



GOBIERNO DE CHILE

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ACTUALIZACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO NACIONAL EN LAS CUENCAS DE LA MACROZONA SUR Y PARTE NORTE DE LA MACROZONA AUSTRAL

ANEXOS

REALIZADO POR:

UNIVERSIDAD DE CHILE

SANTIAGO, DICIEMBRE DE 2019

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas

Ingeniero Civil Industrial, Sr. Alfredo Moreno Charme

Director General de Aguas

Ingeniero Comercial, Sr. Óscar Cristi Marfil

Jefa (S) División Estudios y Planificación

Ingeniera Civil, M.Sc. Andrea Osses Vargas

Inspector Fiscal

Ingeniera Agrícola, M.Sc. Pamela García Serrano

Inspector Fiscal (s)

Cartógrafo, Sr. Guillermo Tapia Molina

UNIVERSIDAD DE CHILE

JEFA DE PROYECTO

Ingeniera Civil, Sra. Ximena Vargas Mesa

ESPECIALISTAS

Coordinador Técnico y especialista en Variabilidad Climática

Ingeniero Civil, M.Sc. Miguel Lagos Zúñiga

Especialista en Hidrología

Ingeniero Civil, Ph.D. Sr. Pablo Mendoza Zúñiga

Especialista en Meteorología

Ingeniero Civil Químico, Ph.D. Sr. Roberto Rondanelli Rojas

Especialista en Hidrogeología

Geóloga, Ph.D. Sra. Dolorinda Daniele

Especialista en SIG e Ingeniero de Proyecto

Ingeniero Civil, Sr. Tomás Gómez Zavala

UNIVERSIDAD DE CHILE

EQUIPO DE PROFESIONALES

Ingeniero Civil, M.Sc. Javier Cepeda Abad

Ingeniero Civil, M.Sc. Nicolás Vásquez Placencia

Geólogo, Sr. Cristóbal Méndez Morgado

Geógrafo, MSc. Alexis Caro Paredes

EQUIPO DE ASESORES

Asesor en Meteorología y Variabilidad Climática

Ph.D. en Ciencias Atmosféricas. Sr. Juan Pablo Boisier Echeñique

Asesora en Hidrología

Ingeniera Civil, Ph.D. Camila Álvarez Garretón

Agradecimientos

Powered@NLHPC: Esta investigación fue parcialmente apoyada por la infraestructura de supercómputo del NLHPC (ECM-02).

Para citar este estudio, se recomienda hacerlo de la siguiente manera:

DGA (2019). APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE ACTUALIZACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO NACIONAL EN LA MACROZONA SUR Y PARTE NORTE DE LA MACROZONA AUSTRAL, SIT N° 441. Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Santiago, Chile. Elaborado por: Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

Nota: Se presentan definiciones metodológicas finales y los resultados del balance hídrico a escala de cuencas hidrográficas DARH (Departamento de Administración de Recursos Hídricos) para el periodo 1985-2015.

Es importante considerar que pese a que se realizan comparaciones entre el Balance 1987 y el presente estudio, es necesario tomar en cuenta que existen elementos metodológicos en la obtención de valores medios anuales en cada una de las cuencas analizadas que cambian entre ambos estudios, lo que dificulta la interpretación de los resultados, pues la diferencia puede deberse tanto a modificaciones metodológicas tanto como a variaciones reales del balance.

CONTENIDO

A. Anexo A: Modelo VIC.....	1
A.1 Modelo Variable Infiltration Capacity (VIC)	1
A.1.1. Descripción Modelo VIC.....	1
A.1.2. Procesamiento de variables de entrada asociadas al tipo y uso de suelo	8
A.2. Generación de la información necesaria para la incorporación del riego en la modelación.....	12
A.3. Estimación del Aporte Glaciar	15
A.4. Criterios de Eficiencia utilizados en la Calibración	18
B. Anexo B: Detalles Recopilación de Antecedentes	20
B.1. Revisión de Antecedentes: Documentos DGA	20
B.1.1. Análisis y Modelación Hidrológica del río Palena	20
B.1.2. Levantamiento de parámetros para modelación hidrológica de cuencas pluviales no controladas en la VII y VIII región	21
B.1.3. Modelación Hidrogeológica Cuenca Itata Bajo.....	22
B.1.4. Dinámica de cobertura nival entre las cuencas de los ríos Copiapó y Petrohué utilizando imágenes satelitales	25
B.1.5. Modelación del Balance de Masa y descarga de agua en glaciares de Chile Central.....	26
B.1.6. Balance Glaciológico del Glaciar Nef, campo de Hielo Norte, y catastro de glaciares de algunas cuencas de la zona central y sur del país.....	28
B.1.7. Investigaciones y escorrentía de deshielo en la cuenca alta del río Aconcagua. Aplicación de modelos de simulación nival y de pronóstico de volúmenes de deshielo	29
B.1.8. Investigación de los aportes nivoglaciares en algunas cuencas de los ríos Aconcagua, Maipo y Rapel; y estimación de los efectos del cambio climático.	30
B.1.9. Variaciones recientes de glaciares en Chile, según principales zonas glaciológicas	32
B.1.10. Caracterización y monitoreo de glaciares rocosos en la cuenca del río Elqui y balance de masa del glaciar Tapado	34
B.1.11. Variaciones recientes de glaciares en respuesta al cambio climático características glaciológicas de los glaciares san Rafael, Nef y Colonia, campo de hielo norte	36
B.1.12. Modelación del Balance de Masa y descarga de agua en glaciares del Norte Chico Chile Central	38
B.1.13. Implementación Nivel 2 Estrategia Nacional de Glaciares: Mediciones Glaciológicas Terrestres en Chile Central, Zona Sur y Patagonia	40
B.1.14. Estudio Hidrogeológico, región de la Araucanía.....	41
B.1.15. Estimación Preliminar de las Recargas de aguas subterráneas y Determinación de los Sectores Hidrogeológicos de aprovechamiento común en las cuencas de las regiones del Maule, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos	44
B.1.16. Análisis y modelación hidrológica cuenca del Río Cisnes.	46
B.1.17. Levantamiento de parámetros para la modelación de cuencas pluviales no controladas en la IX región de la Araucanía.	47
B.1.18. Análisis efecto en el régimen hídrico por cambio en patrones meteorológicos.....	49

B.1.19. Redefinición de la clasificación red hidrogeográfica a nivel Nacional	52
B.1.20. Balance Hídrico Nacional. Regiones VIII, IX y X.....	53
B.2. Detalles revisión de artículos científicos recomendados.....	55
B.2.1. Orographic effects of the subtropical and extratropical Andes on upwind precipitating clouds	55
B.2.2. Temporal and spatial evaluation of satellite-based rainfall estimates across the complex topographical and climatic gradients of Chile	57
B.2.3. Balance hídrico mensual de una cuenca Patagónica de Chile: Aplicación de un modelo parsimonioso	59
B.2.4. Contribución al estudio del Balance Hídrico de una cuenca de uso múltiple en el centro-sur de Chile: La cuenca del río Laja.....	61
B.2.5. Physically Based Mountain Hydrological Modeling Using Reanalysis Data in Patagonia.....	62
B.2.6. The cold regions hydrological model (CRHM): a platform for basing process representation and model structure on physical evidence.....	63
B.2.7. Efectos Hidrológicos de los usos eléctricos y agrícola en la cuenca del río Laja	64
B.2.8. Seasonal hydrography and surface outflow in a fjord with a deep sill: The Reloncaví fjord, Chile	65
B.2.9. Streamflow variability in the Chilean Temperate-Mediterranean climate transition (35°S–42°S) during the last 400 years inferred from tree-ring records.	66
B.2.10. Análisis geo-estadístico para describir la distribución espacial de la precipitación de una cuenca patagónica.	67
C. Anexo C: Recarga	68
C.1. Río Sauces Antes Junta con Ñuble	68
C.2. Río Niblinto Antes Canal Alimentador Emb. Coihueco	72
C.3. Río Chillán en Esperanza	75
C.4. Río Quilmo en Camino a Yungay.....	77
C.5. Río Changaral Camino a Portezuelo.....	78
C.6. Río Itata en General Cruz	80
C.7. Río Itata en Balsa Nueva Aldea	84
C.8. Río Lonquén en Trehuaco	88
C.9. Río Andalién Camino a Penco	92
C.10. Río Bio-Bío En Llanquén.....	94
C.11. Río Lomín en Puente La Junta.....	98
C.12. Río Pangue en Captación	98
C.13. Río Huequecura Aguas Arriba de Embalse Angostura	101
C.14. Río Lirquén en Cerro El Padre	103
C.15. Río Duqueuco en Villucura.....	107
C.16. Estero Paillahue en Ex Longitudinal Sur.....	111
C.17. Río Mulchén en Mulchén.....	113
C.18. Río Bureo en Mulchén	117
C.19. Río Renaico en Longitudinal.....	120

C.20. Río Mininco en Longitudinal	123
C.21. Río Malleco en Collipulli.....	127
C.22. Río Rahue en Quebrada Culén	130
C.23. Río Nicodahue en Pichún	133
C.24. Estero Quilque en Los Ángeles.....	135
C.25. Río Claro en Camino Yumbel-Estación.....	137
C.26. Estero Hualqui en Desembocadura	141
C.27. Río Laraquete en El Cajón	144
C.28. Río Carampague en Carampague	146
C.29. Río Lebu en Las Corrientes (En Los Álamos)	146
C.30. Río Purén en Tranamán	148
C.31. Río Purén en Purén	151
C.32. Río Lumaco en Lumaco	153
C.33. Río Dumo en Santa Ana	156
C.34. Estero Chufquén en Chufquén.....	159
C.35. Río Cautín en Cajón.....	163
C.36. Río Quepe en Quepe.....	166
C.37. Río Allipén en Los Laureles	170
C.38. Río Liucura en Liucura	174
C.39. Río Donguil en Gorbea	178
C.40. Río Mahuidanche en Santa Ana.....	182
C.41. Río Liquiñe en Liquiñe	186
C.42. Río Cruces en Rucaco	189
C.43. Río Iñaque en Máfil.....	192
C.44. Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	195
C.45. Río Futa en Tres Chiflones	198
C.46. Río Caunahue Camino a Llifén	200
C.47. Río Llollelhue en La Unión.....	204
C.48. Río Golgol en Puente N°2.....	208
C.49. Río Chirre Antes Junta Río Pilmaiquén	210
C.50. Río Coihueco Antes Junta Río Rahue	214
C.51. Río Negro en Chahuilco.....	216
C.52. Río Tranallaguín en Carrico	220
C.53. Río Hueyusca en Ñapeco	223
C.54. Río Chico Antes Río Chamiza.....	223
C.55. Río Manso Antes Junta Río Puelo	225
C.56. Río Espolón en Desagüe Lago Espolón.....	229
C.57. Río Futaleufú en La Frontera	231
C.58. Río Tigre en La Frontera	235
C.59. Río Ventisquero en Carretera Austral.....	238
C.60. Río Cisnes Antes Junta Río Moro	240
C.61. Río Moro Antes Junta Río Cisnes	242

D. Anexo D: Resultados del proceso de Calibración	247
E. Anexo E: Estimación de los aportes glaciares.....	248
F. Anexo F: Resultados de regionalización.....	249
G. Anexo G: Cambio Climático.....	250

A. ANEXO A: MODELO VIC

A.1 MODELO VARIABLE INFILTRATION CAPACITY (VIC)

A.1.1. DESCRIPCIÓN MODELO VIC

El modelo “Variable Infiltration Capacity” (VIC) es semi-distribuido, de base física y está diseñado para grandes zonas representadas mediante píxeles de tamaño mucho mayor a un kilómetro. Como en zonas de gran heterogeneidad esto puede ser insuficiente, es posible incluir “ n ” tipos de vegetación (o usos de suelo) en cada píxel, además de crear bandas de elevación para incluir el efecto topográfico sobre las forzantes (precipitación y temperatura).

Cada tipo de uso de suelo, en cada pixel, es representado mediante su índice de área foliar (LAI, por sus siglas en inglés), por la resistencia del follaje y por el porcentaje de raíces que cada uso de suelo tiene en las distintas capas del mismo. A pesar de que existen muchos procesos representados en VIC, los principales corresponden a la evapotranspiración, acumulación y derretimiento de nieve, infiltración y generación de flujo base y escorrentía superficial. Adicionalmente, se estima un balance de energía donde la incógnita es la temperatura del suelo, y para cada paso de tiempo ésta se debe iterar para cerrar dicho balance.

En la Figura A.1 se muestran los procesos de evaporación desde suelo desnudo (E_1), evaporación de agua interceptada en el follaje (E_c), transpiración (E_t), precipitación (P), escorrentía producto de la precipitación en exceso (Q_d), flujo base (Q_b) y el traspaso de agua entre las distintas capas del suelo (Q_{12}). Además, se muestra la representación de los usos de suelo en cada pixel.

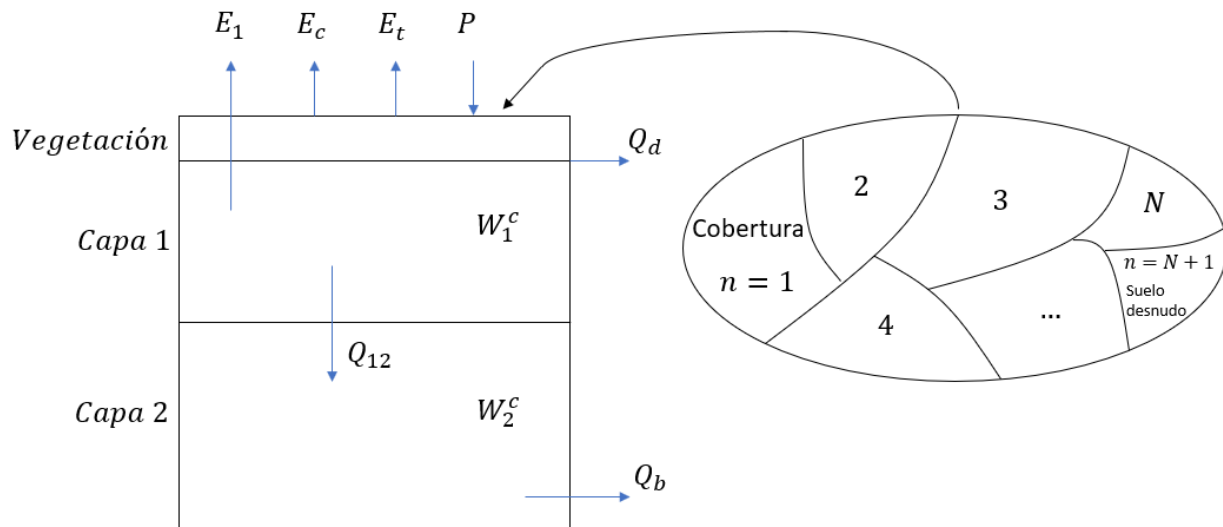


Figura A.1: Representación de los principales procesos físicos modelados por VIC. Modificado de Liang *et al.* (1994).

A.1.1.1. EVAPOTRANSPIRACIÓN

El modelo considera tres tipos de evaporación: (1) evaporación desde el follaje debido a la intercepción de precipitación, (2) la transpiración de la vegetación y (3) la evaporación desde el suelo desnudo. La evapotranspiración (ET) de cada pixel corresponde a la suma proporcional por área de E_c , E_t y E_1 .

La máxima evaporación de agua interceptada en el follaje está dada por la Ecuación A.1.

$$E_c^*[n] = \left(\frac{W_i[n]}{W_{im}[n]} \right)^{2/3} \cdot E_p[n] \cdot \frac{r_w[n]}{r_w[n] + r_0[n]} \quad \text{A.1}$$

Donde n hace referencia al índice de uso de suelo, $W_i[n]$ es el agua interceptada por el follaje y $W_{im}[n]$ es la máxima cantidad de agua que el follaje puede interceptar. $E_p[n]$ es la evaporación potencial según Penman-Monteith con una resistencia del follaje igual a cero. $r_0[n]$ es la resistencia debido a la variación del gradiente de humedad específica entre las hojas y el aire sobre el follaje. $r_w[n]$ es la resistencia aerodinámica producto de la transferencia de agua. La máxima cantidad de agua que puede ser interceptada por el follaje está dada por la Ecuación A.2.

$$W_{im}[n] = K_L \cdot LAI[n, m] \quad \text{A.2}$$

Donde $LAI[n, m]$ corresponde al índice de área foliar para el uso de suelo n y mes m y K_L es una constante igual a 0.2 [mm].

La resistencia aerodinámica de la transferencia de agua se calcula según la Ecuación A.3.

$$r_w[n] = \frac{1}{C_w[n]u_n(z_2)} \quad \text{A.3}$$

Con $u_n(z_2)$ el viento en el uso de suelo n a una altura z_2 y C_w el coeficiente de transferencia de agua que se estima considerando la estabilidad atmosférica según la Ecuación A.4.

$$C_w[n] = 1,351 \cdot a^2[n] \cdot F_w[n] \quad \text{A.4}$$

Donde

$$a^2[n] = \frac{K^2}{\left[\ln \left(\frac{z_2[n] - d_0[n]}{z_0[n]} \right) \right]^2} \quad \text{A.5}$$

Es el coeficiente de arrastre para el caso de una estabilidad semi-neutra, K es la constante de Von Karman (igual a 0,4), $d_0[n]$ es la altura de desplazamiento plano y z_0 es la rugosidad. $F_w[n]$ se define como

$$F_w[n] = 1 - \frac{9,4 Ri_B[n]}{1 + c \cdot |Ri_B[n]|^{\frac{1}{2}}} \quad Ri_B[n] < 0 \quad \text{A.6}$$

$$F_w[n] = \frac{9,4 Ri_B[n]}{(1 + 4,7 \cdot Ri_B[n])^2} \quad 0 \leq Ri_B[n] \leq 0,2 \quad \text{A.7}$$

Donde $Ri_B[n]$ es el número de Richardson y c se expresa como

$$c = 49,82 \cdot a^2[n] \cdot \left(\frac{z_2[n] - d_0[n]}{z_0[n]} \right)^{1/2} \quad \text{A.8}$$

Por otra parte, la transpiración se puede estimar según la Ecuación A.9

$$E_t[n] = \left[1 - \left(\frac{W_i[n]}{W_{im}[n]} \right)^2 \right] \cdot E_p \cdot \frac{r_w[n]}{r_w[n] + r_0[n] + r_c[n]} \quad \text{A.9}$$

Donde $r_c[n]$ es la resistencia del follaje dada por la Ecuación A.10

$$r_c[n] = \frac{r_{0c}[n] g_{sm}[n]}{LAI[n, m]} \quad \text{A.10}$$

En la Ecuación A.11 $r_{0c}[n]$ corresponde a la resistencia mínima del follaje, $g_{sm}[n]$ es un factor que integra el estrés debido a la humedad del suelo y que depende de la cantidad de agua disponible en la capa de raíces. Los valores que toman son

$$\begin{aligned} g_{sm}^{-1} &= 1 & W_j &\geq W_j^{cr} \\ g_{sm}^{-1} &= \frac{W_j[n] - W_j^*}{W_j^{cr} - W_j^*} & W_j^w &\leq W_j[n] \leq W_j^{cr} \\ g_{sm}^{-1} &= 0 & W_j[n] &< W_j^w \end{aligned} \quad \text{A.11}$$

Donde $W_j[n]$ es la humedad del suelo en la capa j , $j = 1, 2, \dots$ W_j^{cr} es la humedad crítica tal que si la humedad es mayor, E_t no se ve afectada por el estrés hídrico y W_j^w es la humedad del suelo equivalente a la capacidad de campo. El agua puede extraerse desde las capas del suelo según la proporción de raíces que cada capa tenga: $f_j[n]$.

Se considera que no existe estrés ($g_{sm}[n] = 1$) si (i) $W_2[n]$ es mayor o igual a W_2^{cr} y $f_2[n] > 0,5$ ó (ii) $W_1[n]$ es mayor o igual a W_1^{cr} y $f_1[n] > 0,5$. En caso de que ocurra (i), la transpiración es alimentada desde la segunda capa, es decir, $E_t[n] = E_2^t[n]$ (sin importar la cantidad de agua que tiene la capa 1). En caso que ocurra (ii), la transpiración toma agua desde la capa 1, es decir, $E_t[n] = E_1^t[n]$. En cualquier otro caso, la transpiración se estima según la Ecuación A.12

$$E_t[n] = f_1[n] \cdot E_1^t[n] + f_2[n] \cdot E_2^t[n] \quad \text{A.12}$$

Donde $E_1^t[n]$ y $E_2^t[n]$ son la transpiración desde las capas 1 y 2 respectivamente, que se calculan usando la Ecuación A.9.

En caso de que ocurra un evento de precipitación con una intensidad menor a la tasa de evaporación desde el follaje, ésta se debe considerar para alimentar la demanda en cada paso de tiempo. En este caso, la evaporación desde el follaje ($E_c[n]$) es

$$E_c[n] = f[n] \cdot E_c^*[n] \quad \text{A.13}$$

Donde $f[n]$ es la fracción de tiempo requerido para que la evaporación desde el follaje consuma toda el agua interceptada, y está dada por la Ecuación A.14

$$f[n] = \min\left(1, \frac{W_t[n] + P \cdot \Delta t}{E_c^*[n] \cdot \Delta t}\right) \quad \text{A.14}$$

Donde P es la tasa de precipitación y dt es el paso de tiempo. Luego, la transpiración durante el paso de tiempo se obtiene según la Ecuación A.15

$$E_t[n] = (1 - f[n]) \cdot E_p[n] \cdot \frac{r_w[n]}{r_w[n] + r_0[n] + r_c[n]} + f[n] \left[1 - \left(\frac{W_i[n]}{W_{im}[n]} \right)^{\frac{2}{3}} \right] E_p[n] \frac{r_w[n]}{r_w[n] + r_0[n] + r_c[n]} \quad \text{A.15}$$

La evaporación desde el suelo desnudo extrae agua solamente desde la primera capa de suelo. Cuando la primera capa está saturada, la evaporación es igual a la evaporación potencial $E_p[N + 1]$, donde $N + 1$ hace referencia al número que identifica el suelo desnudo. En consecuencia, se tiene $E_1 = E_p[N + 1]$. Cuando la primera capa no está saturada, la tasa de evaporación E_1 varía dentro del área desnuda debido a la heterogeneidad en infiltración, topografía y características del suelo. En este caso, E_1 se calcula considerando que la capacidad de infiltración varía dentro de un área según la Ecuación A.16

$$i = i_m [1 - (1 - A)^{1/b_i}] \quad \text{A.16}$$

Donde i e i_m corresponden a la capacidad de infiltración y la capacidad máxima de infiltración respectivamente, A es la fracción de área donde la infiltración es menor a la tasa i y b_i es un parámetro de forma. Si A_s es el área que se encuentra saturada e i_0 la tasa de infiltración de dicha área, entonces la tasa de infiltración E_1 se obtiene según la Ecuación A.17

$$E_1 = E_p[N + 1] \left[\int_0^{A_s} dA + \int_{A_s}^1 \frac{i_0}{i_m (1 - (1 - A))^{1/b_i}} dA \right] \quad \text{A.17}$$

La Ecuación A.16 se ve mejor representada en la Figura A.2.

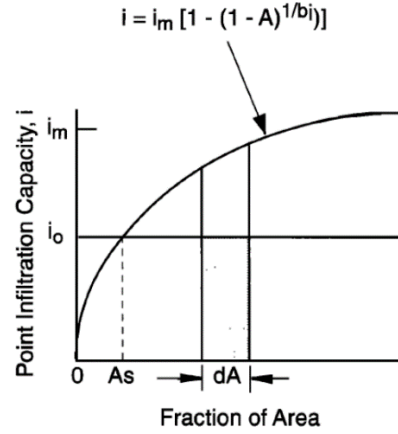


Figura A.2: Representación del cálculo de la evaporación desde suelos desnudos. Extraído de Liang *et al.* (1994).

Como no existe una expresión analítica para la segunda integral, ésta se debe estimar mediante una expansión de series, tal como se muestra en la Ecuación A.18

$$E_1 = E_p[N + 1] \left\{ A_s + \frac{i_0}{i_m} (1 - A_s) \left[1 + \frac{b_i}{1 + b_i} (1 - A_s)^{1/b_i} + \frac{b_i}{2 + b_i} (1 - A_s)^{2/b_i} + \frac{b_i}{3 + b_i} (1 - A_s)^{3/b_i} + \dots \right] \right\} \quad \text{A.18}$$

A.1.1.2. BALANCE EN EL FOLLAJE

El balance en la capa que intercepta agua se describe según la Ecuación A.19

$$\frac{dW_i[n]}{dt} = P - E_c[n] - P_t[n] \quad , \quad 0 \leq W_i[n] \leq W_{im}[n] \quad \text{A.19}$$

Donde $P_t[n]$ es la el agua que traspasa el follaje cuando $W_{im}[n]$ se excede.

A.1.1.3. ESCORRENTÍA SUPERFICIAL DESDE EL SUELO DESNUDO

La escorrentía se calcula usando la Ecuación A.16. La máxima capacidad de la primera capa del suelo, W_1^c , está relacionada con las variables i_m y b_i según la expresión $W_1^c = i_m / (1 + b_i)$. El modelo supone que la escorrentía es generada en aquellas zonas donde la precipitación, sumada al almacenamiento en el suelo en el paso de tiempo anterior, excede la capacidad del suelo. La escorrentía directa en estas áreas es $Q_d[N + 1]$, donde $N + 1$ indica el suelo desnudo. Luego, $Q_d[N + 1]$ se obtiene mediante la Ecuación A.20.

$$Q_d[N + 1] \cdot \Delta t = P \cdot \Delta t - W_1^c + W_1^-[N + 1] \quad , \quad i_0 + P \cdot \Delta t \geq i_m$$

A.20

$$Q_d[N + 1] \cdot \Delta t = P \cdot \Delta t - W_1^c + W_1^-[N + 1] + W_1^c \left[1 - \frac{i_0 + P \cdot \Delta t}{i_m} \right]^{1+b_1} \quad , \quad i_0 + P \cdot \Delta t \leq i_m$$

Donde $W_1^-[N + 1]$ es el contenido de agua en la capa 1 al inicio del paso de tiempo. Luego, el balance en la primera capa de suelo es

$$W_1^+[N + 1] = W_1^-[N + 1] + (P - Q_d[N + 1] - Q_{12}[N + 1] - E_1) \cdot \Delta t$$

A.21

Donde $W_1^+[N + 1]$ es el contenido de agua en la primera capa de suelo al final del paso de tiempo y $Q_{12}[N + 1]$ es el drenaje desde la primera a la segunda capa de suelo debido a la gravedad, la cual se estima según la Ecuación A.22

$$Q_{12}[N + 1] = K_s \left(\frac{W_1[N + 1] - \theta_r}{W_1^c - \theta_r} \right)^{\frac{2}{B_p} + 3}$$

A.22

Con K_s la conductividad hidráulica saturada, θ_r el contenido de humedad residual y B_p el índice de distribución de tamaño de poros.

D.1.1.4. ESCORRENTÍA SUBSUPERFICIAL DESDE EL SUELO DESNUDO

Estas ecuaciones aplican sólo a la capa más profunda del suelo, donde se produce el “flujo base”, el cual se obtiene mediante la Ecuación A.23

$$Q_b[N + 1] = \frac{D_s D_m}{W_s W_2^c} \cdot W_2^-[N + 1] \quad , \quad 0 \leq W_2^-[N + 1] \leq W_s W_2^c$$

$$Q_b[N + 1] = \frac{D_s D_m}{W_s W_2^c} \cdot W_2^-[N + 1] + \left(D_m - \frac{D_s D_m}{W_s} \right) \left(\frac{W_2^-[N + 1] - W_s W_2^c}{W_2^c - W_s W_2^c} \right)^2 \quad , \quad W_2^-[N + 1] \geq W_s W_2^c$$

A.23

Donde $Q_b[N + 1]$ es la escorrentía subsuperficial, D_m es el máximo flujo subsuperficial, D_s es una fracción de D_m , W_2^c es la máxima cantidad que puede almacenar el estrato 2 del suelo, W_s es una fracción de W_2^c , con $D_s \leq W_s$ y $W_2^-[N + 1]$ es el contenido de agua al inicio del paso temporal. La Ecuación A.23 propone una relación lineal bajo un valor crítico y una relación no lineal para valores mayores, tal como se muestra en la Figura A.3

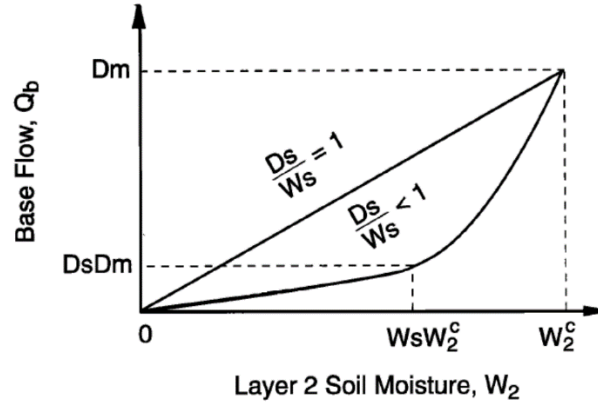


Figura A.3: Representación del flujo base no lineal. Extraído de Liang *et al.* (1994).

A.1.1.5. FLUJO SUPERFICIAL Y SUBSUPERFICIAL DESDE EL SUELO CON COBERTURA VEGETACIONAL

Las ecuaciones para el flujo superficial y subsuperficial en cada capa son las mismas, con la excepción que los valores de P , E_1 y E_2 cambian a $P_t[n]$, $E_1^t[n]$ y $E_2^t[n]$. La evapotranspiración total y la escorrentía se expresan según las ecuaciones A.24 y A.25

$$E = \sum_{n=1}^N C_v[n] \cdot (E_c[n] + E_t[n]) + C_v[N+1] \cdot E_1 \quad \text{A.24}$$

$$Q = \sum_{n=1}^{N+1} C_v[n] \cdot (Q_d[n] + Q_b[n]) \quad \text{A.25}$$

Donde $C_v[n]$ es la fracción de área cubierta por el tipo de vegetación n y $C_v[N+1]$ es la fracción de área para suelo desnudo. En consecuencia, se debe cumplir que $\sum_{n=1}^{N+1} C_v[n] = 1$.

A.1.2. PROCESAMIENTO DE VARIABLES DE ENTRADA ASOCIADAS AL TIPO Y USO DE SUELO

Para generar y utilizar las variables de fracción de vegetación y distribución espacial del espesor de las capas de suelo, se necesitan, en primer lugar, imágenes satelitales asociadas al índice de vegetación mejorado (EVI) y de índice de área foliar (LAI). Para ello, se descargaron imágenes de los productos MOD13A2 (Índices vegetacionales) y MOD15A2 (índice de área foliar y fracción de la radiación fotosintéticamente activa) para los nueve polígonos que abarcan el área de Chile continental en el periodo de tiempo 2000-2015 cada 8 días. El formato de descarga (hdf, archivos en formato jerárquicos por sus siglas en inglés) hace que para cada tesela en cada día descargado exista más de un archivo disponible (el requerido, y otro como por ejemplo ráster que contienen la calidad de cada uno de los píxeles), de modo que se debe seleccionar el deseado para después, por el día que corresponda, generar un mosaico entre cada una de las imágenes descargadas.

No obstante, la proyección espacial de los archivos es elipsoidal, y debe ser convertida a sinusoidal para ser utilizada como uno de los inputs requeridos por VIC. La conversión se hace pasando el mosaico de imágenes a proyección WGS84 en latitud/longitud.

El proceso se repite para cada uno de los periodos de tiempo requeridos. Finalmente se generan para cada variable 772 imágenes en formato tif que son utilizadas como base en el desarrollo de las variables asociadas a fracción de vegetación y espesor de capas de suelo.

Debido a las diferencias en las resoluciones espaciales de los productos satelitales utilizados y la resolución de la modelación (ver Tabla A.1), es necesario realizar un procesamiento (escalamiento) de la información.

Tabla A.1: Resoluciones espaciales de los distintos productos satelitales utilizados para construir el modelo VIC en las cuencas piloto Chilenas

Tipo	Resolución espacial
LAI	1000 m
EVI	1000 m
Uso de Suelo	30 m
Espesor Capa de Suelo	90 m
Modelo	0.05 °

Dicho proceso consiste en analizar qué píxeles (o fracción de ellos) de resolución menor a la del modelo están contenidos en las celdas del modelo, con el fin de agrupar la información. En la Figura A.4 se ilustra dicho procedimiento.



Figura A.4 Ilustración de la agrupación de información a partir de píxeles de menor resolución, a las celdas del modelo.

A continuación, se detallan los pasos realizados para la obtención de la información asociada al tipo y uso de suelo para cada pixel del modelo.

1. Fracción de vegetación: La vegetación total de una celda está compuesta por la fracción de los 12 tipos de cobertura vegetal (11 más el suelo desnudo). En cada celda se suma el área de los diferentes usos de suelo, asignando la fracción correspondiente.
2. Distribución espacial del espesor de las capas de suelo: Se obtiene la distribución espacial de las capas de suelo en base a información de un modelo de elevación digital (DEM, por sus siglas en inglés) de resolución espacial de 90x90 metros, obtenido del satélite Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), en base a la Ecuación B26.

$$h(i, j) = F \left[h_{\min} + (h_{\max} - h_{\min}) \left(\left(w_{\text{slope}} * \left(1 - \frac{\text{slope}(i, j)}{\text{max}_{\text{slope}}} \right)^{p_{\text{slo}}} \right) + \left(w_{\text{elev}} * \left(1 - \frac{\text{dem}(i, j)}{\text{max}_{\text{elev}}} \right)^{p_{\text{elev}}} \right) \right) \right] \quad \text{A.26}$$

Donde

$h_{\min}$ =Altura mínima del espesor de la capa de suelo. En este caso se consideró de 0.5 metros.

$h_{\max}$ = Altura máxima del espesor de la capa de suelo. En este caso se consideró de 4 metros.

w_{slope} =Factor entre 0 y 1 que representa el peso que tiene la pendiente en el cálculo del espesor del suelo. En este caso se consideró igual a 0,7.

w_{elev} = Factor entre 0 y 1 que representa el peso que tiene la elevación en el cálculo del espesor del suelo. La suma con w_{slope} debe ser 1, por lo que en este caso se consideró igual a 0,3.

max_{slope} = Representa el valor máximo de pendiente sobre el cual la pendiente no afecta a la profundidad del suelo. En este caso se considera 50°.

max_{elev} = Representa el valor máximo elevación sobre el cual elevación no afecta a la profundidad del suelo. En este caso se considera 4500 msnm.

p_{slo} =factor al cual se eleva la pendiente relativa. En este caso se consideró igual a 0,25.

p_{elev} =factor al cual se eleva la pendiente relativa. En este caso se consideró igual a 0,75.

$dem(i, j)$ = Elevación en metros. Si es mayor a max_{elev} , ésta adquiere dicho valor.

$slope(i, j)$ = Pendiente en grados [°] obtenida a partir de un dem. Si la pendiente es mayor a max_{slope} , ésta adquiere dicho valor.

Una vez obtenida la matriz de espesor de suelo con resolución 90x90 metros, se procede a promediar dicha información para llevarla al tamaño de la celda de modelación.

3. Bandas de Elevación: VIC permite trabajar en bandas de elevación, discretizando el área, elevación y precipitación asociada a cada píxel para representar la heterogeneidad de la celda, logrando caracterizar de mejor forma cada píxel. En este caso se consideran 10 bandas de elevación, las que presentan igual área y porcentaje de precipitación. Para analizar cuáles celdas se modelan con bandas de elevación, se utiliza la elevación media de cada píxel, en base a información histórica de la línea de nieves.
4. LAI: Se calcula el LAI asociado a cada tipo de vegetación para cada celda del modelo, en base a los archivos medios mensuales generados para Chile (Ver Capítulo 5). El primer paso consiste en obtener la fracción de vegetación para cada píxel del ráster con información del producto LAI. Posteriormente se analizan los píxeles LAI que poseen una fracción de vegetación dominante, considerando que ellos son representativos de ese tipo de vegetación. Finalmente el valor del LAI para cada tipo de vegetación en cada celda de modelación corresponde al valor promedio de los píxeles representativos del tipo de vegetación pertenecientes a la celda a modelar, y en caso de no existir, el valor promedio de los píxeles representativos del tipo de vegetación pertenecientes a toda la cuenca.
5. Fracción parcial de cobertura vegetal: Representa la fracción real de píxel cubierto por vegetación. Se obtiene en base a los archivos medios mensuales de EVI generados para Chile (Ver Capítulo 5), en base a la Ecuación A.27

$$F_{v_{i,j,k}} = \frac{(EVI_{max_{i,j}} - EVI_{i,j,k})}{(EVI_{max_{i,j}} - EVI_{min_{i,j}})}$$

Donde

$F_{v_{i,j,k}}$ = Fracción parcial de cobertura vegetal para el píxel i,j en el mes k.

$EVI_{i,j}$ = Valor promedio mensual de EVI para el píxel i,j en el mes k.

$EVI_{max_{i,j}}$ = Valor promedio mensual máximo de EVI para el píxel i,j.

$EVI_{min_{i,j}}$ = Valor promedio mensual mínimo de EVI para el píxel i,j.

A.2. GENERACIÓN DE LA INFORMACIÓN NECESARIA PARA LA INCORPORACIÓN DEL RIEGO EN LA MODELACIÓN

Para conocer los aspectos generales y las consideraciones que se tendrán en el modelo para la incorporación de la demanda por riego, por favor revisar la sección 5 del capítulo 5 del presente informe. Para revisar en detalle el algoritmo mediante el cual se asigna el agua necesaria para cumplir la demanda evapotranspirativa potencial de los cultivos en el modelo, por favor revisar el capítulo 7 del mismo.

Para la incorporación del riego en el balance hídrico, es necesaria una representación de la demanda de los cultivos en el modelo VIC. Dado que la asignación de agua por concepto de riego se hace de forma distribuida (por celda) y directamente a partir de los outputs calculados con el modelo, se necesita conocer la fracción de área que es ocupada por cada una de las clases de cultivo en cada celda. Para determinar esta información, se requiere conocer la distribución espacial de los cultivos en las cuencas en estudio a una resolución que permita asignar la fracción de cobertura de cultivos en ellas.

