



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

Aplicación de modelación superficial en cuencas pluviales de las Regiones del Maule, Biobío y La Araucanía.

REALIZADO POR:

División de Estudios y Planificación

S.D.T. N° 302

Santiago, Septiembre de 2010

Jefe División de Estudios y Planificación

Carlos Salazar M.

Profesionales participantes

Miguel Ángel Caro H

Estefanía Rojas L.

ÍNDICE

1	Introducción y Objetivo	1
2	El modelo SIMED.....	2
3	Modelación de cuencas pluviales en la zona de estudio	4
3.1	Hidrograma Unitario Sintético de la Cuenca	10
3.2	Distribuciones Horarias de Lluvia y Evaporación	10
3.3	Estimación de la Constante de Embalse Subterráneo K	12
3.4	Determinación de la Conductividad Hidráulica K_{hid}	13
3.5	Determinación de porosidad, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, ascensión capilar y del parámetro $Scrit$	14
3.5.1	Determinación del grado de humedad correspondiente a la capacidad de campo S_{CC}	15
3.5.2	Determinación del punto de marchitez permanente $Smín$ y del parámetro $Scrit$	16
3.6	Determinación de la Profundidad de Suelo H_{suelo}	17
3.7	Determinación del Coeficiente de Precipitación A y del Índice del Poder Evaporante de la Atmósfera B	19
4	Resultados de la Aplicación del Modelo en las Cuencas Seleccionadas	21
5	Bibliografía.....	33

La determinación de la disponibilidad en fuentes superficiales requiere la estimación de la oferta como primer paso, la creciente demanda por recursos hídricos hace necesario que la Dirección General de Aguas avance en la estimación de la oferta hídrica.

Esto resulta de importancia en cuencas que no cuentan con suficiente información para estos fines y para lo cual normalmente se recurre a métodos indirectos, tales como la transposición de cuencas u otros que sintetizan caudales a partir de información meteorológica y de otras variables relacionadas con las características de la cuenca.

Los métodos de transposición de cuencas, en general, se basan en relaciones entre cuencas similares, donde el área de las cuencas desempeña un papel preponderante. Por otra parte, la síntesis de caudales está basada en modelos matemáticos que simulan el comportamiento de una cuenca ante un evento de precipitación.

La DGA ha desarrollado modelos de simulación hidrológica orientados a distintos objetivos, entre ellos se dispone de un modelo de escorrentía diaria llamado SIMED, que está orientado a la generación de caudales superficiales en cuencas de carácter pluvial.

En el marco de la aplicación de dicho modelo la DGA ha desarrollado dos estudios con el propósito de explorar la posibilidad de establecer parámetros regionales para la aplicación de dicho modelo; tomando un conjunto de cuencas como referencia para estos efectos.

A partir del proceso de calibración realizado para estas 26 cuencas de referencia se ha desarrollado el presente trabajo, cuyo objetivo central es la generación de los caudales superficiales mensuales para distintas probabilidades de excedencia; información de utilidad para establecer la oferta en estas cuencas y además ser referencia para otras cuencas similares.

La estimación de la escorrentía diaria en las cuencas pluviales, se ha efectuado a través un modelo lluvia-escorrentía denominado SIMED¹, que ha sido utilizado por la DGA en varias cuencas de nuestro país. Su principal ventaja con respecto a otros modelos, es que utiliza menos parámetros para su implementación y calibración.

La figura 2-1 muestra un diagrama esquemático del modelo SIMED. En este modelo el ciclo hidrológico se describe a través de un sistema que considera los procesos de evapotranspiración, infiltración, almacenamiento de humedad, generación de escorrentía directa, percolación profunda y flujo base, los cuales se evalúan a nivel horario.

El modelo utiliza como datos de entrada la lluvia diaria y evaporación mensual sobre la cuenca, los cuales son convertidos en magnitudes horarias a través de tablas de distribución horarias para la lluvia y evaporación de la cuenca; además se requiere un conjunto de parámetros cuyos valores dependen de las propiedades más comunes del suelo. Lo anterior hace que el conjunto de parámetros por conocer sea considerablemente menor comparado con otros modelos.

En total son 11 parámetros que requieren la determinación de sus respectivos valores, algunos se determinarán por única vez para la cuenca, como son: el coeficiente de precipitación, el índice del poder evaporante de la atmósfera y el área de la cuenca, para los restantes parámetros han de determinarse los valores iniciales, su valor final está supeditado a la calibración del modelo.

En las siguientes secciones se mostrará el significado de cada uno de los parámetros, su forma de cálculo y el resultado obtenido en cada una de las 26 cuencas estudiadas.

¹ Modelo de Simulación de Caudales Medios Diarios en Cuencas Pluviales, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, 2003.

El modelo SIMED utiliza 6 archivos de entrada que poseen la información necesaria para su funcionamiento (precipitaciones diarias; evaporación mensual de bandeja; hidrograma unitario de la cuenca; distribuciones horarias de lluvia y evaporación; Caudales medios diarios y un archivo maestro con nombres de los archivos requeridos y valores iniciales de los parámetros del Modelo SIMED).

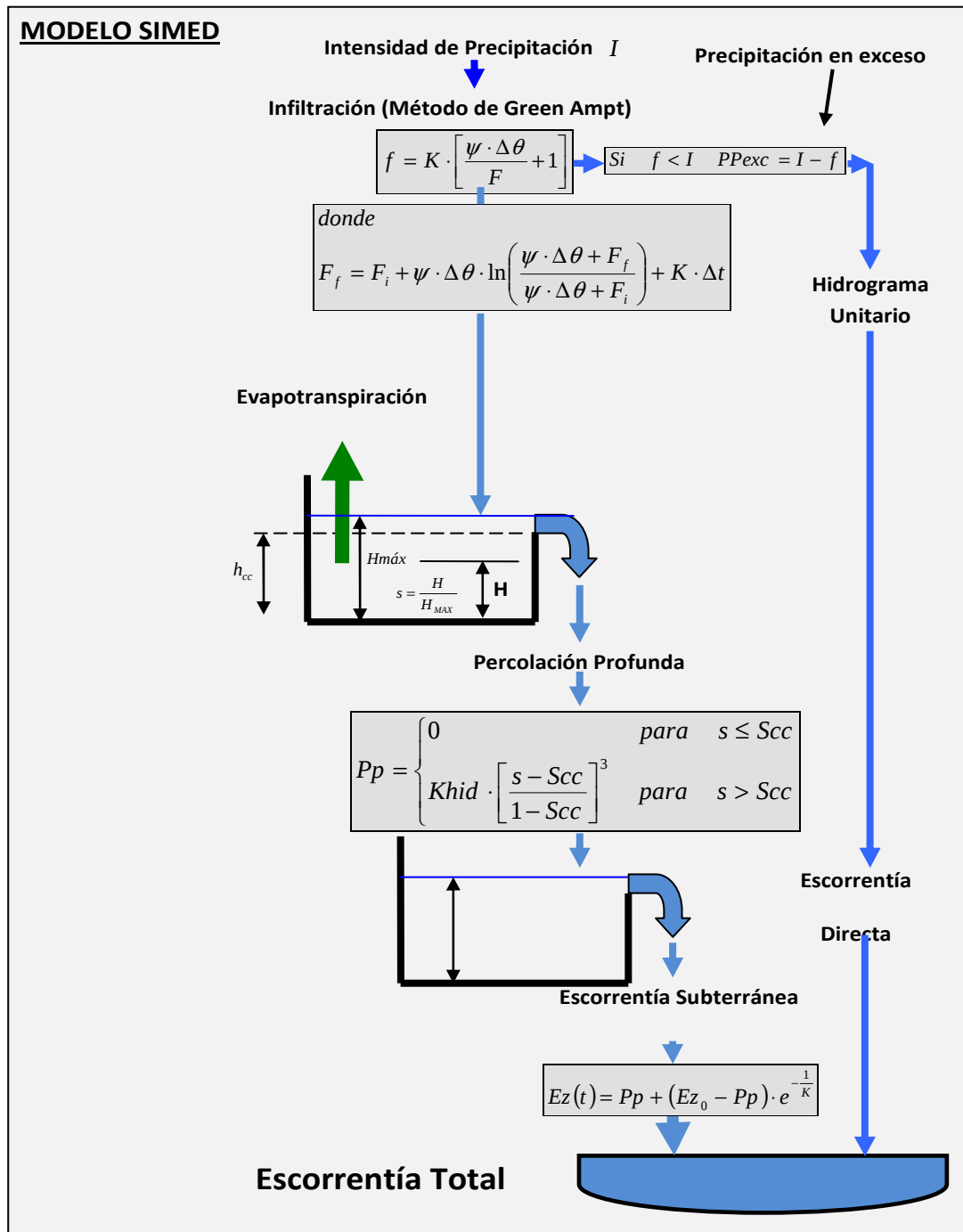


Figura 3.5.1-1 Diagrama Modelo SIMED

3 MODELACIÓN DE CUENCAS PLUVIALES EN LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio abarca las cuencas pluviales de las regiones del Maule, Biobío y La Araucanía, seleccionadas a partir de los estudios realizados por la DGA para establecer parámetros regionales en cuencas pluviales no controladas². Para estos efectos se consideraron las 26 cuencas pluviales que en dicho trabajo se incluyeron como base para el análisis de parámetros regionales y que contaban con información fluviométrica, pluviométrica y evaporimétrica asociada, para calibrar el modelo SIMED.

Para estos efectos se estableció como cuencas pluviales, todas aquellas cuencas que tuvieran estaciones de control fluviométrico bajo la “línea de nieves regional”³ cuya gráfica se muestra en la figura 3-1.

²“Levantamiento de parámetros para la modelación de cuencas pluviales no controladas en la VII y VIII Región” y “Levantamiento de parámetros para la modelación hidrológica de cuencas pluviales no controladas en la IX Región de La Araucanía”, DGA- 2008 y 2009.

³ Casassa, G. 1995. Glacier inventory in Chile: Current status and recent glacier variations. *Annals of Glaciology*, 21:317-322

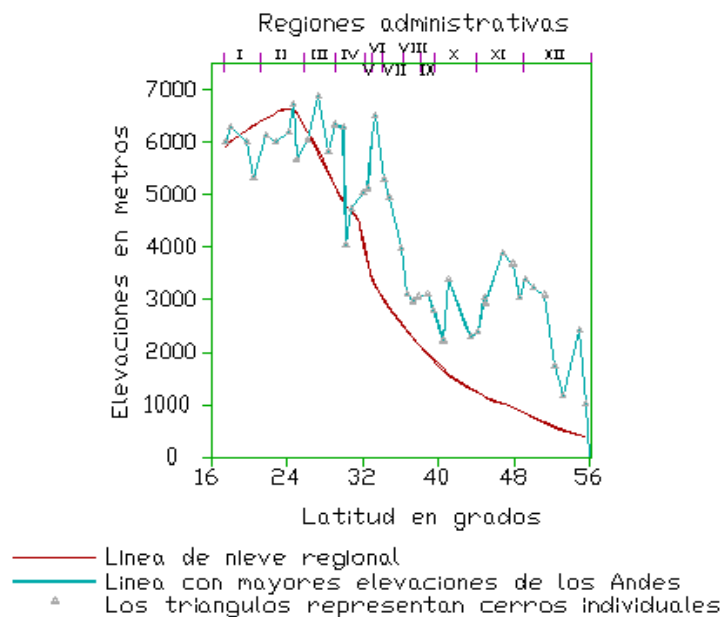


Figura 3-Línea de Nieves Regional

Según se puede observar, hacia el sur, la línea de nieves varía entre las cotas 3000 y 2550 en la Región VII del Maule, entre 2550 y 2050 en la Región VIII del Bio Bio y entre 2050 y 1850 en la Región IX de la Araucanía. Usando un SIG con la ubicación de las estaciones fluviométricas, cuencas, divisiones administrativas y curvas de nivel, se seleccionaron las cuencas cuyas estaciones de control fluviométrico estuvieran bajo las cotas mínimas indicadas para cada Región.

Un segundo criterio de selección considerado fue la intervención antrópica de las cuencas, dejándose fuera todas aquellas cuencas que presentaban un alto grado de intervención a través de canales y embalses. La tabla 3-1 muestra las estaciones pluviométricas y evaporimétricas asociadas a cada estación fluviométrica de calibración, además se muestra el periodo definitivo de calibración. Por su parte las figuras 3-1, 3-2 y 3-3 muestran las cuencas seleccionadas para la calibración del modelo SIMED.

