.410.510
2	41.621	25.227	33.899	46.436	57.105	38.920	17.865	33.002	50.992	66.552	64.409	51.080	527.108
3	74.031	41.285	34.981	47.301	62.093	49.316	21.295	59.196	86.889	111.589	114.582	82.469	785.028
TOTAL	202.482	138.018	131.841	167.294	202.784	171.748	154.573	245.819	315.453	370.397	364.373	257.865	2.722.646

Fuente: ARRAU

Tomando en cuenta otro acercamiento a la demanda, como sería considerar las tasas de riego generalmente empleadas en el norte del país, como por ejemplo las del valle de Azapa (1 L/s/ha), se obtendría una demanda de 152 L/s. Si a esta se le incorpora un factor de un 25 %, por pérdidas y empleo adicional del recurso en otras actividades, se obtendría una tasa de demanda del orden de 200 L/s.

Para este estudio se adoptó la distribución de la demanda estimada por ARRAU, aumentada por un factor de 1,4 para lograr una tasa de riego de 200 L/s en el mes de demanda máxima. La demanda final se detalla a continuación.

Cuadro 7-2 Tasa de uso del agua para demanda final

MES	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR
DEMANDA (L/s)	109	75	71	90	109	93	83	133	170	200	197	139

No obstante hay bastante incertidumbre sobre la demanda actual, por lo tanto se considera que los valores estimados pueden tener un rango de variación de +- 50%.

7 INFILTRACIONES Y RETORNOS DE LAS ZONAS DE RIEGO

Como es probable que al menos una proporción de las infiltraciones y retornos sean recuperados por río y a su vez reusados en otros predios se complica la modelación de estos componentes del balance hídrico. Además es probable que agua infiltre y aflore a lo largo del cauce dependiendo de la geometría y composición del acuífero. Para simplificar el modelo estos componentes no se consideraron de manera explícita y están incorporados en la demanda. Se asumió que estos efectos se consideran en el análisis de sensibilidad.

8 INFILTRACIONES DEL CAUCE

Al igual que en el caso de las infiltraciones de zonas de riego, las infiltraciones del cauce no se modelaron de manera explícita. Se asumió que cualquier infiltración que ocurre en un tramo se presenta en el caudal de salida total del tramo. La razón entre el caudal superficial y el subterráneo fue estimada en base a las propiedades del acuífero, considerando el máximo caudal subterráneo que se puede establecer antes que se produzcan aportes al caudal superficial. Queda implícito en esta conceptualización que el volumen del acuífero es pequeño y los efectos de almacenamiento y atenuación son despreciables, considerando además que el paso de tiempo es mensual.

9 GEOLOGÍA

Para el estudio de factibilidad de embalse elaborado por ARRAU ingenieros, se llevó a cabo varios trabajos en terreno orientados a mejorar el conocimiento geológico de la zona. La mayoría de estos trabajos se concentraron en el sector de la presa propuesta en el Llano Alpajere. A pesar de que la zona de interés del presente estudio es en un sector a considerable distancia aguas abajo de los trabajos realizados por ARRAU, estos trabajos constituyen una fuente útil de información geológica dentro de la cuenca del Río Camiña.

Perfiles Sísmicos

Varios perfiles geosísmicos fueron desarrollado en la zona propuesta para la presa.

El perfil 3-4 y el perfil 5-6 se orientan en el sentido del lecho y muestran una primera capa de 2 a 5 m de sedimentos no consolidados, bajo esta primera capa se aprecia una capa de 9 a 20 m de roca descompuesta que bajo esta se encuentra la roca basal.

Los perfiles 2, 10 y 14 son transversales respecto al cauce y muestran como, en la medida que se acercan al río, el espesor del sedimento no consolidado aumenta mientras que el espesor de roca descompuesta subyacente disminuye. El talud oriente muestra sedimentos con espesor de 3 a 5 m y roca descompuesta con espesor similar, en contraste el talud oeste muestra 15-17 m de sedimentos y 15-20 m de roca descompuesta, en este lado los instrumentos no detectan roca basal dentro del límite de penetración de la onda sísmica.

Perfiles Estratigráficas

Dentro de la realización de los perfiles estratigráficos, 6 sondajes fueron elaborados en el sentido del muro propuesto, es decir transversal a la orientación del cauce. Los sondajes en el talud oeste muestran roca fracturada de mala calidad. Es probable que las observaciones geosísmicos fueran malinterpretadas y lo que fue identificado como sedimentos no consolidado sea roca en estado de alta descomposición. Los sondajes en

el talud oriente identifican espesores significativos de gravas y clastos (hasta 5 metros) y roca fracturado con finos presentes (hasta 10 metros).

10 GEOMETRÍA ACUÍFERA

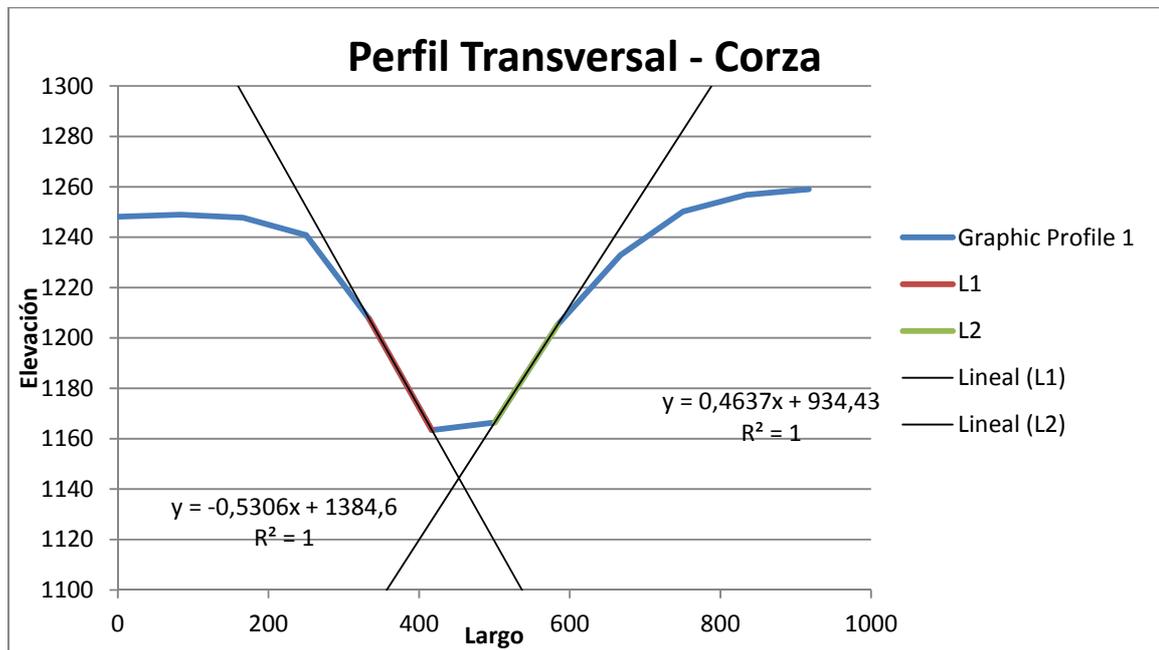
Una clave para cuantificar las interacciones superficial-subterráneas y el caudal subterráneo es la geometría del acuífero. Hay que señalar que no existen sondajes o prospecciones geofísicas en la zona del estudio por lo que hay que considerar información en zonas cercanas que puedan tener características similares.