Para obtener esta información, se combinó la información de los siguientes productos:

- Ráster de 30 metros de resolución espacial que abarca todo Chile continental proporcionado por el Laboratorio de Geomática y Ecología del Paisaje (GEP) de la Universidad de Chile para uso público. El ráster posee 3 niveles, con 10 clases en el primer nivel, 30 clases en el segundo nivel y 35 clases en el tercer nivel. Las clases del primer nivel corresponden a: cultivos, bosques, pastizales, matorrales, humedales, cuerpos de agua, superficies impermeables, tierras desnudas, hielo y nieves y finalmente nubes.
- Mapoteca de Odepa. Esta es una serie de archivos .shp con los polígonos correspondientes a los distritos censales definidos para el Censo Agropecuario realizado el año 2007 para todo Chile. Existen 9 archivos .shp con información de cultivos. Particularmente, cada polígono posee como atributo el área, en m², de cultivo por cada distrito censal. Los tipos de cultivos considerados en el Censo Agropecuario fueron:
 1. Cultivos anuales - cereales
 2. Cultivos anuales - industriales
 3. Cultivos anuales - leguminosas y tubérculos
 4. Forrajes anuales
 5. Forrajes permanentes
 6. Hortalizas
 7. Plantaciones frutales mayores
 8. Plantaciones frutales menores
 9. Viñas y parronales

Estos 9 tipos de cultivos se sintetizaron en cuatro:

1. Cultivos anuales: a partir de los archivos 1, 2, 3, 4 y 5 de la lista anterior

2. Hortalizas: a partir del archivo 6 de la lista anterior
3. Frutales: a partir de los archivos 7 y 8 de la lista anterior
4. Viñas y parronales: a partir del archivo 9 de la lista anterior

De esta forma se obtuvo el área correspondiente a cada una de estas 4 de clases de cultivo para cada distrito censal.

Luego, mediante herramientas SIG, se “rasterizó” la información usando la siguiente metodología:

1. Usando algoritmos de pertenencia de la herramienta SIG se contabilizó el número de píxeles, asignados como cultivos, en el ráster del GEP dentro de cada polígono (distrito censal) del Censo Agropecuario.
2. Contabilizados la cantidad de píxeles por distrito censal, se conocía el área total correspondiente a cultivos en cada uno de estos, siendo ésta el área de cada pixel (900 m²) por el número de píxeles contabilizados.
3. Dado que no se conocía la distribución espacial, dentro de cada distrito censal, de cada una de las cuatro clases de cultivos, lo que se procedió a hacer fue distribuir el área total correspondiente a cada una de las cuatro clases dentro de cada distrito de manera uniforme en todos los píxeles definidos como cultivo en el ráster que estuvieran dentro de ese distrito.

De esta manera se generaron 4 archivos ráster, donde en cada uno de ellos, en cada píxel clasificado en el producto ráster del GEP como cultivo, existe un valor entero entre 0 y 900 correspondiente al área en m² del tipo de cultivo correspondiente al ráster en cuestión. Para aquellos píxeles donde el producto ráster del GEP especificaba una clase distinta a cultivo, los archivos ráster finales poseen un valor de píxel asignado como *NoData*.

Las especificaciones de los archivos generados se especifican en las Tablas A.2 y A.3.

Tabla A.2: Archivos ráster generados con la distribución de cultivos. Resolución: 30 metros

Clase de cultivo	Nombre archivo	Tamaño del archivo
Cultivos anuales	anuales_int.tif	177 Mb
Frutales	frutales_int.tif	176 Mb
Hortalizas	hortalizas_int.tif	178Mb
Viñas y parronales	vyp_int.tif	173 Mb

Tabla A.3: Propiedades de los archivos ráster generados con la información de cultivos

Parámetro	Valor
Sistema de referencia	WGS84 UTM 19s
Tamaño del pixel	30 m
Formato	GeoTIF comprimido con método LZW
Tipo de dato	Entero de 16 bits

A.3. ESTIMACIÓN DEL APORTE GLACIAR

El modelo hidrológico VIC contiene un módulo glaciar que se encuentra bajo desarrollo, por lo que la versión empleada en este balance hídrico, para efectos prácticos, no considera los cuerpos glaciares pues VIC considera solamente los balances de masa sin tomar en consideración el volumen de almacenamiento que representan los glaciares. Para estimar el aporte desde cuerpos de hielo, se recurre a la tesis de Castillo (2015)¹, quien realiza un balance de energía simplificado para estimar la altura de derretimiento disponible y un balance de masa para actualizar el volumen y área del glaciar a nivel anual.

El balance de energía considerado se muestra en la Ecuación A.28.

$$E_i = E_{ns} + E_{nl} + E_h + E_e + E_r + E_g - E_m \quad [W/m^2] \quad (A.28)$$

Donde E_i es la variación del flujo de energía interna del manto nival, E_{ns} la energía neta de onda corta, E_{nl} la energía neta de onda larga, E_h el intercambio de calor en la interfaz nieve-aire, E_e el flujo convectivo de calor latente, E_r el intercambio de calor por eventos de precipitación, E_g el intercambio de energía entre el suelo y el manto de nieve y E_m el calor disponible para el derretimiento. Cada uno de los términos de la ecuación requiere distinta información para ser estimados, por lo que ésta se puede simplificar según la Ecuación A.29 considerando que la variación de energía interna en el manto en cada paso de tiempo es cercana a cero ($E_i \sim 0$):

$$E_m = E_n + E_{other} = E_{ns} + E_{nl} - E_{other} \quad [W/m^2] \quad (A.29)$$

Donde E_n es la energía total neta de onda corta y larga y E_{other} las variaciones energéticas correspondientes al resto de los flujos. Para simplificar la ecuación, se considera que $E_{other} = R_f \cdot E_n$, por lo que la Ecuación A.29 queda:

$$E_m = (1 - R_f) \cdot (E_{ns} + E_{nl}) = R'_f \cdot (E_{ns} + E_{nl}) \quad [W/m^2] \quad (A.30)$$

Donde R_f es un parámetro entre 0 y 1, por lo que el factor R'_f también está entre 0 y 1. Luego, para calcular el derretimiento potencial se utiliza la Ecuación A.31.

$$M_{pot. \ snow} [m] = \begin{cases} \frac{E_m}{\rho_w \cdot L_f \cdot B} & si \ T \geq T_o \\ 0 & si \ T < T_o \end{cases} \quad (A.31)$$

¹ Castillo (2015). Caracterización de la hidrología glaciar de la cuenca del río Maipo mediante la implementación de un modelo glacio-hidrológico semi-distribuido físicamente basado. *Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Mención Recursos y Medio Ambiente Hídrico. Universidad de Chile.*

$$M_{ice} [m] = \begin{cases} S_{free} \cdot \frac{E_m}{\rho_w \cdot L_f \cdot B} \cdot F_{ice} & si \ T \geq T_o \\ 0 & si \ T < T_o \end{cases}$$

Donde ρ_w es la densidad del agua (1000 kg/m^3), L_f es el calor latente de fusión (334 kJ/kg), B es el coeficiente de calidad térmica del manto (varía entre 0,8 y 1,1), F_{ice} es la fracción del área superficial que tiene hielo (varía entre 0 y 1), S_{free} corresponde a la fracción del glaciar libre de nieve (varía entre 0 y 1), T es la temperatura y T_o es un factor que diferencia la precipitación que cae como lluvia o nieve, así como la temperatura sobre la cual se produce derretimiento.

La separación entre la precipitación líquida (P_{liq}) y sólida (P_{snow}) se obtiene según la ecuación A.32.

$$\begin{aligned} P_{liq} [mm] &= \begin{cases} P & si \ T \geq T_o \\ 0 & si \ T < T_o \end{cases} \\ P_{snow} [mm] &= \begin{cases} P & si \ T \geq T_o \\ 0 & si \ T < T_o \end{cases} \end{aligned} \quad (A.32)$$

Para estimar el derretimiento efectivo se recurre a la Ecuación A.33.

$$M_{snow} = \min (SWE, M_{pot.snow}) \quad (A.32)$$

Donde SWE es el equivalente en agua de nieve, el cual se actualiza en cada paso de tiempo t según la Ecuación A.33.

$$SWE(t) = SWE(t-1) + P_{snow}(t) - M_{snow}(t) \quad (A.33)$$

El valor de S_{free} se estima según la Ecuación A.34.

$$S_{free} = \begin{cases} 0 & P_{snow} > 0 \\ 1 - \frac{SWE - M_{snow}}{SWE} & 0 < 1 - \frac{SWE - M_{snow}}{SWE} < 1 \\ 1 & 1 - \frac{SWE - M_{snow}}{SWE} \geq 1 \text{ ó } SWE = 0 \end{cases} \quad (A.34)$$

Luego, el caudal de salida de origen glaciar (Q_{ice}) y nival (Q_{snow}) para cada paso de tiempo t se calcula según la Ecuación A.35.

$$Q_{snow}(t) = Q_{snow}(t-1) \cdot e^{-\frac{\Delta t}{k_{snow}}} + [P_{liq}(t) + M_{snow}(t)] \cdot \left(1 - e^{-\frac{\Delta t}{k_{snow}}}\right) \quad (A.35)$$

$$Q_{ice}(t) = Q_{ice}(t-1) \cdot e^{-\frac{\Delta t}{k_{ice}}} + [S_{free} \cdot P_{liq}(t) + M_{ice}(t)] \cdot \left(1 - e^{-\frac{\Delta t}{k_{ice}}}\right)$$

Donde k_{snow} es el retraso del caudal debido al ruteo a través del cuerpo de hielo y Δt el paso de tiempo considerado. Una vez transcurrido un año se realiza la actualización del área y el volumen considerando el derretimiento desde el glaciar, según la ecuación A.36, donde el tiempo t^* se escoge de tal manera que el glaciar se encuentre descubierto (fecha más probable). El balance de masa se hace sólo una vez al año:

$$\Delta V(t^*) = \sum_{i=1}^{364} M_{ice}(t^* - i) \cdot A(t^*) \quad (\text{A.36})$$

Luego, la actualización del volumen (V_g) y el área glaciar (A_g) se obtienen según la Ecuación A.37, donde se permite que la nieve remanente sobre el glaciar al final del año hidrológico se sume al volumen de hielo.

$$V_g(t^* + 1) = V_g(t^*) - \Delta V(t^*) + (1 - S_{free}) \cdot A(t) \cdot SWE(t)$$

$$A_g(t^* + 1) = \left(\frac{V(t^* + 1)}{c} \right)^{\frac{1}{b}} \quad (\text{A.37})$$

Donde b y c son los coeficientes que relacionan el área y el volumen según la expresión A.38.

$$V_g = c \cdot A_g^b \quad (\text{A.38})$$

El parámetro b se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$b = \begin{cases} 1,27 & \text{si } A_g < 30 \text{ km}^2 \\ 1,36 & \text{si } A_g > 30 \text{ km}^2 \end{cases} \quad (\text{A.39})$$

Para calibrar algunos parámetros se tiene información del área glaciar para cierto período de tiempo. En consecuencia, se busca calibrar los parámetros R'_f y el área inicial del glaciar de tal manera que la diferencia porcentual entre el área estimada y el área observada sea la menor posible.

A.4. CRITERIOS DE EFICIENCIA UTILIZADOS EN LA CALIBRACIÓN

El proceso de calibración se realiza modificando parámetros de suelo y nieve, mediante el algoritmo de calibración global SCE-UA, considerando como función objetivo el criterio de Kling-Gupta (KGE , ver Ecuación (A.39)) (Gupta *et al.*, 2009; Kling *et al.*, 2012), donde $KGE=1$ representa un ajuste perfecto. En este proceso se guardan las 10 mejores iteraciones en base a la función objetivo, pues a ellas se les calcula el criterio de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE , ver Ecuación (A.29)) (Nash y Sutcliffe, 1970) y diversos indicadores hidrológicos, lo que hace que el proceso de calibración sea lo más exhaustivo posible, ya que el set de parámetros seleccionados es el que maximiza de manera conjunta los distintos criterios de eficiencia considerados.

$$KGE = 1 - \sqrt{(r - 1)^2 + (\beta - 1)^2 + (\gamma - 1)^2} \quad (A.39)$$
$$\beta = \frac{\mu_s}{\mu_o} \quad \gamma = \frac{Cv_s}{Cv_o} = \frac{\sigma_s/\mu_s}{\sigma_o/\mu_o}$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_k [X_{s_k} - X_{o_k}]^2}{\sum_k [X_{o_k} - \bar{X}_o]^2} \quad (A.40)$$

Donde

- KGE = Criterio de eficiencia Kling-Gupta.
- r =Coeficiente de correlación entre la simulación y la observación.
- β = Bias, proporción entre promedios simulados y observados.
- γ =Proporción entre coeficientes de variación simulados y observados
- C_v = coeficiente de variación, razón entre la desviación estándar y el promedio
- μ =promedio. "S" significa simulación y "O" observación
- σ = desviación estándar. "S" significa simulación y "O" observación.
- NSE = Criterio de eficiencia Nash-Sutcliffe.

Con X_{s_k} la variable simulada para el día k, X_{o_k} la variable observada para el día k, y $\bar{X}_o$ el promedio de la variable observada.

Además de los índices KGE y NSE, se considera el uso de indicadores hidrológicos para obtener un mayor nivel de información acerca de los procesos modelados. De todos los indicadores hidrológicos, se consideran las siguientes (Yilmaz *et al.*, 2008):

- Coeficiente de escorrentia:

$$BiasRR = 100 \cdot \frac{\sum_{t=1}^N (QS_t - QO_t)}{\sum_{t=1}^N QO_t} \quad (A.41)$$

Donde QO corresponde al caudal observado y QS al simulado.

- Pendiente de la sección media de la curva de duración:

$$BiasFMS = 100 \cdot \frac{[\log(QS_{m1}) - \log(QS_{m2})] - [\log(QO_{m1}) - \log(QO_{m2})]}{[\log(QO_{m1}) - \log(QO_{m2})]} \quad (A.42)$$

Con $m1$ y $m2$ la parte más baja y alta de la curva de duración (0,2 y 0,7 respectivamente).

- Volumen para caudales altos:

$$BiasFHV = 100 \cdot \frac{\sum_{h=1}^H [QS_h - QO_h]}{\sum_{h=1}^H QO_h} \quad (A.43)$$

Con $h = 1, 2, 3, \dots, H$ corresponden a los índices inferiores a una probabilidad de excedencia igual a 0,02.

- Volumen para caudales bajos:

$$BiasFLV = -100 \cdot \frac{\sum_{l=1}^L [\log(QS_l) - \log(QS_L)] - [\log(QO_l) - \log(QO_L)]}{[\log(QO_l) - \log(QO_L)]} \quad (A.44)$$

Donde $l = 1, 2, 3, \dots, L$ son los índices entre las probabilidades 0,7 y 1,0, con L el índice del mínimo caudal ($p_{exc} = 1$).

- Diferencia en valores medios en escala logarítmica:

$$BiasFMM = \frac{\log(QS_{med}) - \log(QO_{med})}{\log(QO_{med})} \quad (A.45)$$

Donde med representa el valor medio, es decir, la mediana del registro.

B. ANEXO B: DETALLES RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES

B.1. REVISIÓN DE ANTECEDENTES: DOCUMENTOS DGA

Tipo de Información	Estudio DGA		
Título	B.1.1. ANÁLISIS Y MODELACIÓN HIDROLÓGICA DEL RÍO PALENA		
Año	2015	Código ID	DGA 1
Autores	MOP-DGA		
Elaborado por	GCF Ingeniería Ltda.		
Ámbito Geográfico	Región	Provincia(s)	Cuenca(s)
	Aysén	Aysén y Coyhaique	Palena
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros
			x
Puntos clave	Modelación hidrológica, caudales mensuales e instantáneos		
Objetivos(s) de la información			
Modelar caudales medios mensuales y caudales máximos instantáneos en la cuenca del río Palena y alguno de sus tributarios			
Temática y resultados de interés			
Este estudio busca modelar caudales medios mensuales y caudales máximos instantáneos en la cuenca del río Palena debido al interés en desarrollar proyectos hidráulicos dentro de la cuenca. Se analizaron cuatro ríos donde se realizaron, en cada uno, 5 aforos, por lo que se estimó curvas de descargas para suplir la falta de información fluviométrica. Además, se analizó el lago Risopatrón, encontrando curvas para el área superficial y el volumen según la cota de la superficie libre de agua. Adicionalmente, en el lago se instalaron sensores para medir el nivel del agua. Esta información cuenta, para el estudio, con alrededor de un año de observaciones. Las estimaciones de caudales medios mensuales se realizaron mediante relaciones lineales, donde se correlacionó el área de cada sub-cuenca, la precipitación media, la pendiente y la altitud media. Cada uno de estos atributos está asociado a un coeficiente, los que son calibrados para ajustar el modelo lineal con las mediciones fluviométricas. La eficiencia de los modelos (que se mide según el índice R²) es buena para dos de tres cuencas. Para el análisis de caudales máximos instantáneos, no queda claro como se hizo el análisis, pues se habla tanto de caudales máximos instantáneos y caudales medios diarios, confundiendo al lector. No obstante, los caudales máximos instantáneos (o medios diarios) se relacionan con la precipitación diaria, encontrando una correspondencia deficiente. Los resultados son insatisfactorios, pero destaca el sondeo al lago Risopatrón, así como la instalación de sensores de nivel de agua y estimación de curvas de descarga.			

Tipo de Información	Estudio DGA		
Título	B.1.2. LEVANTAMIENTO DE PARÁMETROS PARA MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE CUENCAS PLUVIALES NO CONTROLADAS EN LA VII Y VIII REGIÓN		
Año	2008	Código ID	DGA 2
Autores	MOP-DGA		
Elaborado por	Rodhos Asesorías y Proyectos Ltda.		
Ámbito Geográfico	Región	Provincia	Cuenca(s)
	Maule, Ñuble y Biobío	Todas las pertenecientes a las regiones	Mataquito, Maule, Ñuble, Biobío y Costeras
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros
			x
Puntos clave	Regionalización de parámetros		
Objetivos(s) de la información			
Obtener simulaciones de caudales medios diarios en cuencas pluviales sin control fluviométrico.			
Temática y resultados de interés			
La zona de estudio abarca las zonas sin precipitación nival en las actuales regiones de Maule, Ñuble y Biobío y pretende simular caudales en zonas cuencas pluviales sin control fluviométrico. Para ello se recurre a la modelación de caudales medios diarios mediante el modelo SIMED (simulación de escorrentía diaria) en cuencas con baja intervención o en régimen natural (18 en total). Un aspecto importante del modelo es que la generación de caudales depende de hidrogramas unitarios sintéticos y las forzantes se obtuvieron de estaciones meteorológicas y fueron distribuidas espacialmente usando el Balance Hídrico (DGA, 1987). Posteriormente, los parámetros calibrados son traspasados a zonas no calibradas para correr el modelo y estimar la escorrentía. El modelo considera ocho parámetros relacionados con (1) la distribución espacial de la precipitación y evaporación, (2) el traspaso de información diaria a sub-diaria de las forzantes y (3) propiedades del suelo. Respecto a la regionalización de parámetros, se intentaron diversos métodos: (1) similitud en uso de suelos (CIREN), (2) similitud en precipitaciones, (3) relación entre parámetros, y (4) relación entre parámetros y atributos físicos. De estos intentos, ninguno resulta satisfactorio, por lo que se traspasan los parámetros clasificando el suelo en textura gruesa, fina y cordillerana. Los autores concluyen que no fue posible regionalizar los parámetros satisfactoriamente principalmente por (1) la calibración de parámetros sin sentido físico y (2) porque son demasiado los parámetros calibrados, por lo que surge el problema de la “equifinalidad”.			

Tipo de Información	Estudio DGA		
Título	B.1.3. MODELACIÓN HIDROGEOLÓGICA CUENCA ITATA BAJO		
Año	2013	Código ID	DGA 3
Autores	MOP-DGA		
Elaborado por	Aqualogy Medioambiente Chile S.A.		
Ámbito Geográfico	Región	Provincia	Cuenca(s)
	Ñuble	Diguillín	Itata
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros
			x
Puntos clave	Modelación Hidrogeológica, acuífero.		
Objetivos(s) de la información			
Estimar el acuífero de la sección baja posterior a la confluencia de los ríos Ñuble e Itata.			
Temática y resultados de interés			
Este trabajo tiene como actividades principales definir la geometría del acuífero, la disponibilidad y los usos del agua, la calidad química y el funcionamiento hidrogeológico de los sistemas en su conjunto. Además, se elaboraron un modelo conceptual y un modelo numérico del acuífero en régimen estacionario. La zona de estudio abarca el acuífero que se origina posterior a la confluencia de los ríos Ñuble e Itata, en la actual región de Ñuble. Para modelar el acuífero se realiza un extenso reconocimiento del terreno donde se identifican pozos y se establece, mediante geólogos expertos, la sección transversal del acuífero, donde se estima que la profundidad desde la superficie hasta la roca madre puede alcanzar los 100 m. La modelación requiere de la precipitación y la infiltración cómo forzantes y entre los flujos considera la infiltración por precipitación directa, entradas laterales por escorrentía sub-superficial, flujos subterráneos en límites abiertos, bombeos, flujos de salida hacia el mar y la infiltración directa desde los cauces (Itata y Lonquén principalmente). Los resultados arrojan que las entradas al acuífero (tanto superficiales como laterales) ascienden aproximadamente a 2311 (l/s), de los cuales sólo 133 (l/s) llegan al mar de manera subterránea, lo que implica que prácticamente todo el flujo del acuífero aflora antes de la desembocadura. En la modelación se consideró una división a nivel detallado de cada uno de las sub-cuencas, por lo que se obtuvo valores de recarga en cada una de ellas (24 en total), las que varían en 0 y 65 (l/s), los que corresponden, en cada caso, a fracciones de la precipitación. Es necesario mencionar que los resultados deben considerarse sólo como referencia debido a que la modelación consideró un breve período de tiempo, entre agosto y septiembre del año 2013.			

El acuífero actualmente presenta una baja explotación, debiendo ser igualmente controlado en caso de un aumento de la demanda. En invierno el sistema presenta entradas de 2.311 l/s, siendo la recarga lateral el componente principal. Casi todo este caudal de entrada vuelve al sistema superficial, y solo 133 l/s saldrían hacia el mar de forma subterránea.

El acuífero está formado por los depósitos cuaternarios no consolidados que se encuentran sobre el Basamento, que tiene un origen principalmente detrítico fluvial, así como también de terrazas marinas en la costa. Estos presentan una alta permeabilidad, a diferencia del Basamento formado por el Basamento Intrusivo y el Basamento Metamórfico, ambos con una muy baja permeabilidad, determinado mediante la información geológica existente, las observaciones de terreno y los perfiles geofísicos. El acuífero entonces se encuentra en los valles de los ríos principales de la cuenca, rodeados por el Basamento, sin formar un límite completamente cerrado ya que recibe agua de este último de manera subsuperficial. La confluencia con el río Ñuble y el río Lonquén son los límites del acuífero que se encuentran abiertos, y donde se presenta conectividad hidráulica por los rellenos aluviales. Además, se encuentra abierto en la desembocadura del río Itata.

En terreno se realizó un catastro de 200 puntos de aguas subterráneas, donde se midieron niveles estáticos y/o dinámicos, además de los caudales de bombeo. En general son pozos de baja profundidad y bajo caudal de explotación. De estos 200 pozos, los usos principales son el abastecimiento de agua potable (107), riego (66), uso industrial (9), ganadería (1) y el resto no se pudo clasificar (17). La campaña de calidad de agua consistió en la medición de parámetros fisicoquímicos en los puntos catastrados, además de la toma de 5 muestras de agua superficial y 5 de agua subterránea para el análisis de las concentraciones de elementos mayores en laboratorio. Las aguas son poco mineralizadas, siendo la máxima conductividad eléctrica registrada de 732 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y la media de 233 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El análisis químico muestra que las aguas tanto superficiales como subterráneas quedan dentro del rango de Bicarbonatadas Cálcicas y/o Magnésicas. Además, el estudio comprendió la medición de aforo en 20 puntos de los ríos Itata (13) y Lonquén (7), de lo que se obtuvieron las zonas en que estos ríos se comportan como ríos perdedores (ceden agua al acuífero) y como ríos ganadores (actúan como dren del acuífero). Mediante esta información se confeccionaron mapas de isopiezas y del flujo de las aguas subterráneas, y se confeccionó el modelo numérico del acuífero. El modelo considera un acuífero de una capa, formando por el volumen entre el basamento y la superficie topográfica, siendo isótropo horizontalmente y anisótropo verticalmente. El mallado se ha realizado considerando 450 columnas y 365 filas, con tamaño de celdas de 100x100 metros y orientación norte sur. El motor de cálculo empleado ha sido MODFLOW 2005 y WHS como "solver".

Finalmente se trabajaron 6 escenarios con el modelo ya calibrado:

- Situación actual (Al momento del estudio)
- Régimen natural (Sin la acción antrópica)
- Escenario crítico
- Afección al sistema superficial
- Afección a más del 5% de la demanda
- Afección a más del 5% de las captaciones en el acuífero

Y las principales conclusiones obtenidas a partir de esto fueron:

- Afección al sistema superficial: En este caso los derechos constituidos, así como los derechos en trámite no ponen en riesgo una afección al sistema superficial.
- Afección a más del 5% de la demanda: teniendo en cuenta la disposición y caudales de derechos constituidos, el coeficiente de explotación de captaciones con derechos constituidos que se podría dar como máximo sería del 18%, lo que supone una demanda global (acuífero y

cuencas) de unos 284 l/s. No obstante, se podría dar una explotación mucho mayor redistribuyendo las captaciones por otras zonas del acuífero o separando una de otras.

- Afección a más del 5% de las captaciones: al igual que para la afección del 5% de la demanda, atendiendo a la distribución y caudales de derechos otorgados, la explotación máxima que se podría dar para no afectar a más del 5% de las captaciones sería del 15% respecto al caudal de derechos otorgados.

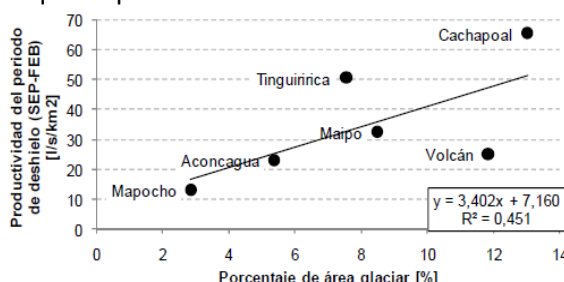
Tipo de Información	Estudio DGA		
Título	B.1.4. DINÁMICA DE COBERTURA NIVAL ENTRE LAS CUENCAS DE LOS RÍOS COPIAPÓ Y PETROHUÉ UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES		
Año	2008	Código ID	DGA 4
Autores	DGA-MOP		
Elaborado por	Pontificia Universidad Católica de Chile		
Ámbito Geográfico	Región	Provincia	Cuenca(s)
	Atacama a Los Lagos	-	Copiapó a Petrohué
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros
			x
Puntos clave	Cobertura nival, MODIS.		
Objetivos(s) de la información			
Obtención de la dinámica nival entre las cuencas de los ríos Copiapó y Petrohué.			
Temática y resultados de interés			
La obtención de la cobertural nival se obtiene entre las cuencas de los ríos Copiapó (región de Atacama) y el río Petrohué (región de Los Lagos). La cobertura temporal abarca desde abril del año 2000 hasta el 31 de marzo de 2007 (siete años hidrológicos). La cobertura se obtiene a partir del cálculo del índice NDSI (Normalized Difference Snow Index) que permite identificar rápidamente cobertura nival. Se considera que un pixel está cubierto por nieve si el valor del índice NDSI es mayor a 0,4. Para obtener relaciones con la topografía, se descargan modelos de elevación digital (DEM, por sus siglas en inglés) con una resolución espacial de 90 m las que, después de su procesamiento, permite cuantificar la nieve por rangos de altitud y exposición. Los resultados muestran la estimación de cobertura para las zonas norte, centro y sur considerando un año normal. Los patrones de cobertura según orientación y altura resultan poco significativos. Además, se establece que la (1) disponibilidad de imágenes disminuye drásticamente al sur de la región del Biobío y (2) las imágenes en general tienen muchos vacíos, por lo que no se pudo construir una base de datos robusta de cobertura nival.			

Tipo de Información	Estudio DGA		
Título	B.1.5. MODELACIÓN DEL BALANCE DE MASA Y DESCARGA DE AGUA EN GLACIARES DE CHILE CENTRAL		
Año	2012	Código ID	DGA 5
Autores	Departamento de Hidrología, Estudios Hidrológicos. DGA.		
Elaborado por	Universidad de Chile, Departamento Ingeniería Civil, División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente		
Ámbito Geográfico	Región	Provincia	Cuenca(s)
	Metropolitana	San José de Maipo	San Francisco Pirámide
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros
			X
Puntos clave	Glaciar, Balance de masa, Aporte glaciar		
Objetivos(s) de la información			
Instalación y diseño de estaciones de medición, monitoreo glaciar y modelamiento del balance de masa glaciar para estimar su aporte a la escorrentía en cuencas de Chile central.			
Temática y resultados de interés			
Se modelan los glaciares San Francisco y Pirámide, siendo el primero descubierto y el segundo cubierto, ambos ubicados en la cuenca del río Maipo. Se proponen los criterios y tipo de estaciones meteorológicas que se requieren para suplir las brechas de información existentes en alta montaña, separando estas en fijas y equipos de medición portátil y temporal. En el marco del estudio, se instalaron 3 estaciones meteorológicas, se realizó mantención a dos estaciones y se implementaron dos secciones de aforo en las cuencas asociadas a los glaciares mencionados. Se realizan mediciones de nieve sobre los glaciares mediante calicatas y balizas para el año 2012. En cuanto a la metodología para la modelación del balance de masa en glaciares se utilizan los métodos grado-día y grado-día mejorado, los que se calibran en base a la información de balizas. La estimación del equivalente en agua de nieve máximo se realizó mediante una reconstrucción retrospectiva calculada en base al balance de energía y el fsca de MODIS. El modelo de balance de masa y escorrentía utilizado es TOPKAPI, el que se basa en el enfoque de onda cinemática para simular el flujo superficial y subsuperficial. En el caso del glaciar San Francisco, se realizó una simulación inicial para obtener el estado inicial del sistema hidrológico a escala diaria, para posteriormente correr a escala horaria el período de interés (año 2012). Adicionalmente, los parámetros físicos y atmosféricos utilizados corresponden al trabajo realizado por Ragettli y Pellicciotti (2012) en la cuenca del río Juncal en Juncal. Como resultado de la calibración del método grado día, para el glaciar San Francisco se obtiene un coeficiente de 12 mm/°C-d, que corresponde a aproximadamente el doble que lo estimado por Pellicciotti et al. (2008), mientras que para el glaciar Pirámide el valor promedio es de 1,34 mm/°C-d. Esto implica que no es directa la transferibilidad de los parámetros del modelo. Al realizar la modelación con TOPKAPI (considerando los parámetros transferidos de la cuenca del río Juncal) en la cuenca del glaciar San Francisco se observa una subestimación de la acumulación de nieve, mientras que en cuanto al caudal se subestiman las magnitudes, pero se logra representar de forma correcta el ciclo diario y variaciones semanales durante el período de estudio.			

La acumulación en el glaciar Pirámide hasta el 1/11/2012 se estimó en $20,8 \text{ Mm}^3$, mientras que el caudal en el período 1/11-10/12/2012 fue de 3 Mm^3 , teniendo una acumulación neta de $17,85 \text{ Mm}^3$. Realizando un análisis similar, en el glaciar San Francisco se tiene un balance neto de 3 Mm^3 .

Tipo de Información	Estudio DGA		
Título	B.1.6. BALANCE GLACIOLÓGICO DEL GLACIAR NEF, CAMPO DE HIELO NORTE, Y CATASTRO DE GLACIARES DE ALGUNAS CUENCAS DE LA ZONA CENTRAL Y SUR DEL PAÍS		
Año	2008	Código ID	DGA 6
Autores	Departamento de Hidrología, Unidad de Glaciología y Nieves. DGA.		
Elaborado por	Centro de Estudios Científicos, CECs		
Ámbito Geográfico	Región	Provincia	Cuenca(s)
	Aysén	General Carrera	Glaciar Nef
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros
			X
Puntos clave	Glaciar, Balance de Masa, Campo de hielo norte		
Objetivos(s) de la información			
Estimar la variación de masa del glaciar Nef, perteneciente a los Campos de Hielo Norte (CHN) y su relación con la disponibilidad del recurso hídrico.			
Temática y resultados de interés			
El estudio y la modelación hidro-climática de la zona austral de Chile están fuertemente limitados por la escasa disponibilidad de datos. Por este motivo, se realizaron mediciones laser para estimar elevaciones los días 27 de mayo y 13 de octubre del 2008, y así poder determinar la variación en la altura de nieve en dicho período. Adicionalmente, se realizaron instalaciones de 5 balizas en la zona de ablación y 4 mediciones de densidad de nieve mediante monte rosa en la parte alta del glaciar, para validar los valores obtenidos a partir del balance de masa geodésico utilizado. En base a toda la información recopilada, se obtuvo que en la zona baja del glaciar (entre el frente y los 960 m) hubo un engrosamiento promedio de +3,4 m, equivalente a 3,11 m.e.a, mientras que en la zona sobre los 960m se obtuvo un engrosamiento promedio de 3,2m, equivalente a 1,6 m.e.a, considerando densidades de 900 y 507 kg/m³ respectivamente (valores provenientes de la información de monte rosa). De esta forma, el promedio de todo el glaciar (considerando un total de 165.678 puntos entre el frente y los 1712 m.s.n.m) el balance de masa es de 2,4 m.e.a. El estudio hidrológico consideró la estimación del caudal del río Nef en una estación fluviométrica ubicada 12 km aguas abajo del frente del glaciar, la cual fue visitada el día 5 de noviembre del 2008, donde se observó que se robaron el panel solar, la batería y los sensores de humedad relativa y temperatura, no pudiendo obtener los registros desde enero del 2008. Para obtener el balance hídrico del área glaciar, se separa el caudal originado en el área glaciar y en el área no glaciar, donde éste último se obtiene de la multiplicación de la precipitación, la superficie y un coeficiente de escurrimiento. Dados los problemas con las estaciones planteados anteriormente, se utiliza un caudal reconstruido en base a información de estaciones fluviométricas del río Baker en Desagüe Lago Bertrand y río Baker en Angostura Chacabuco, e información de precipitación de la estación el Balseo y temperatura proveniente del reanálisis NCEP/NCAR. La modelación se realiza mediante HYDRA de manera mensual y escala espacial de 0.5°.			

Tipo de Información	Estudio DGA		
Título	B.1.7. INVESTIGACIONES Y ESCORRENTÍA DE DESHIELO EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO ACONCAGUA. APLICACIÓN DE MODELOS DE SIMULACIÓN NIVAL Y DE PRONÓSTICO DE VOLÚMENES DE DESHIELO		
Año	2008	Código ID	DGA 7
Autores	Departamento de Hidrología, Estudios Hidrológicos. DGA.		
Elaborado por	Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil, División de Recursos hídricos y Medio Ambiente		
Ámbito Geográfico	Región	Provincia	Cuenca(s)
	Valparaíso	Los Andes	Aconcagua
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros
			X
Puntos clave	Nieve, deshielo, Pronostico, Modelación hidrológica		
Objetivos(s) de la información			
Evaluar la disponibilidad de recurso en la zona alta de la cuenca del río Aconcagua mediante tres modelos de pronóstico.			
Temática y resultados de interés			
Se utilizan los modelos de pronóstico FTXZ, basado en funciones de transferencia, SNOW-17, basado en índice de Temperatura y MSND, Modelo de Simulación Nival Distribuido y basado en el balance de energía, para entender la evolución del manto nival en la cuenca del río Aconcagua en Chacabuquito y la escorrentía asociada a su derretimiento. Se realizan 3 campañas de terreno para visitar y caracterizar las estaciones meteorológicas, fluviométricas y rutas de nieve existentes en la zona y medir la profundidad y características del manto nival para así tener una noción de las diferencias espaciales de la variable y como esto puede afectar el tipo de modelación realizada (concentrada o distribuida). Para estimar la temperatura a distintas elevaciones se utilizaron gradientes altitudinales, separando en días con y sin precipitación, tomando valores de -0,5 y -0,65°C/100m respectivamente. En el caso de la precipitación, también se utilizó un gradiente altitudinal, el cual viene de una distribución normal con comportamiento aleatorio con un valor promedio de 0,04 y una desviación estándar de 0,02 mm/m.s.n.m. Para estimar la precipitación media de la cuenca se utilizan polígonos de Thiessen basados en las estaciones Jahuel, Riecillos, Vilcuya y Aconcagua en Chacabuquito. Para el registro horario de variables meteorológicas se utiliza el modelo MM5/DGF que posee una resolución de 15 km. En cuanto a la información remota, esta se utilizó para construir y evaluar la evolución de la cobertura nival. El modelo de función de transferencia, FTXZ, permitió encontrar relaciones simples entre variables que alteran el manto de nieve, sin embargo, su capacidad de pronóstico se ve limitada por la incertidumbre asociada a la información inmediatamente anterior. Además, un modelo de función de transferencia solo permite entender la dinámica de la variable modelada. Por otro lado, en base a la modelación física realizada muestra la aplicabilidad de ellos en la zona de estudio, pudiendo conocer la evolución de la nieve y la escorrentía producto del deshielo de manera simultánea.			