N°	Estación Fluviométrica	Estación Pluviométrica	Estación Evaporimétrica	Periodo de Calibración
1	Estero El manzano antes junta Río Teno	La Rufina	Potrero Grande	Ene 76 - Dic 83
2	Río Cauquenes en El Arrayán	Tutuvén Embalse	Tutuvén Embalse	Ene 81 - Dic 06
3	Río Purapel en Nirivilo	Nirivilo	Liguay	Ene 79 - Dic 93 y May 00 - Ene 04
4	Río Niblinto antes Canal Alimentador Embalse Coihueco	Bullileo Embalse	Diguillín	Ene 75 - Dic 98
5	Río Diguillín en San Lorenzo (Atacalco)	Atacalco Fundo	Diguillín	Ene 75 - Dic 06
6	Río Lonquén en Trehuaco	Coelemu	Tutuvén Embalse	Feb 86 - Feb 05
7	Río Lirquén en Cerro El Padre	Cerro El Padre	Diguillín	Ene 75 - Dic 06
8	Río Nicodahue en Pichún	Angol (La Mona)	Contulmo	Abr 88 - Feb 91 y Ene 96 - Dic 06
9	Río Malleco en Collipulli	Laguna Malleco	Diguillín	Mar 77 - Ene 00
10	Río Pingüeral en Dichato	Coelemu	El Vergel	Mar 85 - Ene 89
11	Río Andalien Camino a Penco	Chillancito	Tutuvén Embalse	Mar 83 - Dic 06
12	Río Laraquete en el Cajón	Laja	El Vergel	Mar 85 - Dic 95
13	Río Carampangue en Carampangue	Los Angeles	Angol (La Mona)	Ago 76 - Dic 83
14	Río Lebu en Las Corrientes (Los Alamos)	Las Achiras	Angol (La Mona)	May 76 - Dic 83
15	Río Caramavida en Caramavida	Cañete	El Vergel	Jun 82 - Nov 91
16	Río Butamalal en Butamalal	Cañete	Traiguén	Ene 79 - Jun 87 y Nov 93 - Oct 96
17	Río Cayucupil en Cayucupil	Cañete	Angol (La Mona)	Ago 76 - Dic 83
18	Río Reputo en Reputo	Cañete	Angol (La Mona)	Ago 76 - Dic 83
19	Río Lumaco en Lumaco	Tranamán	Traiguén	Ene 89 - Dic 01
20	Estero Chufquén en Chufquén	Las Mercedes (Victoria)	Traiguén	Ene 02 - May 06
21	Río Quillén en Galvarino	Lautaro	Traiguén	Ene 80 - Dic 99
22	Río Cautín en Rari Ruca	Malalcahuello	Manzanar	Ene 97 - Dic 06
23	Río Allipén en Los Laureles	Malalcahuello	Manzanar	Ene 89 - Dic 00
24	Río Trancura antes Río Llafenco	Llafenco	Manzanar	Ene 75 - Abr 03
25	Río Donguil en Gorbea	Quitratúe	Pucón	Ene 89 - Dic 01
26	Río Puyehue en Quitratúe	Quitratúe	Pucón	Ene 94 - Dic 01 y Ene 94 - Dic 01

Tabla 3.1-1 Estaciones Pluviométricas, Evaporimétricas y de Calibración

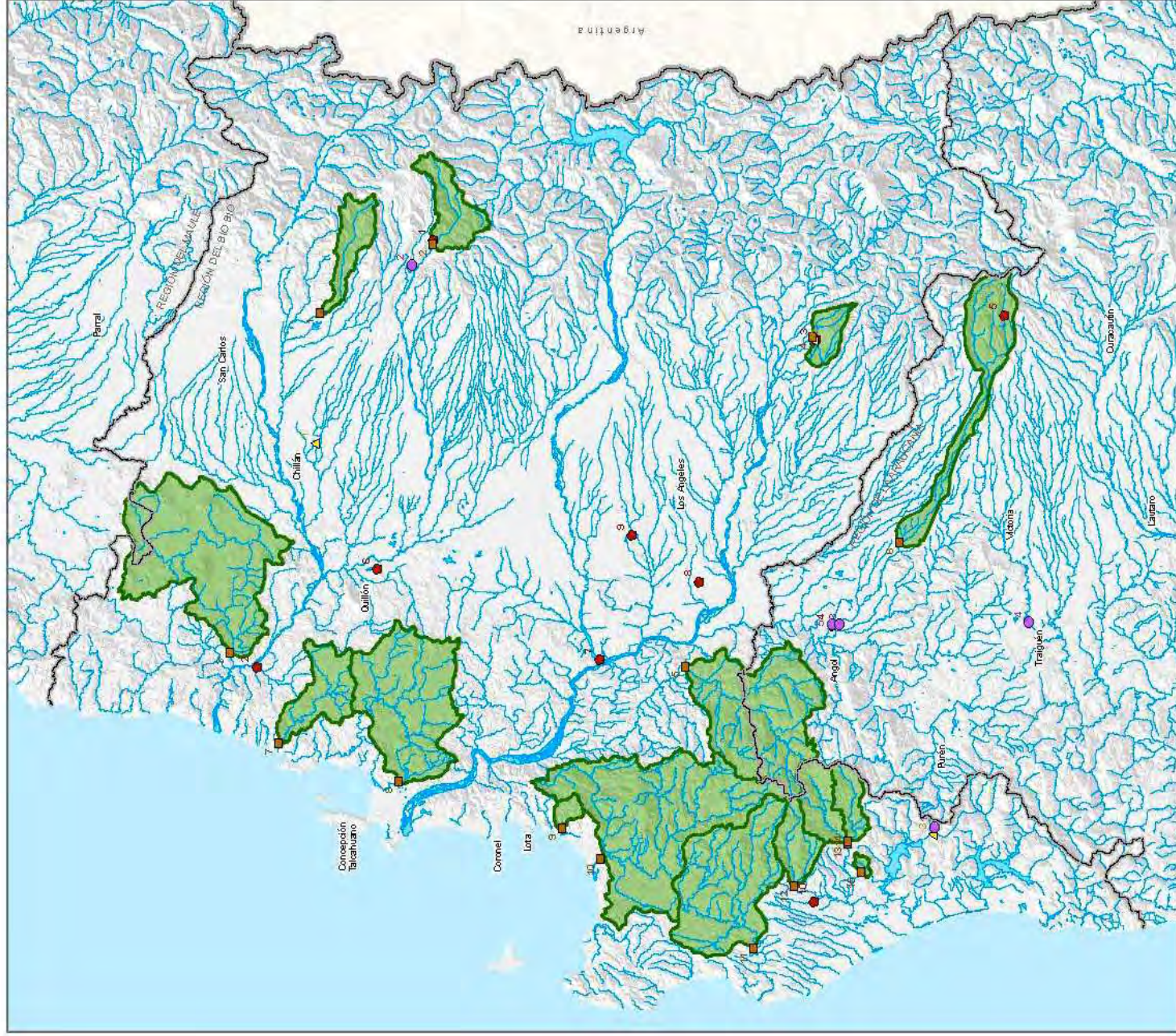


Figura 3.1-2:
Región del Bío Bío

Estaciones usadas en calibración

- Fluviométricas
- Evaporimétricas
- ▲ Pluviométricas
- Pluviométricas

Límites administrativos

- Límite Internacional
- Límite Regional

Cuencas Calibradas

- Cuencas Calibradas

Estaciones Fluviométricas

1. Río Niblinto antes BT, Emb. Coihueco
2. Río Diguillín en San Lorenzo (Atacalco)
3. Río Lonquén en Trehuaco
4. Río Liriquén en Cerro El Padre
5. Río Nicodanue en Pichún
6. Río Malleco en Collipulli
7. Río Pingüeral en Dichato
8. Río Andalién en camino a Penco
9. Río Laroquete en el Calén
10. Río Carampangue en Carampangue
11. Río Lebu en Las Corrientes
12. Estero Caramávida en Caramávida
13. Río Butamalal en Butamalal
14. Río Cayucupil en Cayucupil
15. Río Reputo en Reputo

Estaciones Evaporimétricas

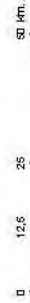
1. Contulmo
2. Diguillín
3. El Vergel (Angol)
4. Traiguén
5. Angol (La Mena)

Estaciones Pluviométricas

1. Atacalco Fundo
2. Coelemu
3. Cerro El Padre
4. Angol (La Mena)
5. Laguna Malleco
6. Chillancito
7. Laja
8. Los Angeles
9. Las Achiras Fundo
10. Caféte



Balneario Cartográfica:
División de Estudios y Planificación
Fuente de Información:
Basado en SIT N° 155, noviembre 2008
Dirección General de Aguas, INOP.



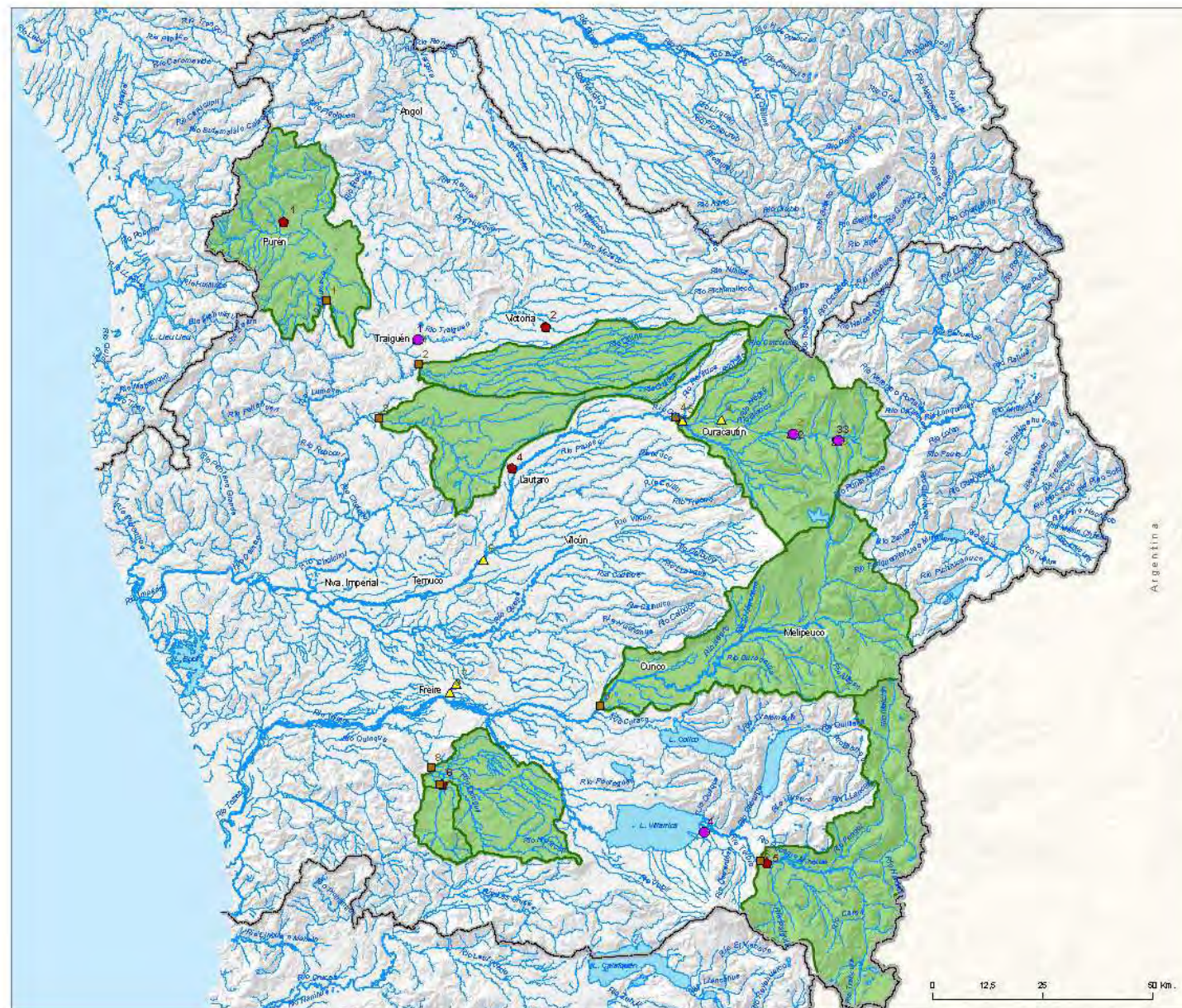


Figura 3.1-3:
Región de La Araucanía

Estaciones usadas en calibración

- Fluviométricas
- Evaporimétricas
- ▲ Pluviográficas
- Pluviométricas

Limites administrativos

- Limite Internacional
- Limite Regional

Cuencas Calibradas

- Cuencas Calibradas

Estaciones Fluviométricas

1. Río Lumaco en Lumaco
2. Estero Chufquén en Chufquén
3. Río Quillén en Galarino
4. Río Cautín en Rari-Ruca
5. Río Allipén en Los Laureles
6. Río Trancura antes Río Llafenco
7. Río Puyehue en Quitratúe
8. Río donguil en Gorbea

Estaciones Evaporimétricas

1. Traiguén
2. Manzanar
3. Malacahuello
4. Pucón

Estaciones Pluviográficas

1. Traiguén
2. Manzanar
3. Malacahuello
4. Curacautín
5. Cautín en Rari-Ruca DCP
6. Cautín en Cajón DCP
7. Freire en Sandos
8. Freire en Campamento Fiscal

Estaciones Pluviométricas

1. Tranaman
2. Las Mercedes (Victoria)
3. Malacahuello
4. Lautaro
5. Llafenco
6. Quitratúe



Elaboración Cartográfica:
División de Estudios y Planificación

Fuente de Información:
Basado en SIT N° 199, diciembre 2009,
Dirección General de Aguas, MOP.

3.1 HIDROGRAMA UNITARIO SINTÉTICO DE LA CUENCA

El modelo SIMED requiere como entrada para su funcionamiento del hidrograma unitario. El hidrograma unitario utilizado es el estudiado por Benitez y Arteaga para las Zonas I y II. La tabla 3.1-1 muestra los valores de los parámetros del hidrograma unitario sintético, para las distintas cuencas de calibración.

N°	Cuenca controlada por Estación Fluvimétrica	tp [horas]	tu [horas]	tb [horas]	qp [l/s/Km ² /mm]
1	Estero El manzano antes junta Río Teno	4.44	0.81	14.17	56.82
2	Río Cauquenes en El Arrayán	8.99	1.63	29.91	24.89
3	Río Purapel en Nirivilo	6.77	1.23	22.09	34.78
4	Río Niblinto antes Canal Alimentador Embalse Coihueco	7.20	1.31	22.13	33.66
5	Río Diguillín en San Lorenzo (Atacalco)	5.93	1.08	19.43	39.15
6	Río Lonquén en Trehuaco	13.36	2.43	34.69	19.98
7	Río Lirquén en Cerro El Padre	4.23	0.77	15.40	51.28
8	Río Nicodahue en Pichún	9.25	1.68	26.34	27.50
9	Río Malleco en Collipulli	11.37	2.07	30.92	22.83
10	Río Pingüeral en Dichato	8.13	1.48	24.09	30.51
11	Río Andalien Camino a Penco	10.09	1.83	27.97	25.65
12	Río Laraquete en el Cajón	4.57	0.83	16.24	48.22
13	Río Carampangue en Carampangue	10.06	1.83	27.92	25.70
14	Río Lebu en Las Corrientes (Los Alamos)	9.13	1.66	26.09	27.80
15	Río Caramavida en Caramavida	6.06	1.10	19.72	38.48
16	Río Butamalal en Butamalal	6.09	1.11	19.80	38.30
17	Río Cayucupil en Cayucupil	6.58	1.20	20.82	36.14
18	Río Reputo en Reputo	2.87	0.52	11.58	71.43
19	Río Lumaco en Lumaco	22.14	4.03	49.76	13.14
20	Estero Chufquén en Chufquén	33.35	6.06	66.66	9.36
21	Río Quillén en Galvarino	29.41	5.35	60.94	10.38
22	Río Cautín en Rari Ruca	21.84	3.97	49.28	13.29
23	Río Allipén en Los Laureles	28.87	5.25	60.14	10.54
24	Río Trancura antes Río Llafenco	22.28	4.05	49.98	13.07
25	Río Donguil en Gorbea	23.66	4.30	52.18	12.43
26	Río Puyehue en Quitrátúe	14.25	2.59	36.33	18.93

Tabla 3.1-1 Parámetros Hidrograma Unitario

3.2 DISTRIBUCIONES HORARIAS DE LLUVIA Y EVAPORACIÓN

Las distribuciones diarias de lluvia y evaporación, son necesarias para transformar el dato diario de lluvia y evaporación en datos horarios.