En la cabecera de la cuenca fueron desarrollados perfiles sísmicos y perfiles estratigráficos para el estudio del embalse (ARRAU 2010). Estos muestran una pequeña capa de sedimentos no consolidados en el cual se ubicaría el acuífero principal. Esta zona está confinada a las cercanías del lecho del río. También se observó, en una extensión más amplia y con un espesor de hasta 30 m, una capa de roca descompuesta con potencial de acuífero, pero con un almacenamiento específico y conductividad hidráulica mucho menor.

El río San José se ubica aproximadamente a 100 km al norte del río Camiña. El río San José tiene una geología y geomorfología similar a la del río Camiña. El valle del río San José alberga el acuífero de Azapa. Este acuífero está mejor estudiado e incluye estudios geofísicos. Para varias secciones transversales la geometría el acuífero de Azapa sigue la pendiente de los costados de la valle tomando la forma de un triángulo o un trapecoide. No obstante, en algunos perfiles el acuífero tiene una forma cercana a la de un rectángulo con un área transversal más grande que se obtiene por la simple extensión de los costados del valle.

Dado al alta incertidumbre, sin más información directa sobre la forma del acuífero del río Camiña el área transversal ha sido estimada asumiendo que el basamento rocoso sigue la pendiente de los costados de la valle tomando la forma de un triangulo, a continuación en la figura 11-1 se muestra un ejemplo. Para abordar la alta incertidumbre se consideró un escenario de sensibilidad que considera el doble del área transversal, esto equivale a contemplar un rectángulo del mismo largo y ancho del triángulo.

Figura 11-1 Ejemplo de geometría acuífera



11 PARÁMETROS HIDRÁULICOS

En el estudio para estimación de recargas (GCF, 2010) se identificaron valores de permeabilidad en base a la geología, considerando varias zonas dentro de la hoya hidráulica. Para el lecho y las cercanías la geología comprende secuencias sedimentarias del cuaternario especialmente depósitos fluviales y aluviales. En base a estas características se adoptó una conductividad hidráulica (k) de 1×10^{-5} m/s. Para las otras áreas de cuenca compuesta de roca metamórfica se adoptó un k de 1×10^{-7} m/s. Cifras similares se han adoptado para cuencas cercanas como el acuífero de Azapa.

Para el estudio de factibilidad del embalse en el sector de Llano Alpajere KBA-IC Ingenieros consultores Ltda. condujo ensayos LeFranc-Mandel a varias profundidades. La consultora ARRAU adoptó para el suelo natural no removido de manera conservadora, un coeficiente permeabilidad de $2,00 \times 10^{-5}$ m/s a presión atmosférica. Los valores muestran un rango de permeabilidades entre $7,17 \times 10^{-4}$ m/s para gravas hasta $3,7 \times 10^{-7}$ m/s para roca fracturado de mejor calidad.

Cuadro 12-1 Resultados Ensayes Lefranc-Mandel

Sondaje	Cota (m)	Permeabilidad de Carga Constante $\times 10^{-7}$ (m/s)	Permeabilidad de Carga Variable $\times 10^{-8}$ (m/s)
1	3,80 - 4,80	25,7	13,2
	9,00 - 10,00	69,1	5,9
	14,00 - 15,00	23,4	32,1
	19,30 - 20,30	54,3	4,6
	25,00 - 26,00	13,9	7,6
2	30,50 - 31,00	17,0	10,2
	4,00 - 5,00	7,4	91,0
	9,10 - 10,10	3,7	256,0
	19,50 - 20,50	8,8	112,0
3	24,00 - 25,00	7,2	28,3
	4,00 - 5,00	221,0	26,6
	14,00 - 15,00	158,0	5,6
	19,00 - 20,00	13,2	26,2
4	24,00 - 25,00	20,0	61,9
	19,00 - 20,00	15,6	9,5
5	23,70 - 24,70	8,1	1.680,0
	4,50 - 5,00	7.170,0	3,5
6	14,00 - 15,00	25,4	11,0
	4,50 - 5,00	135,0	10,4
	9,00 - 10,00	42,5	18,7
	19,00 - 20,00	238,0	4,0
	24,00 - 25,00	4,2	164,0

Fuente: Certificados de Sondajes: N°51/2009, 53/2009, 53a/2009 y 53b/2009 KBA-IC Ingenieros consultores Ltda.

12 CAUDALES SUBTERRÁNEOS

La capacidad para flujo subterráneo se estimó en base a la ecuación de Darcy como se describe a continuación.

$$Q = k \times i \times A$$

Donde:

k es la conductividad hidráulica saturada,

i es el gradiente hidráulico del acuífero, y

A es el área transversal del acuífero

La conductividad hidráulica adoptada fue 2×10^{-5} m/s, la misma que adoptó ARRAU a base de pruebas de infiltración en la parte alta de la cuenca de Camiña. Este valor parece adecuado también de acuerdo al valor de 1×10^{-5} m/s adoptado por GCF Ingenieros en base a la geología. Dada la incertidumbre en el valor de k, se consideró un rango de valores desde 1×10^{-3} m/s hasta 1×10^{-7} m/s, este rango abarca las cifras extremas observadas en las pruebas de infiltración.