Tipo de Información	Estudio DGA																							
Título	B.1.8. INVESTIGACIÓN DE LOS APORTES NIVOGLACIARES EN ALGUNAS CUENCAS DE LOS RÍOS ACONCAGUA, MAIPO Y RAPEL; Y ESTIMACIÓN DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO.																							
Año	2011	Código ID	DGA 8																					
Autores	Departamento de Hidrología, Estudios Hidrológicos. DGA.																							
Elaborado por	Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil, División de Recursos hídricos y Medio Ambiente																							
Ámbito Geográfico	Región	Provincia	Cuenca(s)																					
	Valparaíso, Metropolitana y O'Higgins		Aconcagua, Maipo y Rapel																					
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros																					
	X		X																					
Puntos clave	Pronóstico, nieve, modelación hidrológica, cambio climático																							
Objetivos(s) de la información																								
Entender las componentes relevantes del balance hídrico en cuencas de alta montaña en la zona central del país mediante una modelación hidrológica.																								
Temática y resultados de interés																								
En el presente estudio se analiza la red de monitoreo de variables hidro-meteorológicas de montaña, para establecer las zonas con un monitoreo deficiente. Se desprende que, en general, existe un buen monitoreo en las zonas bajas de las cuencas o cercanas a poblados, sin embargo, al subir en cota, la cantidad de estaciones se vuelve más escasa y con mayor cantidad de vacíos de información. Se plantean zonas en las que se deben ubicar futuras estaciones, así como las variables que se deben medir. Posteriormente se realiza una modelación hidrológica a escala mensual mediante WEAP para realizar el pronóstico de caudales de deshielo y, mediante 12 modelos de circulación general, estimar los efectos del cambio climático sobre el manto nival y la escorrentía. Dentro de las cuencas modeladas, existe presencia glaciaria importante, por lo cual se estimó una productividad (cociente entre el caudal y el área contribuyente) en el período de deshielo como función del área glaciaria, la que se presenta a continuación																								
<table><caption>Datos estimados del gráfico</caption><thead><tr><th>Cuenca</th><th>Porcentaje de área glaciaria [%]</th><th>Productividad del período de deshielo [l/s/km²]</th></tr></thead><tbody><tr><td>Mapocho</td><td>~3.5</td><td>~15</td></tr><tr><td>Aconcagua</td><td>~5.5</td><td>~25</td></tr><tr><td>Maipo</td><td>~8.5</td><td>~35</td></tr><tr><td>Tinguirica</td><td>~7.5</td><td>~50</td></tr><tr><td>Volcán</td><td>~11.5</td><td>~25</td></tr><tr><td>Cachapoal</td><td>~13.5</td><td>~65</td></tr></tbody></table>				Cuenca	Porcentaje de área glaciaria [%]	Productividad del período de deshielo [l/s/km²]	Mapocho	~3.5	~15	Aconcagua	~5.5	~25	Maipo	~8.5	~35	Tinguirica	~7.5	~50	Volcán	~11.5	~25	Cachapoal	~13.5	~65
Cuenca	Porcentaje de área glaciaria [%]	Productividad del período de deshielo [l/s/km²]																						
Mapocho	~3.5	~15																						
Aconcagua	~5.5	~25																						
Maipo	~8.5	~35																						
Tinguirica	~7.5	~50																						
Volcán	~11.5	~25																						
Cachapoal	~13.5	~65																						
Para estimar la precipitación en el espacio, se utilizan gradientes lineales altitudinales a nivel anual en la zona baja (con estaciones) y en la zona alta (sin estaciones), buscando al menos satisfacer el balance hídrico, teniendo como evapotranspiración la estimada mediante la fórmula de Turc. El valor de los gradientes obtenido fluctúa entre 0 y 3 mm/m. Para el caso de la temperatura, se utilizan gradientes mensuales a partir de la información meteorológica de cada cuenca, sin separar en zona alta y baja. Adicionalmente se realizó una calibración de modelo de																								

función de transferencias, FTXZ, en base a señales previas de caudal, temperatura y precipitación.

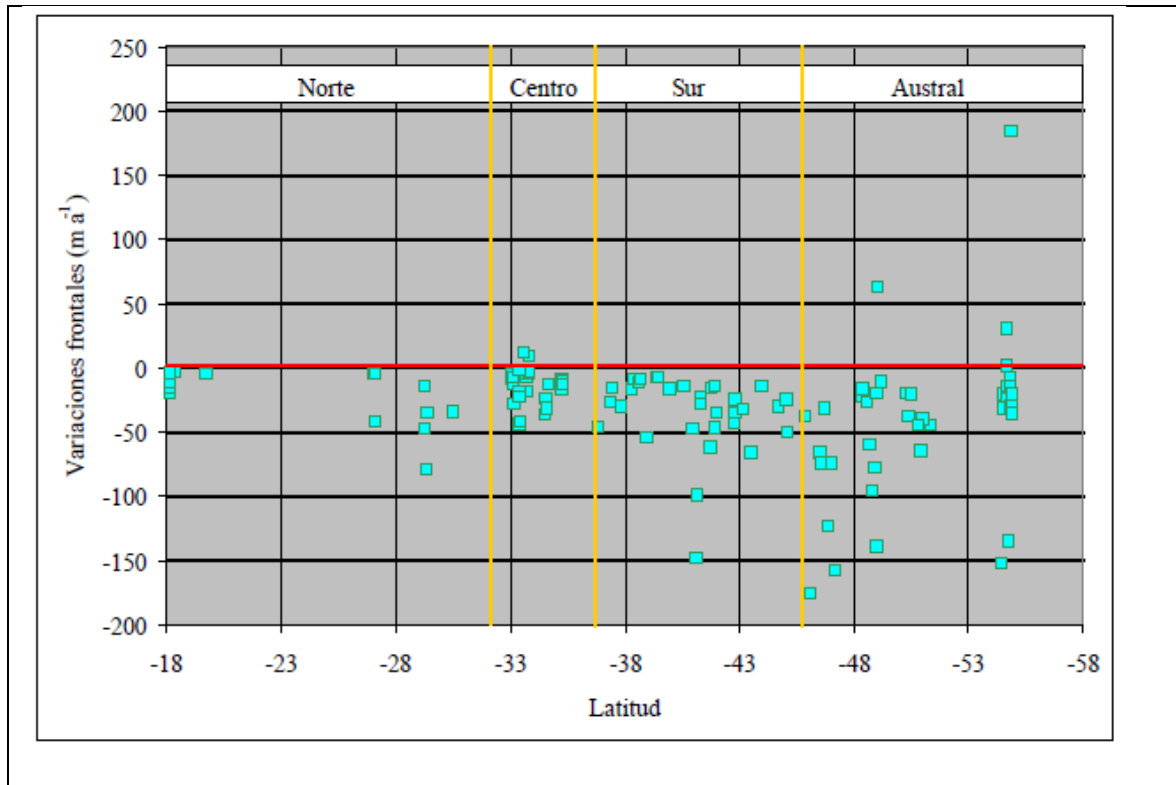
El pronóstico de deshielo mediante el modelo WEAP se realiza mediante la calibración de una relación estadística multi-variable entre los gradientes de precipitación superiores y la información hidrometeorológica registrada en las estaciones durante el período de acumulación nival, la que se va actualizando a medida que se va agregando información de los meses venideros, corriendo un total de 100 iteraciones para cada cuenca. Para el pronóstico mediante FTXZ se consideró precipitación promedio o nula para el período estival en cada una de las estaciones utilizadas, y para cada una de ellas tres escenarios de temperatura, obteniendo seis pronósticos de deshielo.

Para aplicar el cambio climático, se realiza un escalamiento estadístico mensual entre el valor del GCM y las estaciones meteorológicas utilizadas, que sirven como entrada a los modelos hidrológicos calibrados. Después del escalamiento, se obtiene que las precipitaciones presentaran una disminución, mientras que las temperaturas un aumento, lo que conlleva a variaciones significativas del caudal, como se presenta en la siguiente tabla

Periodo	Estaciones											
	Aconcagua en Chacabucuito		Mapocho en Los Almendros		Maipo en El Manzano		Volcán en Queltehués		Cachapoal 5km bajo Cortaderal		Tinguiririca en bajo Los Briones	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
OBS LB [m ³ /s]	32,8		6,0		121,3		8,6		50,6		60,2	
I (2011-2040) [%]	-13,2	14,5	-12,1	12,4	-8,0	7,2	-12,9	11,2	-4,3	2,8	-8,7	5,8
II (2041-2070) [%]	-23,3	39,7	-21,1	29,0	-18,5	16,8	-22,7	28,1	-7,7	6,0	-15,6	15,7
III (2070-2099) [%]	-34,8	49,8	-33,3	38,5	-22,1	20,7	-34,8	34,3	-13,0	7,7	-25,5	20,4

Finalmente se estimaron las variables topográficas relevantes en la distribución espacial de la nieve o equivalente de agua (EA), información obtenida en base a campañas de terreno realizadas en tres cuencas experimentales, además del uso de un Modelo de Elevación digital que entrega la elevación, pendiente, orientación y la pendiente máxima de viento de los píxeles. En base a los resultados se concluye que en la acumulación el gradiente altitudinal de precipitación y el viento son las variables más importantes, mientras que el gradiente altitudinal de temperatura y la radiación de onda corta son las variables más importantes en el período de derretimiento.

Tipo de Información	Estudio DGA		
Título	B.1.9. VARIACIONES RECIENTES DE GLACIARES EN CHILE, SEGÚN PRINCIPALES ZONAS GLACIOLÓGICAS		
Año	2011	Código ID	DGA 9
Autores	Departamento de Hidrología, Estudios Hidrológicos. DGA.		
Elaborado por	Centro de Estudios Científicos, CECs		
Ámbito Geográfico	Región	Provincia	Cuenca(s)
	Todo Chile		
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros
			X
Puntos clave	Glaciar, retroceso, imagen satelital		
Objetivos(s) de la información			
Sintetizar la variación de más de 147 glaciares de Chile durante la segunda mitad del siglo XX y primera década del siglo XXI mediante percepción remota, en cuanto a variaciones frontales y de área.			
Temática y resultados de interés			
Los 147 glaciares estudiados se distribuyen a lo largo de Chile, considerándose como representativos de la heterogeneidad glaciológica del país. La metodología se basa en la razón de bandas de imágenes satelitales ASTER y LANDSAT entre los años 1972 y 2011, seleccionando principalmente imágenes sin presencia de nubes y a fines del período de ablación, correspondiente a los meses de abril y mayo. En base a la metodología utilizada, los errores asociados a los cálculos realizados representan aproximadamente un 20% en cambios de área y un 10% en variación frontal. Se comprueba una tendencia generalizada de retroceso frontal y reducción de áreas glaciares, siendo estas más drásticas en las zonas Sur y Austral. La excepción se da en 3 glaciares que presentan avances, los que se localizan en la zona Austral. A continuación, se presenta un resumen de las variaciones frontales de los glaciares analizados:			



Tipo de Información	Estudio DGA																																												
Título	B.1.10. CARACTERIZACIÓN Y MONITOREO DE GLACIARES ROCOSOS EN LA CUENCA DEL RÍO ELQUI Y BALANCE DE MASA DEL GLACIAR TAPADO																																												
Año	2012	Código ID	DGA 10																																										
Autores	Departamento de Hidrología, Estudios Hidrológicos. DGA.																																												
Elaborado por	Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas, CEAZA																																												
Ámbito Geográfico	Región	Provincia	Cuenca(s)																																										
	Coquimbo	Elqui	La Laguna																																										
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros																																										
			X																																										
Puntos clave	Glaciar, recurso hídrico,																																												
Objetivos(s) de la información																																													
Realizar mediciones glaciológicas en el descubierto Tapado y en los glaciares rocosos Tapado y Llano de las Liebres, para conocer y caracterizar las principales variables glaciológicas que determinan el balance de masa anual, la dinámica y el aporte hídrico de los glaciares en la cuenca del río Elqui.																																													
Temática y resultados de interés																																													
La cuenca del río Elqui presenta 305 glaciares rocosos, totalizando un área de 16,6 km² y un volumen estimado entre 220 y 330 millones de m³. Se midió el balance de masa en el glaciar Tapado mediante el método glaciológico en el período noviembre 2011-abril 2012, obteniendo un balance negativo de -0,98 m.a.e (compuesto por una acumulación de 0,157 y una ablación de -1,138 m.a.e). Adicionalmente, en base mediciones LIDAR, se obtuvo un modelo digital de terreno (MDT) con resolución espacial de 1 m y precisión vertical de 10 cm, la cual se contrastó con una MDT existente del año 2010 de la parte inferior del glaciar, obteniendo un balance de masa de -4,4 m.a.e/2 años (cotas <5300m, aprox 65% del área del glaciar). Es importante destacar la gran presencia de penitentes en la zona, lo que de una u otra forma puede distorsionar los valores señalados. El modelo de balance de energía utilizado fue el de Mög et al (2008), que se basa en flujos de radiación turbulentos, de conducción y almacenamiento de calor dentro del hielo. Dicho balance se realizó en base a la información de dos estaciones meteorológicas, una ubicada en la zona de ablación y otra en la zona de acumulación (4769 y 5527 m.s.n.m respectivamente, operativas entre en 2/12/2011-11/04/2012 y 2/02/2012-11/04/2012 respectivamente), concluyendo que la radiación solar incidente es la fuente dominante de energía. Adicionalmente, se obtienen tasas de sublimación de entre 0,6 y 5 mm/día, representando un 17% de la ablación, lo que se deben a los flujos de calor, que para la estación ubicada en la zona de ablación señalan a continuación																																													
<table><tr><th>Mes</th><th>SW*</th><th>LW*</th><th>QS</th><th>QL</th><th>QG</th><th>QM</th></tr><tr><td>Dic 2011</td><td>270</td><td>-82</td><td>17</td><td>-97</td><td>-6</td><td>92</td></tr><tr><td>Ene 2012</td><td>269</td><td>-77</td><td>15</td><td>-151</td><td>-8</td><td>37</td></tr><tr><td>Feb 2012</td><td>280</td><td>-83</td><td>16</td><td>-90</td><td>-8</td><td>102</td></tr><tr><td>Mar 2012</td><td>250</td><td>-89</td><td>22</td><td>-106</td><td>-7</td><td>59</td></tr><tr><td>Abr 2012</td><td>176</td><td>-82</td><td>1</td><td>-85</td><td>5</td><td>14</td></tr></table>				Mes	SW*	LW*	QS	QL	QG	QM	Dic 2011	270	-82	17	-97	-6	92	Ene 2012	269	-77	15	-151	-8	37	Feb 2012	280	-83	16	-90	-8	102	Mar 2012	250	-89	22	-106	-7	59	Abr 2012	176	-82	1	-85	5	14
Mes	SW*	LW*	QS	QL	QG	QM																																							
Dic 2011	270	-82	17	-97	-6	92																																							
Ene 2012	269	-77	15	-151	-8	37																																							
Feb 2012	280	-83	16	-90	-8	102																																							
Mar 2012	250	-89	22	-106	-7	59																																							
Abr 2012	176	-82	1	-85	5	14																																							
Se realizaron mediciones de caudal en cuatro puntos debajo del glaciar tapado entre el glaciar descubierto y rocoso, utilizando el método de rastreo con sal para medir el flujo de agua y se instalaron sensores de presión en los puntos para tener una medición continua.																																													

En cuanto al derretimiento glaciar, se estima que va entre 0,01 a 25 mm al día, que puede implicar aproximadamente un 7% del caudal que entra al embalse La Laguna en días de verano (el aporte glaciar es de 89 l/s, mientras que la entrada a la laguna es de 1330 l/s)

Tipo de Información	Estudio DGA		
Título	B.1.11. VARIACIONES RECIENTES DE GLACIARES EN RESPUESTA AL CAMBIO CLIMÁTICO CARACTERÍSTICAS GLACIOLÓGICAS DE LOS GLACIARES SAN RAFAEL, NEF Y COLONIA, CAMPO DE HIELO NORTE		
Año	2012	Código ID	DGA 11
Autores	Departamento de Hidrología, Estudios Hidrológicos. DGA.		
Elaborado por	Centro de Estudios Científicos, CECS		
Ámbito Geográfico	Región	Provincia	Cuenca(s)
	Aysén		
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros
			X
Puntos clave	Glaciar, Balance de masa y energía, Campos de Hielo Norte, ablación		
Objetivos(s) de la información			
Determinar las condiciones de los glaciares San Rafael, Colonia y Nef, obteniendo la topografía superficial y cambios de elevación, velocidad de flujo de hielo, mapeo superficial de estructura, flujo y morfología, espesor de hielo, ablación y balance de energía superficial y calving, comparando el comportamiento de los glaciares con orientación Este y Oeste.			
Temática y resultados de interés			
El Campo de Hielo Norte (CHN) es la segunda masa de hielo temperado más grande de Sudamérica, compuesto por más de 70 glaciares, con una longitud aproximada de 125 km y entre 40 y 45 km de ancho, con un área aproximada de 3,953 km². Según Rivera et al. (2007), entre 1979 y 2001 CHN perdió una superficie de 3, 4 ± 1, 5% (140 ± 61km²). Las precipitaciones orográficas que recibe CHN poseen una dirección Oeste-Este, y dado que las mayores elevaciones se dan en el Este, las cuencas glaciares occidentales son más grandes que los glaciares orientales, con líneas de equilibrio más bajas que en el Este. Un aspecto fundamental de CHN es la diferencia entre la exposición continental y marítima de CHN. El único glaciar de CHN que termina en fiordo o laguna mareal, mientras que existen 15 glaciares que terminan en lagos pedemontanos. 1: Estructura y Morfología Superficial Análisis del cambio temporal de interpretación y delimitación de geoformas, a partir de imágenes ASTER de febrero de 2002 y 2012 (15 metros de resolución, AST14OTH), observándose claras diferencias en extensión, morfología frontal y calving (análisis de grietas, ojivas y morrenas). Los glaciares estudiados se caracterizan por poseer una superficie fuertemente agrietada y presentar sandrus. A pesar de las diferencias climáticas entre los glaciares ubicados al este y al oeste de CHN, hay evidencias geomorfológicas que indican que su dinámica reciente ha sido muy parecida, señalando que los glaciares comenzaron el retroceso a partir de 1870, acentuándose a partir de 1960. 2: Topografía superficial y cambios de elevación Se comparan datos de 7 campañas LIDAR de distintos años con respecto a la elevación señalada por el satélite SRTM. En general, las variaciones de elevación son negativas, siendo las zonas de ablación las que presentan mayores tasas de adelgazamiento. Los mayores cambios de observan en el Glaciar San Rafael y Colonia, con un adelgazamiento mayor a 60m entre 2000 y 2011. En las zonas altas de los glaciares San Rafael y Colonia también se obtuvieron adelgazamientos, aunque de menor magnitud que en la zona frontal.			

3: Velocidades de Flujo de Hielo

Las velocidades fueron obtenidas a partir de seguimiento de patrones satelital (ASTER AST14OTH) y correlación cruzada, fotogrametría terrestre y sistemas de posicionamiento global en balizas. En base a estas metodologías se obtuvieron velocidades máximas de ~ 4 m/día para los glaciares Colonia y Nef, y de ~ 19 m/día para el glaciar San Rafael; $0,2$ m/día para el glaciar Nef y $19 \sim 19$ m/día para San Rafael y velocidades que oscilan entre $\sim 0,2$ y $1,2$ m/día para el glaciar Nef respectivamente. No se detectaron tendencias de cambio significativas al comparar datos recientes con velocidades obtenidas hace algunas décadas en la zona.

4: Espesor de Hielo

Se obtiene el espesor de los glaciares mediante la técnica de radio-eco-sondaje, y mediante la interpolación de la información obtenida, se obtienen los volúmenes glaciares. Para el glaciar San Rafael el espesor máximo, mínimo y medio medidos fueron de 842m , 205m y 501m respectivamente. Para el glaciar Colonia el espesor máximo, mínimo y medio medidos fueron de 726m , 91m y 454m respectivamente. Para el glaciar Nef el espesor máximo, mínimo y medio medidos fueron de 620m , 13m y 429m respectivamente.

El volumen de hielo estimado para el glaciar Colonia es de $17,1\text{km}^3$, considerando un área de $52,3\text{ km}^2$, mientras que para el glaciar Nef el volumen de hielo estimado fue de $8,6\text{km}^3$ considerando un área de 33 km^2 .

5: Balance de Energía

Se realiza el balance de energía en los glaciares San Rafael, Nef y en la totalidad de CHN en base a los datos de las estaciones meteorológicas e información del reanálisis NCEP-NCAR, siendo la radiación de onda corta el flujo dominante.

Tipo de Información	Estudio DGA		
Título	B.1.12. MODELACIÓN DEL BALANCE DE MASA Y DESCARGA DE AGUA EN GLACIARES DEL NORTE CHICO CHILE CENTRAL		
Año	2015	Código ID	DGA 12
Autores	Departamento de Hidrología, Estudios Hidrológicos. DGA.		
Elaborado por	Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas, CEAZA		
Ámbito Geográfico	Región	Provincia	Cuenca(s)
	Coquimbo y Metropolitana		Elqui Maipo
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros
			X
Puntos clave	Glaciar, Balance de masa glaciológico, balance de energía, modelo TOPKAPI-ETH, caudal glaciar		
Objetivos(s) de la información			
Desarrollar e implementar un monitoreo meteorológico y fluviométrico continuo en cuencas de alta montaña con presencia glaciar, para aplicar modelos glacio-hidrológicos y así aumentar el conocimiento acerca de la contribución hídrica de las masas de hielo ubicadas en los andes del Norte Chico y Chile Central.			
Temática y resultados de interés			
Dentro de los glaciares modelados se incluye el glaciar Tapado, glaciares rocosos Tapado y Llano de las liebres en el Norte Chico, y en la zona centro los glaciares San Francisco, Bello, Pirámide y Yeso. En ellos se exponen las mediciones, análisis y resultados de los datos obtenidos durante los años hidrológicos 2013-2015 y de octubre a diciembre de 2015, período en el que se han mantenido red de estaciones meteorológicas, balizas, cámaras fotográficas automáticas, sensores de temperatura, termistores de profundidad y fluviómetros. Se realizaron Modelos de Elevación Digital (MED) a partir de imágenes del sensor ASTER (ASTL1A). Adicionalmente, mediante un monitoreo fotogramétrico se estimó el albedo glaciar distribuido. En cuanto a la modelación del balance de energía, está se realizó en los períodos estivales de los años 2013-2016, realizando primero este proceso sobre la cobertura nival, y una vez que esta es derretida por completo, sobre el hielo glaciar. En los glaciares cubiertos, se modelo el calor que recibe la superficie de hielo de parte de la capa de detritos. Los resultados muestran que la sublimación representa entre un 1,3 y un 30,1% de la ablación, en el glaciar San Francisco y Tapado respectivamente. La modelación hidro-glaciológica se realizó contrastando los caudales de estaciones fluviométricas instaladas en las cercanías de los glaciares, calibrando parámetros glaciares, nivales, de suelo y evapotranspiración. Un aspecto fundamental en cuanto a la modelación es que el modelo seleccionado (TOPKAPI) no considera la sublimación, por lo que los balances de masa obtenidos están sujetos a error. En la cuenca del glaciar Tapado, se estimó que más del 75% del caudal viene del derretimiento nival, además de mostrar que el caudal glaciar es relevante en los meses de enero-marzo. En los glaciares de la zona centro, el aporte glaciar se da entre los meses de diciembre y abril (Pirámide, Bello y Yeso) o entre octubre y abril (San Francisco), y los balances de masa son negativos. En la cuenca del glaciar San Francisco muestran que el aporte glaciar y nival son similares en la temporada 2013-2014, mientras que			

en la temporada 2014-2015 el aporte glaciario es de casi un 60% del total anual y prácticamente un 100% del caudal estival.

Tipo de Información			
Título	B.1.13. IMPLEMENTACIÓN NIVEL 2 ESTRATEGIA NACIONAL DE GLACIARES: MEDICIONES GLACIOLÓGICAS TERRESTRES EN CHILE CENTRAL, ZONA SUR Y PATAGONIA		
Año	2013	Código ID	DGA 13
Autores	Departamento de Hidrología, Estudios Hidrológicos. DGA.		
Elaborado por	GEOESTUDIOS LTDA		
Ámbito Geográfico	Región	Provincia	Cuenca(s)
	Chile Continental		
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros
			X
Puntos clave	Glaciar, Balance de masa, Aporte glaciar		
Objetivos(s) de la información			
Realizar un monitoreo de detalle en glaciares de las zonas centro, sur y austral de Chile, así como la implementación de transmisión de datos meteorológicos en estaciones ubicadas en distintos glaciares.			
Temática y resultados de interés			
Mediciones glaciológicas terrestres basadas en información de balizas, mediciones de la topografía superficial glaciar y estaciones meteorológicas en las zonas centro (glaciares Bello y Yeso), sur (glaciar sureste del volcán Mocho-Choshuencho-desde ahora Mocho) y austral (glaciar Exploradores y Tyndall). Adicionalmente, se realizó un balance energético en los glaciares de la zona centro y austral y un balance geodésico basado en altimetrías LIDAR para los glaciares Yeso y Bello. Para estimar el balance de masa de los glaciares Bello y Yeso se instalaron 12 balizas distribuidas entre las áreas de acumulación y ablación de cada glaciar. La densidad del hielo utilizada es de 0.9 g/cm³, obteniendo una ablación promedio entre el 28 de marzo y 30 de abril del 2013 de 0.2 cm.a/día para el glaciar Bello y 0.1 cm.a./día para el glaciar Yeso, y mediante interpolación por polígonos de Thyessen, se obtiene un balance de masa en agua equivalente de -196.909 y -67.809 m³ eq. a respectivamente. Por otro lado, al realizar un análisis geodésico entre las imágenes LIDAR de abril del 2012 y marzo y noviembre de 2013, se obtiene un balance de masa de -2.402.721 y -5.640.803 para marzo y noviembre respectivamente en el glaciar Bello, mientras que para el glaciar Yeso solo se realiza la comparación entre abril de 2012 y marzo de 2013, obteniendo un volumen de agua equivalente de -643.428. Con respecto al glaciar Mocho, existen registros de balance de masa glaciológico desde mayo de 2003, primero a cargo del CECs y después por la fundación Huilo-Huilo. El glaciar Mocho tiene un área de 5,1 km², abarcado un 30% de todo el hielo del complejo Mocho-Choshuencho (16,9 km²). Este glaciar contaba con 14 balizas y 2 estaciones meteorológicas, agregándose 1 baliza y 1 estación meteorológica en el contexto de este proyecto, además de una estación fluviométrica. El Balance de masa en este glaciar se calcula mediante el método geodésico entre marzo y octubre del 2013			

Tipo de Información	Estudio DGA		
Título	B.1.14. ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO, REGIÓN DE LA ARAUCANÍA		
Año	2016	Código ID	DGA 14
Autor	Dirección General de Aguas		
Elaborado por	Arcadis Chile S.A.		
Ámbito Geográfico	Región	Provincia	Cuenca(s)
	IX Región de la Araucanía	Todas	Imperial Costeras Imperial- Toltén Toltén
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros
	X	X	X
Objetivo(s) de la información			
Caracterizar los sistemas acuíferos que conforman las cuencas de los ríos Toltén e Imperial, y las cuencas costeras de la región de la Araucanía.			
Temática y resultados de interés			
Este estudio está enfocado en conocer y entender los sistemas acuíferos de la región de la Araucanía, para así mejorar la gestión de las aguas superficiales y subterráneas en el corto y largo plazo. Para esto se realizó una recopilación de antecedentes, un levantamiento de información nueva que incluye una caracterización geofísica, geológica, hidrológica e hidrogeológica, toma de muestras de aguas superficiales y subterráneas, la perforación de tres sondajes de exploración, un catastro de captaciones subterráneas para identificar las demandas y usos del agua, y 25 pruebas de bombeo. Con esta información se formuló un modelo hidrogeológico de la región, caracterizando la calidad del agua de los acuíferos y mostrando distintos escenarios de explotación. Las cuencas estudiadas corresponden a las de los ríos Imperial, Toltén, Queule, Budi, y las cuencas costeras entre el río Budi y el río Toltén, las cuales suman en total un área de 22.453 Km². Dentro de los principales resultados está la estimación de las recargas de los distintos acuíferos, obtenidas mediante la modelación hidrológica usando el software <i>ExtendSim</i>. Los valores obtenidos para las distintas cuencas fueron: Imperial (20,6 m³/s); Toltén (30,7 m³/s); Budi (0,56 m³/s); Costeras B-T (0,28 m³/s), y; Queule (1,94 m³/s). La geología regional se obtuvo a partir de las distintas cartas geológicas en la zona de estudio (geología superficial), y del análisis de 284 perforaciones (geología subsuperficial). Este análisis permite distinguir tres zonas principales: La Cordillera de la Costa formada por rocas intrusivas y metamórficas antiguas, la Cordillera Principal dominada por rocas volcánicas, y la Depresión Intermedia compuesta esencialmente de rocas sedimentarias en profundidad y rellenos sedimentarios en superficie. Esta última sería la que presenta mayor interés hidrogeológico. La información geofísica si bien es numerosa y abarca casi el total de la región, la información geológica primaria que permita validar la geometría de las unidades hidrogeológicas entregada es insuficiente, y por lo tanto, eso se traduce en una baja confiabilidad del modelo del acuífero, tanto en su profundidad como en su extensión horizontal. La caracterización hidroquímica se basó en el análisis de 74 muestras de aguas superficiales y 43 de aguas subterráneas, más 19 de estaciones de precipitación. La mayoría de estas correspondieron a aguas del tipo bicarbonatadas intermedias. En el área costera se observó un aumento de la salinidad y una tendencia de las aguas a ser más cloruradas sódicas (aguas			

superficiales y subterráneas someras). Hacia el interior de la región no se observaron mayores cambios asociados a distintas litologías ni unidades geomorfológicas. Por otro lado, si hay cambios debido a factores antrópicos, en las zonas aguas abajo de Temuco principalmente, y también de Victoria, Traiguén y Freire. En resumen, en general las aguas de la región presentan una buena calidad química.

Con esta información condensada se formuló el modelo hidrogeológico, que consta de 6 unidades descritas: Basamento e Intrusivos (UH6), Depósitos Consolidados (UH5), Rocas Volcánicas (UH4), Secuencias Volcanosedimentarias (UH3), Depósitos no consolidados antiguos (UH2) y Depósitos no consolidados Actuales (UH1). Sumando esta última información más los niveles estáticos medidos en pozos, se confeccionaron 2 mapas piezométricos, sugiriendo que existen al menos dos acuíferos en la región. El acuífero más somero está íntimamente ligado a las aguas superficiales y se comportaría esencialmente como acuífero libre, mientras que el acuífero profundo sería semiconfinado. Estaría entonces implícita la existencia de un acuitardo entre ambos acuíferos, sin embargo, no fue posible de corroborar en base a la estratigrafía de la región que este acuitardo sea único.

El modelo numérico de flujo generado incluye un estudio de su operación bajo distintos escenarios de explotación. Para esto se consideró un modelo integrado de las cuencas Imperial y Toltén, para así evitar introducir condiciones de borde arbitrarias en el límite de las cuencas. Esta herramienta se enfocó en representar principalmente las unidades hidrogeológicas UH-1 (Depósitos no consolidados actuales), UH-2 (Depósitos no consolidados antiguos) y UH-3 (Depósitos volcano-sedimentarios), que son las unidades explotadas. El modelo consta de 3 capas, donde la capa 1 es la UH-1, la capa 2 el acuitardo entre ambos acuíferos, y la capa 3 corresponde a la unión de la UH-2 y la UH-3. La simulación del flujo se empleó con el código MODFLOW-USG sobre la plataforma gráfica Groundwater Vistas 6, con el dominio del modelo subdividido en una grilla no-estructurada con 559.675 celdas activas, teniendo estos últimos tamaños variados entre 86,69 m y 342,75 m. Las zonas de mayor resolución se encuentran en las zonas con mayor gradiente hidráulico, como los cauces de los ríos principales (Imperial, Toltén, Cholchol, Allipen, etc.), cerca de las áreas de explotación de aguas subterráneas, etc. La calibración del modelo en régimen permanente realizada mediante la información de pozos fue la siguiente:

- La conductividad hidráulica en la capa 1 oscila entre un rango de 0,125 y 25 m/día, en la capa 2 entre 0,01 y 25 m/día, y en la capa 3 oscila entre 0,1 y 100 m/día.
- El ajuste del modelo cumple los criterios sugeridos por el Servicio de Evaluación Ambiental, con un error de balance de masas inferior a 1%.
- La entrada de agua por flujos subterráneos desde fuera del límite del modelo es del orden de 15,2 m³/s, lo cual incorpora los aportes de los lagos Villarrica y Colico.
- El intercambio neto entre el acuífero y los cauces modelados indica que existe un flujo de descarga hacia el río de ~30,4 m³/s.
- La recarga superficial total se estima en ~19,5 m³/s, la cual ocurre en las distintas zonas de recarga y pozos de inyección en el sector de la cordillera de La Costa.

Y usando esta información se construyeron 5 escenarios de simulación transiente considerando un periodo de 50 años. Estos escenarios permiten evaluar la disponibilidad hídrica para otorgar mayores derechos de explotación, considerando los derechos otorgados actuales, los que se encuentran en trámite y el incremento posible en el tiempo.

Los 5 escenarios evaluados son los siguientes:

- Escenario 1: Bombeo de la totalidad de los derechos otorgados (9.851,7 L/s en 1.492 pozos). Hidrología histórica.

- Escenario 2: Bombeo de la totalidad de los derechos otorgados más los derechos en trámite (10.751,2 L/s en 1.665 pozos). Hidrología histórica.

Escenarios 3 y 4: Determinación del volumen sustentable considerando cumplimiento de los 4 criterios DGA. Hidrología histórica.

- Escenario 3: Presenta un aumento progresivo de caudal del 50% respecto al Escenario 2.
- Escenario 4: Presenta un aumento progresivo de caudal del 20% respecto al Escenario 2.
- Escenario 5: Caudales obtenidos en el Escenario 4 (escenario óptimo de extracción) considerando una recarga superficial correspondiente a una combinación de años de hidrología normal y años secos, sin años húmedos. La recarga del escenario es un 22% menor que la hidrología promedio. Como guía se utilizaron los 4 criterios exigidos por la DGA para la explotación sostenible de acuíferos.

- Criterio 1: Descensos sostenibles en el tiempo.
- Criterio 2: Afectación sobre aguas superficiales.
- Criterio 3: Cumplimiento de la demanda impuesta.
- Criterio 4: Afectación a pozos de terceros.

Finalmente, como resultado final de la simulación se obtuvo lo siguiente:

- Los caudales óptimos de explotación (Escenario 4) son de 9.420 L/s (297,08 MM m³/año) para la cuenca del río Imperial y de 3.481 L/s (109,78 MM m³/año) para la cuenca del río Toltén.
- Con base a lo anterior, se estima que el caudal adicional que es posible de ser otorgado es de 1.570 L/s (49,51 MM m³/año) para la cuenca del río Imperial, y de 580,1 L/s (18,29 MM m³/año) para la cuenca del río Toltén.
- El escenario de caudales óptimos incluye pozos adicionales en la capa 3 (acuífero profundo), ya que los pozos situados en la capa 1 presentan una mayor tendencia a secarse durante los 50 años de simulación. Traspasando una mayor factibilidad de acoger mayores derechos hacia el acuífero profundo.

Tipo de Información	Estudio DGA		
Título	B.1.15. ESTIMACIÓN PRELIMINAR DE LAS RECARGAS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y DETERMINACIÓN DE LOS SECTORES HIDROGEOLÓGICOS DE APROVECHAMIENTO COMÚN EN LAS CUENCAS DE LAS REGIONES DEL MAULE, BIOBÍO, LA ARAUCANÍA, LOS RÍOS Y LOS LAGOS		
Año	2014	Código ID	DGA 15
Autor	Dirección General de Aguas		
Elaborado por	Departamento de Administración de Recursos Hídricos, DGA.		
Ámbito Geográfico	Región	Provincia	Cuenca(s)
	VII Región del Maule	Todas	Todas
	XVI Región de Ñuble		
	VIII Región del Biobío		
	IX Región de La Araucanía		
	XIV Región de Los Ríos		
	X Región de Los Lagos		
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros
	X		X
Objetivo(s) de la información			
Entregar de manera preliminar la resolución de las solicitudes de aprovechamiento de aguas subterráneas que no generen riesgo a la sustentabilidad de los acuíferos, ni a los derechos de terceros en las zonas estudiadas.			
Temática y resultados de interés			
Este trabajo se encarga de definir y delimitar los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de las cuencas de las regiones del Maule, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos que hasta ahora no han sido estudiadas, estimar de forma preliminar las recargas asociadas a ellas y dar una metodología para obtener esta misma información del resto de las cuencas no comprendidas en este informe y que no cuenten con estudios de disponibilidad de recursos hídricos subterráneos. La delimitación de las cuencas se hace en base a las unidades geomorfológicas principales (Cordillera de la Costa, Depresión Intermedia y Cordillera Principal), y el cálculo de las recargas mediante las precipitaciones medias, obtenidas por las isoyetas del balance hídrico de Chile, realizado por la DGA en 1987 y por un factor de infiltración según las unidades antes mencionadas (2% Cordillera de la Costa, 5% Depresión Intermedia y 1% Cordillera Principal). La fórmula usada para estimar las recargas por cuenca fue la siguiente: $R = A * Pp * Ci$ Donde A es el área de la cuenca en m², Pp las precipitaciones medias en m/año, Ci el coeficiente de infiltración adimensional, y R las recargas obtenidas en m³/año. Además, el estudio incluye un catastro de los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas para estimar la demanda comprometida en los acuíferos definidos. Se presentan en total 82 sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común, distribuidos de la siguiente manera: Maule (10), Biobío (18), La Araucanía (12), Los Ríos (11) y Los Lagos (31). Estos se encuentran en su totalidad con demandas comprometidas menores que sus respectivos volúmenes sustentables, lo que permite avanzar a la constitución de nuevos derechos de			

aprovechamiento de aguas subterráneas que se encuentren pendientes, siempre y cuando cumplan con las exigencias determinadas por el Código de Aguas.