El método utilizado para determinar los factores de distribución de lluvia y evaporación se explican en las Referencias [2] y [3]

Las tablas 3.2-1 y 3.2-2 muestran los valores de distribución de los 3 tipos de lluvias (lloviznas, normales e intensas) para cada una de las cuencas de calibración.

GRUPO	ESTACION PLUVIOGRA	RANGO PRECIPIT. DIARIA	HORA																							
			1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	24.00
1	Convento Viejo	Hasta 1 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0.623	0.377	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Entre 1 y 10 mm	0	0	0.109	0	0	0.149	0.172	0.177	0.223	0.17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Sobre 10 mm	0.073	0.07	0.073	0.076	0.083	0.088	0.087	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.077	0.083	0.077	0.069	0.072	0	0	0.071
2	Bullileo Embalse	Hasta 1 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0.745	0.255	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Entre 1 y 10 mm	0	0	0	0	0.105	0	0.196	0.316	0.194	0.189	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Sobre 10 mm	0	0	0	0	0.06	0.069	0.066	0	0	0.069	0.065	0.07	0.066	0.066	0.067	0.07	0.069	0.072	0.065	0.066	0	0.061	0	0
3	San Javier	Hasta 1 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0.607	0.393	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Entre 1 y 10 mm	0	0	0	0	0.165	0	0.199	0.231	0.233	0.172	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Sobre 10 mm	0	0.071	0	0	0	0	0	0	0.076	0	0.082	0.076	0	0.078	0.084	0.075	0.073	0.08	0	0	0.071	0.073	0.079	0.082
4	Cerro El Padre	Hasta 1 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0.612	0.388	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Entre 1 y 10 mm	0	0	0	0	0	0	0.145	0.175	0.234	0.202	0.131	0	0	0	0.113	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Sobre 10 mm	0	0.073	0.073	0.077	0.083	0.078	0.082	0.081	0.074	0	0	0	0	0.074	0.073	0.079	0.075	0.079	0	0	0	0	0	0
5	Chillán Viejo	Hasta 1 mm	0	0	0	0	0	0	0	0.279	0.494	0.227	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Entre 1 y 10 mm	0	0	0	0	0	0	0	0.178	0.209	0.13	0	0	0	0	0	0	0.147	0.16	0.175	0	0	0	0	0
		Sobre 10 mm	0	0.073	0.074	0.081	0	0	0	0.073	0.107	0.082	0.089	0.077	0.08	0	0.087	0.077	0.099	0	0	0	0	0	0	0
6	Contulmo	Hasta 1 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0.568	0.432	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Entre 1 y 10 mm	0	0	0	0.124	0	0.133	0.126	0.149	0.194	0.149	0.125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Sobre 10 mm	0	0	0	0.075	0.087	0.09	0.072	0.063	0.064	0	0	0	0.061	0.055	0.058	0.064	0.06	0.072	0	0.067	0	0.062	0.05	0

Tabla 3.2-1 Distribuciones horarias de lluvia

Estación pluviográfica	Tipo precip	Hora																							
		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8
Traiguén	< 1mm	0.656	0.344	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1 a 10 mm	0.266	0.19	0.134	0.131	0	0	0.134	0.144	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10 mm	0	0	0	0	0.06	0	0.062	0.073	0	0.073	0.085	0.07	0.071	0.078	0	0.067	0.062	0	0.064	0.079	0.085	0.071	0	0
Malalcahuello+ Manz	< 1mm	0.866	0.134	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1 a 10 mm	0.242	0.253	0.144	0.109	0.13	0.123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10 mm	0	0	0.078	0.072	0.07	0.072	0.072	0.07	0.091	0.086	0.069	0.054	0	0	0.059	0.061	0.064	0.08	0	0	0	0	0	0
Curacautín	< 1mm	0.38	0.62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1 a 10 mm	0.234	0.212	0.162	0.117	0	0.136	0	0.139	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10 mm	0	0	0	0	0	0	0.067	0.071	0.062	0.075	0.061	0.062	0.065	0.052	0	0	0	0	0.056	0.068	0.077	0.086	0.096	0.102
Cautín en Rariruca	< 1mm	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1 a 10 mm	0.263	0.187	0.145	0.221	0	0	0.183	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10 mm	0	0	0	0	0	0	0.065	0.073	0.065	0	0.076	0.069	0.098	0.094	0.087	0.085	0	0	0.069	0	0	0.073	0.077	0.069
Cautín en Cajón	< 1mm	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1 a 10 mm	0.238	0.203	0	0.191	0	0.188	0	0.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10 mm	0	0	0	0	0	0.083	0	0.094	0.078	0.078	0.078	0.075	0	0.089	0	0	0	0	0	0.083	0.08	0.092	0.089	0.08
Freire Sendos	< 1mm	0.805	0.195	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1 a 10 mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.126	0.155	0.152	0.187	0.205	0.175
	10 mm	0	0	0	0	0.076	0.078	0	0.079	0	0	0.076	0.084	0.084	0.078	0	0.081	0.081	0.071	0.071	0.065	0.078	0	0	0

Tabla 3.2-2 Distribuciones horarias de lluvia

3.3 ESTIMACIÓN DE LA CONSTANTE DE EMBALSE SUBTERRÁNEO K

El cálculo de la escorrentía subterránea está basado en el supuesto de que el estanque de embalse subterráneo tiene comportamiento lineal.

La determinación de K , para las distintas cuencas pluviales de la zona de estudio, se realizó analizando una gran cantidad de recesiones en épocas de estiaje. La Tabla 3.3-1 muestra los valores de K iniciales para las cuencas pluviales de calibración de la zona de estudio.

N°	Cuenca controlada por Estación Fluviométrica	$K[hr]$
1	Estero El manzano antes junta Río Teno	840.00
2	Río Cauquenes en El Arrayán	810.00
3	Río Purapel en Nirivilo	740.00
4	Río Niblinto antes Canal Alimentador Embalse Coihueco	660.00
5	Río Diguillín en San Lorenzo (Atacalco)	2,460.00
6	Río Lonquén en Trehuaco	980.00
7	Río Lirquén en Cerro El Padre	660.00
8	Río Nicodahue en Pichún	1,360.00
9	Río Malleco en Collipulli	890.00
10	Río Pingueral en Dichato	1,420.00
11	Río Andalien Camino a Penco	1,880.00
12	Río Laraquete en el Cajón	2,780.00
13	Río Carampangue en Carampangue	2,040.00
14	Río Lebu en Las Corrientes (Los Alamos)	1,660.00
15	Río Caramavida en Caramavida	1,470.00
16	Río Butamalal en Butamalal	1,670.00
17	Río Cayucupil en Cayucupil	1,720.00
18	Río Reputo en Reputo	890.00
19	Río Lumaco en Lumaco	1,100.00
20	Estero Chufquén en Chufquén	600.00
21	Río Quillén en Galvarino	700.00
22	Río Cautín en Rari Ruca	4,000.00
23	Río Allipén en Los Laureles	4,100.00
24	Río Trancura antes Río Llafenco	2,800.00
25	Río Donguil en Gorbea	820.00
26	Río Puyehue en Quitrátúe	700.00

Tabla 3.3-1 Valores de K para las cuencas de calibración

3.4 DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA *Khid*

La determinación de la conductividad hidráulica vertical, en las cuencas pluviales de la zona de estudio, se realizó principalmente sobre la base del análisis de la curva de recesión de los hidrogramas de cada cuenca en épocas de mucha humedad, considerando además el tipo de suelo dominante de algunas cuencas y considerando la Tabla 4.3.1 de V. T. Chow-Hidrología Aplicada -1994.

La Tabla 3.4-1 muestra los valores iniciales de conductividad hidráulica para las distintas cuencas de calibración de la zona de estudio.

N°	Cuenca controlada por Estación Fluviométrica	<i>Khid</i> [mm/hr]
1	Estero El manzano antes junta Río Teno	7.80
2	Río Cauquenes en El Arrayán	1.97
3	Río Purapel en Nirivilo	4.09
4	Río Niblinto antes Canal Alimentador Embalse Coihueco	7.28
5	Río Diguillín en San Lorenzo (Atacalco)	19.21
6	Río Lonquén en Trehuaco	0.58
7	Río Lirquén en Cerro El Padre	7.53
8	Río Nicodahue en Pichún	2.14
9	Río Malleco en Collipulli	5.44
10	Río Pingueral en Dichato	0.61
11	Río Andalien Camino a Penco	1.81
12	Río Laraquete en el Cajón	5.99
13	Río Carampangue en Carampangue	1.37
14	Río Lebu en Las Corrientes (Los Alamos)	0.90
15	Río Caramavida en Caramavida	3.17
16	Río Butamalal en Butamalal	0.46
17	Río Cayucupil en Cayucupil	2.49
18	Río Reputo en Reputo	1.61
19	Río Lumaco en Lumaco	6.50
20	Estero Chufquén en Chufquén	5.00
21	Río Quillén en Galvarino	3.00
22	Río Cautín en Rari Ruca	5.00
23	Río Allipén en Los Laureles	5.00
24	Río Trancura antes Río Llafenco	10.00
25	Río Donguil en Gorbea	5.00
26	Río Puyehue en Quitratúe	5.00

Tabla 3.4-1 Conductividad hidráulica vertical cuencas calibración

3.5 DETERMINACIÓN DE POROSIDAD, CAPACIDAD DE CAMPO, PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE, ASCENSIÓN CAPILAR Y DEL PARÁMETRO SCRIT.

La capacidad de campo S_{cc} , el punto de marchitez permanente $S_{mín}$ y el grado de $Scrit$, no son independientes entre sí, sino más bien, dependen de la textura del suelo definida por los contenidos de arena, arcilla y materia orgánica. Luego determinado S_{cc} y $S_{mín}$ para el tipo de suelo, se determina $Scrit$

Por otra parte la porosidad total Por_{Tot} , porosidad efectiva Por_{Ef} y altura capilar H_{cap} , se determinaron considerando el valor de la conductividad hidráulica de cada cuenca y la Tabla 4.3.1 de V. T. Chow (1994), los resultados de Por_{Ef} y H_{cap} se muestran en la tabla 3.5-1

N°	Cuenca controlada por Estación Fluviométrica	PorEf[$\frac{g}{1}$]	Hcap[mm]
1	Estero El manzano antes junta Río Teno	0.46	160.00
2	Río Cauquenes en El Arrayán	0.36	170.00
3	Río Purapel en Nirivilo	0.45	100.00
4	Río Niblinto antes Canal Alimentador Embalse Coihueco	0.47	160.00
5	Río Diguillín en San Lorenzo (Atacalco)	0.40	80.00
6	Río Lonquén en Trehuaco	0.32	240.00
7	Río Lirquén en Cerro El Padre	0.47	160.00
8	Río Nicodahue en Pichún	0.36	170.00
9	Río Malleco en Collipulli	0.49	160.00
10	Río Pingueral en Dichato	0.32	240.00
11	Río Andalien Camino a Penco	0.35	200.00
12	Río Laraquete en el Cajón	0.49	160.00
13	Río Carampangue en Carampangue	0.33	220.00
14	Río Lebu en Las Corrientes (Los Alamos)	0.42	290.00
15	Río Caramavida en Caramavida	0.43	90.00
16	Río Butamalal en Butamalal	0.32	240.00
17	Río Cayucupil en Cayucupil	0.40	60.00
18	Río Reputo en Reputo	0.34	200.00
19	Río Lumaco en Lumaco	0.50	167.00
20	Estero Chufquén en Chufquén	0.49	167.00
21	Río Quillén en Galvarino	0.43	273.00
22	Río Cautín en Rari Ruca	0.49	167.00
23	Río Allipén en Los Laureles	0.49	167.00
24	Río Trancura antes Río Llafenco	0.43	100.00
25	Río Donguil en Gorbea	0.49	167.00
26	Río Puyehue en Quitratúe	0.49	167.00

Tabla 3.5-1 Porosidad Efectiva y altura Capilar de Cuencas Calibración

3.5.1 DETERMINACIÓN DEL GRADO DE HUMEDAD CORRESPONDIENTE A LA CAPACIDAD DE CAMPO S_{CC} .

A partir de la definición del grado de humedad correspondiente a la capacidad CC , de la definición de humedad residual HR , y de la definición de porosidad total $PorTot$ y porosidad efectiva $PorEf$, es posible deducir una cota CC . Para determinar el tipo de suelo promedio de la cuenca, se puede utilizar el valor de la conductividad hidráulica vertical K_{id} , e ingresar con este valor a la tabla 4.3.1 del libro Hidrología Aplicada de Chow V. T. (1994).

La tabla 3.5.1-1 muestra los valores iniciales del grado de humedad correspondiente a la capacidad de campo para las cuencas de la zona de estudio.

N°	Cuenca controlada por Estación Fluviométrica	Scc[°/1]
1	Estero El manzano antes junta Río Teno	0.71
2	Río Cauquenes en El Arrayán	0.79
3	Río Purapel en Nirivilo	0.75
4	Río Niblinto antes Canal Alimentador Embalse Coihueco	0.71
5	Río Diguillín en San Lorenzo (Atacalco)	0.55
6	Río Lonquén en Trehuaco	0.87
7	Río Lirquén en Cerro El Padre	0.71
8	Río Nicodahue en Pichún	0.79
9	Río Malleco en Collipulli	0.75
10	Río Pingueral en Dichato	0.87
11	Río Andalien Camino a Penco	0.79
12	Río Laraquete en el Cajón	0.74
13	Río Carampangue en Carampangue	0.81
14	Río Lebu en Las Corrientes (Los Alamos)	0.85
15	Río Caramavida en Caramavida	0.77
16	Río Butamalal en Butamalal	0.87
17	Río Cayucupil en Cayucupil	0.77
18	Río Reputo en Reputo	0.80
19	Río Lumaco en Lumaco	0.59
20	Estero Chufquén en Chufquén	0.59
21	Río Quillén en Galvarino	0.80
22	Río Cautín en Rari Ruca	0.59
23	Río Allipén en Los Laureles	0.59
24	Río Trancura antes Río Llafenco	0.50
25	Río Donguil en Gorbea	0.59
26	Río Puyehue en Quitratúe	0.59

T

Tabla 3.5-2 Valor inicial de Scc para las cuencas de calibración

3.5.2 DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE $Smín$ Y DEL PARÁMETRO $Scrit$

Para determinar $Smín$ se puede utilizar el triángulo textural de suelos. El algoritmo de clasificación se encuentra automatizado a través del programa para Windows del Departamento de Agricultura de Estados Unidos denominado “*Soil Water Characteristics from Texture*”. Desarrollado a partir del artículo escrito por Saxton et al (1985). Los valores de estos parámetros están referidos al volumen de suelo, por lo que deben ser divididos por el porcentaje de saturación para convertirlos en grado de saturación. Para determinar estos parámetros a través de este programa, se debe conocer previamente el tipo de suelo considerado. La Figura 3.5.2-1 muestra la pantalla principal del programa.