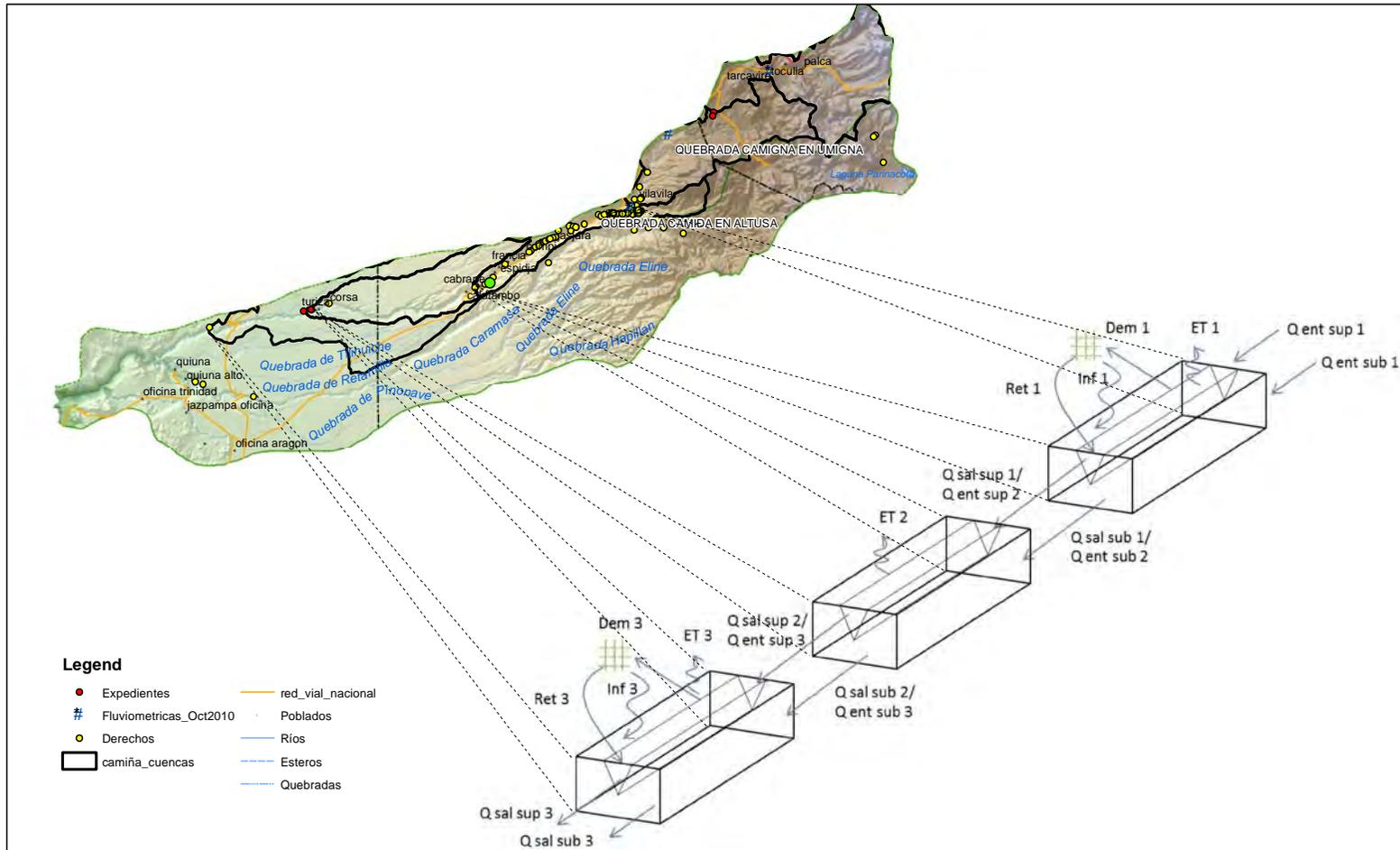
No se dispuso de información sobre el nivel de la napa en la cuenca, por eso se asumió que el nivel freático está a una profundidad constante de la cota del terreno, así que se puede estimar el gradiente hidráulico del acuífero por medición del gradiente del terreno. Este se efectuó en ARCGIS a base de datos de elevación SRTM.

El área transversal del acuífero se calculó para tres perfiles al inicio y fin de cada tramo del modelo conceptual. De este modo se pudo investigar la sensibilidad a la ubicación del perfil y considerar un rango de áreas transversales.

13 MODELO CONCEPTUAL

El objetivo principal es modelar disponibilidad de agua en los puntos de captación existente y en nuevos puntos de captación, además de estimar el impacto a terceros resultante de ejercer los nuevos derechos. El modelo conceptual es un balance hídrico simple, comprendiendo 3 tramos, el primero es el tramo entre Altuza y Cabrane/Calatambo (donde la mayoría del desarrollo agrícola y derechos existen) y un segundo desde Cabrane/Calatambo hasta Corza, con la ubicación de los derechos propuestos, y al final el tramo desde Corza hasta un punto aguas abajo de la carretera Panamericana. A continuación se muestra un diagrama conceptual del modelo y las ecuaciones evaluadas para cada tramo.

Figura 14-1 Modelo Conceptual



Fuente: Elaboración propia

Para cada tramo se evalúa lo siguiente

$$Q.\text{sal.}\text{total.1} = Q.\text{ent.}\text{sup.1} + Q.\text{ent.}\text{sub.1} - \text{Dem 1} - \text{ET 1}$$

Donde:

$Q.\text{sal.}\text{total}$ = caudal de salida total del tramo,

$Q.\text{ent.}\text{sup.1}$ = Caudal de entrada superficial,

$Q.\text{ent.}\text{sub.1}$ = Flujo Darcy,

Dem 1 = demanda neta en el tramo,

ET 1 = evapotranspiración para vegetación nativa,

$$Q.\text{sal.}\text{sup.1} = Q.\text{sal.}\text{total} - Q.\text{sal.}\text{sub.1}$$

$Q.\text{sal.}\text{sub.1}$ = mínimo de flujo Darcy potencial y $Q.\text{sal.}\text{total}$,

$Q.\text{sal.}\text{sup.1}$ = caudal de salida superficial (caudal disponible para extracción aguas abajo).