Tipo de Información	Estudio DGA		
Título	B.1.16. ANÁLISIS Y MODELACIÓN HIDROLÓGICA CUENCA DEL RÍO CISNES.		
Año	2015	Código ID	DGA 16
Autores	Departamento de Hidrología, Subdepto. Estudios Hidrológicas, DGA.		
Elaborado por	CFC Ingeniería Limitada		
Ámbito Geográfico	Región	Provincia	Cuenca(s)
			Río Cisnes
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros
Puntos clave	Estimación de caudales diarios y mensuales, calibración de modelos para estimar caudales en cuencas no controladas.		
Objetivos(s) de la información			
Caracterizar la cuenca del río Cisnes y algunas de sus subcuencas, por medio de modelación hidrológica y determinar ecuaciones gobernantes de caudales medios mensuales y máximos instantáneos en función de las precipitaciones, para subcuencas donde no se tiene control fluviométrico.			
Temática y resultados de interés			
Realiza una recopilación de antecedentes pluvio y fluviométricos, para el desarrollo de este estudio. Se caracterizó la geometría de la Laguna Escondida con las relaciones nivel del lago, superficie y volumen, lo que es información relevante para el estudio en curso. Con la información reunida, calibran ecuaciones gobernantes de la producción de esorrentía en la cuenca que permiten obtener caudales medios mensuales y máximos instantáneos a partir de la precipitación mensual y diaria, respectivamente, en los puntos donde se tienen estaciones fluviométricas. Sobre la caracterización mensual de las cuencas, se determinó una relación con un buen nivel de ajuste ($r^2 > 0.68$) a nivel general de cuenca, a pesar de que no representa adecuadamente algunos sectores de subcuenca que podrían resultar de interés. Sin embargo, las mantiene dentro de la ecuación desarrollada con el fin de modelar con la información de todas las cuencas ya que tienen distintos procesos de generación de esorrentía. Concluye que es recomendable implementar una estación fluviométrica en el desagüe de la cuenca del Cisnes y un sistema de control de mareas en la localidad de Puerto Cisnes, con el fin de poder realizar un cierre de balance e identificar el efecto de almacenamiento de la Laguna Escondida y otros cuerpos de agua en la subcuenca, lo que permitiría mejorar el método de análisis presentado.			

Tipo de Información	Estudio DGA		
Título	B.1.17. LEVANTAMIENTO DE PARÁMETROS PARA LA MODELACIÓN DE CUENCAS PLUVIALES NO CONTROLADAS EN LA IX REGIÓN DE LA ARAUCANÍA.		
Año	2008	Código ID	DGA 17
Autores	DGA		
Elaborado por	RODHOS Asesorías y Proyectos Ltda.		
Ámbito Geográfico	Región	Provincia	Cuenca(s)
	Región de la Araucanía		
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros
			Modelación
Puntos clave	Modelación hidrológica, estimación de parámetros, estimación de caudales en cuencas no controladas.		
Objetivos(s) de la información			
Adecuar y calibrar las herramientas existentes de modelamiento hidrológico para poder generar o sintetizar información diaria de caudales en cuencas o subcuencas sin control fluviométrico, en la Región de La Araucanía.			
Temática y resultados de interés			
Este estudio busca, en primera instancia, estimar caudales diarios en cuencas no controladas, pero también apunta a desarrollar una regionalización de parámetros con el fin de generalizar su uso para toda la región de estudio. En primer lugar, realiza un control de calidad de datos, y selecciona cuencas que cumplan con ciertos requerimientos necesarios para poder ser modeladas, así como también las estaciones de precipitación que las representen adecuadamente. Genera patrones de precipitación horaria representativos en base a la información de estaciones pluviográficas presentes en la zona de estudio. Esta información es vital para el planteamiento de los modelos hidrológicos. Se pueden encontrar en este estudio algunos valores de referencia de evaporación medida, en algunas estaciones de la zona, e incluso algunos patrones de evaporación horaria a lo largo del día. Se realiza una caracterización de las cuencas seleccionadas en relación a sus parámetros de suelo, como por ejemplo la conductividad hidráulica, determinando un rango de valores físicos posibles, que son utilizados como punto de partida y que eventualmente podrían servir referencia para el presente estudio. Sin embargo, estos valores iniciales están asociados a caudales de recesión y flujos base. Posterior al proceso de calibración, se obtiene otro set de valores de K asociados principalmente a los caudales medios y altos. Se plantea que el modelo resulta insuficiente en sus capacidades para representar adecuadamente los caudales.			

Posterior a la calibración, realiza una regionalización de parámetros en función de los parámetros hidrogeológicos, pero sugiere que estos sean “solo como puntos de inicio y que deben verificarse bajo algún punto de cierre posterior”.

Tipo de Información	Estudio DGA		
Título	B.1.18. ANÁLISIS EFECTO EN EL RÉGIMEN HÍDRICO POR CAMBIO EN PATRONES METEOROLÓGICOS		
Año	2016	Código ID	DGA 18
Autor	Dirección General de Aguas		
Elaborado por	Hídrica Consultores SPA		
Ámbito Geográfico	Región	Provincia	Cuenca(s)
	Chile continental	Todas	Todas
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros
			X
Objetivo(s) de la información			
El objetivo principal del estudio fue generar una mirada global de los impactos del cambio en los patrones meteorológicos en los recursos hídricos a nivel de macrozonas (Norte, Centro, Sur y Austral), en cuanto a los posibles cambios en el régimen de escurrimiento de los ríos y en la recarga de los acuíferos, además de los cambios en los patrones de distribución espacial y temporal de lluvias.			
Temática y resultados de interés			
El estudio presenta una importante recopilación y revisión de la información hidrometeorológica, por el cual caracterizar el comportamiento y evolución de las cuencas de las macrozonas definidas en el estudio. A partir de esta información se generó en primer lugar una priorización de cuencas por macrozona, con el objeto de definir cuál de ellas serán posteriormente analizadas, según criterios de decisión técnico-políticos definidos por la DGA (C1), completitud de los registros hidrometeorológicos (C2), Estrés Hídrico Superficial y agotamiento (C3), completitud de los registros de agua subterránea (C4), Estrés Hídrico Subterráneo (C5), acuíferos en restricción o prohibición (C6) e Infraestructura (C7). A partir de la valoración de estos criterios y su correspondiente ponderación, las cuencas priorizadas por el estudio fueron las cuencas de los ríos Loa, Copiapó y Limarí (Macrozona Norte), Aconcagua y Maipo (Macrozona Centro), Bío-Bío e Imperial (Macrozona Sur) y Aysén (Macrozona Austral). A partir de esta priorización, el estudio avanza en el análisis de la evolución de la disponibilidad del recurso en estas cuencas priorizadas, mediante el cruce de entre la oferta de agua, tanto a nivel superficial y subterráneo, y la demanda desde derechos de aprovechamiento otorgados, permitiendo la caracterización de la disponibilidad o escasez de agua en cada una de las cuencas. El estudio continúa con una detallada y exhaustiva revisión de metodologías para el relleno, análisis y caracterización de las variables hidroclimáticas, evapotranspiración, cobertura nival, y recarga de aguas subterráneas, las cuales se aplicaron según la disponibilidad y calidad de información existente en cada cuenca. Mediante estas metodologías, se desarrolla la caracterización de las cuencas priorizadas, en lo que respecta al análisis espacial, topoclimático y temporal de las precipitaciones y temperatura, incluyendo un análisis de sequía, así como análisis de variabilidad y cambios en las probabilidades de excedencia. Como resultado del análisis temporal de las variables hidrometeorológicas, los ciclos encontrados son variados y tienen una influencia con la latitud. En general se reconocen ciclos entre 2 y 7 años para la mayoría de las cuencas. Ciclos particularmente altos son encontrados			

en la agregación temporal de invierno o verano, dependiendo también de la latitud analizada. En general, para las cuencas de la macrozona norte, se espera una influencia con el indicador ENSO (El Niño Oscilación del Sur), por lo que los periodos entre 4 y 7 años son atingentes. Para las macrozona sur y austral, se han encontrado también influencias de periodos decadales, lo que puede significar una relación con los índices PDO (Oscilación Decadal del Pacífico) y la AAO (Oscilación Antártica).

El análisis de tendencias de precipitaciones mostró tendencias neutras o levemente negativas para todo el territorio nacional. Estas tendencias observadas son consistentes con las proyecciones de cambio climático señaladas en otros estudios realizados anteriormente, las cuales indican reducciones de la precipitación en el largo plazo. Los efectos de los últimos años de sequía no fueron directamente observados en las métricas de tendencias analizadas. Esta observación no limita la opción de que en un análisis futuro (con más años de datos) la sequía podría empezar a manifestarse de manera más fuerte en la serie de tiempo. Las tendencias neutras o levemente negativas son un escenario preocupante considerando las proyecciones de cambio climático que sugieren incrementos de temperaturas significativas para todo el territorio nacional. Mediante el test de diferencias de medias se determinó que al comparar el periodo 1960 – 1986 frente al de 1987 – 2014, en la mayoría de las estaciones analizadas se observan aumentos del orden de 0,5 y 1°C en la temperatura media anual. Esto, sumado a las tendencias negativas en precipitación, podría resultar en escenarios de escasez importantes para el futuro, especialmente en aquellos lugares que ya presentan un régimen árido o semi-árido de precipitaciones y que han ido avanzando en latitud sur. El alza de temperaturas y reducción de la precipitación inciden directamente en la hidrología de las cuencas chilenas de un modo mayormente negativo, resultando en un aumento del potencial evapotranspirativo, menor humedad del suelo, acumulación de nieve, y flujo base. Es posible anticipar (aunque esta observación debe ser verificada a través de modelos u observaciones) un aumento de los caudales de fines del verano debido a un mayor derretimiento de glaciares en algunas cuencas (debido a menores precipitaciones y mayores temperaturas), sin embargo, dicho aumento de caudales será probablemente transitorio y no compensará en el largo plazo la menor oferta hídrica.

A nivel regional o de macrozona, se desarrollaron indicadores, los cuales muestran cambios mesurados para cada una de las cuencas. Para la precipitación no se observan cambios significativos en la serie histórica generada. La única región que presenta cambios significativos es la cuenca de Aysén, con una reducción de precipitaciones del orden del 10% entre los periodos 1960-1986 y 1987-2014. De acuerdo a la serie histórica observada, la precipitación en Aysén fue particularmente alta durante la década de 1960, por lo que es posible que la tendencia detectada no sea relevante en términos climatológicos, sino que simplemente un resultado particular de la estadística observada. La cuenca de Copiapó muestra cambios importantes en la media (50 mm), con el periodo 1988-2014 presentando una media más alta que el periodo 1960-1986, sin embargo, dicho cambio no es estadísticamente significativo debido a la alta varianza observada en la serie. Cabe destacar que el cambio de variabilidad más importante lo presenta la misma cuenca del río Copiapó, el único estadísticamente significativo atribuido a la presencia del evento extremo del año 1997/98.

Para las temperaturas el panorama es diametralmente opuesto al observado en precipitaciones. Se observan tendencias al alza significativas en las cuencas del Limarí al Imperial a nivel anual, con cambios de promedio importantes (entre 0,1°C y 0,5°C) para los periodos de 1960-1986 vs 1987-2014. Este calentamiento se observa también en las tendencias de Mann-Kendall detectadas, donde casi todas las cuencas presentan tendencias estadísticamente significativas al alza, exceptuando Loa y Copiapó. Estos resultados son consistentes con los resultados de

Falvey y Garreaud (2009), donde se evidenciaron alzas de temperaturas medias para las estaciones ubicadas en los valles y pre-cordillera. Las tendencias al alza en temperaturas de verano e invierno son consistentes con la señal al alza en las temperaturas anuales, presentando el periodo de verano un alza mayor en general al periodo de invierno (0,3-0,4°C vs 0,5-0,8°C), lo que significa que los respectivos veranos definidos para cada uno de los sistemas han aumentado su intensidad. La mayor alza registrada se presenta para la cuenca del Bío-Bío, con una diferencia de temperatura anual de 0,52°C entre los dos periodos analizados y una diferencia de 0,87°C para temperaturas de verano. La misma cuenca es la que además presenta las reducciones más drásticas en términos de variabilidad.

El estudio analiza luego cambios en la probabilidad de excelencia de las precipitaciones (P50), el cual permitió determinar para cada una de las estaciones representativas por cuenca las variaciones porcentuales respecto del primer período de análisis o período 1 como se definió en el capítulo de variabilidad del régimen de precipitaciones.

A nivel anual, los cambios detectados muestran que en la Macrozona Norte los resultados dependen de la cuenca analizada. Para la cuenca del Loa se presenta una disminución del 18%, concentrado en la estación Linzor (cordillera), mientras que el resto permanece invariante. En el caso de la cuenca del Copiapó, se aprecia un comportamiento disímil. La estación del Desierto de Atacama presenta disminuciones del orden del 36%, mientras que para el valle central y cordillera hay aumentos del orden del 20%.

La cuenca del Limarí presenta un aumento de su variación porcentual en su estación cordillerana “Las Ramadas” (39%), mientras que sus otras dos estaciones presentan reducciones del orden 5%. En el caso de Punitaqui, la reducción es más severa si se analiza el período invernal.

Se debe tener en cuenta que los porcentajes encontrados en verano obedecen a la presencia de eventos puntuales, y los montos asociados son muy bajos, por lo que pequeños cambios reportan diferencias porcentuales grandes. En este caso es recomendable analizar la agregación anual y de invierno solamente.

Para la Macrozona Centro, se observa que en la cuenca del Aconcagua tanto las estaciones de costa como de cordillera presentan una disminución del 7 y 11 % respectivamente, sin embargo, la estación San Felipe (valle central) presenta un aumento del 14%. Este comportamiento es más crítico en invierno, donde la reducción en cordillera es de un 20%. Cabe destacar que, para la agregación de verano, se tienen variaciones porcentuales negativas importantes para todas las estaciones que varían entre un 23 y un 50%.

La cuenca del río Maipo presentó variaciones relevantes. En costa y valle central, se presentan disminuciones a nivel anual (5%) que se respaldan con el comportamiento de las reducciones de verano del 40%. Sin embargo, para la estación de San José de Maipo, se exhiben alzas de un 9%. Para la Macrozona Sur, la cuenca del Bío-Bío presentó variaciones porcentuales poco significativas, menores al 3%, salvo para la agregación de verano, en donde se encontraron disminuciones entre un 6 y 10% para las estaciones de valle y cordillera, y un aumento para la estación de costa de un 20%.

Finalmente, la Macrozona Austral, representada por la cuenca del río Aysén, presentó variaciones porcentuales mixtas, positivas para las estaciones del valle central (2%), pero negativa para las estaciones de costa y cordillera, representadas por las estaciones de Puerto Aysén y Balmaceda, donde las disminuciones encontradas fueron del 7 y 6% respectivamente. En invierno se observan variaciones porcentuales negativas y neutras, pero el cambio más relevante sucede en verano, en donde existe un aumento consistente entre las tres estaciones, un 10% para las estaciones de costa y valle central, mientras que sólo de un 1% para la estación cordillerana de Balmaceda.

Tipo de Información	Estudio DGA		
Título	B.1.19. REDEFINICIÓN DE LA CLASIFICACIÓN RED HIDROGEOGRÁFICA A NIVEL NACIONAL		
Año	2014	Código ID	DGA 19
Autor	Dirección General de Aguas		
Elaborado por	Centro de Información de recursos Naturales, CIREN		
Ámbito Geográfico	Región	Provincia	Cuenca(s)
	Chile continental	Todas	Todas
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros
			X
Objetivo(s) de la información			
Redefinir la clasificación de la red hidrográfica de Chile.			
Temática y resultados de interés			
Considerando una escala de 1:35.000 y en base al modelo de elevación digital ASTER GDEM V.2, la red de drenaje del IGM e imágenes Landsat 8, se realiza la delimitación de cuencas (101), subcuencas (491) y sub-subcuencas (1.481), para así redefinir y actualizar los límites de la antigua red de drenajes del Banco Nacional de Aguas, DGA 1978. Debido a la mejor resolución espacial utilizada, existen diferencias en la delimitación de cuencas, siendo importante destacar las diferencias en los límites internacionales, existiendo cuencas que hidrográficamente cruzan los límites internacionales. Adicionalmente se realiza una mejora en la codificación de la base de datos.			

Tipo de Información	Estudio Licitado		
Título	B.1.20. BALANCE HÍDRICO NACIONAL. REGIONES VIII, IX y X		
Año	1983	Código ID	DGA 20
Autor	Dirección General de Aguas		
Elaborado por	IPLA Ingenieros Consultores		
Puntos clave	Balance hídrico		
Ámbito Geográfico	Región	Provincia	Cuenca(s)
	Biobío, Araucanía, Los Ríos y Los Lagos	Concepción, Arauco, Biobio, Malleco, Cautín y Valdivia	Biobío, cuencas costeras entre los ríos Biobío e Imperial, Imperial, cuencas costeras entre los ríos Imperial y Toltén, Toltén, cuencas costeras entre los ríos Toltén y Valdivia y la cuenca del río Valdivia.
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros
			x
Objetivo(s) de la información			
Estimar la precipitación, evapotranspiración y escorrentía en cuencas ubicadas entre las regiones de Biobío y Los Lagos según metodología UNESCO. Esto se plantea para cuencas con y sin información.			
Temática y resultados de interés			
Este estudio recoge recomendaciones de la UNESCO para estimar el balance de una cuenca mediante la ecuación simplificada: $P + Q_{si} - Q_{so} - ET - \eta = 0$ Donde P es la precipitación, Q_{si} el caudal superficial de entrada, Q_{so} el caudal de salida, ET la evapotranspiración y η el error de cierre que tiene diversos motivos. Las componentes subterráneas del balance y el almacenamiento se asumen cero para grandes áreas geográficas y tiempos de estudio largos. Debido a que existe incerteza en varias de las variables respecto de su medición o distribución espacial, el cálculo se realiza de manera iterativa de tal manera que η sea lo más cercano a cero. Cabe destacar que el balance que se realiza es exclusivamente superficial. En este caso se considera cuencas de las regiones del Biobío, Araucanía y Ríos con registros que abarcan desde 1951/52 a 1980/82. Las cuencas se dividen en tres grandes zonas: cuencas cordilleranas, centrales y costeras. El orden para realizar el balance es desde agua arriba hacia aguas abajo, de manera de mejorar la distribución espacial de las variables. Como no todas las estaciones de la zona tienen un registro que abarque el período de estudio, se extiende la precipitación usando dos métodos: (1) mediante relaciones lineales entre estaciones y (2) manteniendo la pendiente de la curva doble acumuladas, que se usaron para analizar la consistencia de la información. Los registros de temperatura no se extienden pues se considera que éstos son estacionarios, por lo que los promedios se calculan simplemente con la información registrada y los estadísticos se asumen representativos de todo el período. Los registros de caudales se extienden usando relaciones entre estaciones o relaciones entre precipitación y			

caudal. Se considera además los evaporímetros, donde la evaporación se estima usando un valor de coeficiente de embalse de 0,7. La evaporación tampoco se rellena, sino que se asume estacionaria.

La metodología empleada depende de si la zona tiene registros de precipitación, temperatura y caudal. En zonas con todas las variables medidas, se trazan las isolíneas de precipitación y temperatura, y mediante la fórmula de Turc, se calcula la evapotranspiración real en las intersecciones de las isoyetas con las isotermas. Con dichos puntos, se obtiene las isolíneas de evapotranspiración real, y se realiza el balance. Si el valor de η es muy grande, se modifica el trazado y el monto de las isoyetas hasta que el balance cierre de manera razonable. En general, en zonas planas, se asume variaciones lineales de temperatura y precipitación, mientras que en zonas montañosas se considera gradientes orográficos. El motivo por el cual se modifica las isoyetas y no las isotermas, es porque según los registros, el gradiente de temperatura es más estable, por lo que sería una variable más confiable al momento de extrapolar espacial y temporalmente.

En zonas con información fluviométrica, precipitación y temperatura, se considera la corrección de la evapotranspiración (ET_c) para zonas planas como $ET_c = \eta + ET_m$, donde ET_m es la evapotranspiración calculada mediante Turc, mientras que, en zonas montañosas, se arregla la precipitación para obtener $P = R + ET$, con $R = Q_{so} - Q_{si}$. Esto implica que, en las zonas medias, el error está en la evapotranspiración, debido al uso de suelo, que es más diversos, mientras que en las montañas la variable con mayor incertidumbre es la precipitación, sin embargo, en estas cuencas, el cálculo es iterativo pues la evapotranspiración está en función de la precipitación, por lo que cambia en cada iteración. En zonas sin medición de temperatura, se asume $ET = P - R$. Si tampoco existe información de precipitación, se estima la temperatura y la precipitación y se calcula η . Si el valor es cercano a cero, se considera aceptable, de lo contrario, se itera hasta cerrar el balance.

Por otro lado, en zonas sin control fluviométrico, la esorrentía se estima como $R = P - ET$ en el caso de que la precipitación y la temperatura estén medidas. En cuencas donde sólo se mida la precipitación, el caudal se estima usando las cuencas vecinas, o con relaciones entre la precipitación y la esorrentía usando cuencas similares. Si ninguna de las variables se mide, se extienden las isolíneas de las cuencas adyacentes, de tal manera que en la cuenca cierre el balance.

Las cuencas analizadas son las del Biobío, cuencas costeras entre los ríos Biobío e Imperial, Imperial, cuencas costeras entre los ríos Imperial y Toltén, Toltén, cuencas costeras entre los ríos Toltén y Valdivia y finalmente la cuenca del río Valdivia.

Los resultados muestran que la precipitación se ve fuertemente afectada por la orografía. En el caso de la cuenca del Biobío la precipitación media anual es cercana a los 1.900 mm/a pero en la costa se presentan valores entre 1.200 a 2.000 mm/a, mientras que en la cordillera se estiman valores que llegan a 4.500 mm/a. La ET real media de la cuenca es 1.465 mm/a. En el caso de la cuenca del río Imperial, la precipitación media es 1630 mm/a, pero varía entre 800 y 4000 mm/a entre la costa y la cordillera. Finalmente, la cuenca con mayores niveles de precipitación es la del río Valdivia, donde la precipitación media en la costa varía entre 200 y 2300 mm/a pero en la cordillera se llega a valores de 5500 mm/a.

B.2. DETALLES REVISIÓN DE ARTÍCULOS CIENTÍFICOS RECOMENDADOS

Tipo de Información	Artículo Científico		
Título	B.2.1. OROGRAPHIC EFFECTS OF THE SUBTROPICAL AND EXTRATROPICAL ANDES ON UPWIND PRECIPITATING CLOUDS		
Año	2015	Código ID	Cient 1
Autores	Maximiliano Viale, René Garreaud		
Elaborado por			
Ámbito Geográfico	Región	Región	Región
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Demanda y Usos de Agua	Demanda y Usos de Agua
Puntos clave	Efectos orográficos, estimación de precipitación en altura, identificación de patrones de precipitación.		
Objetivos(s) de la información			
En este estudio se busca determinar cuantitativamente el efecto orográfico que produce la Cordillera de los Andes sobre los eventos de precipitación a lo largo de los sectores central y sur de Chile (abarca desde el paralelo 30°S hasta el 55°S), por medio del uso de registros pluviométricos, así como también de imágenes satelitales.			
Temática y resultados de interés			
En este artículo se investigan y cuantifican las razones climatológicas de los aumentos de precipitación en la cordillera, así como también las forzantes principales de la variabilidad interanual. Para desarrollar esto en el artículo se basan en registros pluviométricos y el uso de imágenes satelitales, con lo cual se logra identificar factores de amplificación del orden de 1.8 ± 0.3 , en promedio, en el incremento de las precipitaciones anuales, al ir desde zonas de la costa en el Pacífico hacia zonas de pendientes mayores. Estos factores son identificados en distintas bandas de latitudes y presentan algunas variaciones interesantes en función del sector analizado. Se identifica que las variaciones interanuales en montos de precipitación se deben a aumentos tanto en la intensidad como frecuencias de las lluvias. Dentro del artículo, se busca identificar las causas de la variación entre los distintos factores en función de la zona geográfica. Se logran identificar razones asociadas al tipo de forzamientos meteorológicos de los frentes incidentes, separando los resultados en zonas de latitudes medias y subtropicales. En las zonas de latitudes medias, se generan mayores nubes de precipitación más por efectos orográficos y asociado al aumento de la barrera física.			

Ya en zonas más subtropicales, el bajo forzamiento produce nubes de precipitación heladas y profundas, que se ven afectadas posteriormente de forma más severa por los efectos orográficos.

Tipo de Información	Artículo Científico		
Título	B.2.2. TEMPORAL AND SPATIAL EVALUATION OF SATELLITE-BASED RAINFALL ESTIMATES ACROSS THE COMPLEX TOPOGRAPHICAL AND CLIMATIC GRADIENTS OF CHILE		
Año	2017	Código ID	Cient 2
Autores	Mauricio Zambrano-Bigiarini, Alexandra Nauditt, Christian Birkel, Koen Verbist , Lars Ribbe		
Elaborado por			
Ámbito Geográfico	Región	Provincia	Cuenca(s)
			Todas
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros
			X
Puntos clave	Uso de imágenes satelitales, estimación de precipitación en forma remota, evaluación de productos satelitales.		
Objetivos(s) de la información			
Desarrollar una evaluación sobre la aplicabilidad de productos satelitales disponibles en la actualidad, cuyo objetivo es la estimación de precipitación disponibles, como insumo para la modelación hidrológica.			
Temática y resultados de interés			
Información			
Presenta siete productos satelitales diferentes que estiman precipitación a escala diaria, en distintos periodos temporales y según distintas metodologías. Desarrolla un análisis comparativo entre estos distintos productos, evaluándolos con distintas métricas y en distintas escalas temporales, así como también busca las posibles fuentes de errores de cada potencial error sistemático. Los resultados indican que estos productos tienen un mejor desempeño en las zonas central y sur de Chile, en particular en las zonas de elevaciones bajas a medias (0 a 1000 msnm), en comparación con otras zonas como el norte grande o la zona austral. En general, todos los productos realizan mejores estimaciones en los periodos invernales, donde se tiene una mayor frecuencia de precipitaciones, que en los estivales, de características más secas. Los productos, en general, identifican correctamente en su mayoría la ocurrencia de eventos de precipitación. Sin embargo, tienen muy baja habilidad al momento de clasificar la intensidad de dichos eventos. Como conclusión, determina que el producto satelital que mejor se ajusta al territorio nacional corresponden a PGFv3, el cual presenta un buen comportamiento en todas las zonas geográficas y todas las escalas temporales. Los productos CHIRPSv2, TMPA 3B42v7 y MSWEPv1.1 también tuvieron buenos resultados, aunque algo menos satisfactorios, mientras que CMORPH, PERSIANN-CDR y PERSIANN-CCS-Adj no fueron capaces de representar adecuadamente la precipitación observada.			

Sin embargo, concluye finalmente que a pesar de las múltiples mejoras y esfuerzos que se han hecho por hacer que estos productos sean representativos de la precipitación, una evaluación específica para cada sitio es necesaria antes de cualquier utilización en algún estudio hidrológico a nivel de cuenca.

Tipo de Información	Artículo Científico		
Título	B.2.3. BALANCE HÍDRICO MENSUAL DE UNA CUENCA PATAGÓNICA DE CHILE: APLICACIÓN DE UN MODELO PARSIMONIOSO		
Año	2012	Código ID	Cient 3
Autores	Revista Obras y Proyectos 12, 32-41.		
Elaborado por	José Vargas, Luis de la Fuente y José Luis Arumí		
Ámbito Geográfico	Región	Provincia	Cuenca(s)
	Aysén		Río Simpson
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros
			X
Puntos clave	Balance Hídrico, Patagonia.		
Objetivos(s) de la información			
Resolver el balance hídrico en la cuenca del río Simpson a escala mensual para el periodo hidrológico 1980/1981 al 2000/2001, mediante un modelo hidrológico conceptual. Entrega valores de diversos componentes del balance, incluyendo almacenamientos, a escala promedio mensual.			
Temática y resultados de interés			
Interpolación geoestadística de 11 estaciones pluviométricas (no se muestra bondad de ajuste del modelo). Escorrentía se estima mediante transposición de caudales de 3 estaciones fluviométricas. Obtenida mediante caudal específico (Q/A). Utilizando finalmente Coyhaique en Tejas verdes) utilizada para completar la estadística. ET se estima mediante el método de Hargreaves para ET0, y mediante Kc se obtuvo ET. Estimada en base a isotermas (considerando 6 estaciones). Como los cuerpos de agua ocupan 0,7% del área total se integran dentro de ET las pérdidas producto de la evaporación. Almacenamiento en lagos se desprecia por ser 0,7% del área total. Se modela explícitamente el almacenamiento en el suelo no saturado y en las aguas subterráneas, así como el almacenamiento superficial, infiltración y percolación Se modela a escala mensual con 10 años de calibración y 10 años de validación.			

Tabla 7: Balance Hídrico Anual completo desde 1981/1982 hasta 2000/2001

Precip. mm	Escurr. mm	ETR mm	PP -Q-ETR	Sub sup. mm	Superf. mm	Subterr. mm	Nieve mm	$\Delta S + \Delta N +$ $\Delta G + \Delta Nieve$	error mm	error %
839.30	478.62	325.21	35.47	0.88	2.40	1.81	0.00	5.09	-30.38	-3.62

Tabla 8: Resumen del Balance Hídrico Mensual promedio 1981/1982 hasta 2000/2001

Mes	PP mm	Q mm	ETR mm	S mm	N mm	G mm	Nieve mm	error mm	error %
Abril	81.00	17.58	15.30	175.40	12.76	7.85	0.00	1.19	1.47
Mayo	100.40	29.10	8.95	195.22	28.92	28.32	0.00	-5.90	-5.88
Junio	96.60	43.23	5.21	199.59	38.26	33.69	26.57	-2.49	-2.58
Julio	94.00	50.95	5.59	199.08	42.36	28.75	65.95	0.58	0.61
Agosto	91.50	58.26	11.11	193.58	52.75	44.23	64.05	-3.68	-4.02
Septiembre	63.30	63.69	23.62	181.24	62.31	37.32	40.92	-8.80	-13.91
Octubre	59.00	74.02	39.59	165.66	62.09	29.57	11.83	1.98	3.35
Noviembre	51.80	56.24	50.00	152.10	50.04	8.89	1.55	-2.12	-4.10
Diciembre	58.60	35.79	56.74	133.79	33.97	6.43	0.00	-4.47	-7.63
Enero	45.70	22.45	50.81	117.81	21.77	3.11	0.00	-3.93	-8.59
Febrero	34.90	13.56	33.95	113.38	12.63	1.70	0.00	-2.38	-6.83
Marzo	62.50	13.75	24.32	138.24	10.58	3.48	0.00	0.16	0.26

Déficit de precipitaciones 42.4% al balance DGA (1987). Diferencias en escorrentía es de 45.9%. Coeficiente de escorrentía DGA (1987) 0.61 y del estudio 0.57. Se cree que Isoyetas antiguas sobreestiman precipitación.

Metodologías más modernas reducen el error de cierre del balance en casi 100 mm/año.

Tipo de Información	Artículo Científico		
Título	B.2.4. CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DEL BALANCE HÍDRICO DE UNA CUENCA DE USO MÚLTIPLE EN EL CENTRO-SUR DE CHILE: LA CUENCA DEL RÍO LAJA		
Año	2001	Código ID	Cient 4
Autores	José Vargas y Belfor Alarcón		
Elaborado por	Revista CURIHAM		
Ámbito Geográfico	Región	Provincia(s)	Cuenca(s)
	Biobío	Biobío	Laja
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros
	x		
Puntos clave	Balance Hídrico, Agricultura, Hidroelectricidad		
Objetivos(s) de la información			
Estimación del balance hídrico bajo la influencia del riego en la cuenca del río Laja			
Temática y resultados de interés			
El área de estudio corresponde a la cuenca del río Laja, donde se realiza un balance hídrico a escala anual usando la siguiente ecuación: $P - Q = E + \frac{dS}{dt} + \eta$ Donde P es la precipitación, Q el caudal, E la evapotranspiración, dS/dt a la variación en el almacenamiento y η al error en el cierre del balance. La precipitación y el caudal se corroboran mediante curvas doble acumuladas. Para distribuir en el espacio los registros puntuales de precipitación, se recurre a los polígonos de Thiessen. La evapotranspiración se obtiene mediante la fórmula de Turc en zonas con vegetación natural, con Blaney&Criddle en zonas con riego y con la fórmula que Langbeing propuso en 1968 para la evaporación desde la superficie del lago Laja. La cuenca se divide en sub-cuencas, donde el resultado del balance arroja valores de error de cierre (η) que varían entre 6% y 36%. Por otra parte, la evapotranspiración real corresponde a montos que van desde un 25% a un 57% de la precipitación (depende de la sub-cuenca). Es importante recalcar que el riego está considerado de manera simplificada, pues no considera la operación.			

Tipo de Información	Artículo Científico		
Título	B.2.5. PHYSICALLY BASED MOUNTAIN HYDROLOGICAL MODELING USING REANALYSIS DATA IN PATAGONIA		
Año	2015	Código ID	Cient 5
Autores	Krogh, S.A., Pomeroy, J.W. y McPhee, J.		
Elaborado por	Journal of Hydrometeorology (https://doi.org/10.1175/JHM-D-13-0178.1)		
Ámbito Geográfico	Región	Provincia	Cuenca(s)
	Aysén	Capitán Prat	Baker
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros
			x
Puntos clave	Patagonia, modelo CRHM, reanálisis.		
Objetivos(s) de la información			
Modelar la cuenca del río Baker mediante el modelo hidrológico CRHM.			
Temática y resultados de interés			
Se modela la cuenca del río Baker mediante el modelo hidrológico CRHM usando como forzantes la serie de datos extraída desde el reanálisis ERA-Interim. Este modelo tiene una fuerte componente física, por lo que gran parte de sus parámetros fueron asignados vía similitud con estudios y modelaciones realizadas en zonas de Canadá. Los autores mencionan que hay crecidas de caudal con ausencia de precipitación registrada por estaciones meteorológica, pero dos reanálisis muestran que, si hay precipitación, lo que da cuenta de la capacidad de los reanálisis para simular adecuadamente la meteorología del lugar y del aporte que significa en zonas sin estaciones meteorológicas. Además, implica que las observaciones no reflejan bien la hidrología del lugar pues se encuentran en sectores con cotas bajas y al este de la cordillera, por lo que los grandes eventos de precipitación no son capturados adecuadamente. La capacidad de CRHM para reproducir los caudales aumenta de 0,3 a 0,7 si se considera la información de reanálisis en vez de las estaciones meteorológicas. Los resultados muestran que cerca del 28% de la precipitación cae como nieve y que el 26% de la escorrentía proviene del derretimiento del manto nival. Por otra parte, la evapotranspiración asciende a un 7,2% de la precipitación, mientras que la sublimación y la evaporación desde el agua interceptada representa menos del 1%. El principal aporte a la escorrentía proviene de los flujos subterráneos, contribuyendo cerca del 73,7% del caudal de salida de la cuenca.			

Tipo de Información	Artículo Científico		
Título	B.2.6. THE COLD REGIONS HYDROLOGICAL MODEL (CRHM): A PLATFORM FOR BASING PROCESS REPRESENTATION AND MODEL STRUCTURE ON PHYSICAL EVIDENCE.		
Año	2007	Código ID	Cient 6
Autores	Pomeroy, J.W., Gray, D.M., Brown, T., Hedstrom, N.R., Quinton, W.L., Granger, R.J. y Carey, S.K.		
Elaborado por	Journal of Hydrological Processes (https://doi.org/10.1002/hyp.6787)		
Ámbito Geográfico	Región	Provincia	Cuenca(s)
	Canadá		
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros
			X
Puntos clave	Modelación hidrológica, nieve.		
Objetivos(s) de la información			
Creación de un modelo de base física para representar adecuadamente los procesos nivales y estimación de caudales en cuencas sin información fluviométrica.			
Temática y resultados de interés			
CRHM corresponde a un modelo modular que permite representar distintos procesos hidrológicos de una cuenca basándose en unidades de respuesta hidrológica (URH), que interactúan mediante traspasos de masa superficial y subterránea. No incorpora explícitamente un proceso de calibración debido a que se confía en su representación física. El modelo se basa principalmente en dos ecuaciones, una de masa y otra de energía: $\frac{dSWE}{dt}(x) = P - p \left[\nabla F(x) + \frac{1}{x} \int E_B(x) dx \right] - E - M$ $\frac{dU}{dt} = Q_m + Q_n + Q_H + Q_E + Q_G + Q_D$ Donde $dSWE/dt$ es la tasa de acumulación de nieve, P es la precipitación, p es la probabilidad de ocurrencia de viento en una URH, F es la tasa de transporte por viento, E es la tasa de sublimación y M la tasa de derretimiento. Para el balance energético el término dU/dt corresponde a la variación de energía del manto nival, Q_m a la energía para derretir, Q_n a la radiación neta, Q_H y Q_E al calor sensible y latente, Q_G al traspaso de energía desde y hacia el suelo y Q_D al traspaso de energía por fenómenos advectivos. El modelo fue aplicado, en su origen, en tres sectores de Canadá, con estaciones que medían SWE, derretimiento, escorrentía, evaporación, profundidad del suelo congelado y caudal, donde se pudo comprobar el potencial de CRHM para simular procesos relacionados con la nieve.			

Tipo de Información	Artículo Científico		
Título	B.2.7. EFECTOS HIDROLÓGICOS DE LOS USOS ELÉCTRICOS Y AGRÍCOLA EN LA CUENCA DEL RÍO LAJA		
Año	2005	Código ID	Cient 7
Autores	María Mardones y José Vargas		
Elaborado por	Revista de Geografía Norte Grande		
Ámbito Geográfico	Región	Provincia	Cuenca(s)
	Biobío	Biobío	Laja
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros
	x		
Puntos clave	Balance Hídrico, Hidroelectricidad, Agricultura.		
Objetivos(s) de la información			
Evaluar el impacto de la Agricultura y la Hidroelectricidad sobre balance hídrico del río Laja.			
Temática y resultados de interés			
El estudio aborda la influencia de la agricultura y la generación hidroeléctrica en el balance hídrico de la cuenca del río Laja. Para ponderar la influencia agrícola se identifican, mediante imágenes aéreas, las zonas con riego, mientras que las bocatomas se ubican gracias a la base de datos de la DGA. La influencia de la extracción por riego se obtiene como un porcentaje de extracción respecto al caudal observado en la estación fluviométrica Laja en Tucapel (DGA). Por otra parte, la hidroelectricidad se incluye mediante el análisis de los niveles de la Laguna Laja y la estadística de caudales de generación. El período de estudio abarca desde al año hidrológico 1964/65 hasta 1998/99. Los principales resultados muestran que el riego extrae aproximadamente el 24% del caudal del río Laja, con un máximo mensual de 50%. Además, la generación eléctrica provoca que el nivel de la laguna Laja se encuentre 27 (m) más bajo que su nivel en régimen natural. En consecuencia, la generación hidroeléctrica y la agricultura impactan en el balance hídrico en un -3,7% y -36,8%. Se concluye que la cuenca del río Laja presenta una disminución de 13,5% respecto de las precipitaciones.			