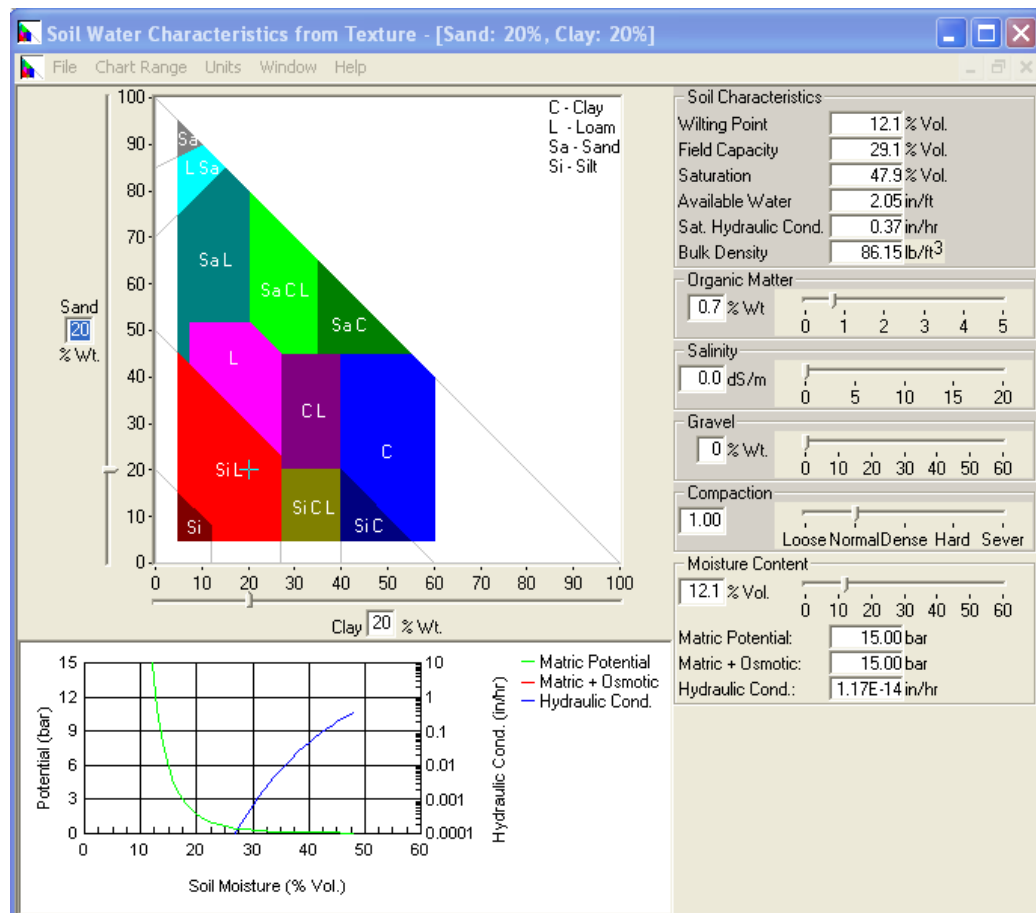


Figura 3.5.2-1 Pantalla principal Programa SWCT

Con el valor de S_{cc} y de $S_{mín}$ es posible determinar S_{crit} a través de la ecuación $S_{crit} = 0.40 \cdot S_{cc} + 0.60 \cdot S_{mín}$

La tabla 3.5.2-1 muestra los valores de $S_{mín}$ y S_{crit} para las distintas cuencas de la zona de estudio.

N°	Cuenca controlada por Estación Fluviométrica	$S_{crit}[9/1]$	$S_{min}[9/1]$
1	Estero El manzano antes junta Río Teno	0.50	0.37
2	Río Cauquenes en El Arrayán	0.64	0.55
3	Río Purapel en Nirivilo	0.58	0.46
4	Río Niblinto antes Canal Alimentador Embalse Coihueco	0.50	0.37
5	Río Diguillín en San Lorenzo (Atacalco)	0.40	0.31
6	Río Lonquén en Trehuaco	0.72	0.62
7	Río Lirquén en Cerro El Padre	0.50	0.37
8	Río Nicodahue en Pichún	0.64	0.55
9	Río Malleco en Collipulli	0.56	0.43
10	Río Pingüeral en Dichato	0.72	0.62
11	Río Andalien Camino a Penco	0.64	0.55
12	Río Laraquete en el Cajón	0.54	0.41
13	Río Carampangue en Carampangue	0.67	0.57
14	Río Lebu en Las Corrientes (Los Alamos)	0.70	0.59
15	Río Caramavida en Caramavida	0.61	0.50
16	Río Butamalal en Butamalal	0.72	0.62
17	Río Cayucupil en Cayucupil	0.62	0.52
18	Río Reputo en Reputo	0.66	0.56
19	Río Lumaco en Lumaco	0.40	0.31
20	Estero Chufquén en Chufquén	0.40	0.31
21	Río Quillén en Galvarino	0.55	0.38
22	Río Cautín en Rari Ruca	0.42	0.31
23	Río Allipén en Los Laureles	0.42	0.31
24	Río Trancura antes Río Llafenco	0.36	0.29
25	Río Donguil en Gorbea	0.40	0.31
26	Río Puyehue en Quitratúe	0.40	0.31

Tabla 3.5-3 Valores iniciales de S_{crit} y $S_{mín}$

3.6 DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE SUELO H_{suelo}

Dado que la capacidad de campo s_{cc} corresponde a la proporción de agua retenida en la masa de suelo cuando ésta se deja drenar libremente bajo la acción de la gravedad, se puede escribir:

$$s_{cc} = \frac{h_{cc}}{H_{max}}$$

Entonces conocidos s_{cc} y h_{cc} (altura de agua correspondiente a la capacidad de campo) es posible determinar H_{max} (máxima altura de agua correspondiente al estado de saturación de la masa de suelo) a través de la definición de la capacidad de campo, y utilizando la definición de porosidad total $PorT$ puede obtenerse:

$$H_{suelo} = \frac{H_{máx}}{PorT}$$

La Tabla 3.6-1 muestra los resultados iniciales de este parámetro para las cuencas en estudio.

Nº	Cuenca controlada por Estación Fluviométrica	Hsuelo[mm]
1	Estero El manzano antes junta Río Teno	200.00
2	Río Cauquenes en El Arrayán	149.70
3	Río Purapel en Nirivilo	138.89
4	Río Niblinto antes Canal Alimentador Embalse Coihueco	142.86
5	Río Diguillín en San Lorenzo (Atacalco)	333.33
6	Río Lonquén en Trehuaco	105.26
7	Río Lirquén en Cerro El Padre	285.71
8	Río Nicodahue en Pichún	119.76
9	Río Malleco en Collipulli	241.29
10	Río Pingüeral en Dichato	131.58
11	Río Andalien Camino a Penco	89.82
12	Río Laraquete en el Cajón	81.52
13	Río Carampangue en Carampangue	143.27
14	Río Lebu en Las Corrientes (Los Alamos)	147.42
15	Río Caramavida en Caramavida	113.64
16	Río Butamalal en Butamalal	78.95
17	Río Cayucupil en Cayucupil	147.93
18	Río Reputo en Reputo	146.63
19	Río Lumaco en Lumaco	2,000.00
20	Estero Chufquén en Chufquén	2,000.00
21	Río Quillén en Galvarino	2,000.00
22	Río Cautín en Rari Ruca	2,000.00
23	Río Allipén en Los Laureles	2,000.00
24	Río Trancura antes Río Llafenco	1,000.00
25	Río Donguil en Gorbea	1,000.00
26	Río Puyehue en Quitratúe	1,000.00

Tabla 3.6-1 Valor de Hsuelo para cuencas de calibración

3.7 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE PRECIPITACIÓN A Y DEL ÍNDICE DEL PODER EVAPORANTE DE LA ATMÓSFERA B

En general se cuenta con los valores medidos en alguna estación pluviométrica cercana, de tal forma que estos valores puntuales no tienen por qué coincidir con el promedio espacial a nivel de toda la cuenca. Debido a este hecho se puede considerar que:

E

Donde:

M : Precipitación media sobre el área de la cuenca.

E : Precipitación medida en la estación.

A : Coeficiente de precipitación.

De la definición anterior se deduce que el parámetro A se puede determinar cómo:

E

Luego, utilizando isoyetas y los datos de precipitación media de las estaciones representativas se determinaron los valores de A .

Análogamente la evaporación media sobre la cuenca se determina utilizando las isolíneas anuales de evaporación, los datos de evaporación de las estaciones representativas y la relación siguiente:

E

Donde:

M : Evaporación media sobre el área de la cuenca.

E : Evaporación medida en la estación.

B : Coeficiente de evaporación.

La tabla 3.7-1 muestra los valores iniciales de todos los parámetros utilizados en el modelo SIMED para cada cuenca pluvial de calibración de la zona de estudio, y la tabla 3.7-2 muestra los valores finales de los parámetros calibrados utilizados en el modelo SIMED para las cuencas pluviales del estudio.

N°	Cuenca controlada por Estación Fluviométrica	A[°/1]	B[°/1]	PorEf[°/1]	Hcap[mm]	Khid[mm/hr]	Sccl[°/1]	Scrit[°/1]	Smin[°/1]	Hsuelo[mm]	K[hr]	Area[km2]
1	Estero El manzano antes junta Río Teno	1.11	0.67	0.46	160.00	7.80	0.71	0.50	0.37	200.00	840.00	133.30
2	Río Cauquenes en El Arrayán	0.98	0.51	0.36	170.00	1.97	0.79	0.64	0.55	149.70	810.00	625.60
3	Río Purapel en Nirivilo	0.97	0.43	0.45	100.00	4.09	0.75	0.58	0.46	138.89	740.00	288.60
4	Río Niblinto antes Canal Alimentador Embalse Coihueco	0.92	0.69	0.47	160.00	7.28	0.71	0.50	0.37	142.86	660.00	161.60
5	Río Diguillín en San Lorenzo (Atacalco)	1.01	0.55	0.40	80.00	19.21	0.55	0.40	0.31	333.33	2,460.00	199.20
6	Río Lonquén en Trehuaco	0.96	0.51	0.32	240.00	0.58	0.87	0.72	0.62	105.26	980.00	1,090.90
7	Río Lirquén en Cerro El Padre	1.66	0.74	0.47	160.00	7.53	0.71	0.50	0.37	285.71	660.00	101.50
8	Río Nicodahue en Pichún	1.00	0.52	0.36	170.00	2.14	0.79	0.64	0.55	119.76	1,360.00	792.00
9	Río Malleco en Collipulli	0.84	0.60	0.49	160.00	5.44	0.75	0.56	0.43	241.29	890.00	410.00
10	Río Pingueral en Dichato	1.40	0.54	0.32	240.00	0.61	0.87	0.72	0.62	131.58	1,420.00	252.00
11	Río Andalien Camino a Penco	1.28	0.95	0.35	200.00	1.81	0.79	0.64	0.55	89.82	1,880.00	740.20
12	Río Laraquete en el Cajón	1.08	0.51	0.49	160.00	5.99	0.74	0.54	0.41	81.52	2,780.00	38.80
13	Río Carampangue en Carampangue	1.75	0.59	0.33	220.00	1.37	0.81	0.67	0.57	143.27	2,040.00	1,204.00
14	Río Lebu en Las Corrientes (Los Alamos)	2.19	0.54	0.42	290.00	0.90	0.85	0.70	0.59	147.42	1,660.00	717.40
15	Río Caramavida en Caramavida	2.24	0.55	0.43	90.00	3.17	0.77	0.61	0.50	113.64	1,470.00	149.00
16	Río Butamalal en Butamalal	1.46	0.55	0.32	240.00	0.46	0.87	0.72	0.62	78.95	1,670.00	114.40
17	Río Cayucupil en Cayucupil	1.75	0.61	0.40	60.00	2.49	0.77	0.62	0.52	147.93	1,720.00	168.70
18	Río Reputo en Reputo	1.28	0.62	0.34	200.00	1.61	0.80	0.66	0.56	146.63	890.00	14.30
19	Río Lumaco en Lumaco	1.01	0.55	0.50	167.00	6.50	0.59	0.40	0.31	2,000.00	1,100.00	1,020.80
20	Estero Chufquén en Chufquén	0.99	0.60	0.49	167.00	5.00	0.59	0.40	0.31	2,000.00	600.00	708.00
21	Río Quillén en Galvarino	1.07	0.61	0.43	273.00	3.00	0.80	0.55	0.38	2,000.00	700.00	713.00
22	Río Cautín en Rari Ruca	1.23	0.62	0.49	167.00	5.00	0.59	0.42	0.31	2,000.00	4,000.00	1,297.00
23	Río Allipén en Los Laureles	1.41	0.62	0.49	167.00	5.00	0.59	0.42	0.31	2,000.00	4,100.00	1,635.00
24	Río Trancura antes Río Llafenco	0.90	0.58	0.43	100.00	10.00	0.50	0.36	0.29	1,000.00	2,800.00	1,407.00
25	Río Donguil en Gorbea	0.89	0.87	0.49	167.00	5.00	0.59	0.40	0.31	1,000.00	820.00	737.00
26	Río Puyehue en Quitratúe	0.92	0.87	0.49	167.00	5.00	0.59	0.40	0.31	1,000.00	700.00	149.00

Tabla 3.7-1 Valores iniciales de los parámetros del modelo SIMED para las cuencas de calibración