14 RESULTADOS

14.1 CALIBRACIÓN

No se dispone de datos para calibrar directamente el balance hídrico, ya que no existen estaciones de caudal aguas abajo de Altuza. No obstante existan algunas otras formas para comprobar los resultados del modelo.

Desarrollo actual del acuífero.

No existen captaciones de aguas subterráneas en la cuenca de Camiña, y en una zona de escasez hídrica como ésta si hubiese un acuífero importante, se esperaría que estuviese explotado como en otras cuencas en la región. La falta de norias y pozos genera evidencia contra un acuífero importante y favorece los caudales subterráneos resultantes de los parámetros adoptados.

Recarga neta a la cuenca

En el estudio de recargas (GCF, 2010) estimaron recarga para varias cuencas en el norte de Chile incluyendo la cuenca del río Camiña hasta Altuza. Calcularon una recarga de 659 L/s y un caudal superficial de 324 L/s. Este monto de recarga apoyo la cifra de caudal subterráneo entrante del orden de 200 L/s, el valor estimado adoptando las conductividades hidráulicas y áreas transversales más grandes.

Aforos

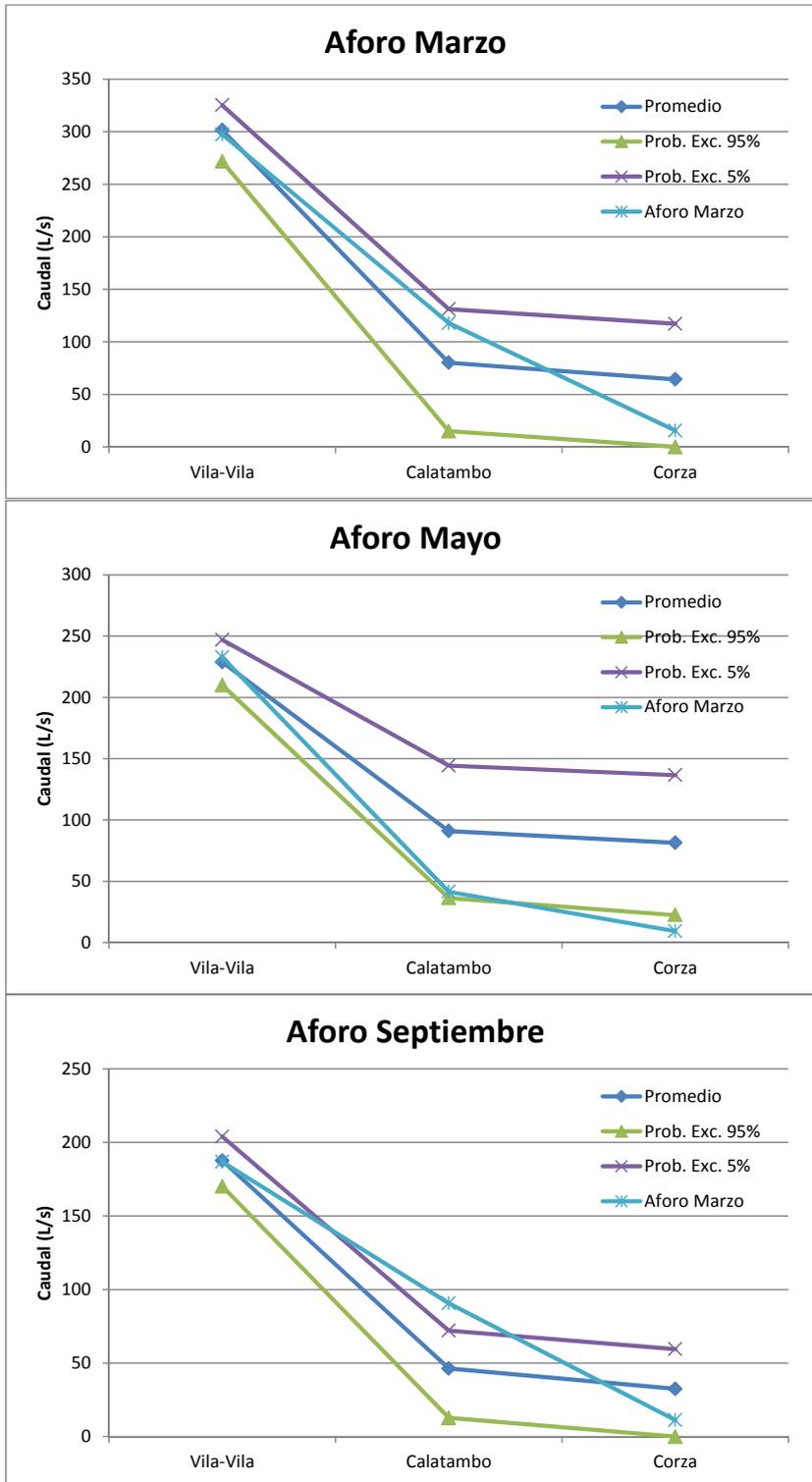
En el estudio de ARRAU efectuaron una campaña de aforos a lo largo del río Camiña en el año 2009. Los aforos no coinciden con el período del modelo. Por lo tanto se efectuó una muestra de caudales modelados en una época similar del año, y con un caudal en el sector Vila-Vila (cerca de estación Altusa) similar. Se tomaron dos criterios para el análisis: considerar eventos desde dos meses antes del aforo hasta 2 meses después del aforo y con un caudal dentro un rango de más o menos 10% con respecto al caudal aforado. Estos caudales fueron seleccionados de la serie de caudales modelados y los resultados del análisis se muestran en Cuadro 15.1-1 y Figura 15.1-1. En promedio el modelo subestima los caudales en Calatambo y sobrestima los caudales en Corza, no obstante el modelo produce resultados similares en los órdenes de magnitud.