Tipo de Información	Artículo Científico		
Título	B.2.8. SEASONAL HYDROGRAPHY AND SURFACE OUTFLOW IN A FJORD WITH A DEEP SILL: THE RELONCAVÍ FJORD, CHILE		
Año	2016	Código ID	Cient 8
Autores	Manuel I. Castillo, Ursula Cifuentes, Oscar Pizarro, Leif Djurfeldt, and Mario Caceres		
Elaborado por	Programa COPAS-Sur Austral y Centro de Investigación en Ecosistemas de la Patagonia		
Ámbito Geográfico	Región	Provincia	Cuenca(s)
	Los Lagos	Llanquihue	
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros
		X	X
Puntos clave	Fiordo, hidrografía, salinidad, oxígeno disuelto, acuicultura		
Objetivos(s) de la información			
Caracterización de cantidad y calidad de aguas a lo largo del fiordo de Reloncaví.			
Temática y resultados de interés			
El estudio presenta una caracterización de la meteorología y principales flujos de agua y concentraciones en el fiordo de Reloncaví. La metodología y resultados son ciertamente relevantes desde el punto de vista oceanográfico, pero su utilidad es bastante limitada para los objetivos de la actualización del Balance Hídrico. Los autores analizan datos medidos a intervalos de 10 minutos en una estación meteorológica cerca del río Puelo. Las variables medidas son dirección y velocidad del viento, precipitación, temperatura y radiación solar. Los datos pueden ser descargados desde http://www.reloncavi.udec.cl, y potencialmente incorporados para verificar el producto CR2-Met con mediciones in situ. Los autores también analizan información de caudales que puede ser descargada desde la plataforma online de la DGA.			

Tipo de Información	Artículo Científico		
Título	B.2.9. STREAMFLOW VARIABILITY IN THE CHILEAN TEMPERATE - MEDITERRANEAN CLIMATE TRANSITION (35°S–42°S) DURING THE LAST 400 YEARS INFERRED FROM TREE - RING RÉCORDS.		
Año	2016	Código ID	Cient 9
Autores	Ariel A. Muñoz ¹ , Alvaro Gonzalez - Reyes, Antonio Lara, David Sauchyn, Duncan Christie, Paulina Puchi, Rocío Urrutia - Jalabert, Isadora Toledo - Guerrero, Isabella Aguilera - Betti, Ignacio Mundo, Paul R. Sheppard, Daniel Stahle, Ricardo Villalba, Paul Szejner, Carlos LeQuesne, Jessica Vanstone		
Elaborado por			
Ámbito Geográfico	Región	Provincia	Cuenca(s)
			Bío Bío
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros
Puntos clave	Variabilidad Hidro-climática, Disponibilidad de recursos hídricos, cuenca del río Biobío		
Objetivos(s) de la información			
Desarrollar por medio de herramientas paleoclimáticas (uso de anillos de árboles) un marco de referencia de variabilidad hidrológica para el río Biobío, de manera que se pueda realizar una evaluación del escenario observado durante el siglo XX en la disponibilidad hídrica.			
Temática y resultados de interés			
En este trabajo se utiliza una técnica de reconstrucción de caudales en base a muestras de anillos de árboles de la zona en la cuenca del río Biobío. Aplicando sofisticadas técnicas estiman series de caudales medios anuales para el río Biobío, para el periodo comprendido entre los años 1500 y 2000. Esta serie generada por reconstrucción es comparada y analizada con registros fluviometricos históricos comprendidos en el periodo 1943-2000 donde se tienen observaciones. Los años más secos y más húmedos de este periodo no son los de condiciones más extremas en comparación con los registros reconstruidos, aunque si aparecen dentro de los cinco valores más extremos. Esto sugiere un alto nivel de variabilidad en las condiciones hidroclimáticas de la región, y desde donde desprenden que el siglo XX fue un siglo de extremos. Esta conclusión es reforzada al realizar comparaciones adicionales entre registros fluviométricos observados y reconstruidos en las cuencas del río Maule y Puelo. Adicionalmente, se correlacionan las series reconstruidas con índices de eventos climáticos de periodos interanuales, como El Niño (ENSO), la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) y el Anillo Modular del Sur (SAM). Las series reconstruidas reflejan bien las dependencias con estos fenómenos, y e incluso identifica dependencias de periodos tan altos como 80 años, lo que resulta imposible solo en base a registros observados. Concluye también que la zona del Biobío corresponde a una zona de transición entre un clima Mediterráneo subtropical y de zonas húmedas templadas.			

Tipo de Información	Artículo de revista científica		
Título	B.2.10. ANÁLISIS GEO-ESTADÍSTICO PARA DESCRIBIR LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN DE UNA CUENCA PATAGÓNICA.		
Año	2009	Código ID	Cient 10
Autores	José Vargas B., Luis De la Fuente C., Alfonso Gutiérrez-López , José Luis Arumi		
Elaborado por	Revista Aqua-LAC – Año 1 – No.1		
Ámbito Geográfico	Región	Provincia	Cuenca(s)
	Aysén		
Tipo de Antecedentes	Demanda y Usos de Agua	Calidad de Aguas	Otros
			x
Puntos clave	Cálculo de isoyetas, uso de técnicas geoestadísticas, obtención de valores de precipitación a nivel mensual		
Objetivos(s) de la información			
Estudio busca aplicar técnicas geoestadísticas sobre información pluviométrica para generar un campo grillado de información de precipitación en un área con baja densidad de estaciones.			
Temática y resultados de interés			
El estudio realiza esfuerzos por estimar campos grillados de precipitación a escala mensual de tiempo para una zona con baja densidad de estaciones pluviométricas, en el sector norte de la XI región de Aysén. Para realizar esto, hace un análisis crítico de la información disponible, aplicando procesos de control de calidad de la información y técnicas de relleno y extensión. Posteriormente, aplica técnicas de <i>clustering</i> para identificar zonas homogéneas. Define 2 zonas, debido a la escasez de información y estaciones. Posteriormente, realiza la técnica de interpolación espacial conocida como <i>cokriging</i>, para obtener un campo continuo de precipitaciones, utilizando como variable auxiliar la elevación, para toda la zona de estudiada. Realiza este análisis separando temporalmente por mes, con lo que obtiene un campo de precipitaciones para toda la zona. Compara con lo obtenido en el balance hídrico de 1987 y concluyé que los valores estimados son menores a los del BH87, justificadamente, basándose en argumentos metodológicos y climáticos. Este estudio concluye que en esta zona el gradiente de precipitaciones funciona a la inversa de la generalidad habitual del país, lloviendo menos en sectores de mayor elevación. Además, obtiene valores mensuales en una zona acotada que pueden ser utilizados eventualmente como referencia de comparación			

C. ANEXO C: RECARGA

C.1. RÍO SAUCES ANTES JUNTA CON ÑUBLE

La estación fluviométrica “Río Sauces Antes Junta Con Ñuble” está ubicada en la cuenca “Río Itata” de la región de Ñuble. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 606,70 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 30,59 m³/s. La estación meteorológica más cercana “Caman” presenta una precipitación promedio anual de 2047,9 mm (Figura C.1). Figura C.1: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Caman”).

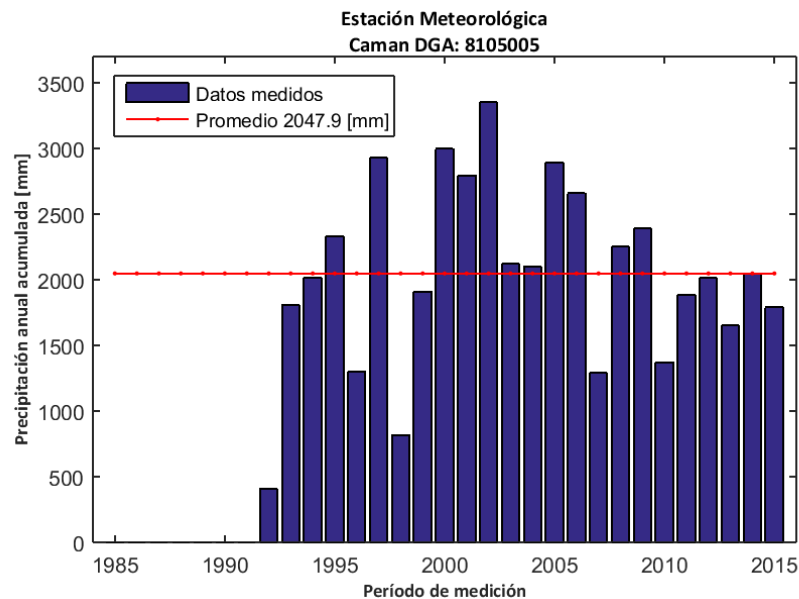


Figura C.1: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Caman”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,72 (Figura C.2: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Sauces Antes Junta Con Ñuble”), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

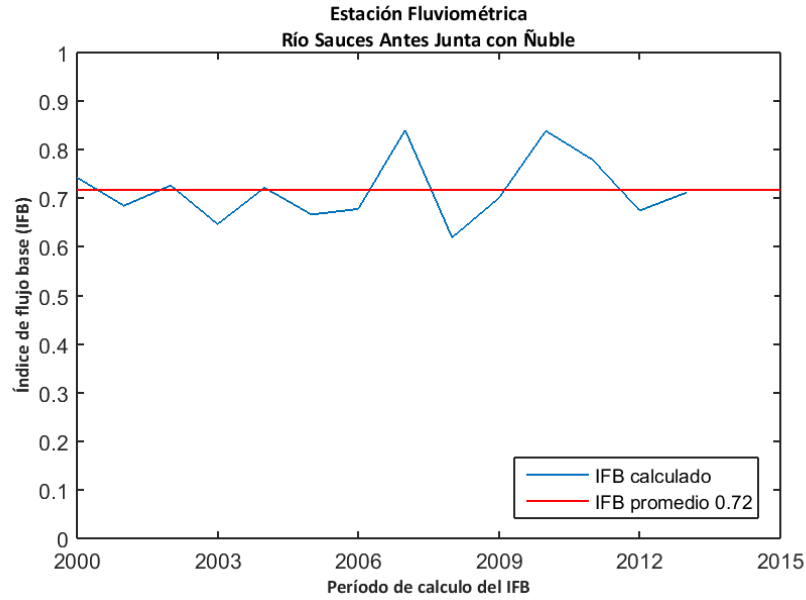


Figura C.2: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Sauces Antes Junta Con Ñuble”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Sauces Antes Junta Con Ñuble” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 494,2 mm/año (Figura C.3) equivalente a un 24,1% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Caman”).

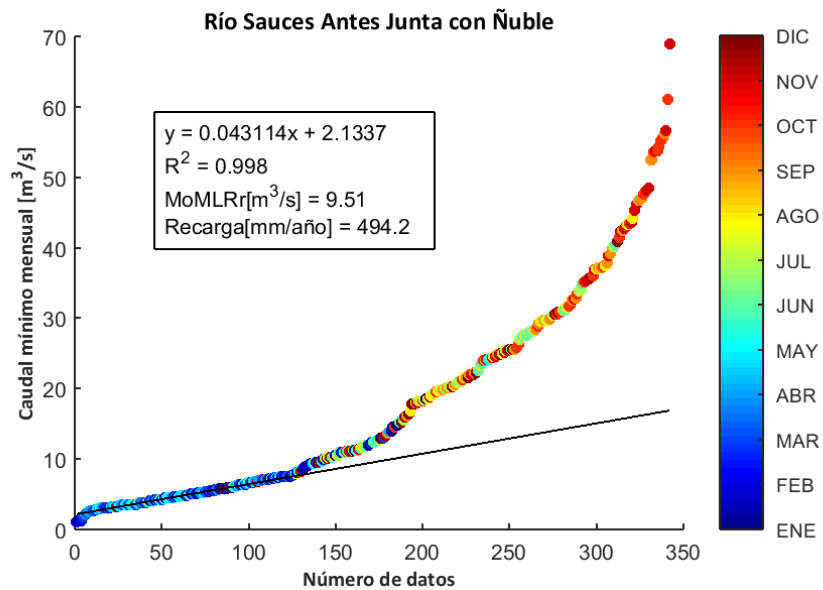


Figura C.3: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica “Río Sauces Antes Junta Con Ñuble”.

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.1, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.1: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Sauces Antes Junta Con Nuble". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K_{min}	K_{med}	K_{max}
Río Sauces Antes Junta con Nuble	48	40,2	79,1	272,6

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Sauces Antes Junta Con Nuble" sólo durante los años presentados en la Tabla C.2, arrojando un valor promedio de 1415,7 mm/año equivalente a un 69,1% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Caman").

Tabla C.2: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Sauces Antes Junta Con Nuble".

Años	Recarga [in]
1985	46,60
1987	55,97
1988	39,11
1989	32,35
1991	62,35
1992	75,55
1994	50,28
1995	65,86
1996	30,93
1997	95,13
1998	24,85
1999	58,56
2000	77,59
2001	79,72
2002	96,42
2004	48,98
2006	77,02
2007	30,41
2008	54,52
2009	57,62
2010	35,65
2011	55,06
2012	46,36
2013	40,80
Promedio [in]	55,73
Promedio [mm]	1415,7

C.2. RÍO NIBLINTO ANTES CANAL ALIMENTADOR EMB. COIHUECO

La estación fluviométrica “Río Niblinto Antes Canal Alimentador Emb. Coihueco” está ubicada en la cuenca “Río Itata” de la región de Ñuble. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 162,04 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 11,90 m³/s. La estación meteorológica más cercana “Coihueco Embalse” presenta una precipitación promedio anual de 1415,4 mm (Figura C.4).

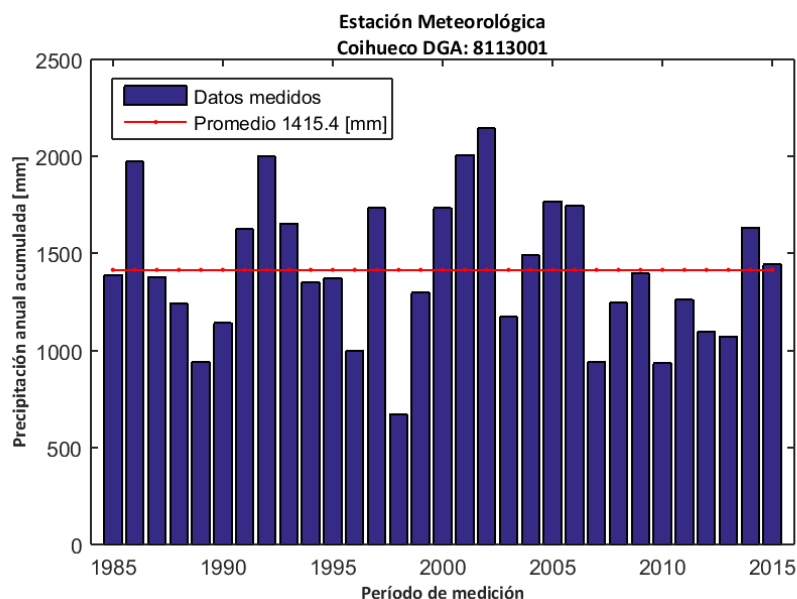


Figura C.4: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Coihueco Embalse”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 1985-2000. El valor calculado arrojó un promedio de 0,48 (Figura C.5), lo cual indica que la influencia de agua subterránea en el caudal no es significativa.

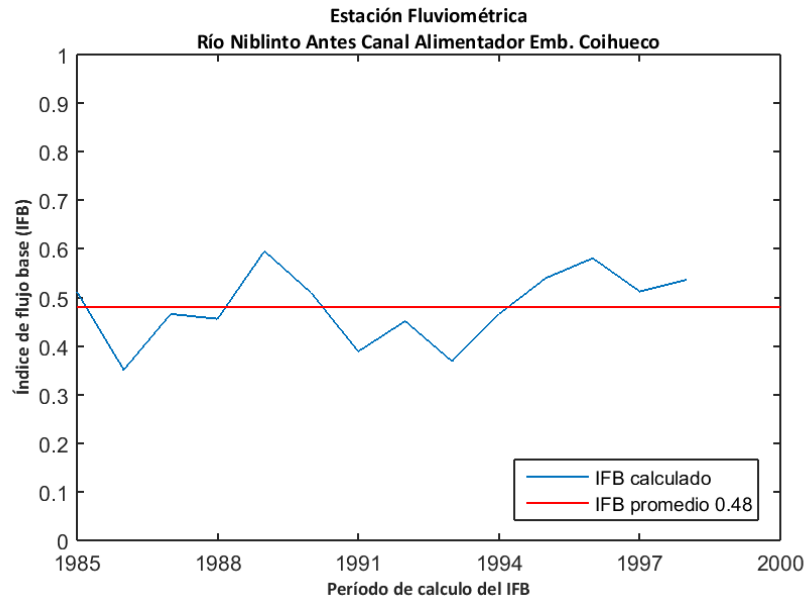


Figura C.5: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Niblinto Antes Canal Alimentador Emb. Coihueco”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Niblinto Antes Canal Alimentador Emb. Coihueco” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 222,8 mm/año (Figura C.6) equivalente a un 15,7% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Coihueco Embalse”).

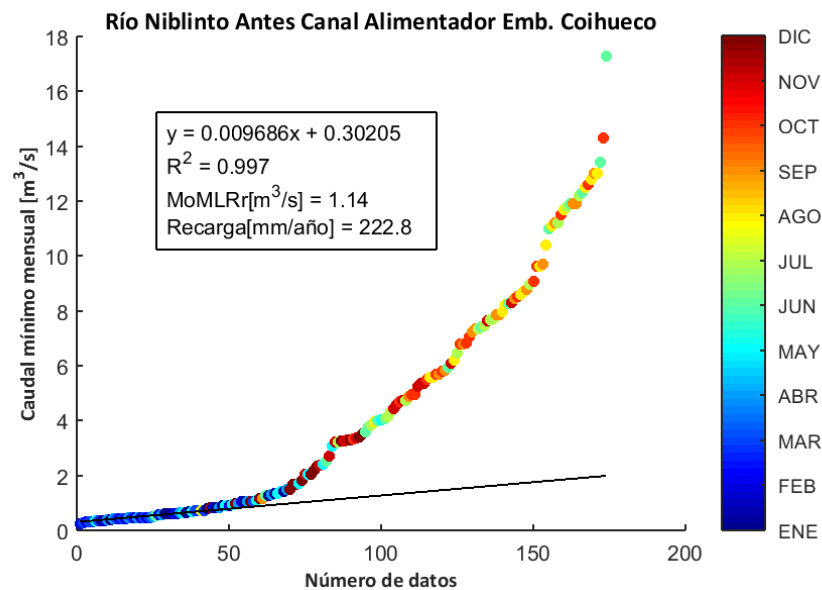


Figura C.6: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica “Río Niblinto Antes Canal Alimentador Emb. Coihueco”.

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.3, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.3: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Niblinto Antes Canal Alimentador Emb. Coihueco". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	Kmin	Kmed	Kmax
Río Niblinto Antes Canal Alimentador Emb. Coihueco	30	16,8	45,3	73,4

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Niblinto Antes Canal Alimentador Emb. Coihueco" sólo durante los años presentados en la Tabla C.4, arrojando un valor promedio de 1601,1 mm/año equivalente a un 113,1% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Coihueco Embalse").

Tabla C.4: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Niblinto Antes Canal Alimentador Emb. Coihueco".

Años	Recarga [in]
1985	56,17
1986	85,30
1987	66,17
1988	57,05
1989	39,14
1990	42,19
1991	67,88
1992	76,19
1993	82,75
1995	58,99
1996	35,88
1997	88,72
Promedio [in]	63,03
Promedio [mm]	1601,1

C.3. RÍO CHILLÁN EN ESPERANZA

La estación fluviométrica “Río Chillán en Esperanza” está ubicada en la cuenca “Río Itata” de la región de Ñuble. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 206,04 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 14,76 m³/s. La estación meteorológica más cercana “Río Chillán en Esperanza N°2” presenta una precipitación promedio anual de 1730,4 mm (Figura C.7).

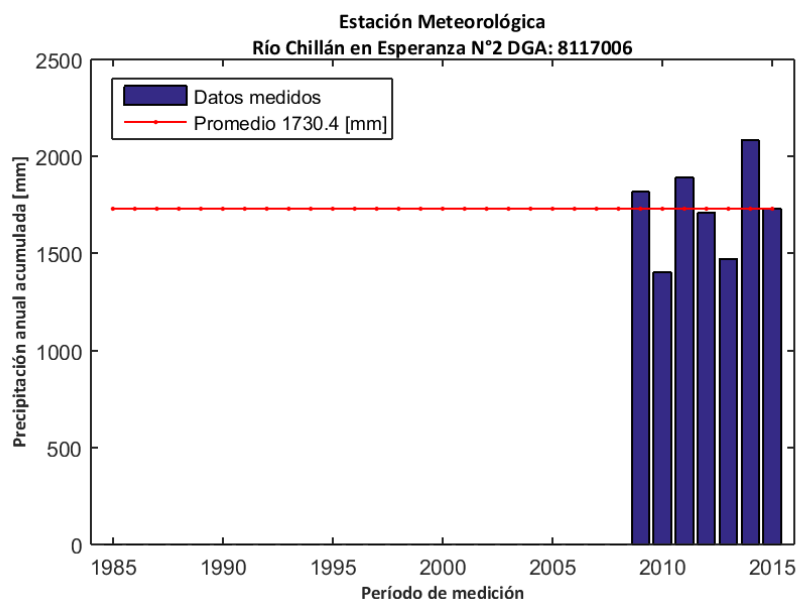


Figura C.7: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Río Chillán en Esperanza N°2”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 1985-1994. El valor calculado arrojó un promedio de 0,64 (Figura C.8), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

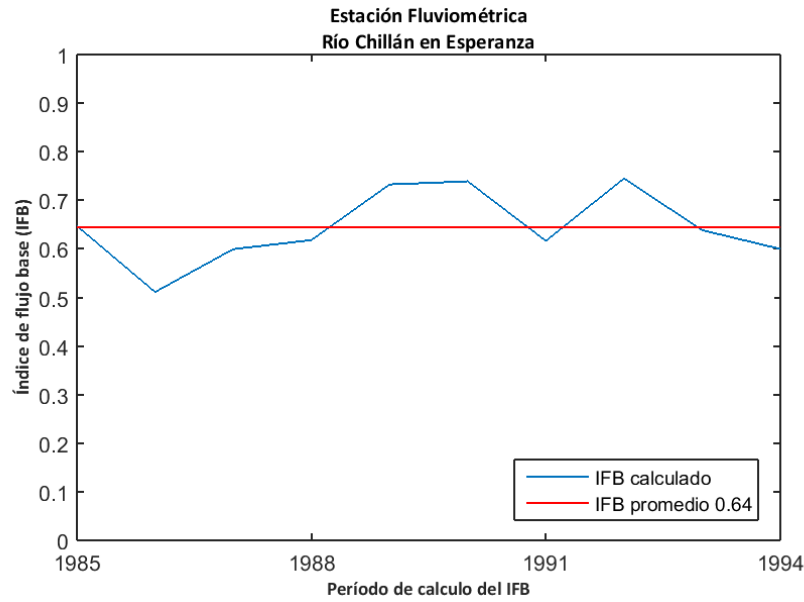


Figura C.8: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Chillán en Esperanza”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Chillán en Esperanza” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 1002,8 mm/año (Figura C.9) equivalente a un 58,0% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Río Chillán en Esperanza N°2”).

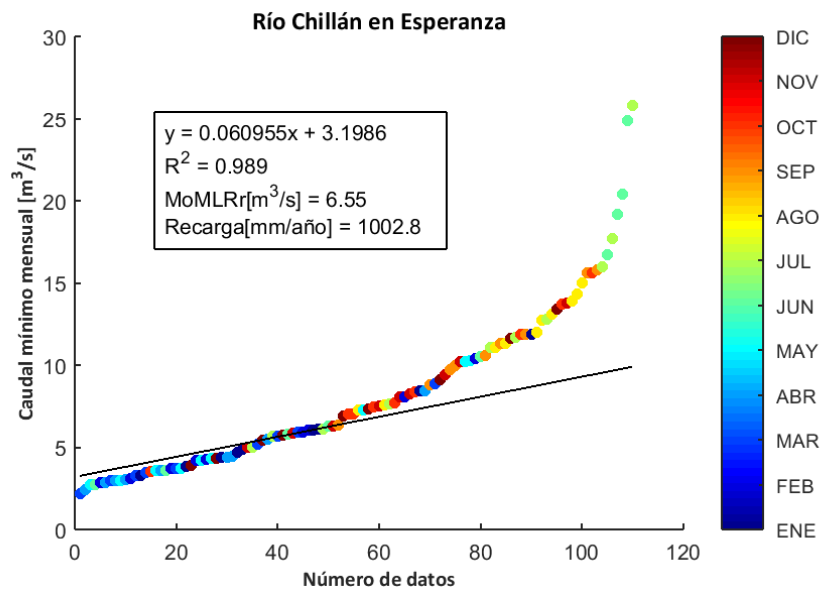


Figura C.9: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica “Río Chillán en Esperanza”.

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.5, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.5: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Chillán en Esperanza". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K_{min}	K_{med}	K_{max}
Río Chillán en Esperanza	6	47,6	66,7	99,6

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Chillán en Esperanza" sólo durante los años presentados en la Tabla C.6, arrojando un valor promedio de 1601,1 mm/año equivalente a un 108,2% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Río Chillán en Esperanza N°2").

Tabla C.6: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Chillán en Esperanza".

Años	Recarga [in]
1985	59,32
1986	88,77
1987	67,81
1988	57,35
1989	44,19
1990	47,87
1991	100,51
1992	100,28
1993	97,54
Promedio [in]	63,03
Promedio [mm]	1601,1

C.4. RÍO QUILMO EN CAMINO A YUNGAY

Los datos de caudal en esta estación fluviométrica son insuficientes para realizar una correcta interpretación de los datos y obtener un valor de recarga certero. Por ello, no se aplicarán las metodologías de estimación de recarga.

C.5. RÍO CHANGARAL CAMINO A PORTEZUELO

La estación fluviométrica “Río Changaral Camino a Portezuelo” está ubicada en la cuenca “Río Itata” de la región de Ñuble. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 1131,92 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 18,22 m³/s. La estación meteorológica más cercana “Portezuelo” presenta una precipitación promedio anual de 765,5 mm (Figura C.10).

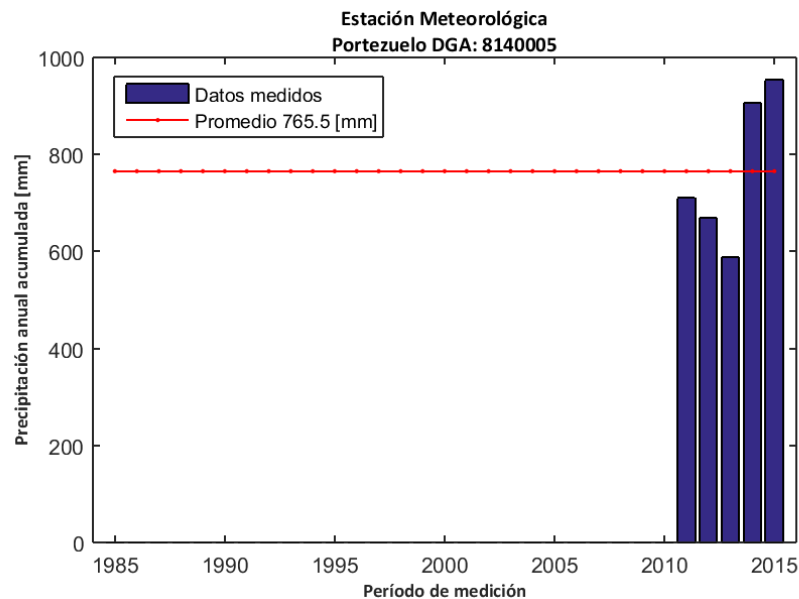


Figura C.10: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Portezuelo”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 1985-2000. El valor calculado arrojó un promedio de 0,28 (Figura C.11), lo cual indica que la influencia de agua subterránea en el caudal no es significativa.

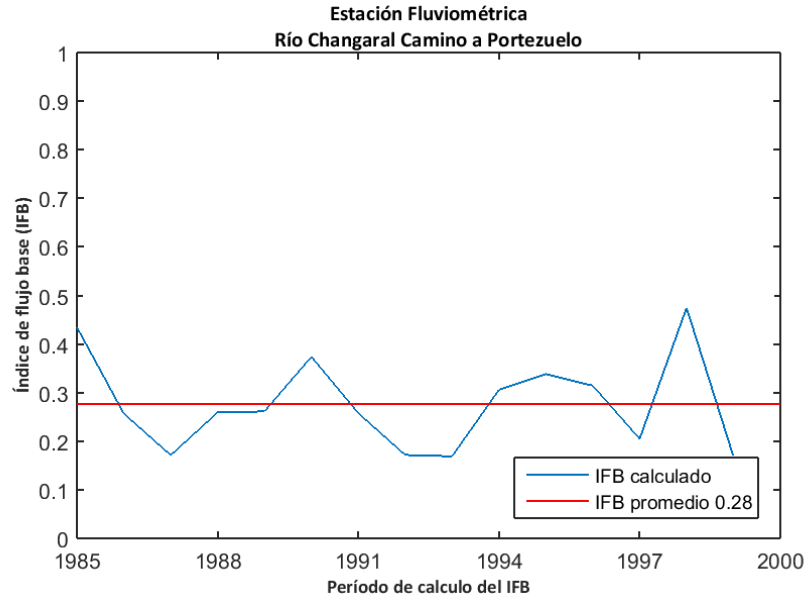


Figura C.11: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Changaral Camino a Portezuelo”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Changaral Camino a Portezuelo” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 67,6 mm/año (Figura C.12) equivalente a un 8,8% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Portezuelo”).

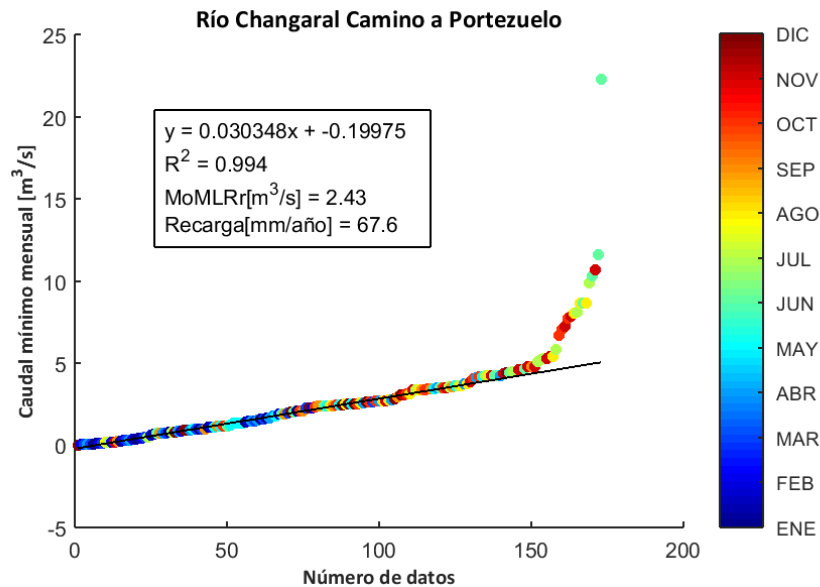


Figura C.12: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica “Río Changaral Camino a Portezuelo”.

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.7, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.7: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Changaral Camino a Portezuelo". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K_{min}	K_{med}	K_{max}
Río Changaral Camino a Portezuelo	37	11,6	27	93,5

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Changaral Camino a Portezuelo" sólo durante los años presentados en la Tabla C.8, arrojando un valor promedio de 264,7 mm/año equivalente a un 34,6% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Portezuelo").

Tabla C.8: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Changaral Camino a Portezuelo".

Años	Recarga [in]
1985	8,99
1988	9,90
1990	11,19
1994	7,96
1996	7,97
2000	16,52
Promedio [in]	10,42
Promedio [mm]	264,7

C.6. RÍO ITATA EN GENERAL CRUZ

La estación fluviométrica "Río Itata en General Cruz" está ubicada en la cuenca "Río Itata" de la región de Ñuble. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 1161,52 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 54,10 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Pemuco" presenta una precipitación promedio anual de 1169,9 mm (Figura C.13).

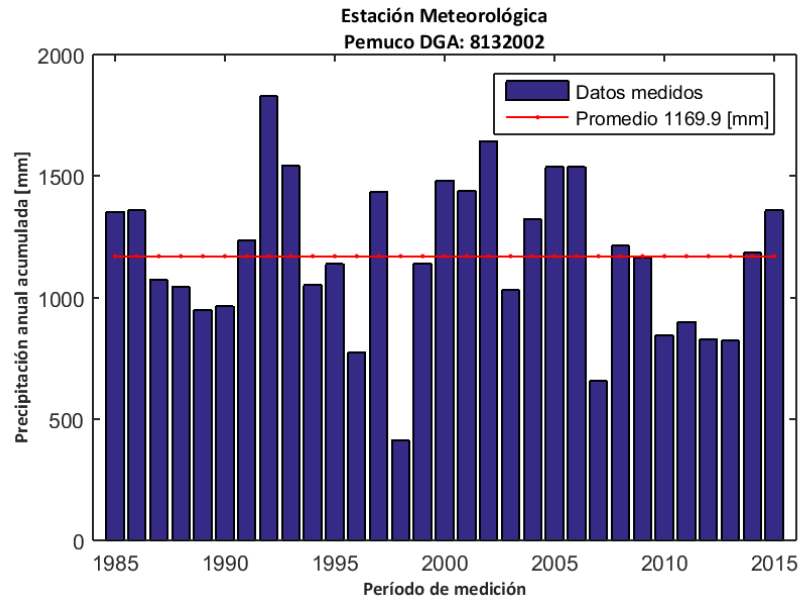


Figura C.13: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Pemuco”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,59 (Figura C.14), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

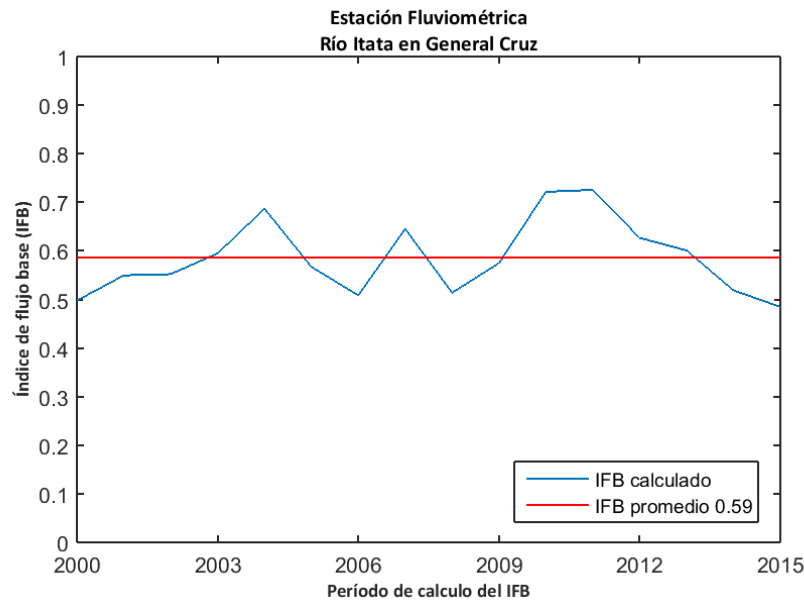


Figura C.14: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Itata en General Cruz”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Itata en General Cruz” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 184,7 mm/año (Figura

C.15) equivalente a un 15,8% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Pemuco”).

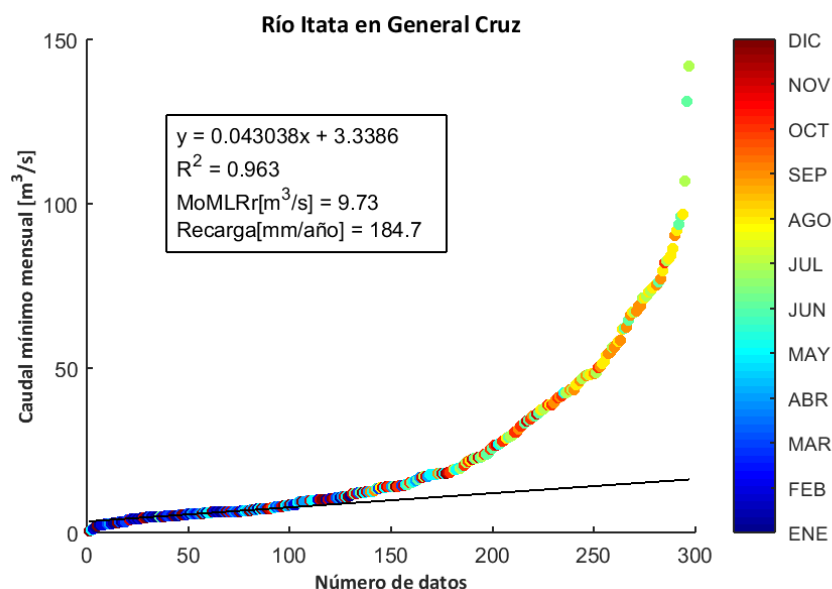


Figura C.15: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica “Río Itata en General Cruz”.

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.9, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.9: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Itata en General Cruz". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Itata en General Cruz	42	22,9	48,3	91,4

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación “Río Itata en General Cruz” sólo durante los años presentados en la

Tabla *c.10*, arrojando un valor promedio de 887,7 mm/año equivalente a un 75,9% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Pemuco”).

Tabla C.10: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Itata en General Cruz".