N°	Cuenca controlada por Estación Fluviométrica	A[°/1]	B[°/1]	PorEf[°/1]	Hcap[mm]	Khid[mm/hr]	Sccl[°/1]	Scrit[°/1]	Smin[°/1]	Isuelo[mm]	K[hr]	Area[km2]
1	Estero El manzano antes junta Río Teno	0.75	0.67	0.46	160.00	1.00	0.71	0.50	0.37	40.00	410.00	133.30
2	Río Cauquenes en El Arrayán	0.62	0.23	0.36	1,000.00	0.75	0.77	0.64	0.10	150.00	285.00	625.60
3	Río Purapel en Nirivilo	0.50	0.20	0.45	700.00	0.60	0.75	0.58	0.46	280.00	540.00	288.60
4	Río Niblinto antes Canal Alimentador Embalse Coihueco	1.12	0.69	0.47	320.00	2.07	0.81	0.50	0.37	46.00	920.00	161.60
5	Río Diguillín en San Lorenzo (Atacalco)	1.05	0.55	0.63	900.00	1.60	0.55	0.40	0.31	29.00	970.00	199.20
6	Río Lonquén en Trehuaco	0.75	0.70	0.65	1,400.00	0.50	0.80	0.72	0.30	160.00	500.00	1,090.90
7	Río Lirquén en Cerro El Padre	1.10	0.40	0.47	160.00	3.50	0.71	0.50	0.37	350.00	430.00	101.50
8	Río Nicodahue en Pichún	0.85	0.40	0.36	500.00	2.17	0.79	0.64	0.55	55.00	1,350.00	792.00
9	Río Malleco en Collipulli	0.73	0.80	0.30	160.00	2.50	0.75	0.56	0.43	100.00	650.00	410.00
10	Río Pingueral en Dichato	0.70	0.54	0.32	500.00	1.00	0.87	0.72	0.62	100.00	2,000.00	252.00
11	Río Andalien Camino a Penco	0.52	0.45	0.25	200.00	0.80	0.79	0.64	0.55	35.00	1,260.00	740.20
12	Río Laraquete en el Cajón	1.25	0.60	0.60	100.00	2.00	0.74	0.54	0.41	35.00	1,600.00	38.80
13	Río Carampangue en Carampangue	1.20	0.10	0.33	220.00	1.90	0.81	0.67	0.57	143.00	1,000.00	1,204.00
14	Río Lebu en Las Corrientes (Los Alamos)	1.45	0.54	0.42	340.00	1.00	0.85	0.70	0.59	30.00	900.00	717.40
15	Río Caramavida en Caramavida	1.10	0.55	0.43	90.00	1.00	0.77	0.61	0.50	55.00	1,600.00	149.00
16	Río Butamalal en Butamalal	1.15	0.55	0.32	350.00	0.60	0.87	0.72	0.62	28.00	1,500.00	114.40
17	Río Cayucupil en Cayucupil	1.40	1.00	0.40	280.00	1.40	0.77	0.62	0.52	50.00	1,350.00	168.70
18	Río Reputo en Reputo	0.90	0.62	0.32	1,000.00	1.00	0.80	0.66	0.60	60.00	1,050.00	14.30
19	Río Lumaco en Lumaco	1.01	0.55	0.50	167.00	6.50	0.59	0.40	0.31	1,800.00	48.00	1,020.80
20	Estero Chufquén en Chufquén	0.90	0.60	0.49	167.00	5.50	0.59	0.40	0.31	1,250.00	72.00	708.00
21	Río Quillén en Galvarino	1.06	0.61	0.43	273.00	4.00	0.80	0.55	0.38	1,000.00	120.00	713.00
22	Río Cautín en Rari Ruca	1.17	0.62	0.49	167.00	6.50	0.59	0.42	0.31	5,000.00	24.00	1,297.00
23	Río Allipén en Los Laureles	1.32	0.62	0.49	80.00	6.50	0.59	0.42	0.31	5,000.00	24.00	1,635.00
24	Río Trancura antes Río Llafenco	0.90	0.58	0.43	100.00	10.00	0.50	0.36	0.29	5,000.00	24.00	1,407.00
25	Río Donguil en Gorbea	0.89	0.87	0.49	167.00	5.00	0.59	0.40	0.31	2,000.00	820.00	737.00
26	Río Puyehue en Quitratúe	0.90	0.87	0.49	167.00	6.00	0.59	0.40	0.31	2,800.00	40.00	149.00

Tabla 3.7-2 Valores finales de los parámetros del modelo SIMED para las cuencas de calibración

4 RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DEL MODELO EN LAS CUENCAS SELECCIONADAS

Con la información disponible se determinaron los caudales de excedencia para las cuencas pluviales consideradas en el estudio. La tabla siguiente muestra una síntesis a nivel anual de los valores medios obtenidos para probabilidad de excedencia 10% y 85%.

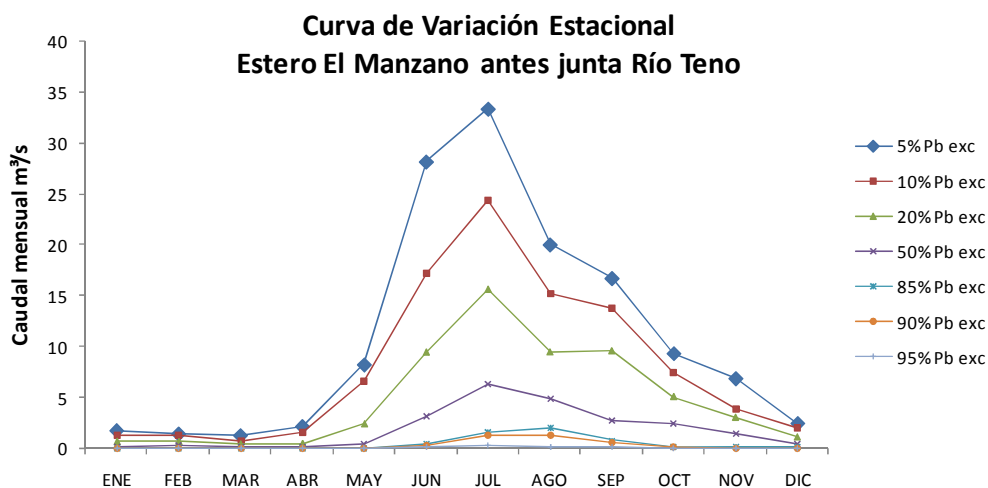
N°	Cuenca controlada por Estación Fluviométrica	Área[km ²]	Q10%	Q85%
1	Estero El Manzano antes junta Río Teno	133.30	5.99	1.27
2	Río Cauquenes en El Arrayán	625.60	13.85	3.51
3	Río Purapel en Nirivilo	288.60	5.35	1.21
4	Río Niblinto antes Canal Alimentador Embalse Coihueco	161.60	19.59	5.90
5	Río Diguillín en San Lorenzo (Atacalco)	199.20	23.99	12.65
6	Río Lonquén en Trehuaco	1,090.90	32.78	2.48
7	Río Lirquén en Cerro El Padre	101.50	10.02	4.98
8	Río Nicodahue en Pichún	792.00	33.93	15.52
9	Río Malleco en Collipulli	410.00	60.22	17.38
10	Río Pingueral en Dichato	252.00		
11	Río Andalien Camino a Penco	740.00	25.68	5.93
12	Río Laraquete en el Cajón	38.80	2.36	0.40
13	Río Carampangue en Carampangue	1,024.00	113.38	21.76
14	Río Lebu en Las Corrientes (Los Alamos)	717.40	94.28	9.61
15	Río Caramávida en Caramávida	149.00	8.82	4.01
16	Río Butamalal en Butamalal	114.40	9.53	3.62
17	Río Cayucupil en Cayucupil	168.70	18.40	6.64
18	Río Reputo en Reputo	14.30	0.69	0.30
19	Río Lumaco en Lumaco	1,020.80	27.58	10.48
20	Estero Chufquén en Chufquén	708.00	30.20	12.78
21	Río Quillén en Galvarino	713.00	26.59	14.49
22	Río Cautín en Rari Ruca	1,297.00	143.36	79.32
23	Río Allipén en Los Laureles	1,635.00	178.65	114.23
24	Río Trancura antes Río Llafenco	1,407.00	145.89	82.17
25	Río Donguil en Gorbea	737.00	44.53	21.54
26	Río Puyehue en Quitratúe	149.00	9.45	5.47

Tabla 3.7-1 Área y Caudales de 10% y 85% de excedencia media anual para las cuencas calibración (No fue calculado para cuenca N°10 por tener pocos datos)

En las tablas y gráficos siguientes se presentan los valores medios mensuales para distintas probabilidades de excedencia.

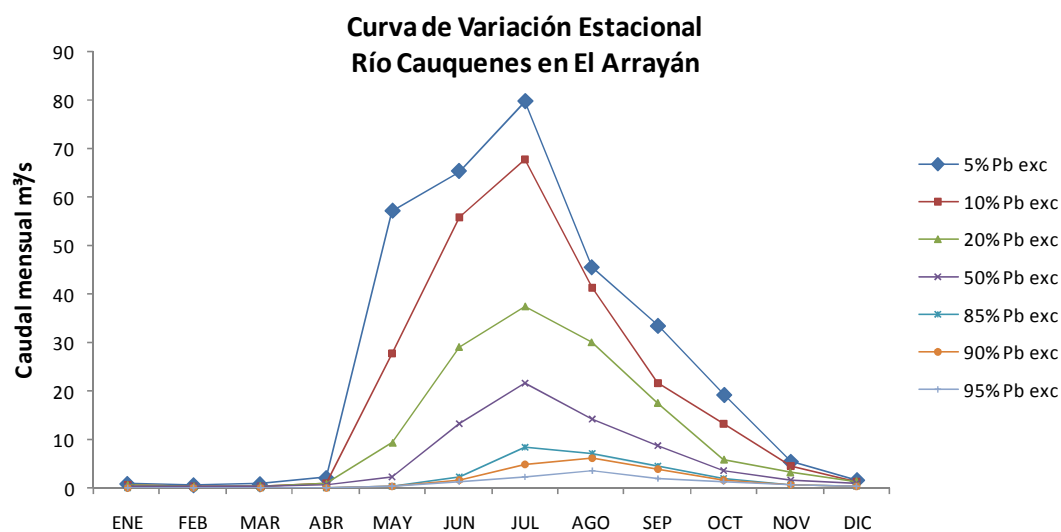
Pb exc	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5% Pb exc	1.78	1.46	1.29	2.19	8.25	28.19	33.39	20.04	16.74	9.35	6.89	2.49
10% Pb exc	1.36	1.28	0.72	1.60	6.52	17.19	24.35	15.18	13.75	7.48	3.84	1.96
20% Pb exc	0.76	0.74	0.50	0.54	2.49	9.54	15.72	9.55	9.67	5.17	3.13	1.20
50% Pb exc	0.26	0.31	0.24	0.26	0.56	3.24	6.27	4.91	2.83	2.49	1.53	0.51
85% Pb exc	0.09	0.05	0.06	0.05	0.09	0.47	1.64	2.08	0.85	0.13	0.13	0.13
90% Pb exc	0.08	0.04	0.05	0.04	0.09	0.33	1.32	1.26	0.56	0.12	0.08	0.08
95% Pb exc	0.06	0.04	0.03	0.04	0.09	0.14	0.37	0.25	0.15	0.08	0.05	0.05

Tabla 3.7-2 Estero El Manzano antes junta Río Teno



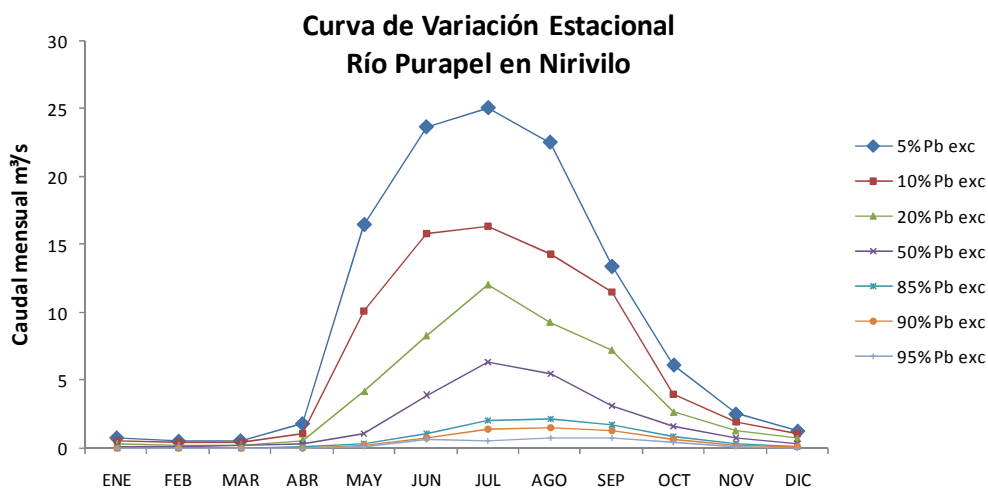
Pb exc	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5% Pb exc	0.90	0.61	0.81	2.09	57.29	65.51	79.93	45.63	33.51	19.24	5.47	1.65
10% Pb exc	0.83	0.51	0.58	1.13	27.74	55.87	67.71	41.25	21.70	13.50	4.79	1.57
20% Pb exc	0.65	0.37	0.45	0.86	9.35	29.18	37.55	30.12	17.61	5.90	3.24	1.42
50% Pb exc	0.39	0.28	0.30	0.50	2.16	13.38	21.63	14.04	8.78	3.52	1.58	0.84
85% Pb exc	0.21	0.14	0.14	0.22	0.55	2.24	8.31	7.19	4.41	1.98	0.85	0.48
90% Pb exc	0.16	0.12	0.09	0.19	0.39	1.66	4.99	6.14	3.97	1.69	0.77	0.41
95% Pb exc	0.11	0.03	0.07	0.15	0.30	1.36	2.22	3.52	1.96	1.37	0.68	0.32