Cuadro 15.1-1 Comparación de caudales observados (aforos) y modelados

	Sector	Caudal Medido (L/s)	Caudales Modelados Similares		
			promedio	min	max
Marzo	Vila-Vila	297,4	301	270	327
	Calatambo	117,8	80	15	0
	Corza	15,6	64	0	124
Mayo	Vila-Vila	232,8	227	207	247
	Calatambo	19,3	92	34	147
	Corza	9,3	82	20	140
Septiembre	Vila-Vila	186,8	188	168	204
	Calatambo	3,2	46	10	74
	Corza	11,3	32	0	61

Fuente: Elaboración propia

Figura 15.1-1 Comparación gráfica de caudales observados (aforos) y modelados

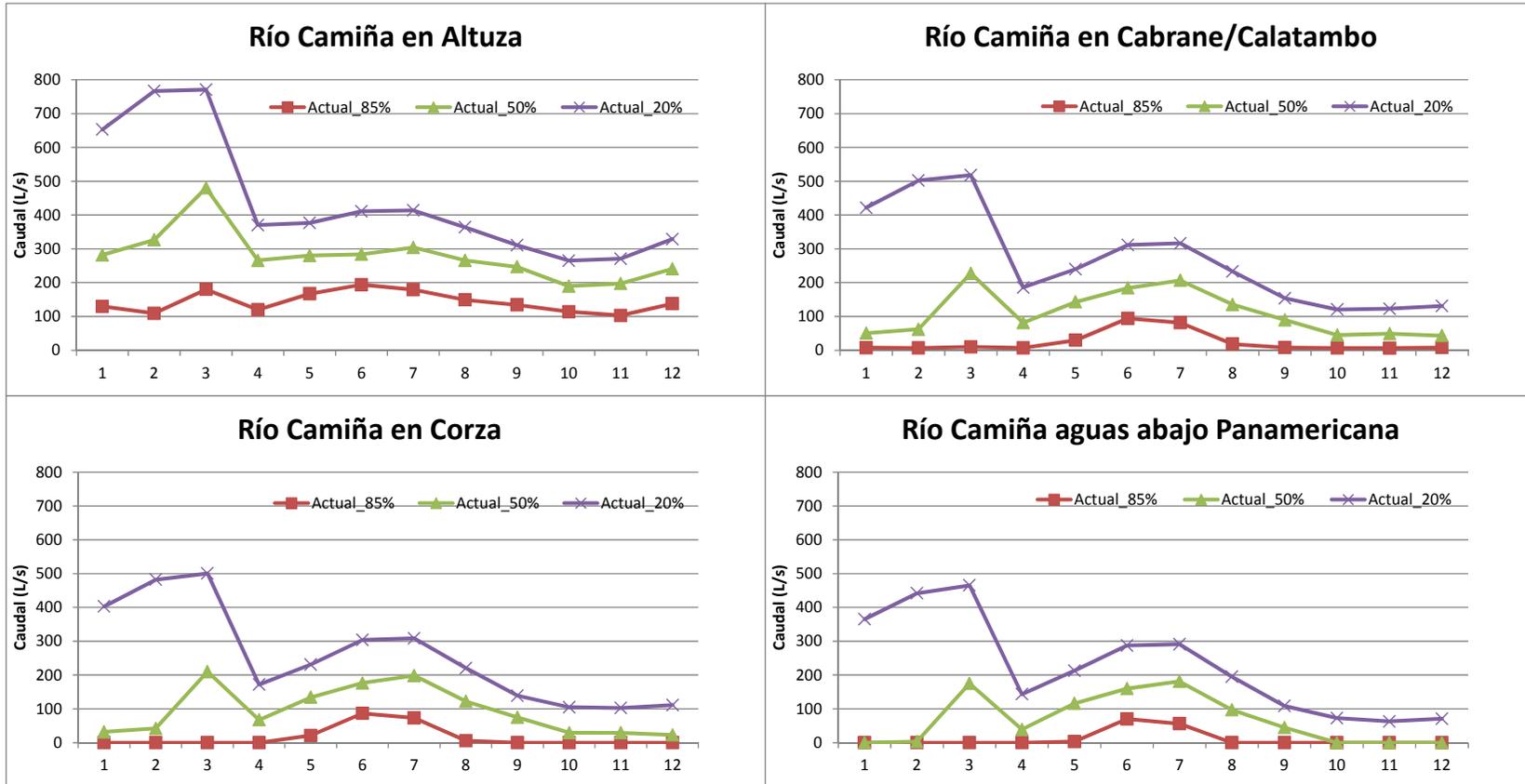


Fuente: Elaboración Propia

14.2 CASO BASE (ACTUAL)

El caso base se configuró con los derechos actuales en la cuenca, este escenario sirve como base para la estimación de impactos a terceros. Los caudales modelados se presentan en el Figura 15.2-1 para 3 probabilidades de excedencia en cuatro puntos a lo largo del río. Además la garantía de las demandas en cada tramo del río se evaluó de acuerdo al porcentaje del tiempo con demanda satisfecha, representado en términos de meses y años. Los resultados por el escenario actual se muestran a continuación.

Figura 15.2-1 Escenario Actual - Caudales en el Río Camiña



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 15.2-1 Resultados Escenario actual

Tramo	Demanda (L/s)	Suministro (L/s)	Garantía	
			% de meses	% de años
Aguas arriba Altuza	0	0	na	na
Altuza a Cabrane	123	106	75%	26%
Cabrane a Corza	0	0	na	na
Corza a Panamericana	0	0	na	na
Aguas abajo Panamericana	25	16	61%	5%

Fuente: Elaboración propia

Nota: La demanda y suministro consideran el valor promedio.

Es claro que aun bajo el nivel de demanda actual hay problemas en el suministro. En el tramo de Altuza hasta Cabrane donde se ubica la mayor parte del desarrollo agrícola la oferta excede a la demanda el 75% de los meses, pero hay un déficit en al menos un mes en el 74% de los años considerados, dando una garantía anual del 26%. Aguas abajo de la carretera Panamericana la situación se empeora con una garantía mensual de 61%.