Años	Recarga [in]
1985	36,57
1986	43,78
1988	25,50
1989	19,61
1992	54,86
1995	37,37
1996	17,63
2000	40,07
2001	53,47
2002	52,28
2003	24,11
2004	31,78
2008	31,28
2009	34,52
2012	21,44
Promedio [in]	34,95
Promedio [mm]	887,7

C.7. RÍO ITATA EN Balsa Nueva Aldea

La estación fluviométrica "Río Itata en Balsa Nueva Aldea" está ubicada en la cuenca "Río Itata" de la región de Ñuble. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 4510,05 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 120,17 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Nueva Aldea" presenta una precipitación promedio anual de 946,8 mm (Figura C.16).

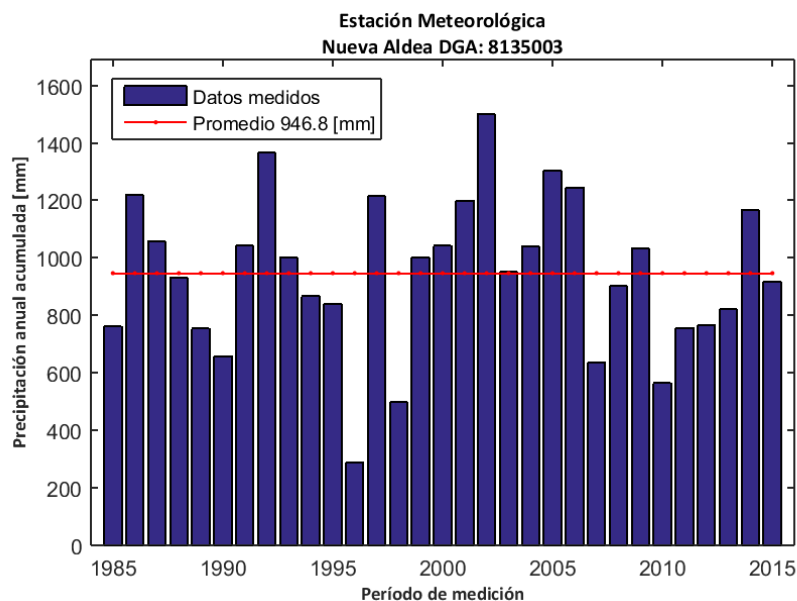


Figura C.16: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Nueva Aldea”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,60 (Figura C.17), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

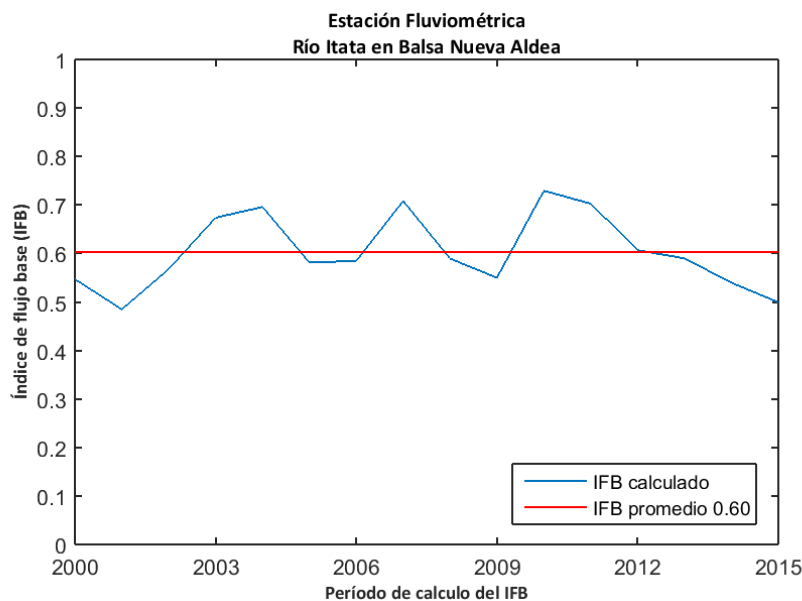


Figura C.17: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Itata en Balsa Nueva Aldea”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Itata en Balsa Nueva Aldea” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 150,9 mm/año

(Figura C.18) equivalente a un 15,9% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Nueva Aldea”).

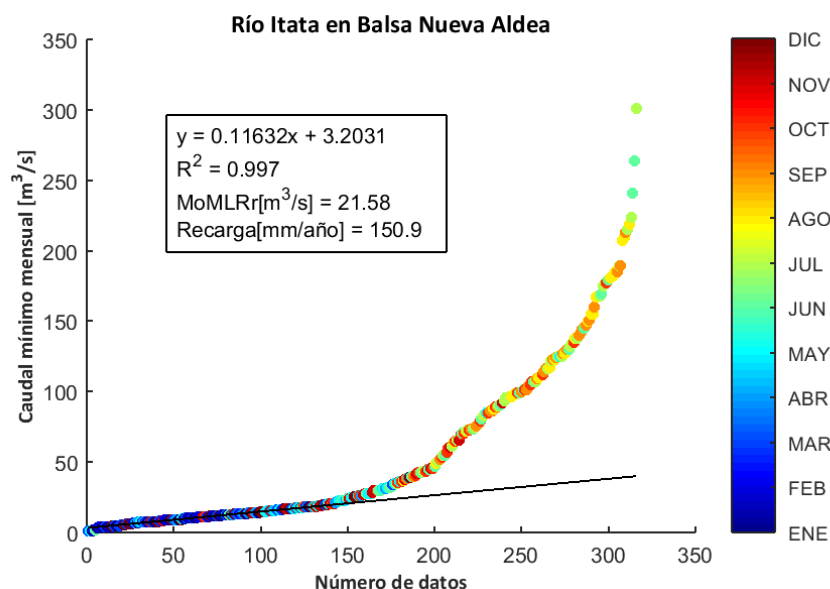


Figura C.18: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica “Río Itata en Balsa Nueva Aldea”.

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.11, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.11: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Itata en Balsa Nueva Aldea". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Itata en Balsa Nueva Aldea	48	19	48,1	186

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación “Río Itata en Balsa Nueva Aldea” sólo durante los años presentados en la

Tabla *c.12*, arrojando un valor promedio de 615,9 mm/año equivalente a un 65,1% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Nueva Aldea”).

Tabla C.12: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Itata en Balsa Nueva Aldea".

Años	Recarga [in]
1985	23,46
1986	28,99
1988	20,62
1989	14,17
1990	16,59
1991	30,12
1997	34,98
2000	35,28
2001	29,90
2002	38,97
2003	21,97
2004	24,89
2005	32,98
2007	16,58
2008	24,28
2009	24,92
2010	13,75
2011	21,98
2012	14,58
2013	15,99
Promedio [in]	24,25
Promedio [mm]	615,9

C.8. RÍO LONQUÉN EN TREHUACO

La estación fluviométrica "Río Lonquén en Trehuaco" está ubicada en la cuenca "Río Itata" de la región de Ñuble. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 1159,98 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 22,44 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Río Itata en Coelemu" presenta una precipitación promedio anual de 567,9 mm (Figura C.19).

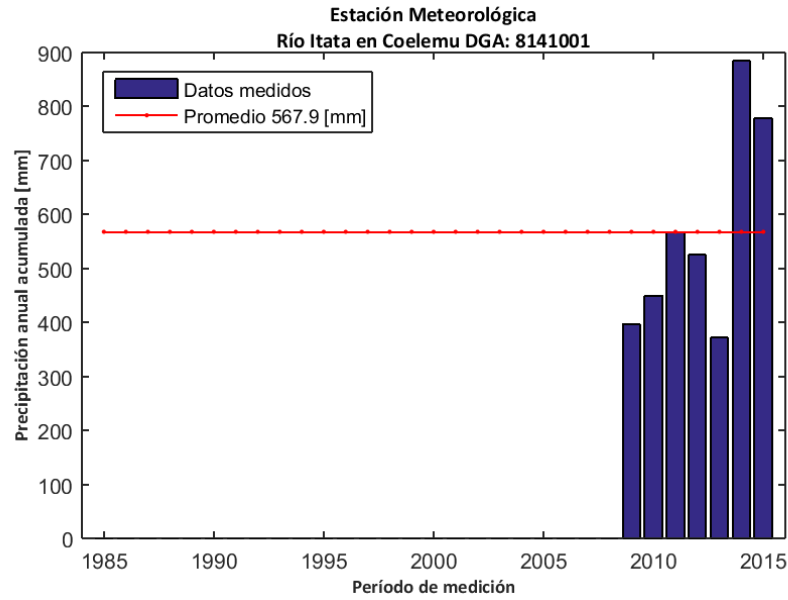


Figura C.19: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Río Itata en Coelemu”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,29 (Figura C.20), lo cual indica que la influencia de agua subterránea en el caudal no es significativa.

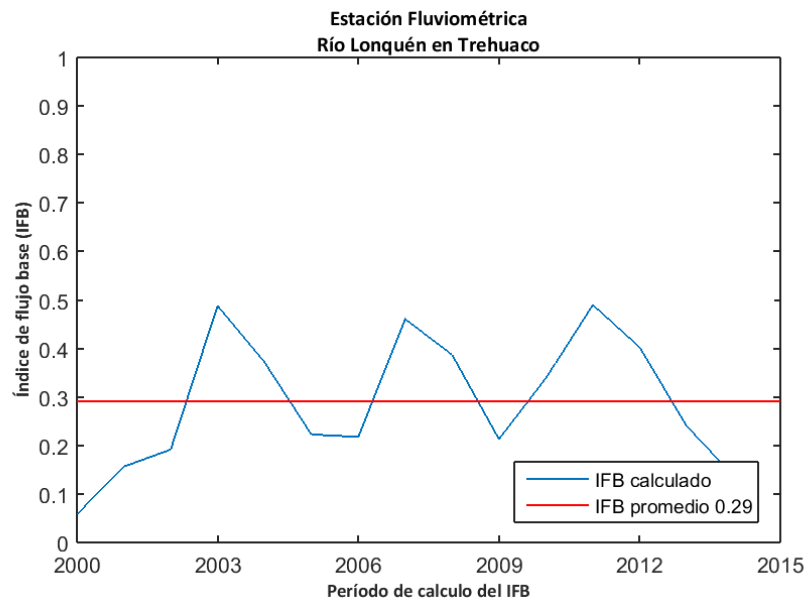


Figura C.20: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Lonquén en Trehuaco”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Lonquén en Trehuaco” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 35,7 mm/año (Figura

C.21) equivalente a un 6,3% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Río Itata en Coelemu”).

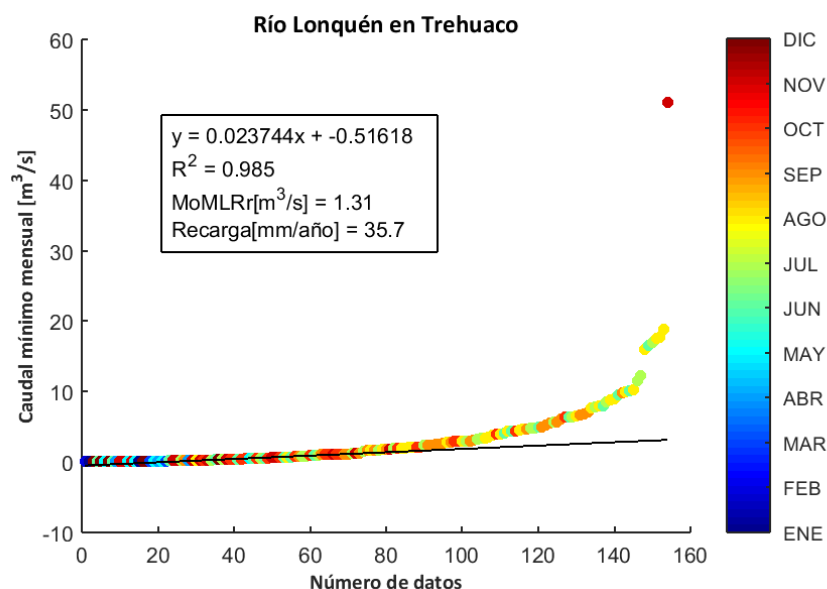


Figura C.21: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica “Río Lonquén en Trehuaco”.

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.13, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.13: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Lonquén en Trehuaco". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Lonquén en Trehuaco	49	9,7	25,4	62,3

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación “Río Lonquén en Trehuaco” sólo durante los años presentados en la

Tabla *C.14*, arrojando un valor promedio de 197,6 mm/año equivalente a un 34,8% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Río Itata en Coelemu”).

Tabla C.14: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Lonquén en Trehuaco".

Años	Recarga [in]
1986	7,78
Promedio [in]	7,78
Promedio [mm]	197,6

C.9. RÍO ANDALIÉN CAMINO A PENCO

La estación fluviométrica "Río Andalién Camino a Penco" está ubicada en la cuenca "Río Biobío" de la región del Biobío. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 750,25 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 11,17 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Concepción Edif. MOP" presenta una precipitación promedio anual de 1142,5 mm (Figura C.22).

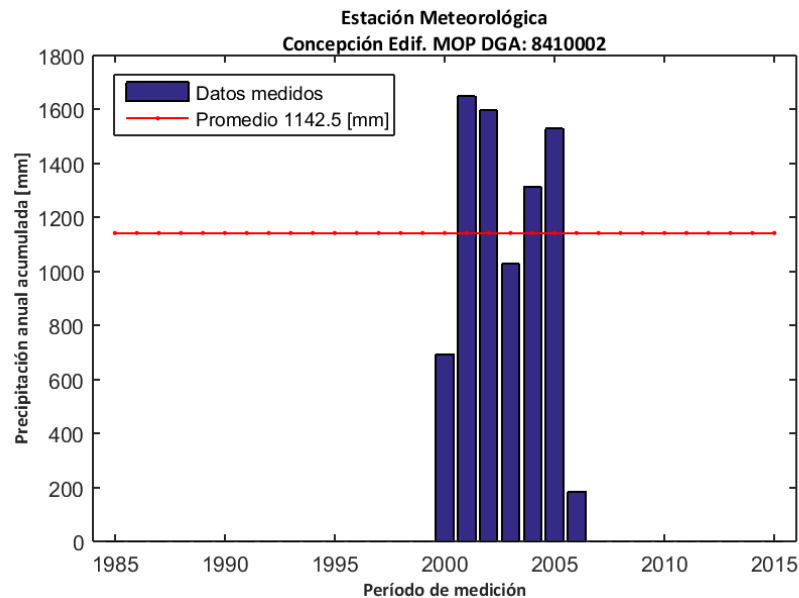


Figura C.22: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica "Concepción Edif. MOP".

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,61 (Figura C.23), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

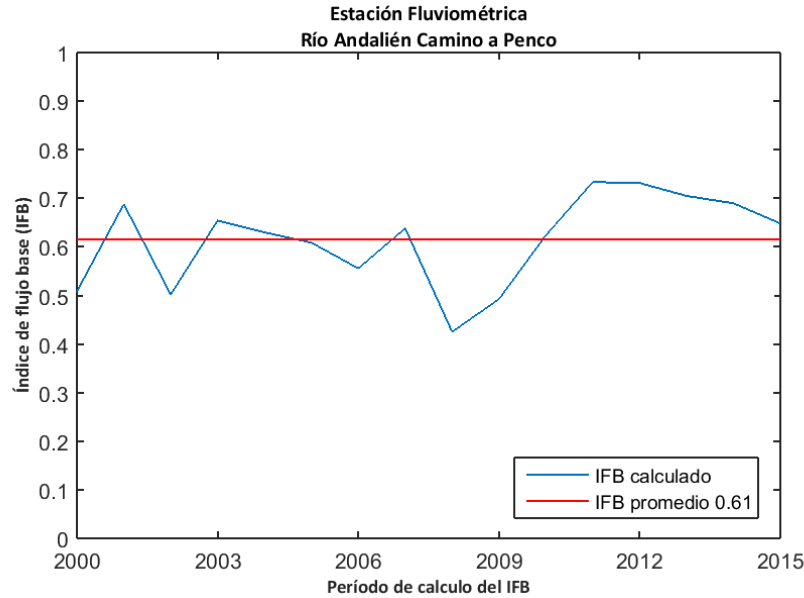


Figura C.23: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Andalién Camino a Penco”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Andalién Camino a Penco” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 102,9 mm/año (Figura C.24) equivalente a un 9,0% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Concepción Edif. MOP”).

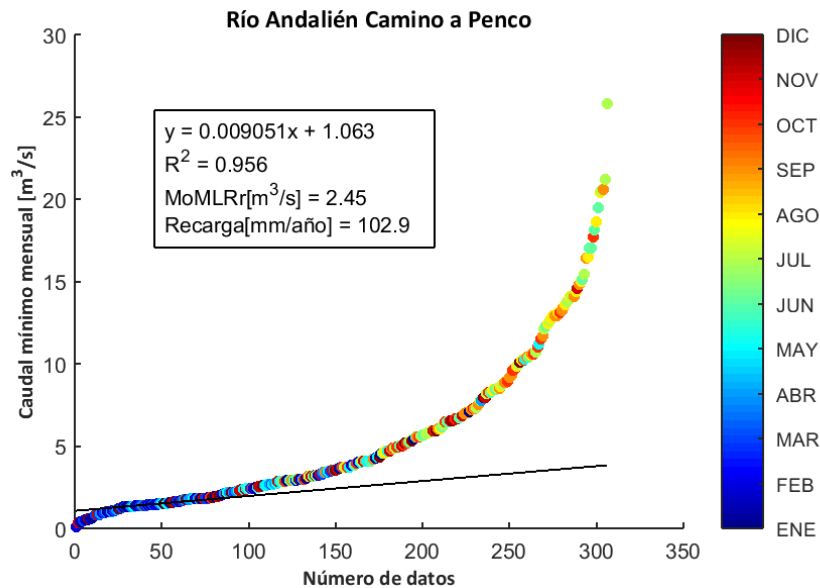


Figura C.24: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica “Río Andalién Camino a Penco”.

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.15, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga

mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.15: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Andalién Camino a Penco". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K_{min}	K_{med}	K_{max}
Río Andalién Camino a Penco	49	19,3	90,1	227,6

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Andalién Camino a Penco" sólo durante los años presentados en la Tabla C.16, arrojando un valor promedio de 330,3 mm/año equivalente a un 28,9% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Concepción Edif. MOP").

Tabla C.16: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Andalién Camino a Penco".

Años	Recarga [in]
1985	11,36
1986	13,25
1987	12,25
1989	8,08
1990	7,81
1991	9,33
1992	19,62
1997	16,26
1999	9,32
2005	20,45
2006	20,35
2007	10,32
2012	4,84
2013	9,92
2014	21,74
2015	13,14
Promedio [in]	13,00
Promedio [mm]	330,3

C.10. RÍO BIO-BÍO EN LLANQUÉN

La estación fluviométrica "Río Biobío en Llanquén" está ubicada en la cuenca "Río Biobío" de la región del Biobío. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 3355,61 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 134,76 m³/s. La

estación meteorológica más cercana “Río Biobío en Llanquén” presenta una precipitación promedio anual de 1704,3 mm (Figura C.25).

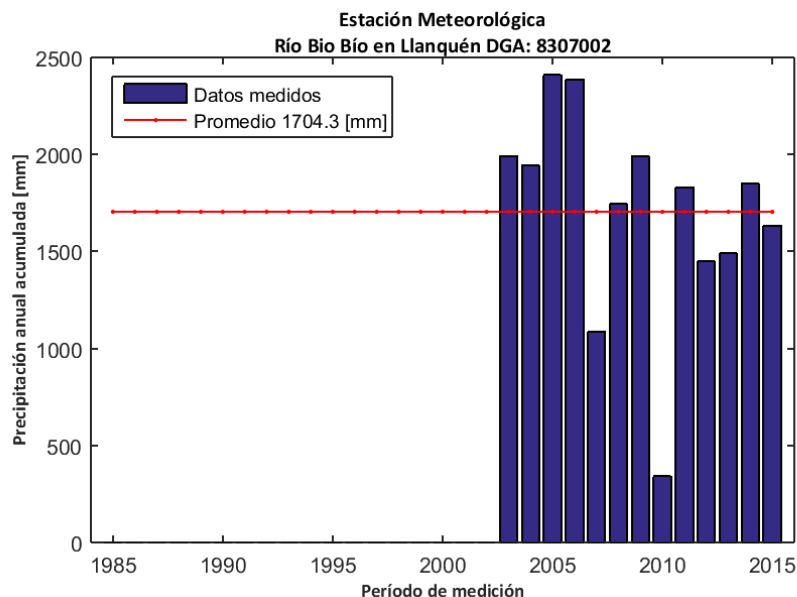


Figura C.25: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Río Biobío en Llanquén”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,78 (Figura C.26), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

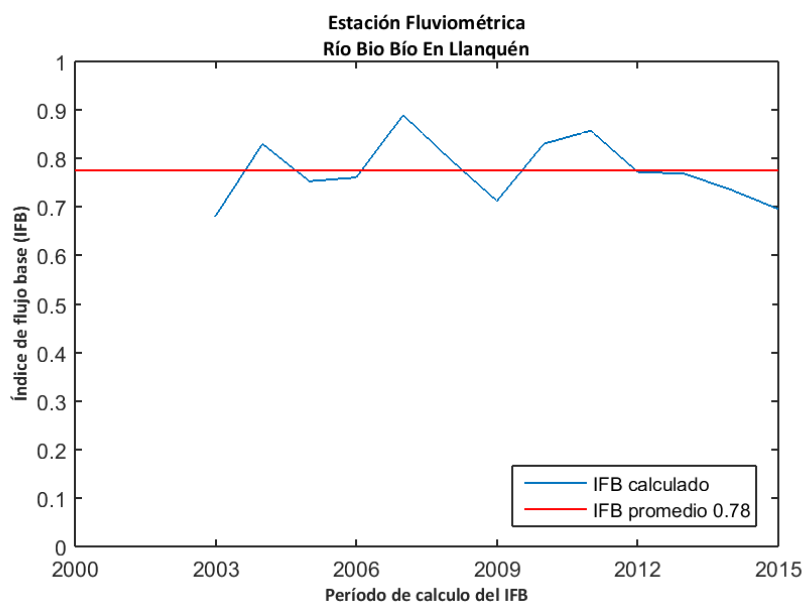


Figura C.26: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Biobío en Llanquén”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Biobío en Llanquén” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 374,4 mm/año (Figura C.27) equivalente a un 22,0% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Río Biobío en Llanquén”).

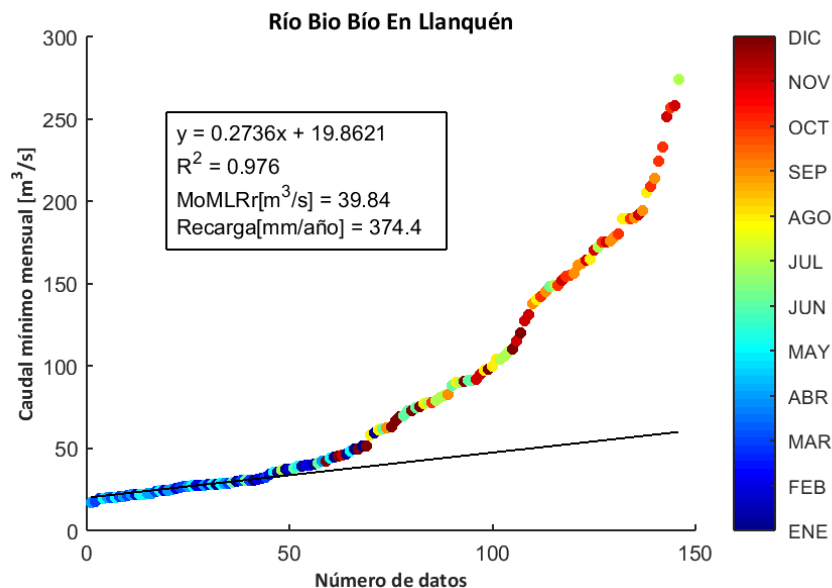


Figura C.27: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica “Río Biobío en Llanquén”.

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.17, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.17: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Biobío en Llanquén". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Biobío en Llanquén	27	41,2	72,6	122,7

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación “Río Biobío en Llanquén” sólo durante los años presentados en la

Tabla *c.18*, arrojando un valor promedio de 1160,5 mm/año equivalente a un 68,1% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Río Biobío en Llanquén”).

Tabla C.18: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Biobío en Llanquén".

Años	Recarga [in]
2004	46,23
2005	60,84
2006	76,59
2007	24,85
2008	43,14
2009	57,06
2010	37,24
2011	45,80
2012	30,47
2013	36,67
2014	43,90
2015	45,49
Promedio [in]	45,69
Promedio [mm]	1160,5

C.11. RÍO LOMÍN EN PUENTE LA JUNTA

Los datos de caudal en esta estación fluviométrica son insuficientes para realizar una correcta interpretación de los datos y obtener un valor de recarga certero. Por ello, no se aplicarán las metodologías de estimación de recarga.

C.12. RÍO PANGUE EN CAPTACIÓN

La estación fluviométrica "Río Pangue en Captación" está ubicada en la cuenca "Río Biobío" de la región del Biobío. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 135,55 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 10,40 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Embalse Pangue" presenta una precipitación promedio anual de 3037,4 mm (Figura C.28).

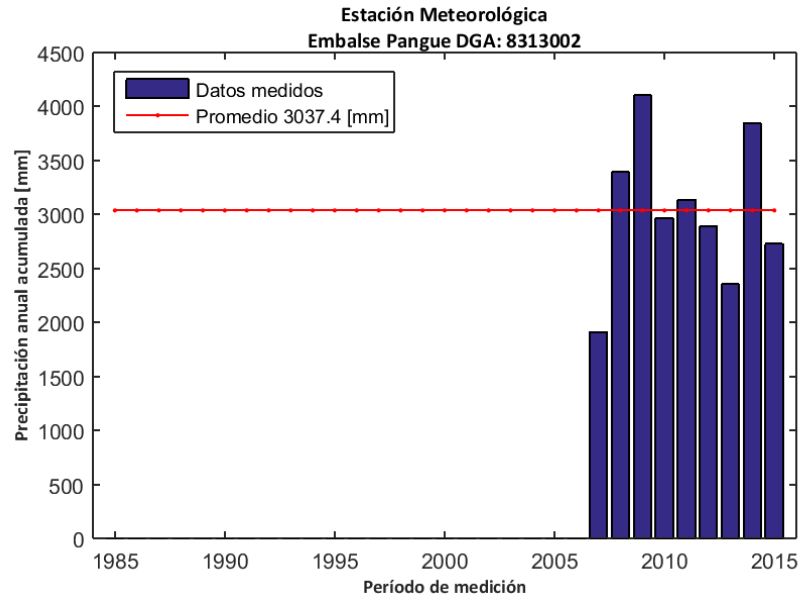


Figura C.28: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Embalse Pangue”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,70 (Figura C.29), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

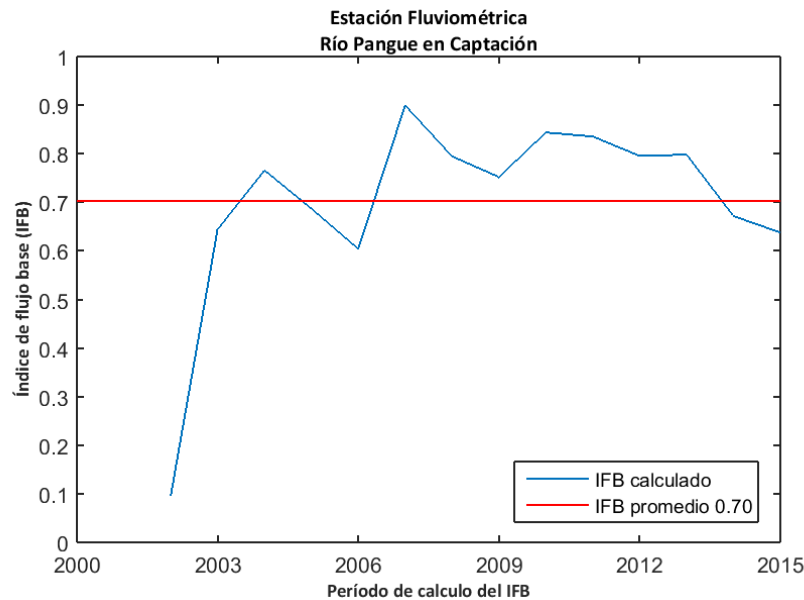


Figura C.29: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Pangue en Captación”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Pangue en Captación” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 1039,0 mm/año

(Figura C.30) equivalente a un 34,2% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Embalse Pangué”).

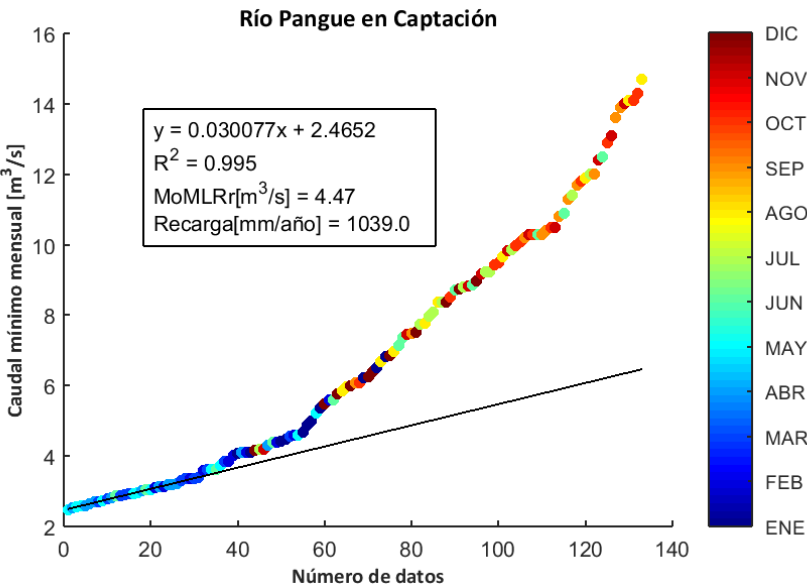


Figura C.30: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica “Río Pangué en Captación”.

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.19, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.19: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Pangué en Captación". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Pangué en Captación	17	38,7	80,2	238,2

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación “Río Pangué en Captación” sólo durante los años presentados en la Tabla C.20, arrojando un valor promedio de 2324,9 mm/año equivalente a un 76,5% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Embalse Pangué”).

Tabla C.20: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Pangué en Captación".

Años	Recarga [in]
2004	90,09
2008	104,93

Años	Recarga [in]
2009	113,33
2010	86,11
2011	97,12
2012	77,24
2013	71,90
Promedio [in]	91,53
Promedio [mm]	2324,9

C.13. RÍO HUEQUECURA AGUAS ARRIBA DE EMBALSE ANGOSTURA

La estación fluviométrica “Río Huequecura Aguas Arriba de Embalse Angostura” está ubicada en la cuenca “Río Biobío” de la región del Biobío. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 335,07 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 22,45 m³/s. La estación meteorológica más cercana “Río Huequecura Aguas Arriba de Embalse Angostura” presenta una precipitación promedio anual de 1405,6 mm (Figura C.31).

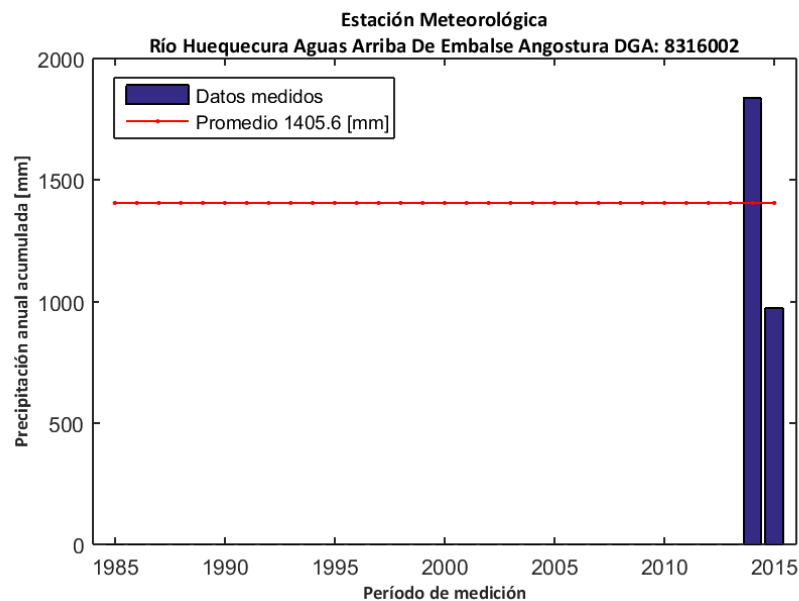


Figura C.31: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Río Huequecura Aguas Arriba de Embalse Angostura”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,43 (Figura C.32), lo cual indica que la influencia de agua subterránea en el caudal no es significativa.

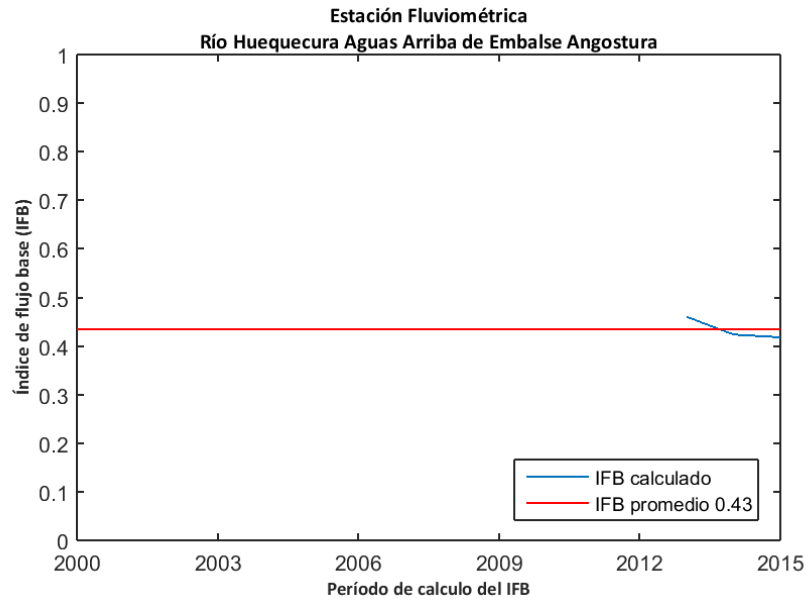


Figura C.32: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Huequecura Aguas Arriba de Embalse Angostura”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Huequecura Aguas Arriba de Embalse Angostura” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 40,0 mm/año (Figura C.33) equivalente a un 2,8% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Río Huequecura Aguas Arriba de Embalse Angostura”).

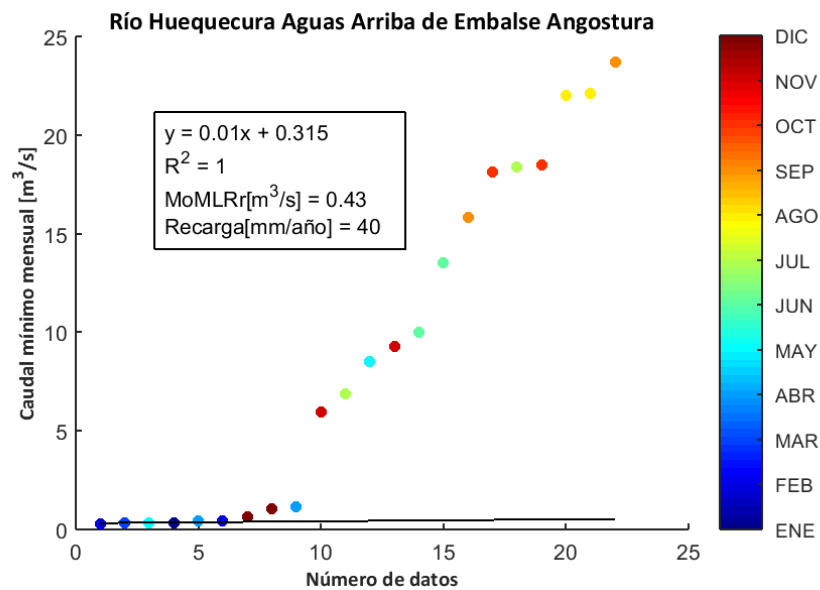


Figura C.33: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica “Río Huequecura Aguas Arriba de Embalse Angostura”.

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.21, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.21: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Huequecura Aguas Arriba De Embalse Angostura". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K_{min}	K_{med}	K_{max}
Río Huequecura Aguas Arriba de Embalse Angostura	5	20,3	39,4	45,2

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Huequecura Aguas Arriba de Embalse Angostura" sólo durante los años presentados en la Tabla C.22, arrojando un valor promedio de 1990,3 mm/año equivalente a un 141,6% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Río Huequecura Aguas Arriba de Embalse Angostura").

Tabla C.22: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Huequecura Aguas Arriba De Embalse Angostura".

Años	Recarga [in]
2014	78,36
Promedio [in]	78,36
Promedio [mm]	1990,3

C.14. RÍO LIRQUÉN EN CERRO EL PADRE

La estación fluviométrica "Río Lirquén en Cerro El Padre" está ubicada en la cuenca "Río Biobío" de la región del Biobío. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 103,35 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 6,2 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Cerro El Padre" presenta una precipitación promedio anual de 2016,6 mm (Figura C.34).