Tabla 3.7-3 Río Cauquenes en El Arrayán



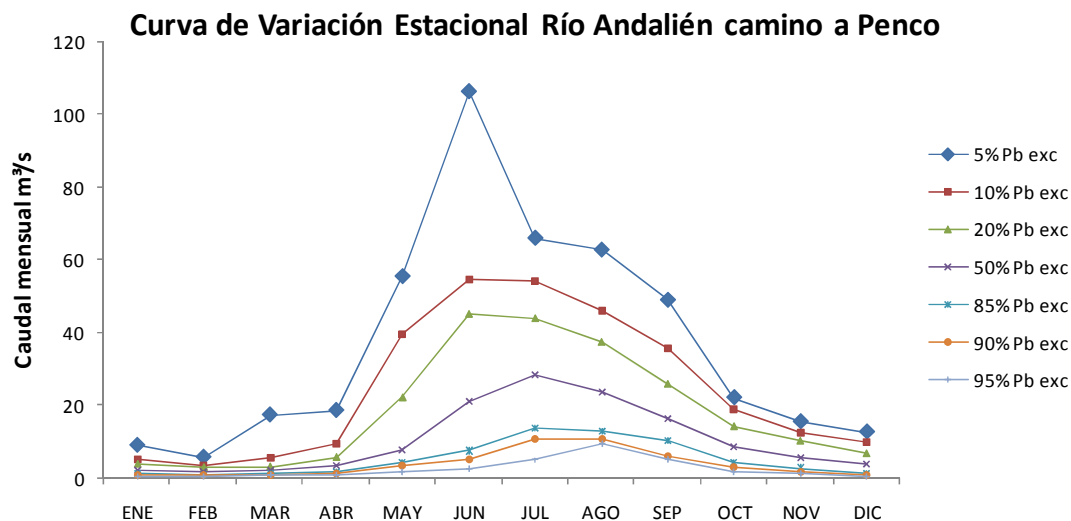
Pb exc	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5% Pb exc	0.83	0.58	0.61	1.87	16.52	23.71	25.12	22.58	13.44	6.18	2.58	1.32
10% Pb exc	0.57	0.48	0.50	1.09	10.10	15.79	16.37	14.37	11.50	4.02	2.03	1.18
20% Pb exc	0.41	0.29	0.33	0.65	4.21	8.29	12.02	9.28	7.23	2.69	1.34	0.78
50% Pb exc	0.20	0.15	0.20	0.32	1.09	3.93	6.33	5.52	3.12	1.66	0.83	0.40
85% Pb exc	0.05	0.04	0.04	0.11	0.34	1.12	2.05	2.20	1.80	0.85	0.36	0.17
90% Pb exc	0.03	0.03	0.02	0.06	0.27	0.81	1.42	1.58	1.37	0.73	0.19	0.10
95% Pb exc	0.02	0.02	0.01	0.04	0.13	0.64	0.56	0.79	0.73	0.43	0.10	0.04

Tabla 3.7-4 Río Purapel en Nirivilo



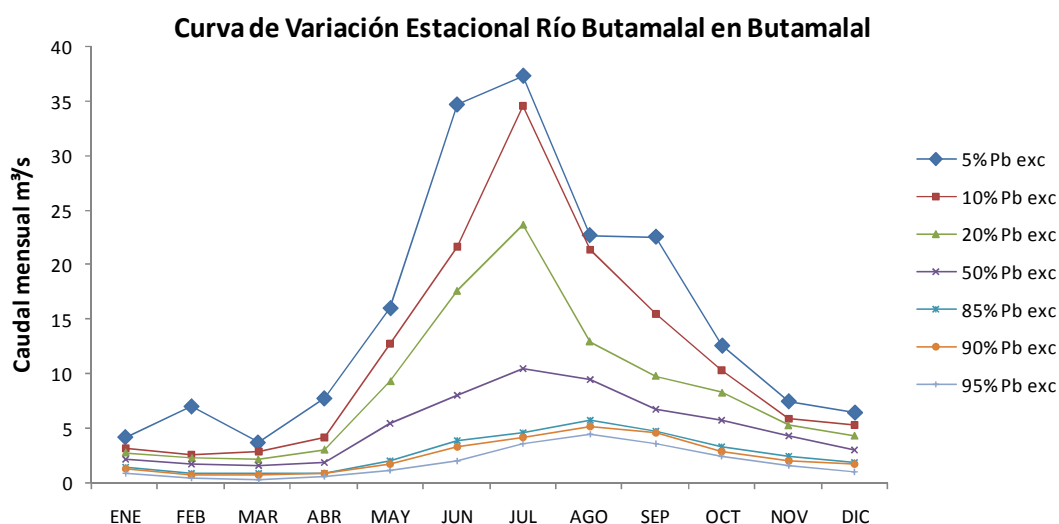
Pb exc	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5% Pb exc	9.08	5.82	17.48	18.68	55.59	106.47	66.09	62.86	49.06	22.21	15.59	12.77
10% Pb exc	5.21	3.48	5.50	9.57	39.51	54.55	54.03	46.09	35.51	18.75	12.37	9.84
20% Pb exc	4.11	3.23	3.43	5.99	22.32	45.17	43.99	37.49	26.01	14.43	10.48	7.03
50% Pb exc	2.24	1.91	2.20	3.42	7.80	21.17	28.32	23.83	16.28	8.69	5.60	3.86
85% Pb exc	1.34	1.11	1.36	1.93	4.32	7.65	13.76	12.78	10.46	4.38	2.98	1.53
90% Pb exc	0.88	0.82	1.00	1.34	3.36	5.29	10.80	11.01	6.18	3.18	1.86	0.97
95% Pb exc	0.54	0.70	0.82	0.98	1.71	2.63	5.16	9.75	5.21	1.91	1.49	0.56

Tabla 3.7-5 Río Andalién camino a Pen-
co



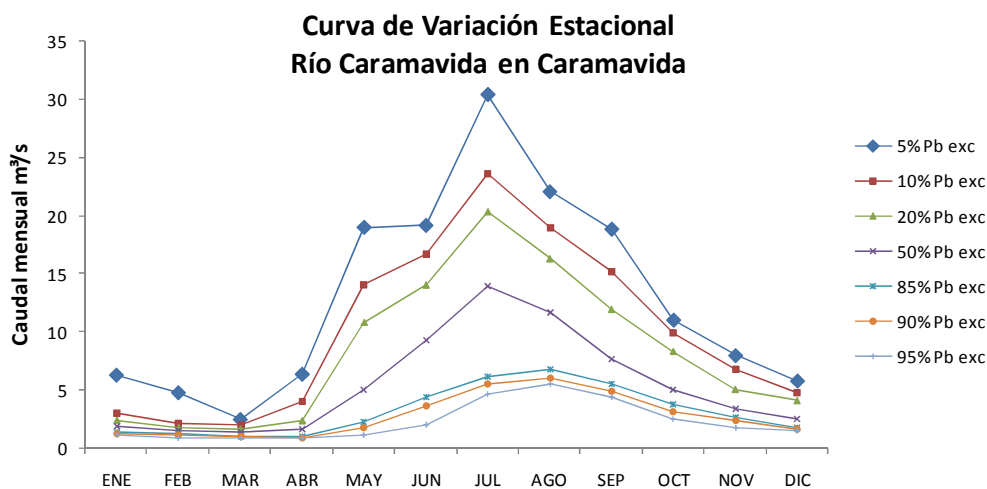
Pb exc	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5% Pb exc	4.23	7.05	3.74	7.79	16.04	34.66	37.30	22.72	22.57	12.61	7.52	6.48
10% Pb exc	3.14	2.63	2.88	4.17	12.86	21.67	34.58	21.36	15.58	10.38	5.87	5.29
20% Pb exc	2.77	2.25	2.14	3.03	9.32	17.64	23.72	12.98	9.82	8.26	5.25	4.30
50% Pb exc	2.13	1.74	1.63	1.97	5.45	7.99	10.48	9.45	6.71	5.77	4.39	3.03
85% Pb exc	1.45	0.87	0.83	0.88	1.99	3.84	4.66	5.80	4.79	3.25	2.47	1.85
90% Pb exc	1.34	0.73	0.70	0.83	1.67	3.38	4.19	5.25	4.60	2.90	2.09	1.74
95% Pb exc	0.91	0.56	0.38	0.69	1.19	2.15	3.64	4.50	3.67	2.44	1.63	1.12

Tabla 3.7-6 Río Butamalal en Butama-
lal



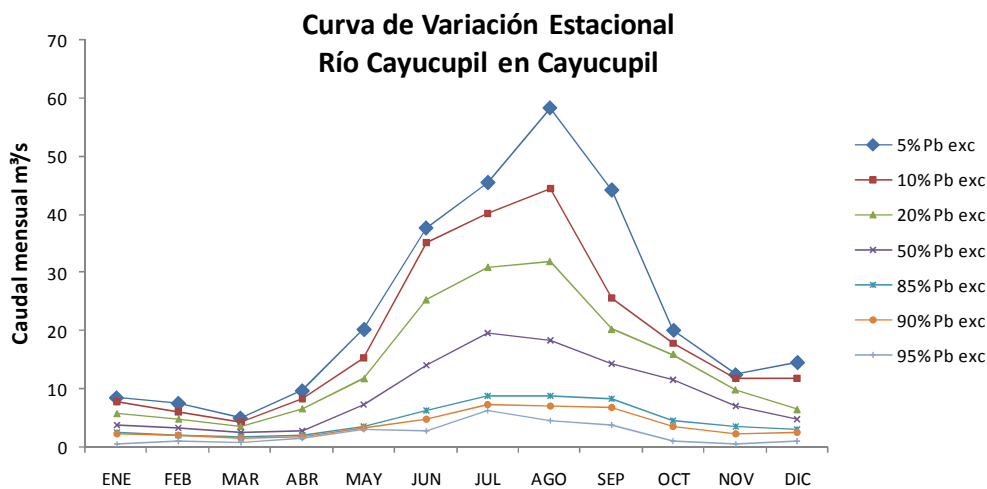
Pb exc	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5% Pb exc	6.34	4.84	2.54	6.42	19.02	19.18	30.41	22.07	18.87	11.06	8.02	5.83
10% Pb exc	2.98	2.09	2.01	4.08	14.12	16.74	23.62	18.99	15.16	9.94	6.81	4.79
20% Pb exc	2.49	1.85	1.72	2.44	10.86	14.06	20.34	16.31	11.97	8.37	5.12	4.16
50% Pb exc	1.94	1.57	1.43	1.63	5.02	9.24	13.89	11.65	7.69	5.03	3.48	2.61
85% Pb exc	1.35	1.24	1.06	1.02	2.25	4.49	6.22	6.86	5.57	3.77	2.72	1.79
90% Pb exc	1.31	1.16	1.01	0.94	1.79	3.73	5.61	6.07	4.96	3.21	2.38	1.73
95% Pb exc	1.13	0.88	0.88	0.84	1.08	2.03	4.66	5.48	4.41	2.49	1.70	1.42

Tabla 3.7-7 Río Caramávida en Caramávida



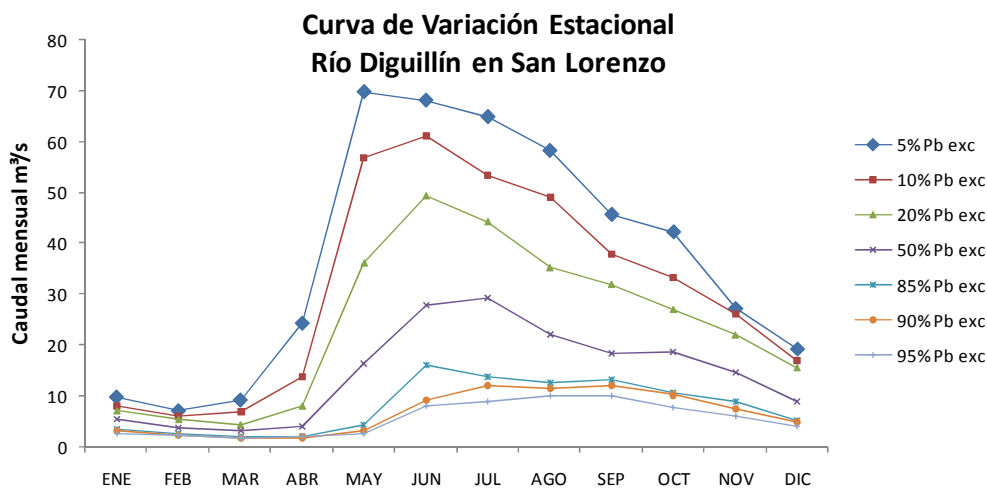
Pb exc	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5% Pb exc	8.54	7.58	5.05	9.75	20.27	37.67	45.47	58.28	44.18	20.13	12.50	14.59
10% Pb exc	7.83	6.08	4.21	8.20	15.26	35.09	40.17	44.50	25.55	17.69	11.77	11.64
20% Pb exc	5.79	4.86	3.59	6.62	11.77	25.32	30.90	31.88	20.25	15.98	9.86	6.49
50% Pb exc	3.77	3.42	2.58	2.91	7.46	14.04	19.62	18.28	14.27	11.64	7.19	4.93
85% Pb exc	2.42	2.09	1.79	2.14	3.66	6.31	8.74	8.78	8.27	4.55	3.46	3.04
90% Pb exc	2.21	1.98	1.51	1.75	3.34	4.90	7.38	7.08	6.97	3.61	2.34	2.48
95% Pb exc	0.60	1.05	0.96	1.48	3.08	2.76	6.21	4.48	3.72	1.12	0.63	1.01

Tabla 3.7-8 Río Cayucupil en Cayucupil



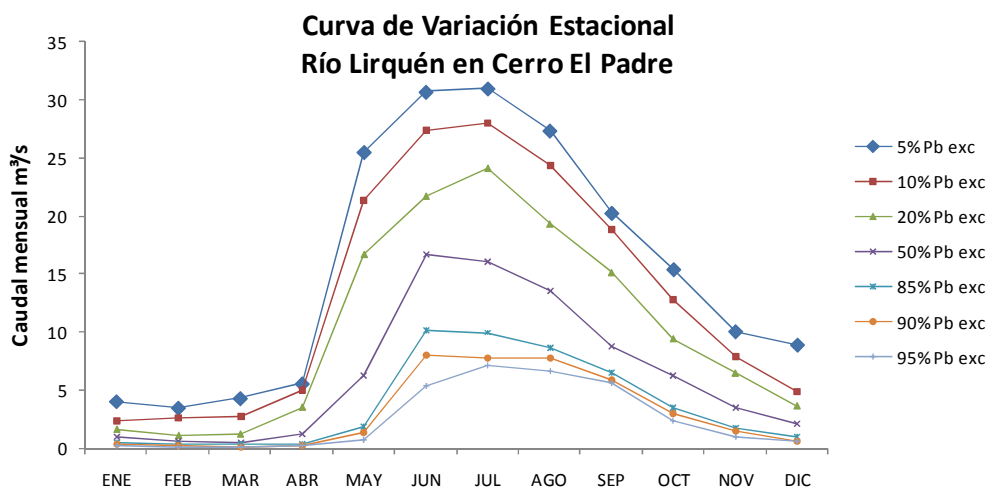
5% Pb exc	9.92	7.21	9.32	24.40	69.83	68.18	64.94	58.30	45.75	42.34	27.27	19.32
10% Pb exc	8.28	6.14	7.09	13.87	56.92	61.11	53.32	49.05	37.81	33.31	26.26	17.16
20% Pb exc	7.04	5.35	4.26	7.95	36.19	49.46	44.34	35.27	31.99	27.01	21.98	15.53
50% Pb exc	5.37	3.83	3.18	3.94	16.33	27.92	29.35	22.12	18.31	18.79	14.54	8.91
85% Pb exc	3.41	2.56	2.05	2.18	4.48	16.07	13.74	12.50	13.09	10.70	8.87	5.28
90% Pb exc	3.24	2.48	1.92	2.05	3.22	9.16	11.91	11.36	11.98	10.18	7.42	4.88
95% Pb exc	2.50	2.18	1.64	1.90	2.60	7.86	8.89	10.02	9.90	7.59	6.12	3.82