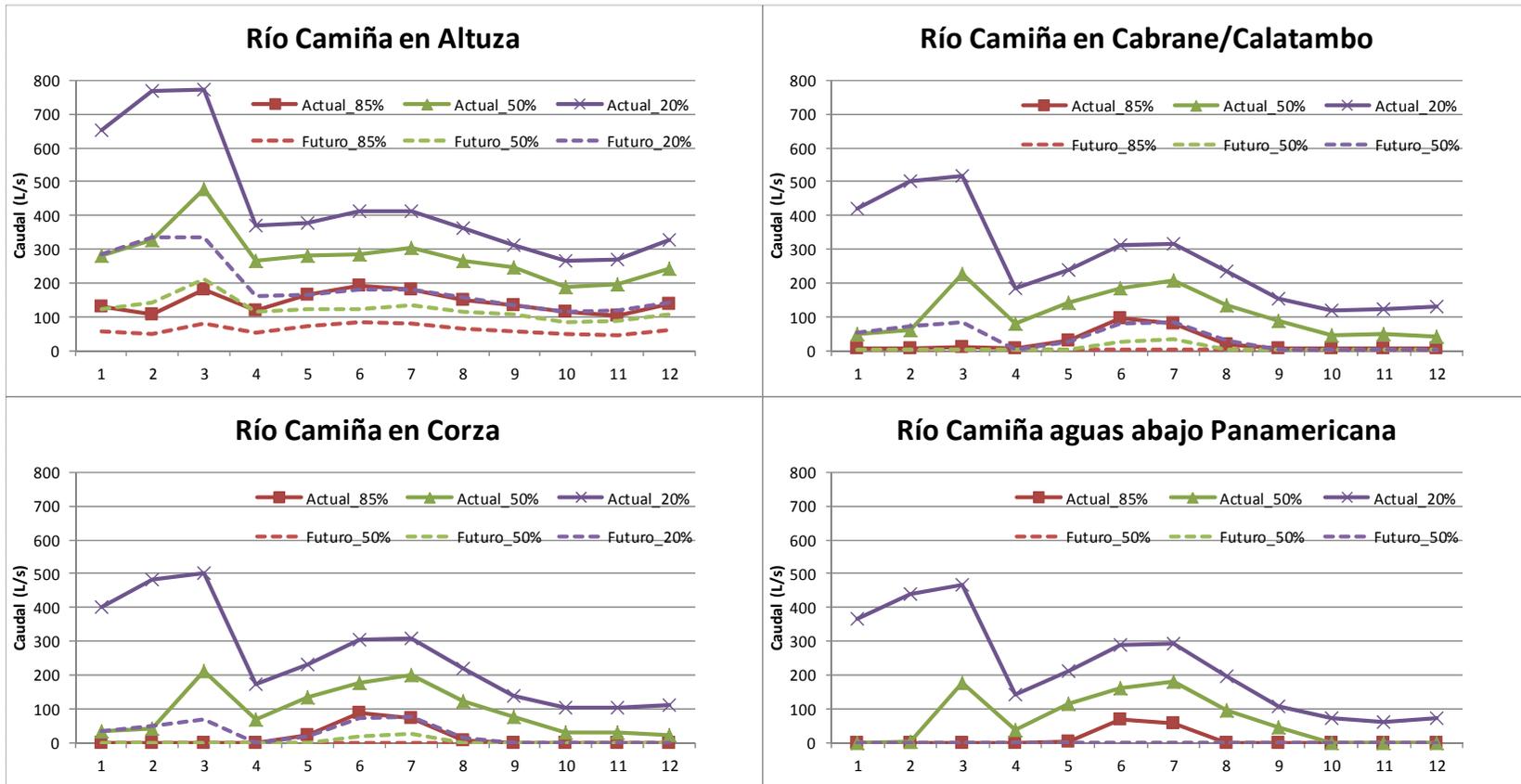
14.3 ESCENARIO FUTURO

Se simuló un escenario futuro para determinar si el ejercicio de los nuevos derechos solicitados podría despreñar la garantía de los usuarios existentes.

Una demanda de 450 L/s se introdujo aguas arriba de Altuza. El área aportante a este punto de captación es 292 km² que es menor que la superficie de la cuenca hasta Altuza de 519 km². Por lo tanto se asumió que este punto de captación tiene acceso a un caudal reducido en proporción a su área aportante, es decir el caudal medido en Altuza multiplicado por el factor calculado a partir de las áreas de ambas cuencas (292/519). Otra demanda de 260 L/s se simuló en las cercanías de Corza, esta demanda representa los tres expedientes de 80 L/s, 90 L/s y 90 L/s.

Los resultados de este escenario se muestran en figura 15.3-1, dentro de los gráficos se ha superpuesto los resultados del escenario base para subrayar los cambios en los flujos. Los resultados respecto a la garantía de suministro se muestran a continuación.

Figura 15.3-1 Escenario Futuro - Caudales en el Río Camiña



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 15.3-1 Resultados Escenario Futuro

Tramo	Demanda (L/s)	Suministro (L/s)	Garantía	
			% de meses	% de años
Aguas arriba Altuza	450	170	5%	0%
Altuza a Cabrane	123	67	28%	0%
Cabrane a Corza	0	0	na	na
Corza a Panamericana	260	16	2%	0%
Aguas abajo Panamericana	25	1	2%	0%

Fuente: Elaboración propia

Nota: La demanda y suministro consideran el valor promedio.

La garantía para las nuevas demandas es muy bajo, solo se satisfizo la demanda entre 5% y 2% de los meses dependiendo de la ubicación de la captación. En ningún año se satisfizo la demanda completa. El impacto sobre los usuarios existentes es significativo. En el tramo Altuza a Cabrane la garantía bajó desde 75% hasta 28% y en el tramo Aguas debajo de la Carretera Panamericana la garantía bajó desde 61% hasta 2%.