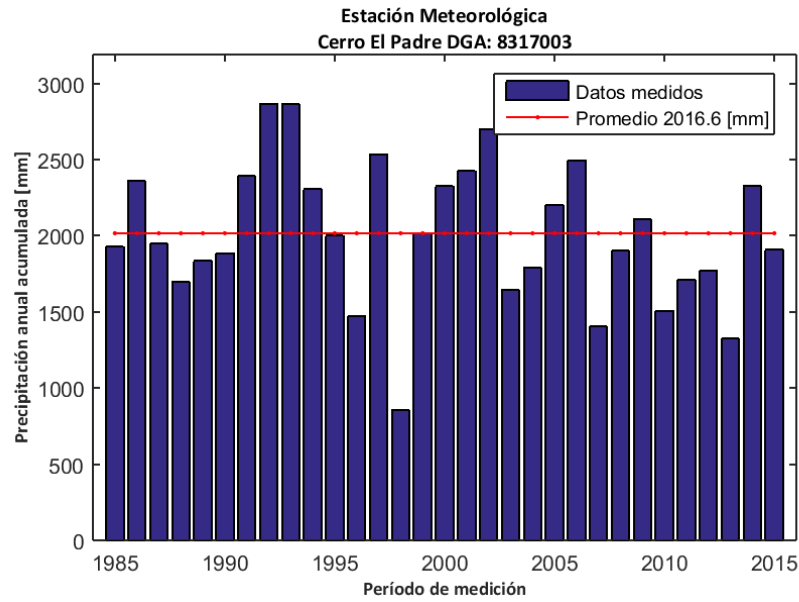


Figura C.34: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Cerro El Padre”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,54 (Figura C.35), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

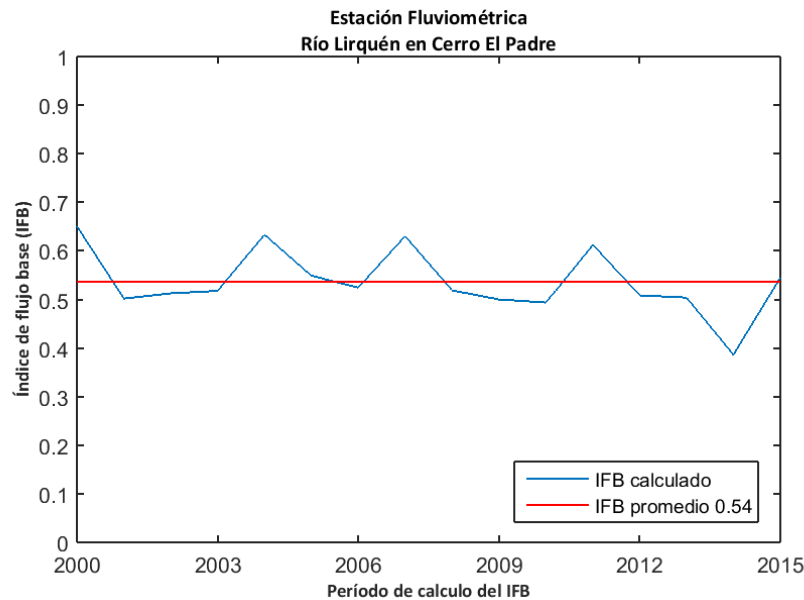


Figura C.35: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Lirquén en Cerro El Padre”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Lirquén en Cerro El Padre” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 175,9 mm/año

(Figura C.36) equivalente a un 8,7% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Cerro El Padre").

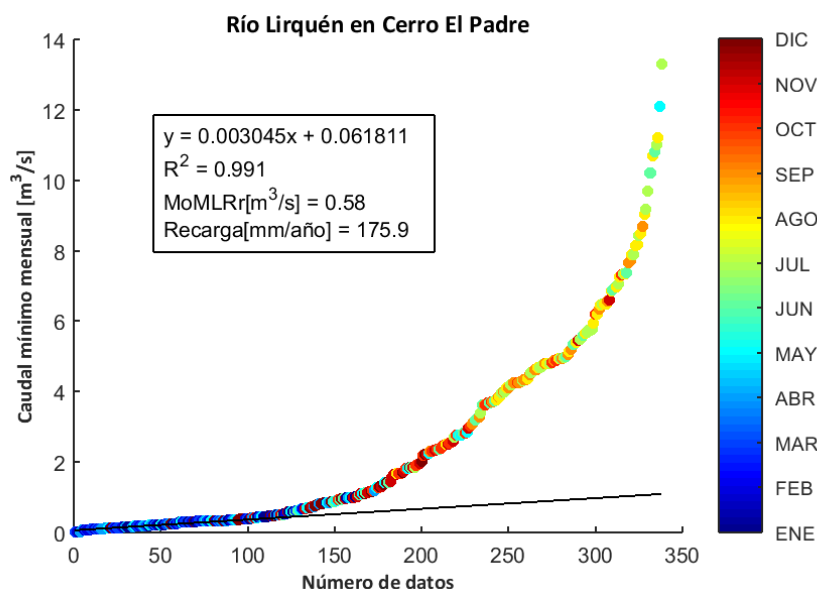


Figura C.36: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Lirquén en Cerro El Padre".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.23, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.23: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Lirquén en Cerro El Padre". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Lirquén en Cerro El Padre	49	21,8	43,9	76,6

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Lirquén en Cerro El Padre" sólo durante los años presentados en la

Tabla *c.24*, arrojando un valor promedio de 1559,2 mm/año equivalente a un 79,3% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Cerro El Padre”).

Tabla C.24: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Lirquén en Cerro El Padre".

Años	Recarga [in]
1985	58,54
1986	75,53
1987	60,5
1988	44,85
1989	47,03
1990	59,9
1992	95,03
1993	83,84
1994	56,77
1995	67,63
1996	36,95
1997	66,85
1998	18,19
1999	48,35
2000	71,85
2001	72,51
2002	92,27
2004	60,09
2005	73,04
2006	83,54
2007	39,91
2008	65,25
2013	43,18
2015	51,67
Promedio [in]	61,38
Promedio [mm]	1559,2

C.15. RÍO DUQUEUCO EN VILLUCURA

La estación fluviométrica "Río Duqueuco en Villucura" está ubicada en la cuenca "Río Biobío" de la región del Biobío. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 817,03 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 47,91 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Quilaco" presenta una precipitación promedio anual de 1443,2 mm (Figura C.37).

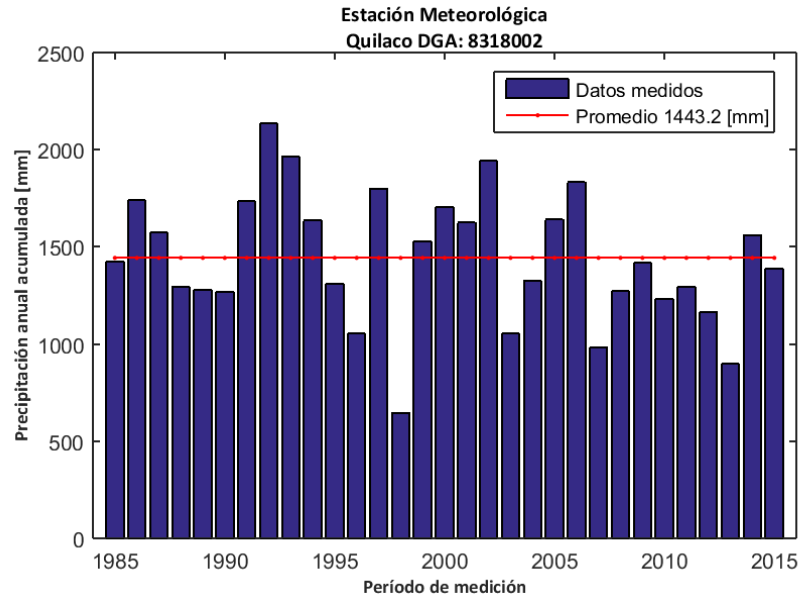


Figura C.37: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Quilaco”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,60 (Figura C.38), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

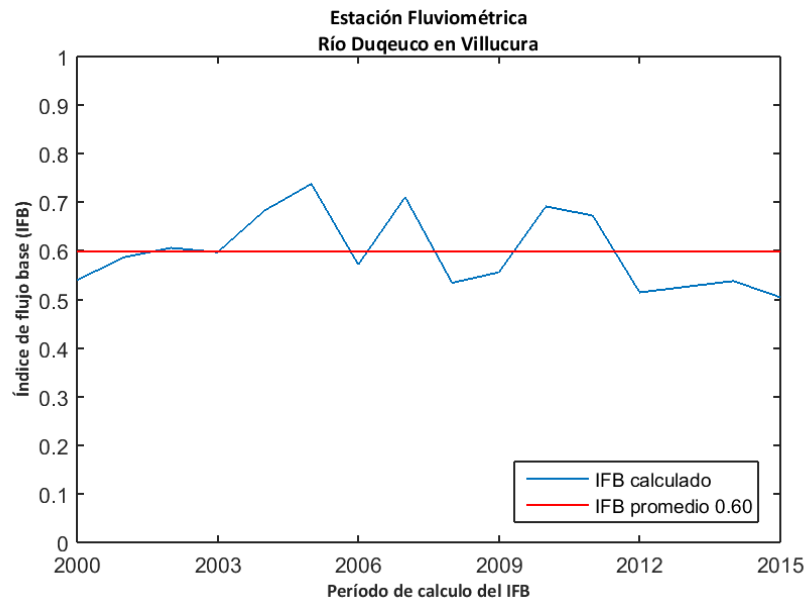


Figura C.38: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Duqueco en Villucura”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Duqueco en Villucura” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 525,6 mm/año (Figura

C.39) equivalente a un 36,4% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Quilaco”).

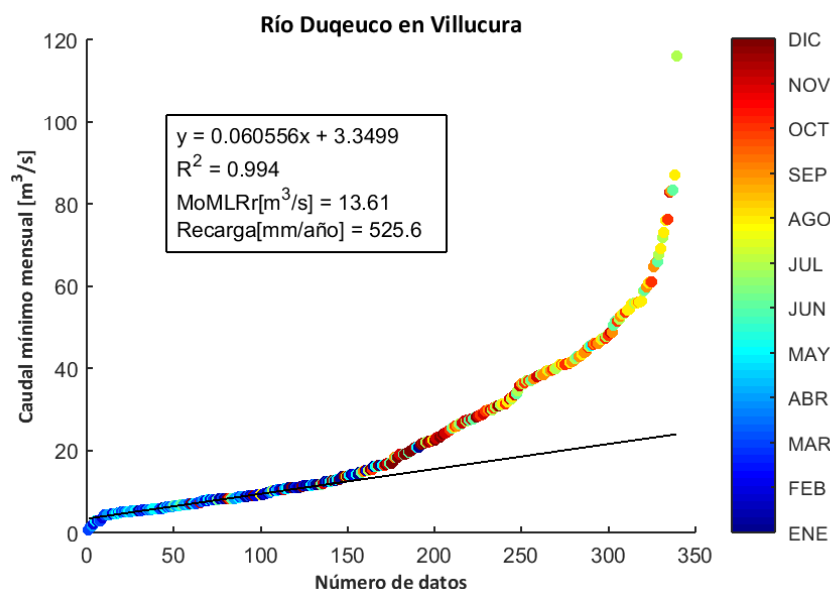


Figura C.39: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica “Río Duqueco en Villucura”.

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.25, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.25: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica “Río Duqueco en Villucura”. Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Duqueco en Villucura	16	29,8	51,3	81

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación “Río Duqueco en Villucura” sólo durante los años presentados en la

Tabla **c.26**, arrojando un valor promedio de 1681,1 mm/año equivalente a un 116,5% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Quilaco”).

Tabla C.26: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Duqueco en Villucura".

Años	Recarga [in]
1985	63,50
1986	77,80
1987	65,55
1988	57,80
1989	53,37
1990	56,52
1991	73,11
1992	91,39
1993	77,25
1994	58,32
1995	57,39
1996	30,57
1997	82,42
1998	20,68
2000	83,52
2001	102,06
2002	101,20
2003	58,24
2004	57,73
2006	91,67
2007	45,95
2008	61,07
2009	78,11
2010	41,37
2014	68,01
Promedio [in]	66,18
Promedio [mm]	1681,1

C.16. ESTERO PAILLAHUE EN EX LONGITUDINAL SUR

La estación fluviométrica "Estero Paillihue en Ex Longitudinal Sur" está ubicada en la cuenca "Río Biobío" de la región del Biobío. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 20,41 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 1,25 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Estero Quilque en Los Ángeles" presenta una precipitación promedio anual de 681,4 mm (Figura C.40).

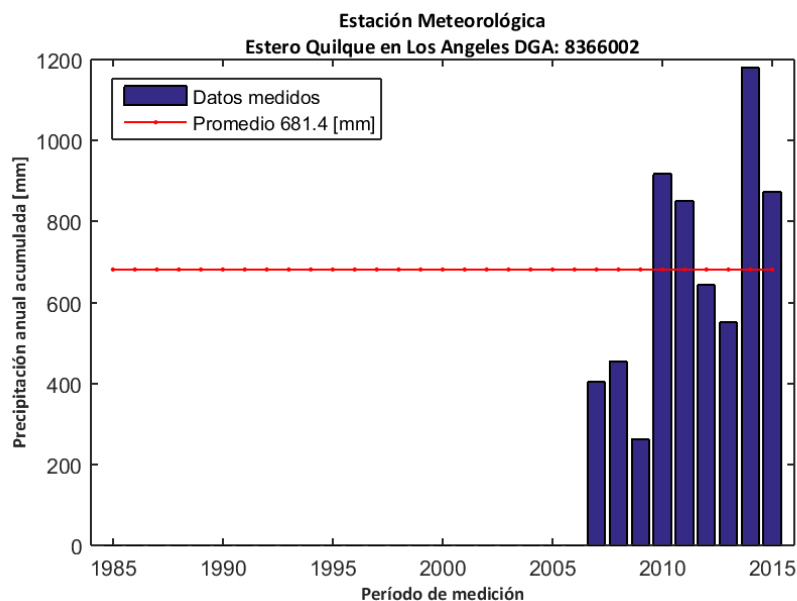


Figura C.40: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Estero Quilque en Los Ángeles”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,78 (Figura C.41), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

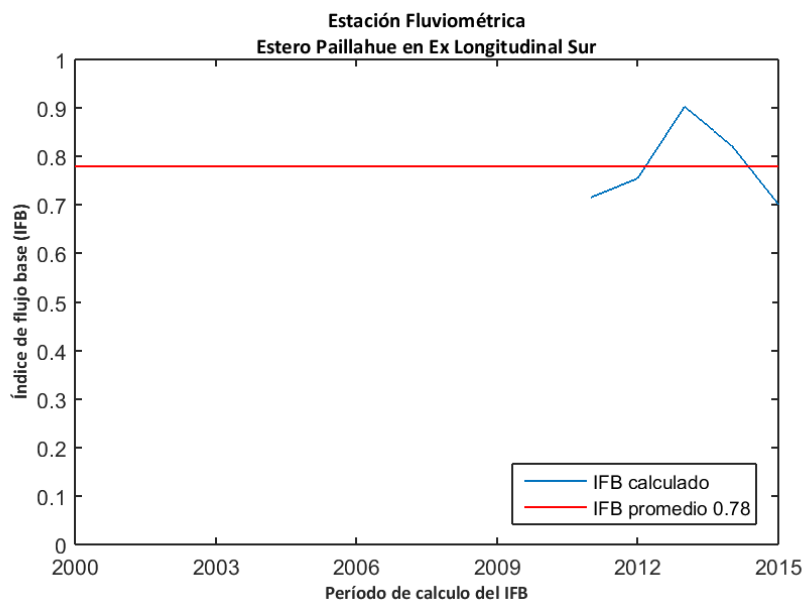


Figura C.41: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Huequecura Aguas Arriba de Embalse Angostura”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Estero Paillahue en Ex Longitudinal Sur” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 1310,8

mm/año (Figura C.42) equivalente a un 192% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Estero Quilque en Los Ángeles”).

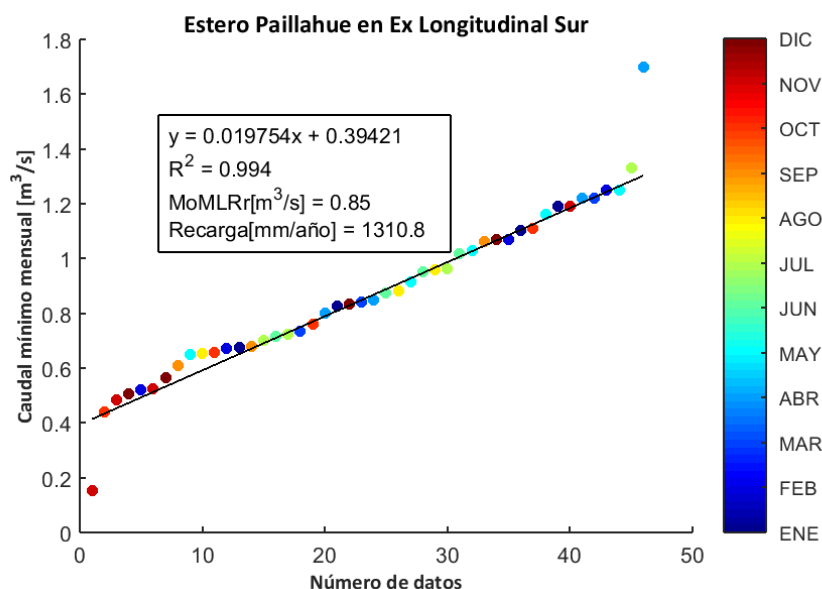


Figura C.42: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica “Estero Paillahue en Ex Longitudinal Sur”.

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, no se pudo estimar la recarga mediante RORA en la estación “Estero Paillahue en Ex Longitudinal Sur” durante el período de análisis.

C.17. RÍO MULCHÉN EN MULCHÉN

La estación fluviométrica “Río Mulchén en Mulchén” está ubicada en la cuenca “Río Biobío” de la región del Biobío. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 428,11 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 15,88 m³/s. La estación meteorológica más cercana “Mulchén” presenta una precipitación promedio anual de 1238,0 mm (Figura C.43).

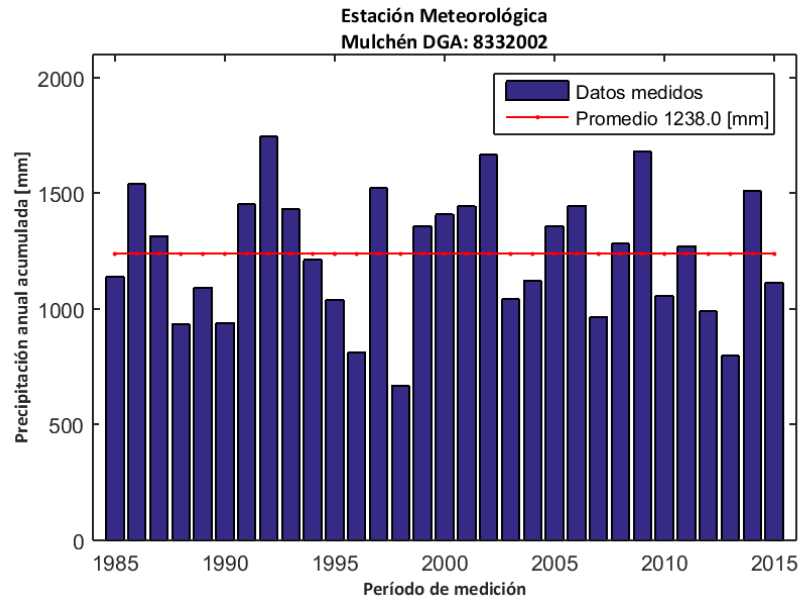


Figura C.43: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Mulchén”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,67 (Figura C.44), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

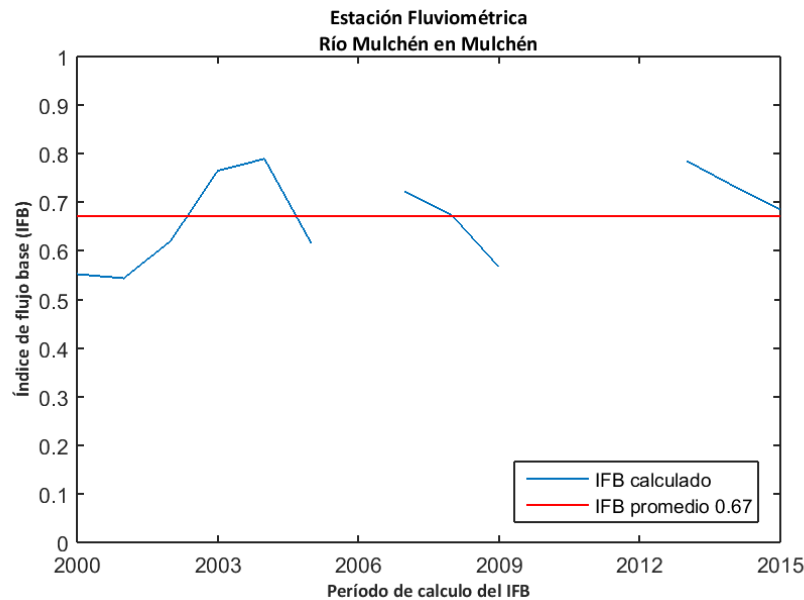


Figura C.44: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Mulchén en Mulchén”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Mulchén en Mulchén” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 364,3 mm/año (Figura

C.45) equivalente a un 29,4% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Mulchén”).

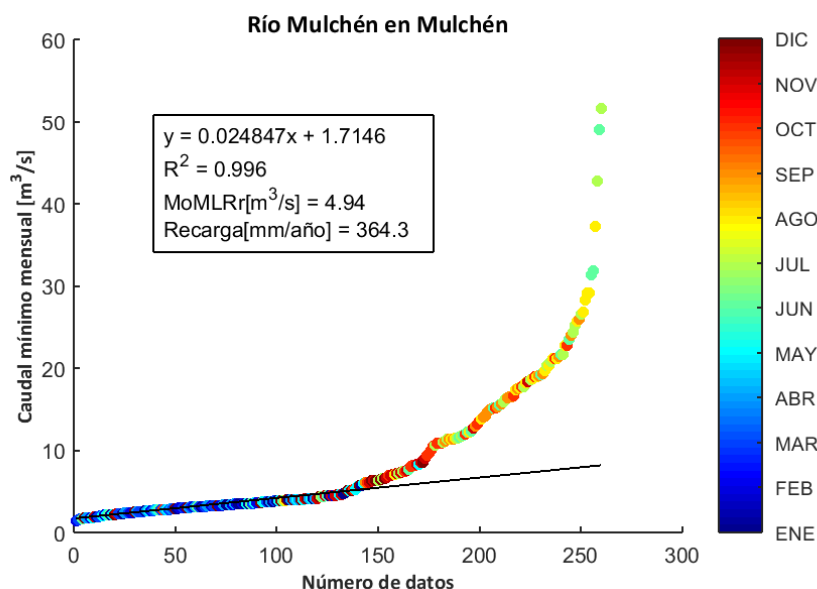


Figura C.45: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica “Río Mulchén en Mulchén”.

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.27, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.27: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Mulchén en Mulchén". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Mulchén en Mulchén	41	30,8	56	132,7

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación “Río Mulchén en Mulchén” sólo durante los años presentados en la

Tabla *c.28*, arrojando un valor promedio de 1118,6 mm/año equivalente a un 90,4% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Mulchén”).

Tabla C.28: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Mulchén en Mulchén".

Años	Recarga [in]
1985	39,51
1986	60,03
1987	44,52
1988	30,48
1989	36,37
1990	45,75
1991	49,2
1992	67,07
1993	61,42
1994	47,98
1995	45,57
1996	23,24
1998	13,36
2002	54,21
2004	37,33
2008	48,62
Promedio [in]	44,04
Promedio [mm]	1118,6

C.18. RÍO BUREO EN MULCHÉN

La estación fluviométrica "Río Bureo en Mulchén" está ubicada en la cuenca "Río Biobío" de la región del Biobío. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 540,77 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 35,31 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Mulchén" presenta una precipitación promedio anual de 1238,0 mm (Figura C.46).

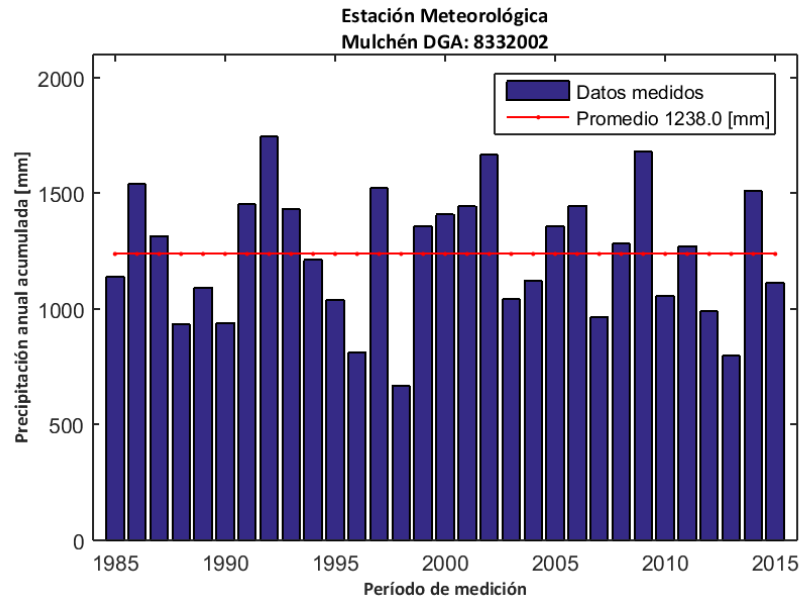


Figura C.46: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Mulchén”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,57 (Figura C.47), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

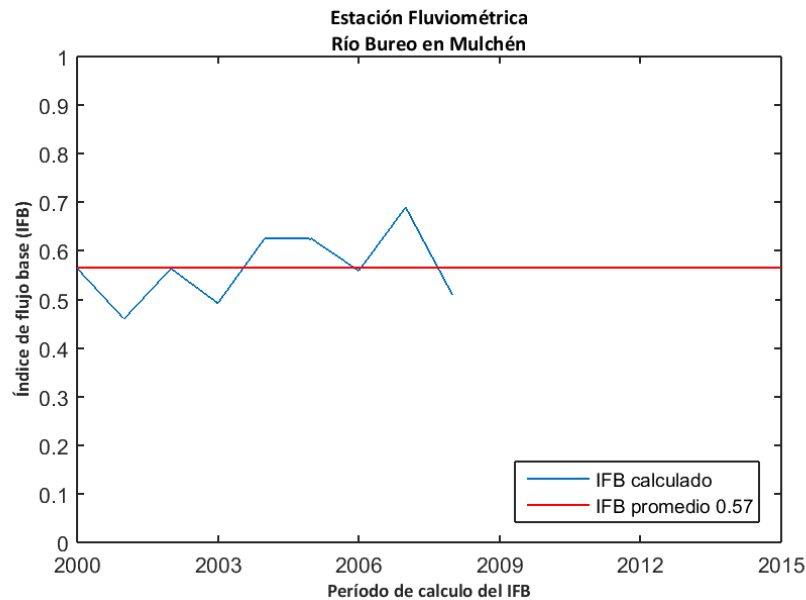


Figura C.47: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Bureo en Mulchén”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Bureo en Mulchén” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 431,0 mm/año (Figura

C.48) equivalente a un 34,8% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Mulchén”).

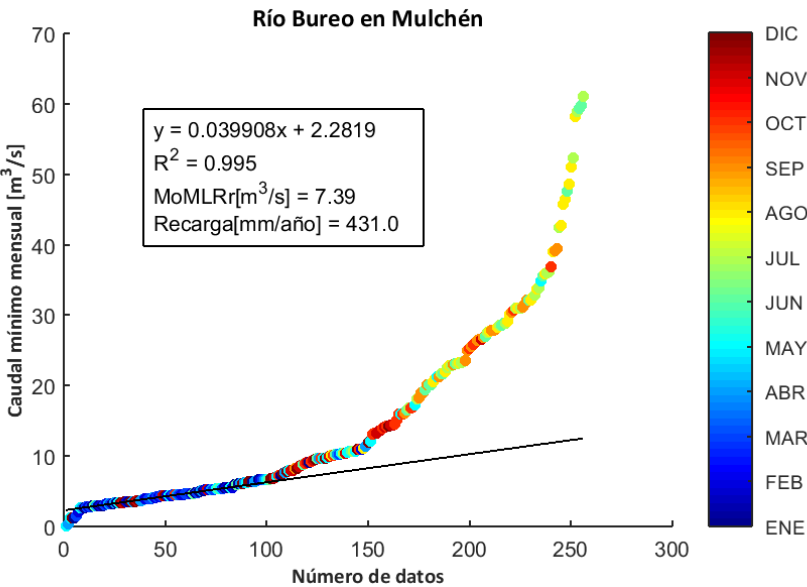


Figura C.48: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica “Río Bureo en Mulchén”.

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.29, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.29: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Bureo en Mulchén". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Bureo en Mulchén	39	22,7	59,3	180,5

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación “Río Bureo en Mulchén” sólo durante los años presentados en la Tabla C.30, arrojando un valor promedio de 1631,7 mm/año equivalente a un 131,8% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Mulchén”).

Tabla C.30: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Bureo en Mulchén".

Años	Recarga [in]
1985	60,29
1986	94,74
1987	70,73

Años	Recarga [in]
1988	46,34
1989	63,30
1990	57,29
1991	72,63
1992	87,91
1993	86,68
1995	60,28
1996	35,89
1997	66,64
1998	21,13
1999	54,69
2000	75,33
2005	73,97
Promedio [in]	64,24
Promedio [mm]	1631,7

C.19. RÍO RENAICO EN LONGITUDINAL

La estación fluviométrica “Río Renaico en Longitudinal” está ubicada en la cuenca “Río Biobío” de la región del Biobío. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 688,05 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 40,79 m³/s. La estación meteorológica más cercana “Río Mininco en Longitudinal” presenta una precipitación promedio anual de 879,9 mm (Figura C.49).

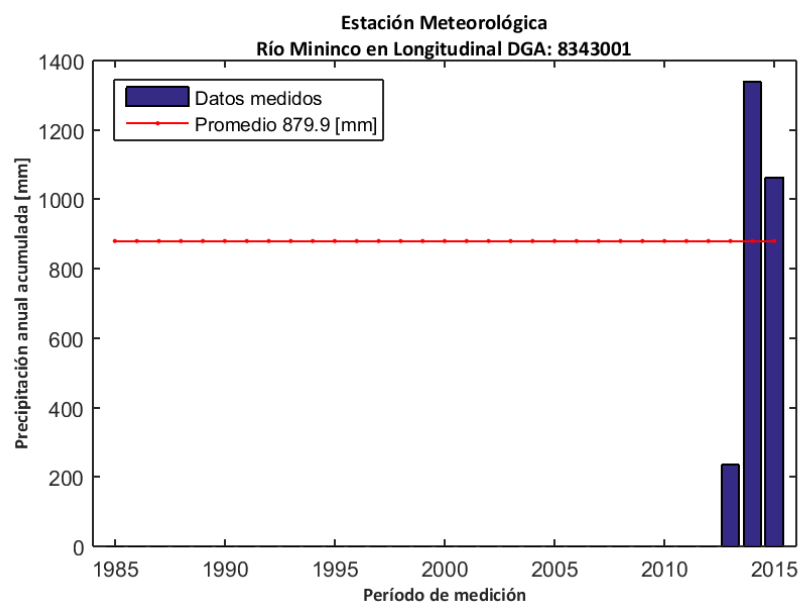


Figura C.49: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Río Mininco en Longitudinal”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arroja un promedio de 0,59 (Figura C.50), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

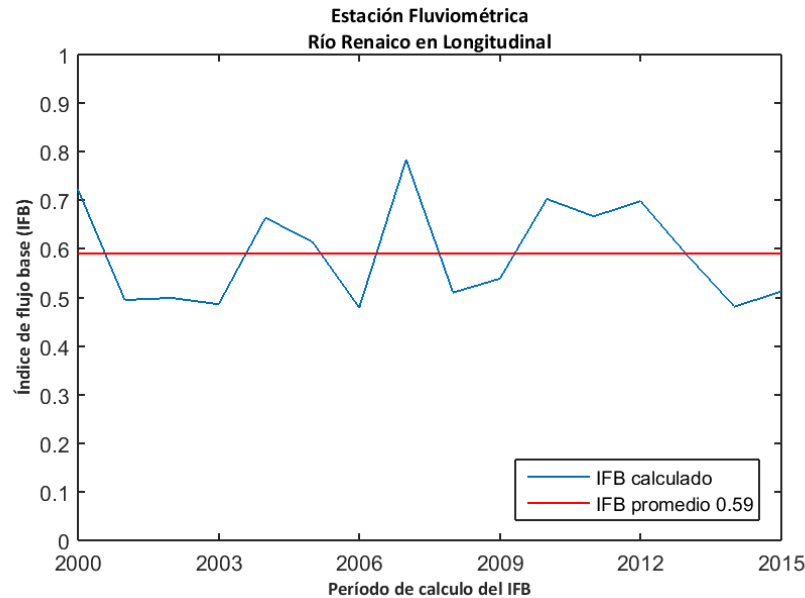


Figura C.50: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Renaico en Longitudinal”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Renaico en Longitudinal” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 466,5 mm/año (Figura C.51) equivalente a un 53,0% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Río Mininco en Longitudinal”).

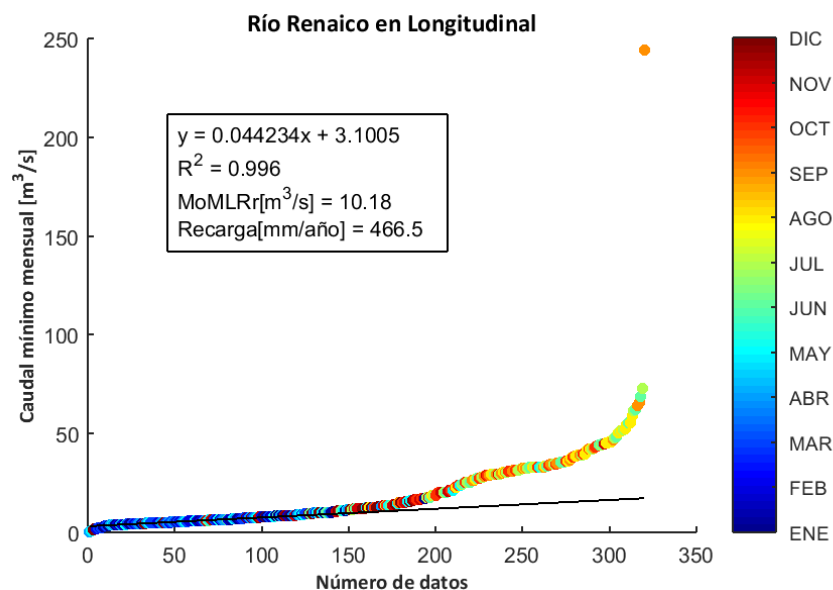


Figura C.51: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica “Río Renaico en Longitudinal”.

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.31, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.31: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Renaico en Longitudinal". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Renaico en Longitudinal	46	21,3	60,7	222,8

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación “Río Renaico en Longitudinal” sólo durante los años presentados en la Tabla C.32, arrojando un valor promedio de 1655,0 mm/año equivalente a un 188,1% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Río Mininco en Longitudinal”).

Tabla C.32: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Renaico en Longitudinal".

Años	Recarga [in]
1985	57,85
1986	77,15
1987	63,94

Años	Recarga [in]
1989	46,59
1990	52,36
1991	64,53
1992	76,26
1993	74,49
1994	68,27
1995	61,21
1996	35,18
1997	56,35
1999	61,50
2000	139,07
2001	82,83
2002	77,00
2003	50,63
2005	63,24
2012	51,78
2013	42,90
Promedio [in]	65,16
Promedio [mm]	1655,0

C.20. RÍO MININCO EN LONGITUDINAL

La estación fluviométrica “Río Mininco en Longitudinal” está ubicada en la cuenca “Río Biobío” de la región del Biobío. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 440,24 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 14,69 m³/s. La estación meteorológica más cercana “Río Mininco en Longitudinal” presenta una precipitación promedio anual de 879,9 mm (Figura C.52).

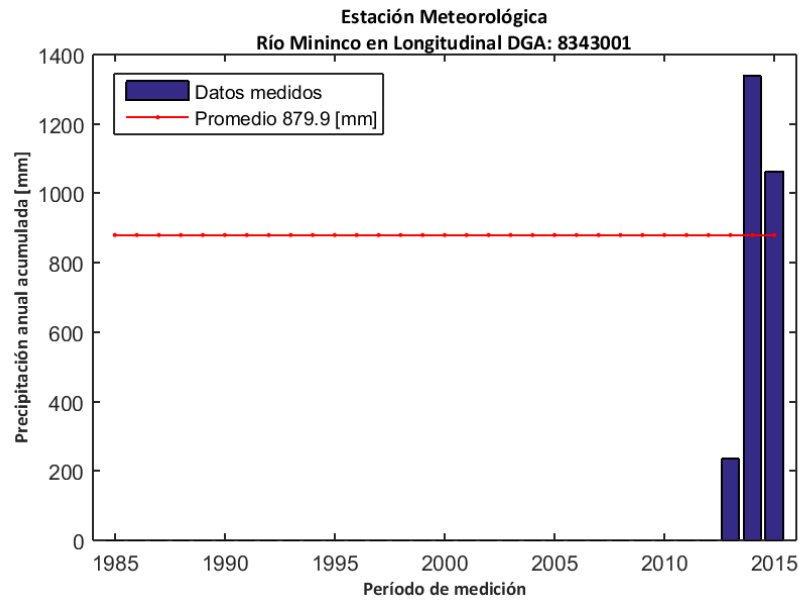


Figura C.52: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Río Mininco en Longitudinal”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arroja un promedio de 0,72 (Figura C.53), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

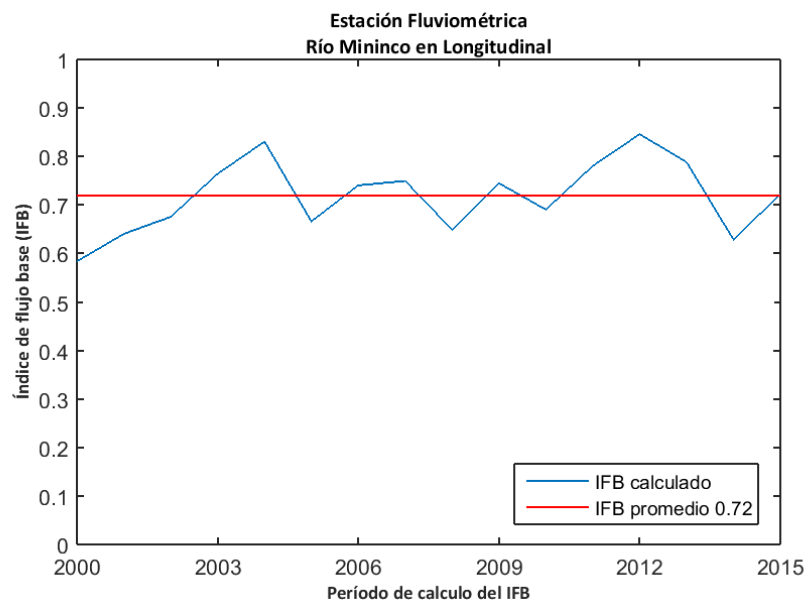


Figura C.53: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Mininco en Longitudinal”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Mininco en Longitudinal” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 244,9 mm/año

(Figura C.54) equivalente a un 27,8% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Río Mininco en Longitudinal”).