Tabla 3.7-9 Río Diguillín en San Lorenzo



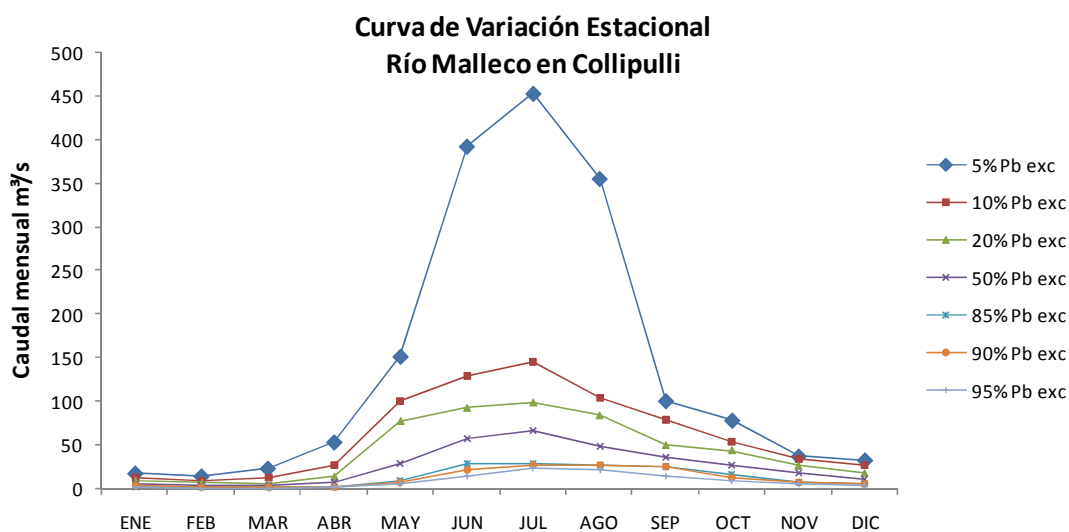
Pb exc	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5% Pb exc	4.08	3.52	4.34	5.60	25.52	30.69	30.98	27.36	20.28	15.44	10.10	8.95
10% Pb exc	2.46	2.72	2.82	5.11	21.35	27.29	27.97	24.29	18.88	12.89	7.92	4.95
20% Pb exc	1.66	1.13	1.25	3.55	16.67	21.67	24.07	19.27	15.11	9.43	6.48	3.67
50% Pb exc	1.04	0.69	0.54	1.33	6.35	16.77	16.15	13.59	8.82	6.32	3.57	2.15
85% Pb exc	0.51	0.36	0.34	0.36	1.84	10.20	10.01	8.68	6.49	3.54	1.76	0.93
90% Pb exc	0.41	0.29	0.20	0.32	1.45	8.10	7.87	7.84	5.99	3.13	1.60	0.74
95% Pb exc	0.29	0.17	0.15	0.22	0.80	5.45	7.19	6.69	5.63	2.35	1.05	0.65

Tabla 3.7-10 Río Lirquén en Cerro El Padre



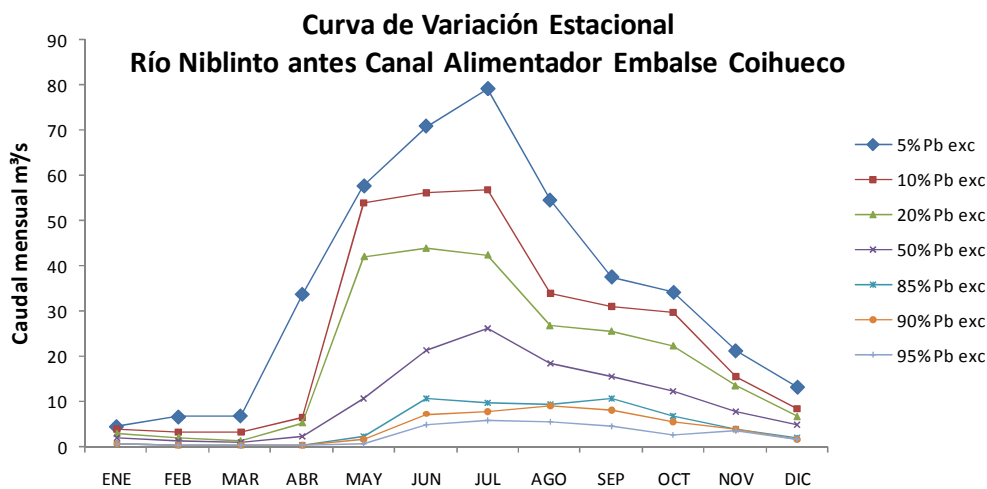
Pb exc	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5% Pb exc	18.08	14.76	23.66	53.97	152.07	393.08	453.59	355.95	101.09	78.71	37.71	33.14
10% Pb exc	12.97	9.85	13.40	28.02	101.41	128.75	145.20	103.73	79.25	54.58	33.91	27.04
20% Pb exc	9.70	7.52	6.24	14.41	77.83	92.83	99.01	84.24	50.39	44.58	26.86	18.61
50% Pb exc	5.53	4.20	3.85	6.68	28.62	56.37	65.83	48.42	35.93	27.27	17.24	11.42
85% Pb exc	3.19	2.57	2.42	3.15	8.88	29.30	28.41	27.78	25.66	17.33	8.58	5.94
90% Pb exc	2.90	2.33	2.00	2.67	6.93	21.40	26.88	26.21	24.48	13.24	7.04	5.12
95% Pb exc	1.70	0.48	0.02	1.91	5.24	13.83	23.52	21.26	15.23	9.51	5.11	4.03

Tabla 3.7-11 Río Malleco en Collipulli



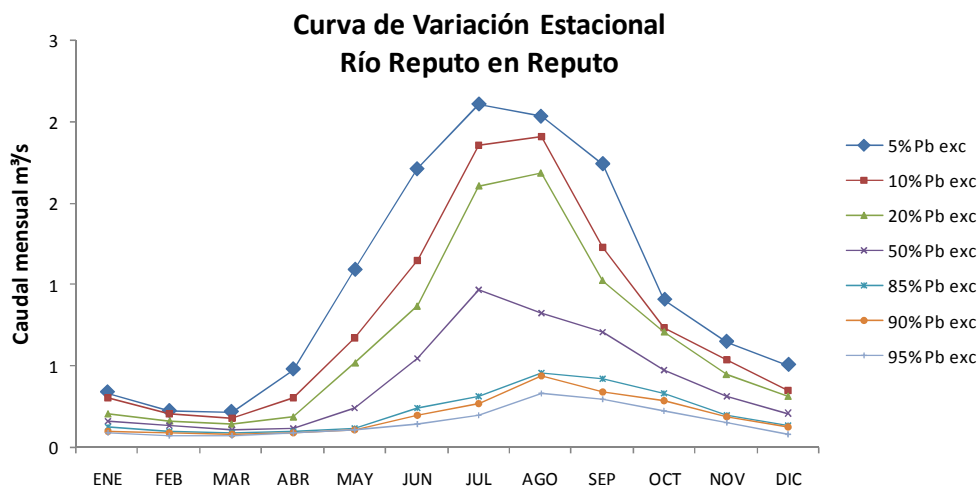
Pb exc	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5% Pb exc	4.56	6.69	6.95	33.81	57.75	70.99	79.25	54.61	37.65	34.24	21.31	13.29
10% Pb exc	3.90	3.38	3.36	6.57	54.19	56.22	56.97	34.11	31.03	29.99	15.71	8.54
20% Pb exc	2.95	2.09	1.30	5.30	42.12	43.95	42.48	26.81	25.59	22.35	13.48	6.67
50% Pb exc	1.88	1.10	0.91	2.36	10.66	21.44	26.15	18.53	15.51	12.30	7.80	4.76
85% Pb exc	0.84	0.57	0.55	0.55	2.30	10.62	9.83	9.37	10.65	6.72	4.14	1.98
90% Pb exc	0.70	0.53	0.43	0.54	1.65	7.40	7.85	9.19	8.17	5.49	3.92	1.68
95% Pb exc	0.58	0.37	0.39	0.33	0.76	4.75	5.81	5.53	4.44	2.55	3.45	1.49

Tabla 3.7-12 Río Niblinto antes Canal Alimentador Embalse Coihueco



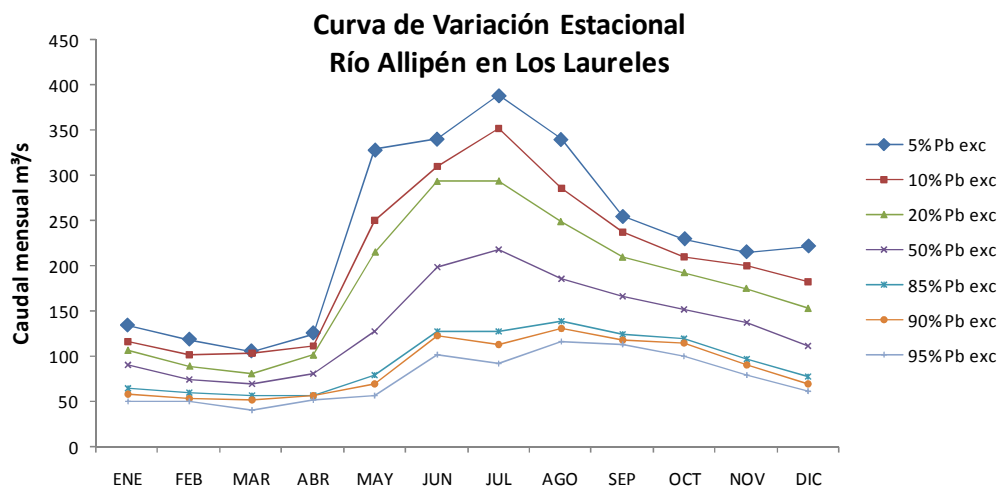
Pb exc	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5% Pb exc	0.34	0.22	0.22	0.48	1.09	1.71	2.11	2.04	1.74	0.91	0.65	0.51
10% Pb exc	0.31	0.21	0.18	0.30	0.67	1.15	1.85	1.91	1.23	0.74	0.54	0.35
20% Pb exc	0.21	0.17	0.15	0.19	0.52	0.87	1.61	1.69	1.03	0.71	0.45	0.32
50% Pb exc	0.17	0.14	0.11	0.12	0.25	0.54	0.97	0.82	0.71	0.48	0.32	0.21
85% Pb exc	0.12	0.09	0.09	0.09	0.12	0.24	0.32	0.46	0.42	0.33	0.20	0.13
90% Pb exc	0.10	0.09	0.08	0.09	0.11	0.20	0.27	0.44	0.35	0.29	0.19	0.12
95% Pb exc	0.09	0.07	0.07	0.09	0.10	0.14	0.19	0.33	0.30	0.22	0.15	0.08

Tabla 3.7-13 Río Reputo en Reputo



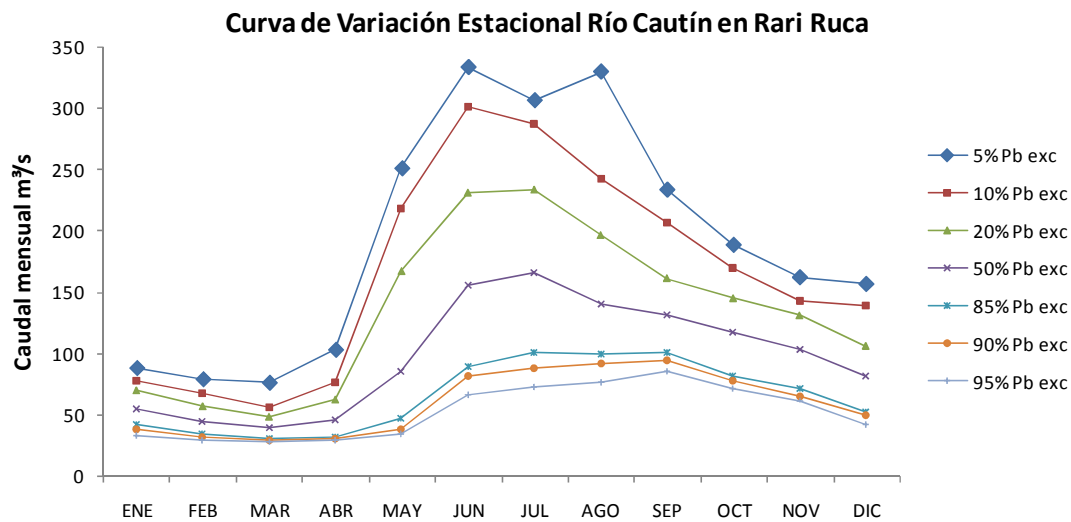
Pb exc	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5% Pb exc	134.44	118.82	105.75	125.74	328.52	340.68	388.75	340.25	254.81	230.22	215.73	222.22
10% Pb exc	116.88	101.89	102.83	110.94	250.20	309.92	352.53	285.69	237.47	210.03	200.49	182.28
20% Pb exc	106.49	89.03	80.59	101.17	215.23	293.32	293.81	248.90	209.62	192.52	175.04	152.91
50% Pb exc	90.00	74.36	69.22	79.72	127.57	198.33	217.66	184.69	166.82	150.76	137.73	111.88
85% Pb exc	65.06	60.51	57.76	57.52	79.85	128.67	127.95	139.45	125.05	119.59	98.11	79.10
90% Pb exc	58.74	54.52	52.71	56.75	70.05	123.22	113.65	131.02	118.29	114.82	91.67	69.78
95% Pb exc	50.42	50.60	40.97	51.53	56.52	101.45	91.81	116.20	112.81	100.07	79.52	62.38