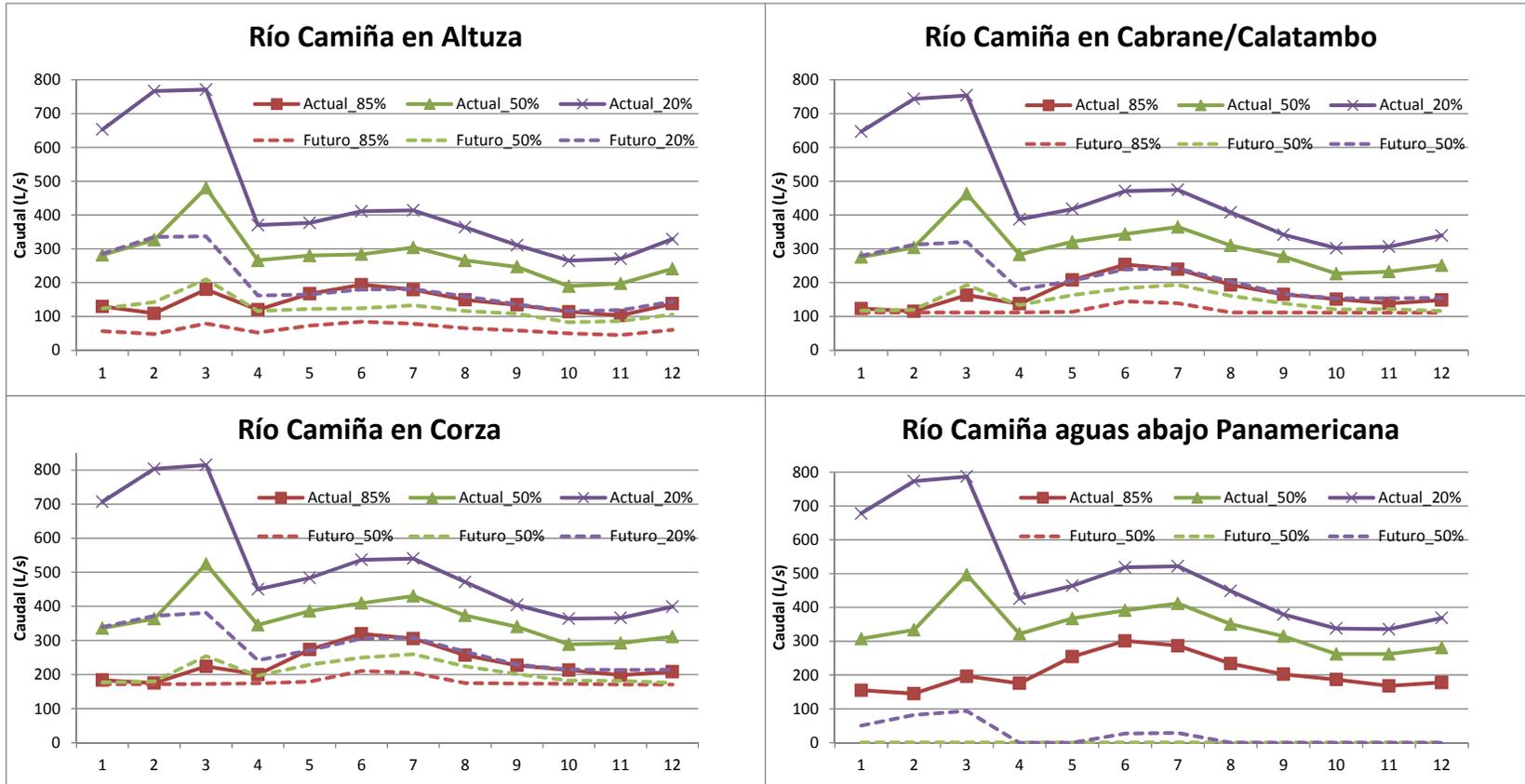
14.4 ESCENARIOS DE SENSIBILIDAD

Dado la alta incertidumbre de varias de las entradas al modelo se probaron los parámetros en dos escenarios de sensibilidad, uno eligiendo parámetros optimistas que resultan en demandas más bajas y una oferta mayor y el otro el eligiendo parámetros pesimistas que resultan en demandas más altas y una oferta menor.

Escenario Optimista

Se adoptó la conductividad hidráulica máxima y la mayor área transversal del acuífero resultando en una mayor estimación de aportes subterráneos. Además, las demandas y evapotranspiraciones actuales se bajaron en un 50%. Los resultados se muestran a continuación.

Figura 15.4-1 Escenario de Sensibilidad Optimista - Caudales en el Río Camiña



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 15.4-1 Resultados Escenario Actual

Tramo	Demanda (L/s)	Suministro (L/s)	Garantía	
			% de meses	% de años
Aguas arriba Altuza	0	0	na	na
Altuza a Cabrane	61	59	93%	67%
Cabrane a Corza	0	0	na	na
Corza a Panamericana	0	0	na	na
Aguas abajo Panamericana	13	13	100%	100%

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 15.4-2 Resultados Escenario Futuro

Tramo	Demanda (L/s)	Suministro (L/s)	Garantía	
			% de meses	% de años
Aguas arriba Altuza	450	170	5%	0%
Altuza a Cabrane	61	51	72%	18%
Cabrane a Corza	0	0	na	na
Corza a Panamericana	260	200	20%	0%
Aguas abajo Panamericana	13	2	14%	0%

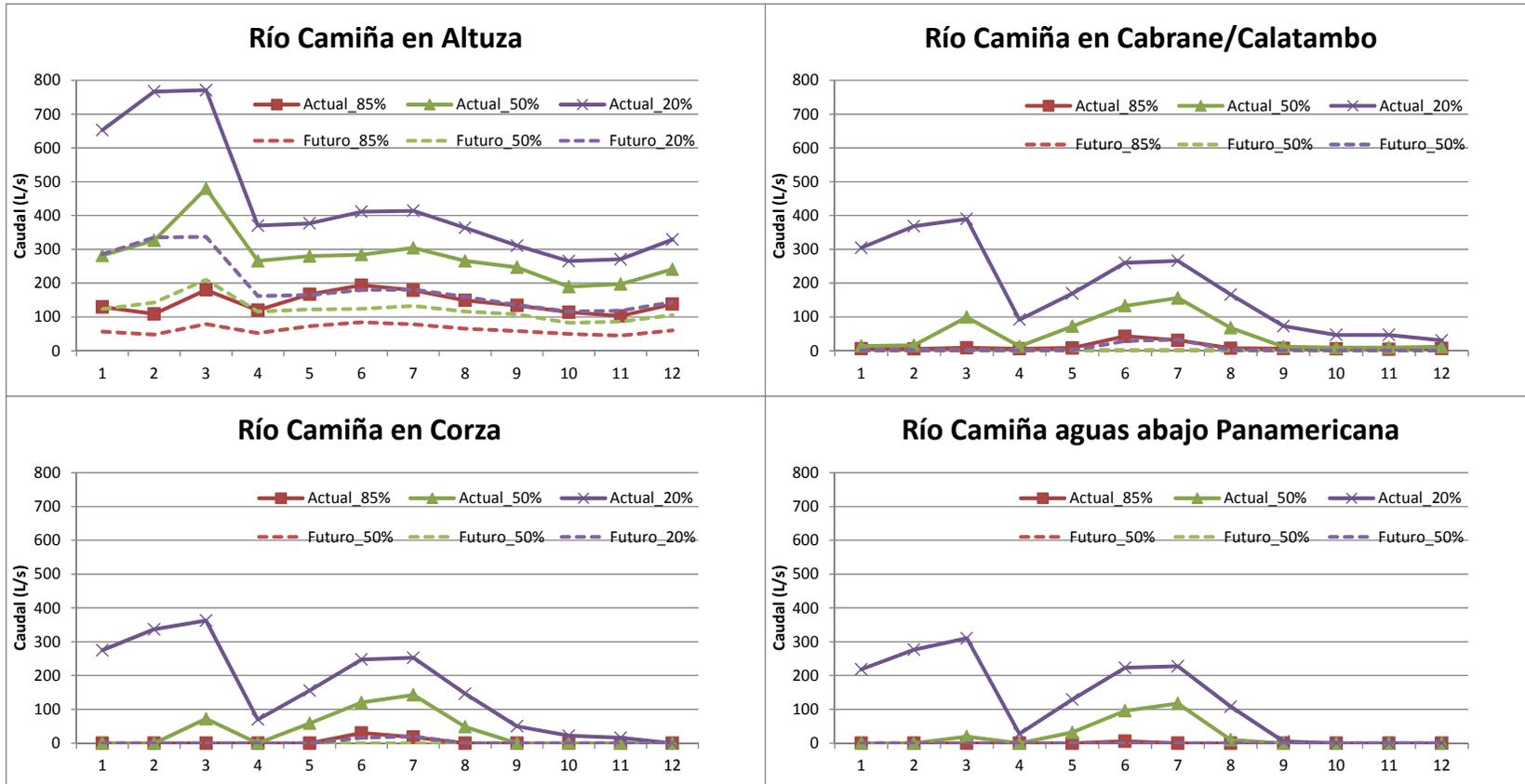
Fuente: Elaboración propia

Los parámetros más optimistas significan una mayor oferta y una menor demanda resultando en mayor disponibilidad del recurso hídrico y garantías de suministro más altas. No obstante es claro que la imposición de nuevas extracciones impacta a los usuarios existentes.

Escenario Pesimista

En el escenario pesimista se adoptó la máxima conductividad hidráulica y área transversal del acuífero resultando en una mayor estimación de aportes subterráneos. Además, las demandas y evapotranspiraciones actuales se aumentan en un 50%. Los resultados se muestran a continuación.

Figura 15-4.2 Escenario de Sensibilidad Pesimista - Caudales en el Río Camiña



Fuente: Elaboración propia

Cuadro 15.4-3 Resultados Escenario Actual

Tramo	Demanda (L/s)	Suministro (L/s)	Garantía	
			% de meses	% de años
Aguas arriba Altuza	0	0	na	na
Altuza a Cabrane	184	135	55%	5%
Cabrane a Corza	0	0	na	na
Corza a Panamericana	0	0	na	na
Aguas abajo Panamericana	38	14	32%	0%

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 15.4-4 Resultados Escenario Futuro

Tramo	Demanda (L/s)	Suministro (L/s)	Garantía	
			% de meses	% de años
Aguas arriba Altuza	450	170	5%	0%
Altuza a Cabrane	184	62	11%	0%
Cabrane a Corza	0	0	na	na
Corza a Panamericana	260	8	2%	0%
Aguas abajo Panamericana	38	1	1%	0%

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros más pesimistas llevan significan una menor oferta y una mayor demanda resultando una menor disponibilidad del recurso hídrico y garantías de suministro más bajas. Otra vez es claro que la imposición de nuevas extracciones impacta a los usuarios existentes.

15 CONCLUSIONES

El río Camiña fue modelado de manera integrada para simular el caudal a varios puntos a lo largo del río bajo diferentes escenarios de demanda. Debido a la falta de información observada para calibrar el modelo existe alta incertidumbre en los resultados, por lo que se consideró un análisis de sensibilidad a través de dos escenarios.

Los resultados con respecto al caudal y demanda varían mucho en respuesta al cambio de parámetros. El modelo puede ser mejorado si se dispone de datos continuos de caudal aguas abajo de Altuza, especialmente en la zona de Calatambo/Cabrane y la zona de Corza Turiza. Con mejor información geofísica sobre el acuífero se puede confirmar si efectivamente es pequeño o no.

No obstante, el modelo siempre muestra un impacto a terceros como consecuencia del ejercicio de nuevos derechos. Es decir, a pesar de la incertidumbre en varios supuestos

considerados para el modelo, es bastante claro que la aprobación de nuevos derechos, sin algún tipo de compensación o mitigación, impactará sobre los usuarios existentes. De acuerdo a las estimaciones del modelo los usuarios existentes ya tienen problemas en ejercer sus derechos, por consiguiente cualquier extracción adicional empeorará la situación.

Una duda que hay que aclarar es si los titulares de derechos de aprovechamiento de aguas efectivamente tienen problemas en explotar su derecho en este momento.

Si es cierto que existen problemas con el ejercicio de los derechos existentes debido a la escasez del recurso, se confirmarían los resultados del modelo que muestran una baja disponibilidad de agua en esta zona. Además se consideramos que la situación actual corresponde a un escenario de escases del recurso hídrico, sería muy probable que cualquier nueva explotación aguas arriba de los usuarios existentes impactaría sobre la seguridad de estos derechos, tal como lo muestra el modelo.

Otra consideración que se puede hacer es que los nuevos derechos se puedan constituir de tal manera que los impactos sean mitigados o los afectados sean compensados.

16 REFERENCIAS

(GCF, 2010) METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE RECARGA DE CUENCAS ALTIPLÁNICAS Y PRECORDILLERANAS DE VERTIENTE PACÍFICA EN EL NORTE DE CHILE, XV, I, II Y III REGIONES, S.I.T. N°221, Santiago, Diciembre de 2010

(ARRAU, 2010) ESTUDIO DE FACTIBILIDAD CONSTRUCCIÓN EMBALSE UMIÑA- CAMIÑA, REGIÓN DE TARAPACÁ, ARRAU INGENIERÍA E.I.R.L, 2010.

(DEP-DGA, 2012) ESTUDIO DE RECURSOS SUPERFICIALES RIO CAMIÑA, DIVISIÓN DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN, DGA, 2012.

(SALAZAR, 1999) ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS HÍDRICOS DE VEGAS Y BOFEDALES EN EL NORTE DE CHILE, CARLOS SALAZAR ET AL, VERTIENTE, 1999.