Tabla 3.7-14 Río Allipén en Los Laureles



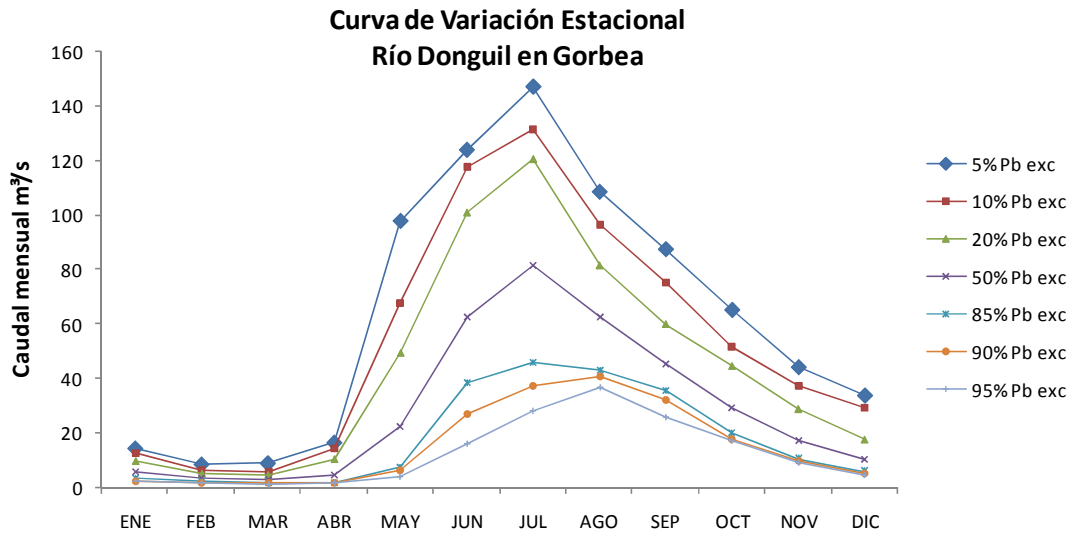
Pb exc	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5% Pb exc	88.59	79.52	76.65	103.41	250.72	332.90	305.99	329.31	233.43	188.58	162.27	156.83
10% Pb exc	76.81	67.48	55.60	76.14	218.41	301.50	287.21	243.17	206.30	170.11	143.17	139.09
20% Pb exc	70.22	57.31	48.81	62.70	167.26	231.07	233.52	196.52	161.50	145.20	131.15	106.38
50% Pb exc	54.80	44.68	39.22	45.54	86.07	156.20	166.38	140.58	131.77	118.11	103.76	81.43
85% Pb exc	41.39	33.70	30.22	31.58	46.33	89.69	100.78	98.87	100.39	81.85	70.68	52.56
90% Pb exc	38.01	32.20	29.78	30.60	38.81	81.56	88.42	92.19	94.27	78.30	65.32	50.53
95% Pb exc	33.20	29.38	27.54	28.45	34.63	66.47	73.10	75.98	85.65	71.77	61.75	41.65

Tabla 3.7-15 Río Cautín en Rari Ru-
ca



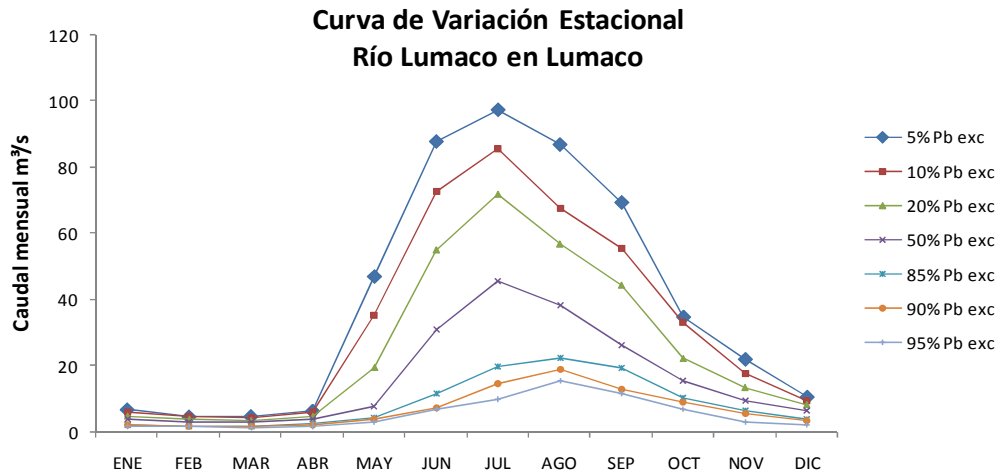
Pb exc	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5% Pb exc	14.67	8.80	9.22	16.77	97.92	123.88	147.00	108.56	87.55	65.32	44.43	34.03
10% Pb exc	12.92	6.51	6.07	14.48	67.77	117.65	131.38	96.63	75.53	51.85	37.51	29.39
20% Pb exc	9.92	5.33	4.84	10.59	49.55	100.95	120.54	81.58	60.08	44.71	28.99	17.75
50% Pb exc	6.29	3.68	3.26	5.00	22.57	62.60	81.71	62.72	45.51	29.52	17.54	10.71
85% Pb exc	3.28	2.18	1.84	2.05	7.54	38.45	45.77	42.96	35.53	20.01	10.68	6.11
90% Pb exc	2.38	1.68	1.67	1.89	6.23	26.81	37.46	40.95	32.20	17.89	9.86	5.06
95% Pb exc	1.89	1.38	0.99	1.73	3.95	16.10	28.22	36.88	25.71	17.21	9.02	4.56

Tabla 3.7-16 Río Donguil en Gorbea



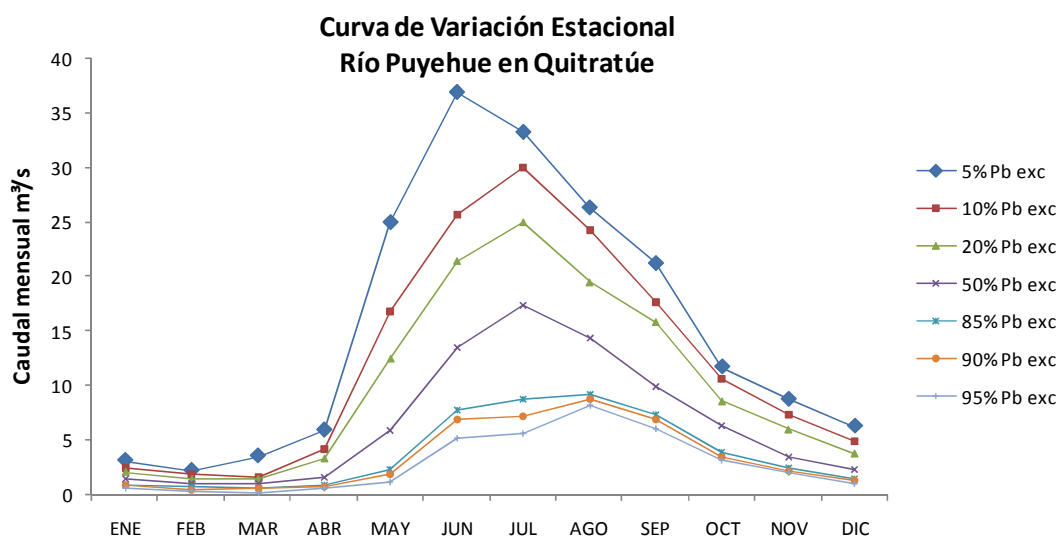
Pb exc	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5% Pb exc	6.96	4.83	4.92	6.50	47.06	87.73	97.28	86.79	69.37	34.83	22.11	10.76
10% Pb exc	5.80	4.57	4.18	5.96	35.28	73.01	85.77	67.60	55.35	33.00	17.56	9.54
20% Pb exc	5.07	4.07	3.70	4.96	19.71	55.02	71.76	56.79	44.41	22.35	13.67	8.55
50% Pb exc	4.16	3.17	3.14	3.84	8.01	31.03	45.78	38.61	26.60	15.49	9.78	6.60
85% Pb exc	2.41	1.95	2.07	2.70	4.29	11.73	19.90	22.29	19.34	10.36	6.51	3.89
90% Pb exc	2.06	1.77	1.91	2.31	3.72	7.54	14.60	18.97	12.76	8.89	5.54	3.63
95% Pb exc	1.90	1.60	1.34	1.98	3.25	6.85	9.99	15.51	11.58	6.83	3.09	2.17

Tabla 3.7-17 Río Lumaco en Lumaco



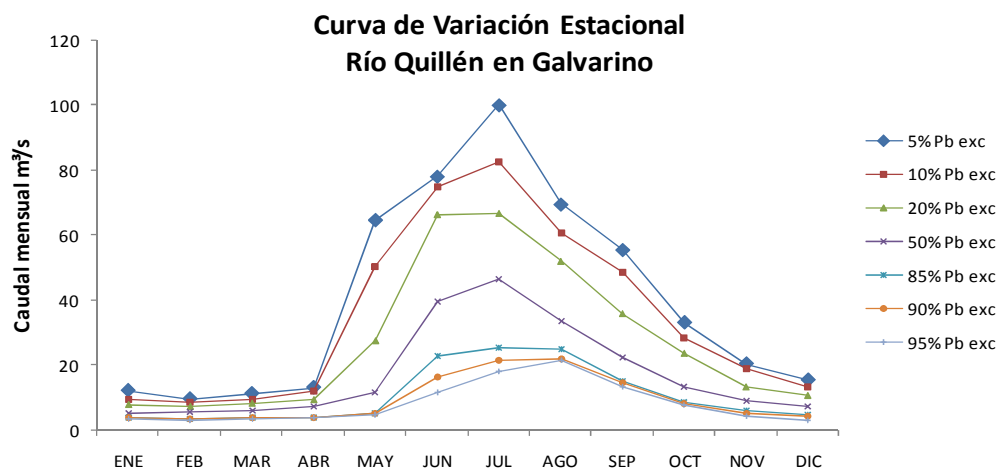
Pb exc	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5% Pb exc	3.14	2.20	3.55	5.93	24.99	36.94	33.28	26.35	21.23	11.73	8.76	6.29
10% Pb exc	2.47	1.83	1.54	4.13	16.82	25.73	29.99	24.27	17.58	10.61	7.32	4.87
20% Pb exc	2.09	1.45	1.46	3.31	12.47	21.43	24.98	19.46	15.83	8.55	5.97	3.77
50% Pb exc	1.51	1.04	1.05	1.67	5.92	13.52	17.42	14.36	9.94	6.33	3.45	2.31
85% Pb exc	0.86	0.61	0.53	0.83	2.23	7.67	8.81	9.18	7.24	3.85	2.44	1.38
90% Pb exc	0.76	0.40	0.50	0.69	1.83	6.83	7.18	8.77	6.87	3.45	2.16	1.24
95% Pb exc	0.61	0.23	0.11	0.54	1.14	5.18	5.68	8.27	6.12	3.21	1.97	1.04

Tabla 3.7-18 Río Puyehue en Quitratúe



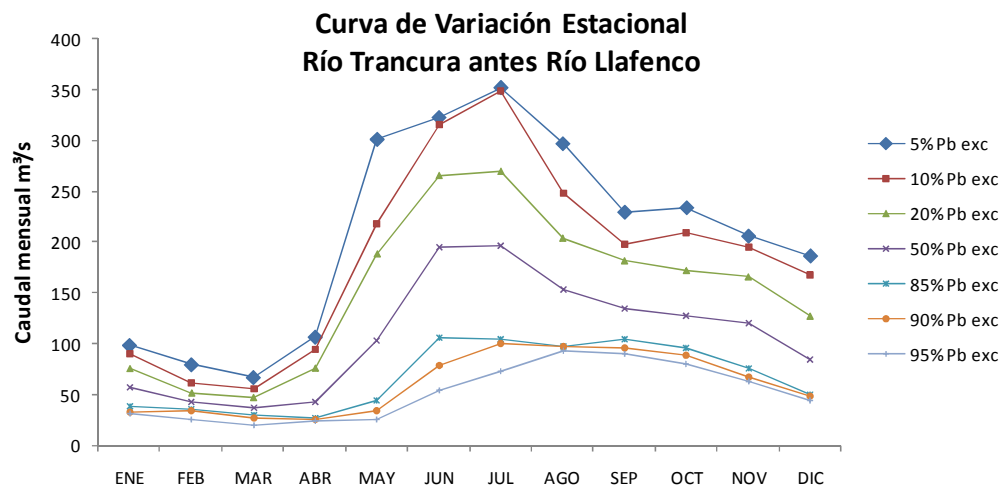
Pb exc	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5% Pb exc	12.32	9.76	11.37	13.24	64.79	78.17	100.21	69.59	55.56	33.27	20.57	15.57
10% Pb exc	9.32	8.57	9.34	11.95	50.18	74.95	82.58	60.84	48.69	28.39	18.78	13.22
20% Pb exc	8.07	7.52	8.49	9.58	27.62	66.25	66.62	51.92	35.90	23.75	13.47	10.88
50% Pb exc	5.16	5.49	6.17	7.21	11.81	39.82	46.54	33.72	22.25	13.25	9.05	7.47
85% Pb exc	3.96	3.68	3.95	4.31	5.44	22.93	25.66	25.04	15.45	8.99	6.19	4.81
90% Pb exc	3.81	3.47	3.73	4.03	5.20	16.32	21.71	22.12	14.78	8.34	5.15	4.19
95% Pb exc	3.26	2.90	3.39	3.72	4.48	11.43	17.85	21.39	13.12	7.53	4.30	3.04

Tabla 3.7-19 Río Quillén en Galvarino



Pb exc	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5% Pb exc	98.68	79.61	67.06	106.80	301.44	322.98	352.36	297.19	229.73	234.13	206.20	186.74
10% Pb exc	90.08	62.11	56.42	95.72	218.49	315.09	348.52	248.14	198.37	209.52	195.50	168.03
20% Pb exc	76.34	52.44	47.95	76.75	188.94	265.91	270.02	204.39	182.18	172.58	166.30	127.81
50% Pb exc	57.67	43.35	37.82	43.13	103.27	195.56	197.27	153.75	134.93	128.77	120.57	85.05
85% Pb exc	39.10	35.38	30.04	27.41	45.14	106.44	105.26	98.11	105.09	97.00	76.38	49.92
90% Pb exc	33.00	34.23	26.65	25.72	33.89	79.14	100.64	97.57	96.16	89.19	68.19	48.29
95% Pb exc	31.41	25.42	20.19	24.61	26.41	54.88	73.63	93.70	90.64	81.00	63.78	44.20

Tabla 3.7-20 Río Trancura antes Río Llafenco



- [1] Método para la Determinación de los Valores Iniciales de los Parámetros del Modelo SIMED, XVIII Congreso Chileno de Ingeniería Hidráulica.
- [2] Levantamiento de Parámetros para la Modelación de Cuencas Pluviales no Controladas en la VII y VIII Región, DGA SIT N°155, Noviembre 2008.
- [3] Levantamiento de Parámetros para la Modelación de Cuencas Pluviales no Controladas en la IX Región de La Araucanía, DGA SIT N°199, Diciembre 2009.