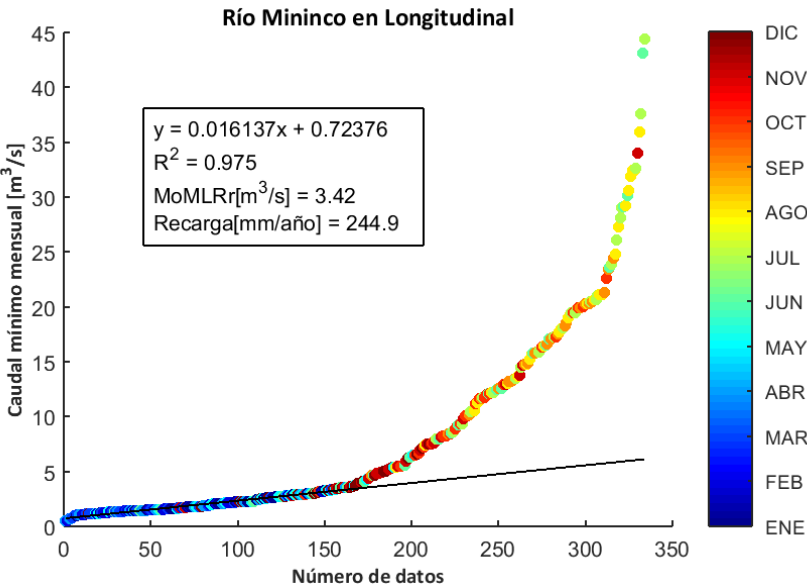


Figura C.54: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica “Río Mininco en Longitudinal”.

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.33, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.33: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Mininco en Longitudinal". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	Kmin	Kmed	Kmax
Río Mininco en Longitudinal	47	24,6	69,3	122,2

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación “Río Mininco en Longitudinal” sólo durante los años presentados en la

Tabla C.34, arrojando un valor promedio de 998,4 mm/año equivalente a un 113,5% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Rio Mininco en Longitudinal”).

Tabla C.34: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Mininco en Longitudinal".

Años	Recarga [in]
1985	38,23
1986	52,73
1989	31,68
1990	41,88
1992	58,95
1993	45,60
1994	39,25
2001	42,78
2002	47,70
2003	28,28
2004	35,69
2005	56,31
2006	54,99
2007	27,30
2008	39,92
2009	38,67
2010	29,00
2011	31,57
2012	21,13
2013	24,46
Promedio [in]	39,31
Promedio [mm]	998,4

C.21. RÍO MALLECO EN COLLIPULLI

La estación fluviométrica "Río Malleco en Collipulli" está ubicada en la cuenca "Río Biobío" de la región del Biobío. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 415,08 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 24,59 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Río Malleco en Collipulli" presenta una precipitación promedio anual de 1013,9 mm (Figura C.55).

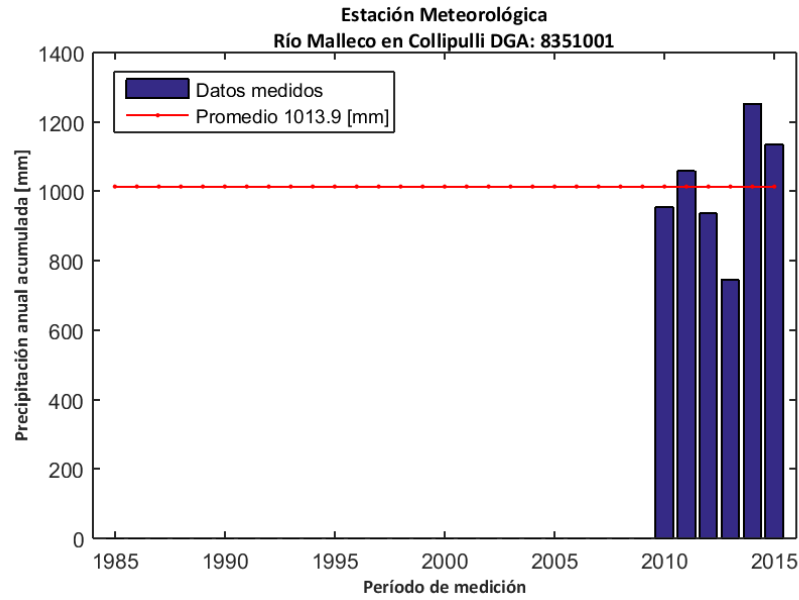


Figura C.55: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Río Malleco en Collipulli”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,48 (Figura C.56), lo cual indica que la influencia de agua subterránea en el caudal no es significativa.

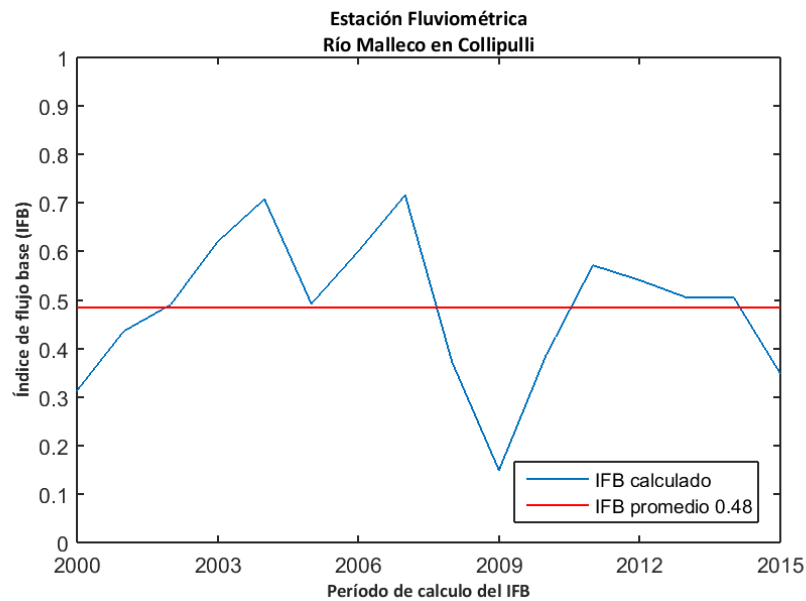


Figura C.56: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Malleco en Collipulli”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Malleco en Collipulli” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 348,5 mm/año (Figura

C.57) equivalente a un 34,4% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Río Malleco en Collipulli”).

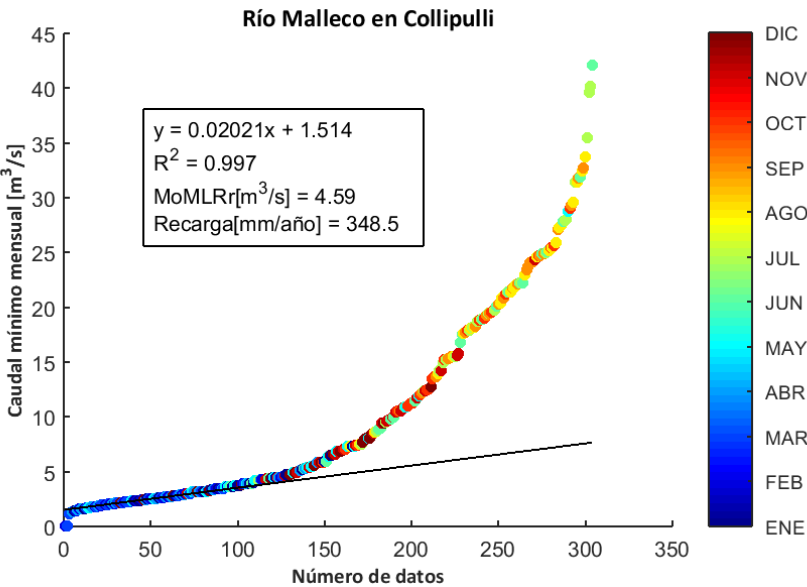


Figura C.57: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica “Río Malleco en Collipulli”.

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.35, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.35: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Malleco en Collipulli". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Malleco en Collipulli	48	23,6	53,1	112,9

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación “Río Malleco en Collipulli” sólo durante los años presentados en la Tabla C.36, arrojando un valor promedio de 1493,4 mm/año equivalente a un 147,3% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Río Malleco en Collipulli”).

Tabla C.36: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Malleco en Collipulli".

Años	Recarga [in]
1988	43,07
1989	50,13
1990	56,89
1991	65,44

Años	Recarga [in]
1992	90,03
1993	77,80
1995	68,41
1996	35,25
1997	71,60
1998	23,42
1999	54,99
2006	78,72
2007	47,14
2011	57,89
2013	38,79
2014	81,15
Promedio [in]	58,80
Promedio [mm]	1493,4

C.22. RÍO RAHUE EN QUEBRADA CULÉN

La estación fluviométrica “Río Rahue en Quebrada Culén” está ubicada en la cuenca “Río Biobío” de la región del Biobío. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 670,55 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 5,61 m³/s. La estación meteorológica más cercana “El Vergel (Angol)” presenta una precipitación promedio anual de 745,7 mm (Figura C.58).

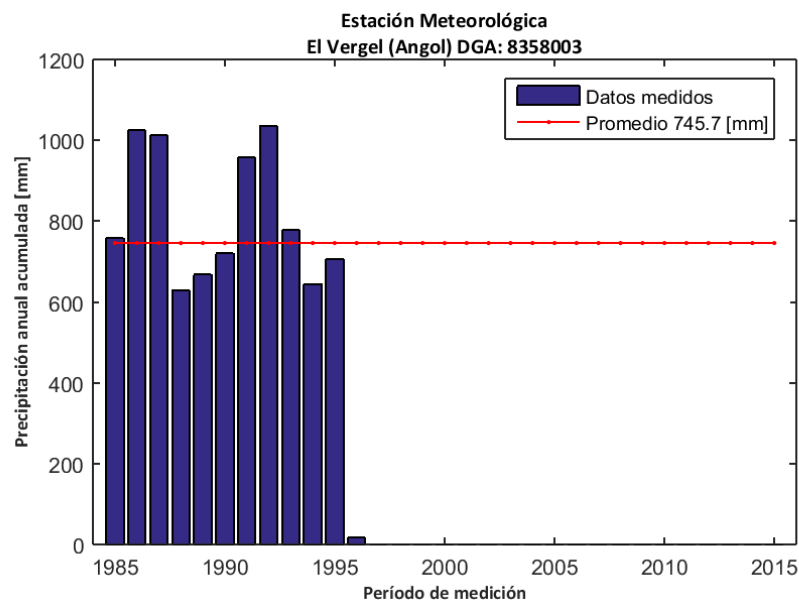


Figura C.58: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “El Vergel (Angol)”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,50 (Figura C.59), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

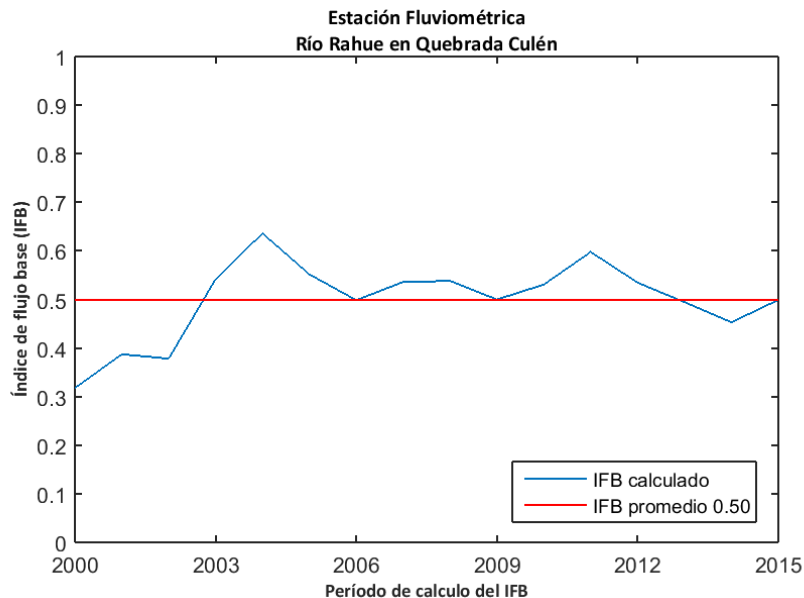


Figura C.59: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Rahue en Quebrada Culén”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Rahue en Quebrada Culén” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 16,7 mm/año (Figura C.60) equivalente a un 2,2% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“El Vergel (Angol)”).

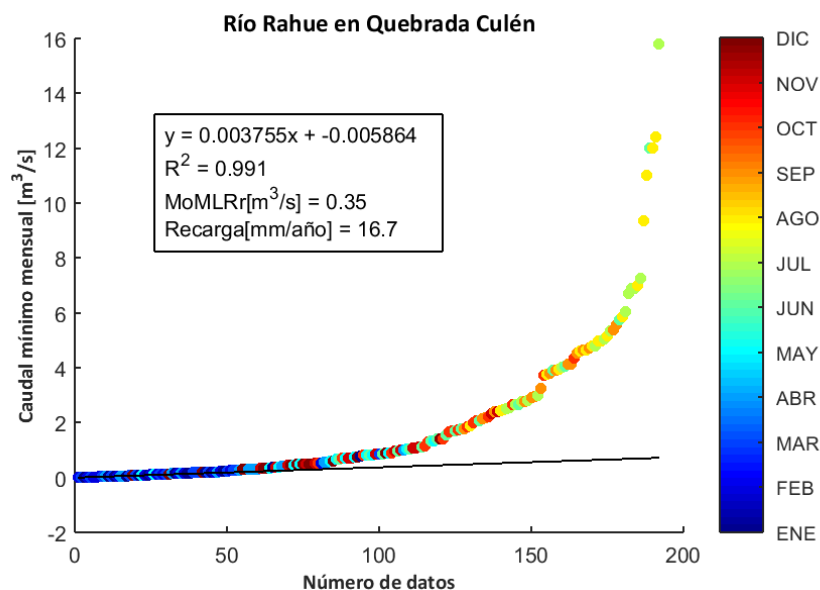


Figura C.60: Estimación de recarga mediante el método MoMLRR en la estación fluviométrica "Río Rahue en Quebrada Culén".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.37, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.37: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Rahue en Quebrada Culén". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Rahue en Quebrada Culén	22	14,3	35,2	80

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Rahue en Quebrada Culén" sólo durante los años presentados en la Tabla C.38, arrojando un valor promedio de 179,6 mm/año equivalente a un 24,1% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("El Vergel (Angol)").

Tabla C.38: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Rahue en Quebrada Culén".

Años	Recarga [in]
1999	8,32
2002	11,84
2003	7,18
2004	5,66

Años	Recarga [in]
2007	6,47
2011	7,67
2012	4,28
2013	3,28
2014	8,93
Promedio [in]	7,07
Promedio [mm]	179,6

C.23. RÍO NICODAHUE EN PICHÚN

La estación fluviométrica “Río Nicodahue en Pichún” está ubicada en la cuenca “Río Biobío” de la región del Biobío. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 739,57 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 23,29 m³/s. La estación meteorológica más cercana “Río Biobío en Coihue” presenta una precipitación promedio anual de 661,1 mm (Figura C.61).

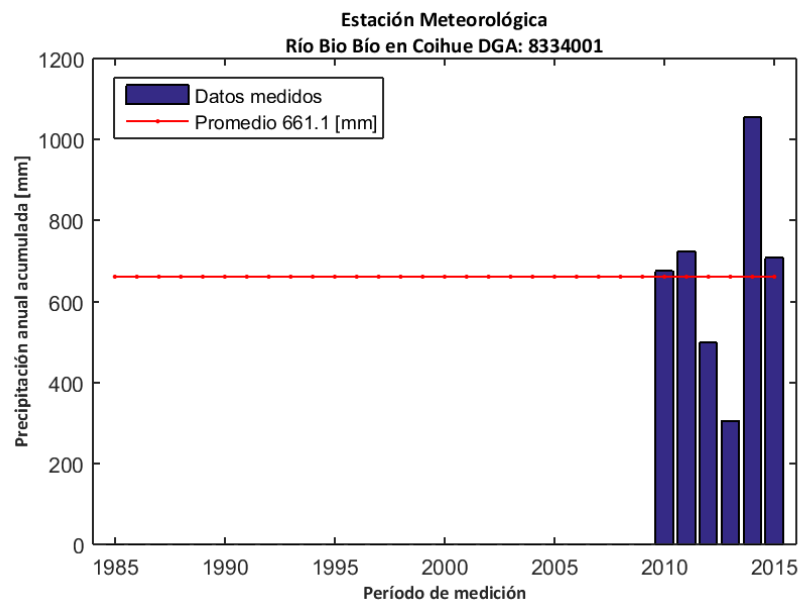


Figura C.61: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Río Biobío en Coihue”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,64 (Figura C.62), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

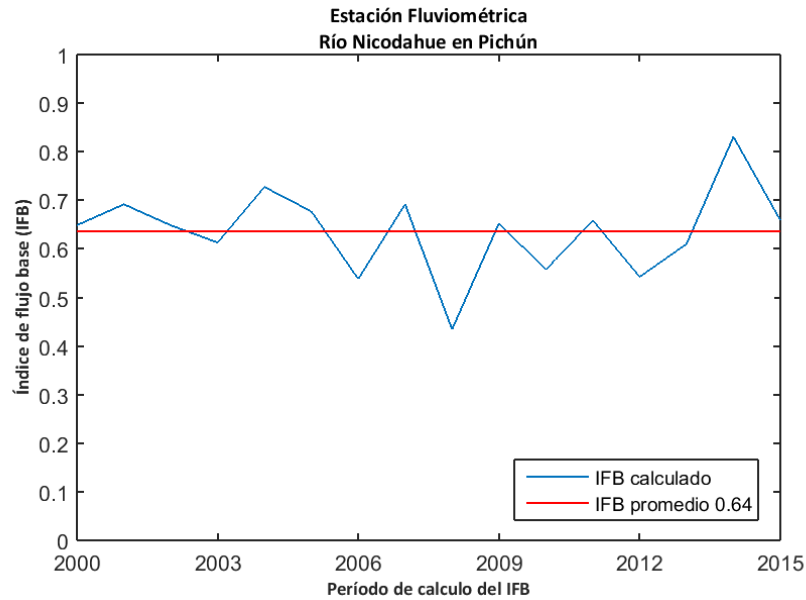


Figura C.62: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Nicodahue en Pichún”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Nicodahue en Pichún” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 365,7 mm/año (Figura C.63) equivalente a un 55,3% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Río Biobío en Coihue”).

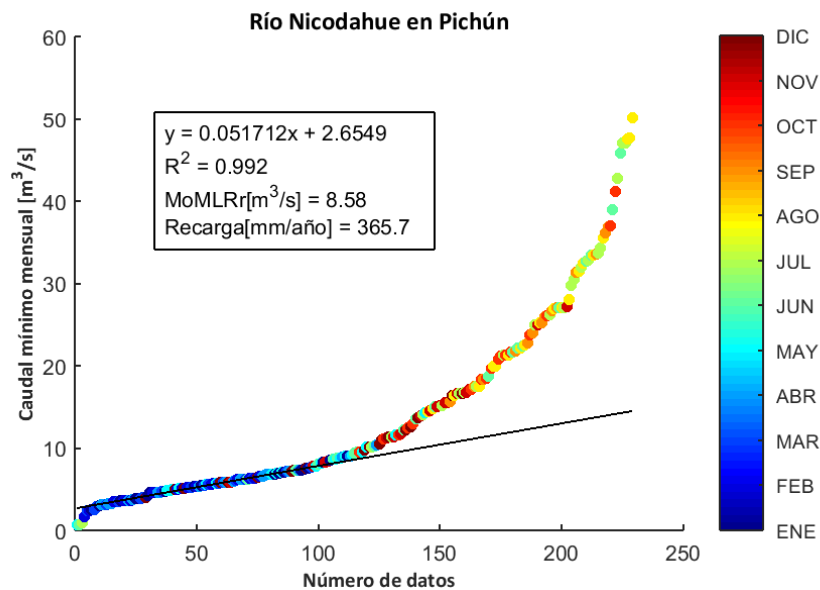


Figura C.63: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Nicodahue en Pichún".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.39, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga

mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.39: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Nicodahue en Pichún". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Nicodahue en Pichún	45	63,6	94,8	177,3

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Nicodahue en Pichún" sólo durante los años presentados en la Tabla C.40, arrojando un valor promedio de 1082,2 mm/año equivalente a un 163,7% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Río Biobío en Coihue").

Tabla C.40: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Nicodahue en Pichún".

Años	Recarga [in]
1993	46,62
1999	32,73
2000	44,36
2001	45,40
2004	38,55
2005	47,97
Promedio [in]	42,61
Promedio [mm]	1082,2

C.24. ESTERO QUILQUE EN LOS ÁNGELES

La estación fluviométrica "Estero Quilque en Los Ángeles" está ubicada en la cuenca "Río Biobío" de la región del Biobío. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 17,89 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 2,52 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Estero Quilque en Los Ángeles" presenta una precipitación promedio anual de 681,4 mm (Figura C.64).

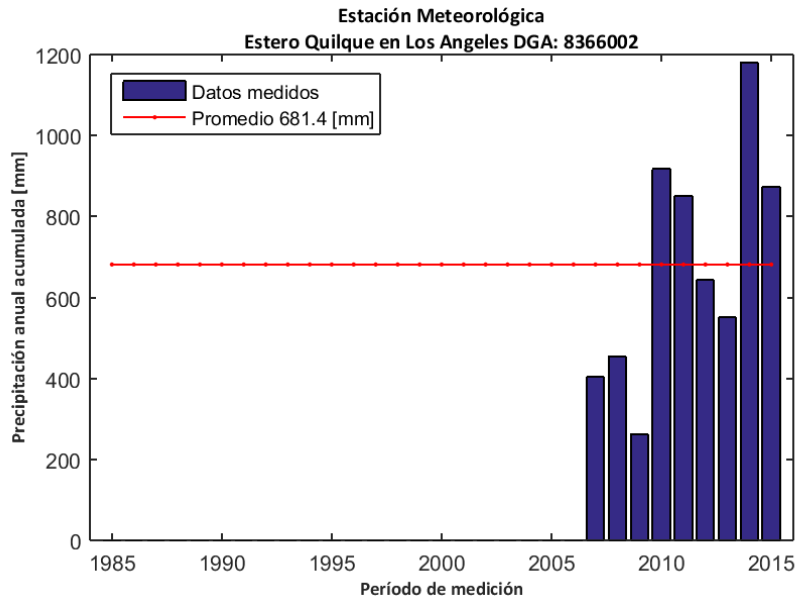


Figura C.64: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Estero Quilque en Los Ángeles”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,77 (Figura C.65), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

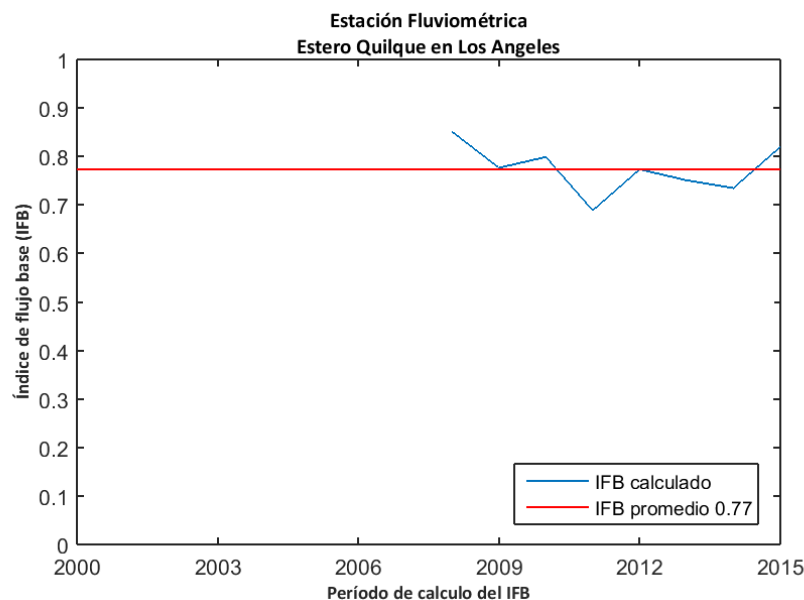


Figura C.65: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Estero Quilque en Los Ángeles”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Estero Quilque en Los Ángeles” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 1684,0 mm/año

(Figura C.66) equivalente a un 247,1% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Estero Quilque en Los Ángeles”).

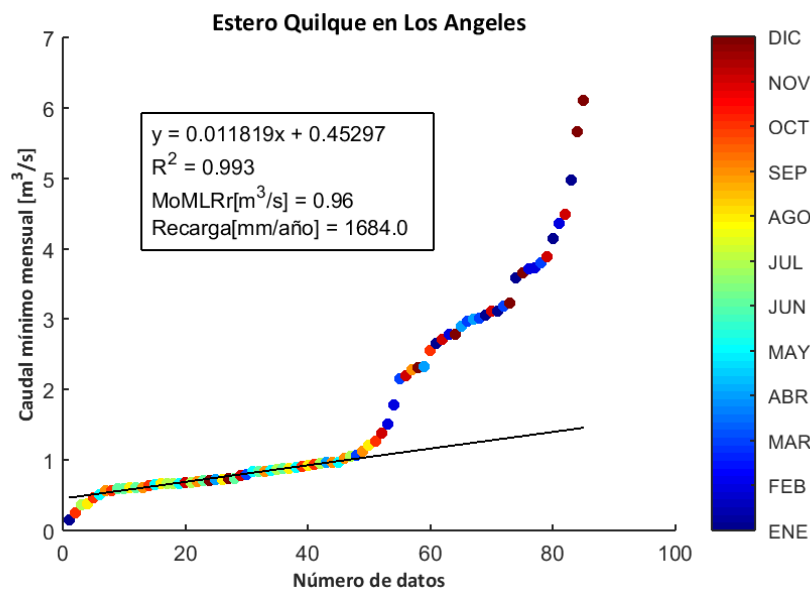


Figura C.66: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica “Estero Quilque en Los Ángeles”.

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, no se pudo estimar la recarga mediante RORA en la estación “Estero Quilque en Los Ángeles” durante el período de análisis.

C.25. RÍO CLARO EN CAMINO YUMBEL-ESTACIÓN

La estación fluviométrica “Río Claro en Camino Yumbel-Estación” está ubicada en la cuenca cuenca “Río Biobío” de la región del Biobío. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 530,42 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 11,79 m³/s. La estación meteorológica más cercana “Rio Laja Ag. Arr. Del Salto (Rec. R. Laja)” presenta una precipitación promedio anual de 597,6 mm (Figura C.67).

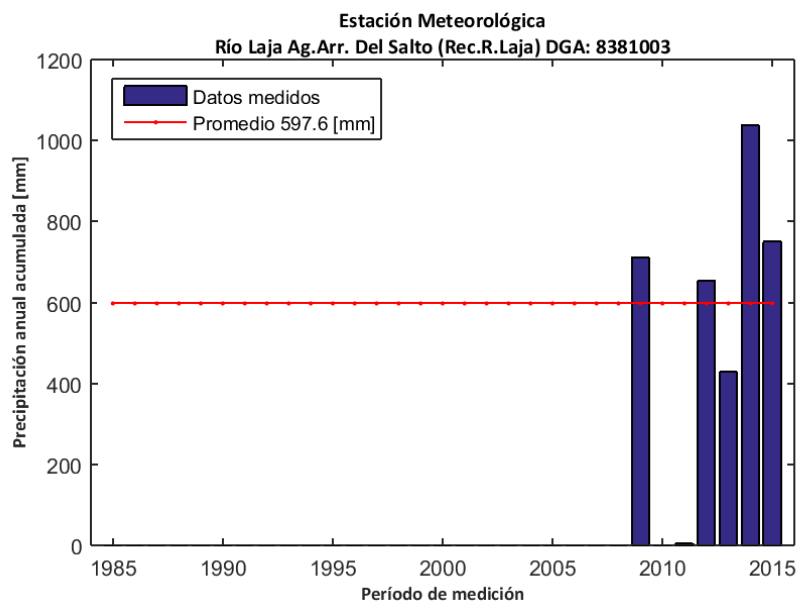


Figura C.67: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Río Laja Ag. Arr. Del Salto (Rec. R. Laja)”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 1985-2000. El valor calculado arrojó un promedio de 0,61 (Figura C.68), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

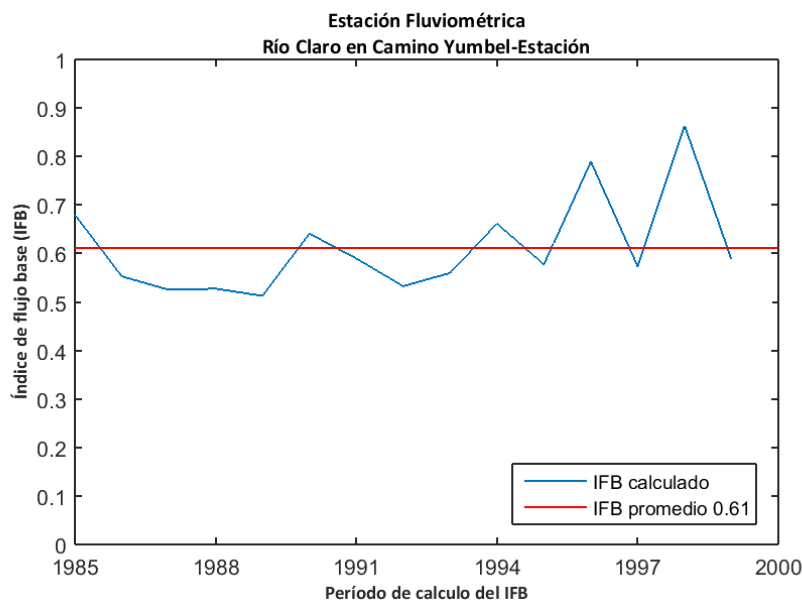


Figura C.68: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Claro en Camino Yumbel-Estación”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Claro en Camino Yumbel-Estación” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 261,3

mm/año (Figura C.69) equivalente a un 43,7% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Río Laja Ag. Arr. Del Salto (Rec. R. Laja)”).

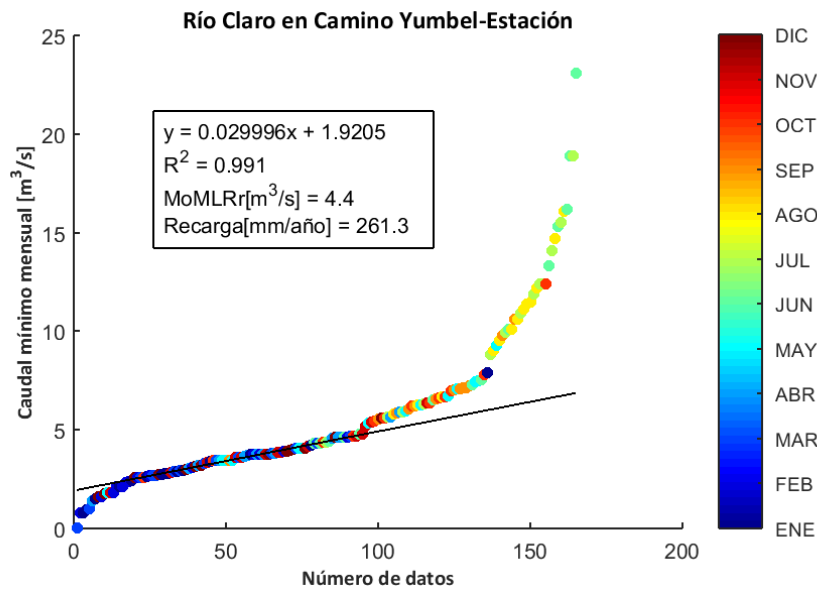


Figura C.69: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Claro en Camino Yumbel-Estación".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.41, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.41: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Claro en Camino Yumbel-Estación". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Claro en Camino Yumbel-Estación	9	19,5	37	75,2

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación “Río Claro en Camino Yumbel-Estación” sólo durante los años presentados en la

Tabla **c.42**, arrojando un valor promedio de 629,7 mm/año equivalente a un 105,4% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Rio Laja Ag. Arr. Del Salto (Rec. R. Laja)”).

Tabla C.42: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Claro en Camino Yumbel-Estación".

Años	Recarga [in]
1986	30,87
1987	28,28
1989	13,93
1991	26,09
1992	30,23
1993	29,56
1994	17,36
1995	22,29
1996	16,70
1997	29,85
1999	27,53
Promedio [in]	24,79
Promedio [mm]	629,7

C.26. ESTERO HUALQUI EN DESEMBOCADURA

La estación fluviométrica "Estero Hualqui en Desembocadura" está ubicada en la cuenca "Río Biobío" de la región del Biobío. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 111,36 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 0,97 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Estero Hualqui en Desembocadura" presenta una precipitación promedio anual de 605,5 mm (Figura C.70).

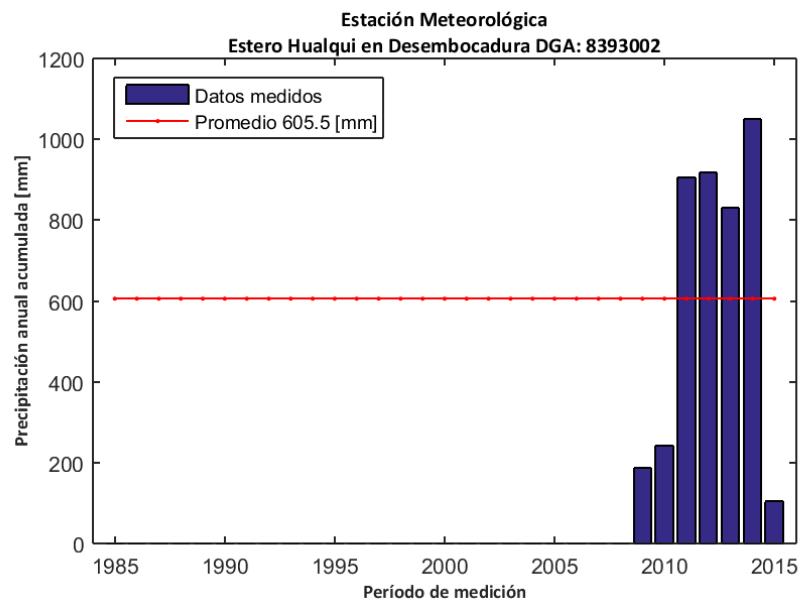


Figura C.70: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica "Estero Hualqui en Desembocadura".

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,61 (Figura C.71), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

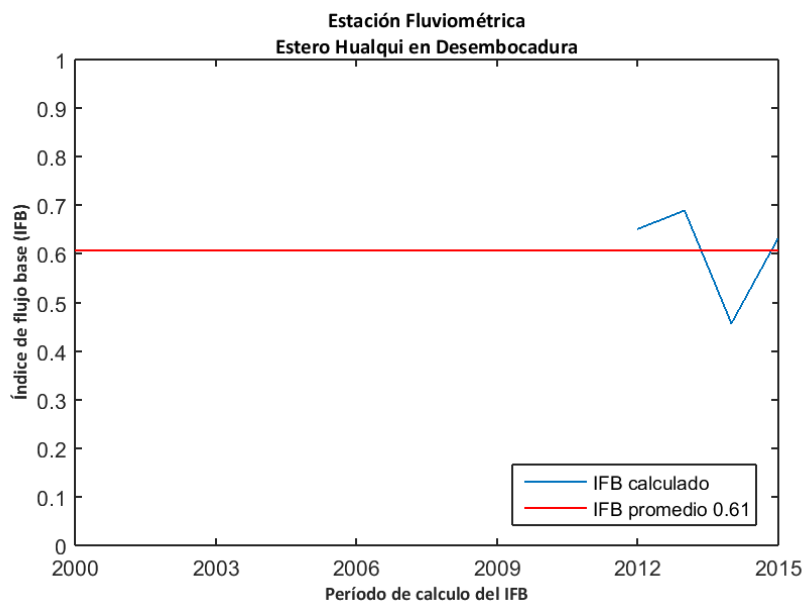


Figura C.71: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Estero Hualqui en Desembocadura”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Estero Hualqui en Desembocadura” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 49,8 mm/año (Figura C.72) equivalente a un 8,1% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Estero Hualqui en Desembocadura”).

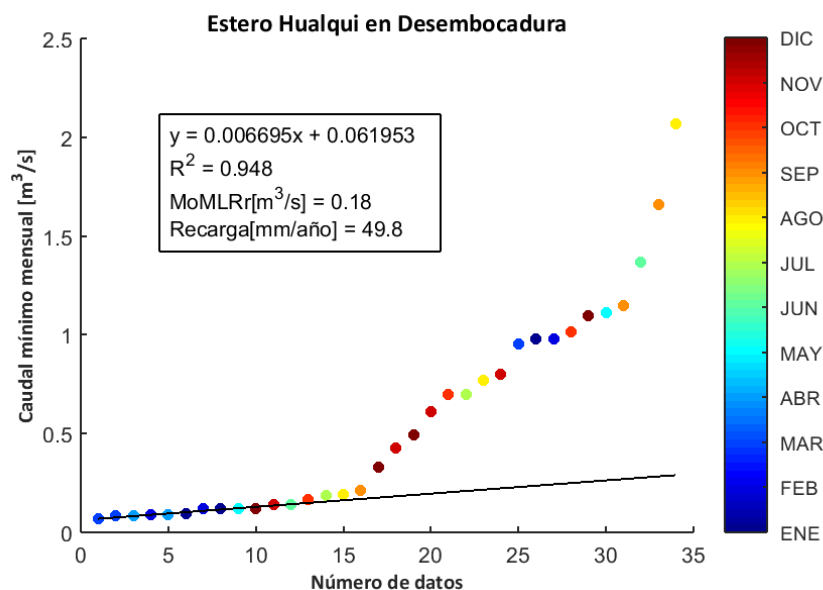


Figura C.72: Estimación de recarga mediante el método MoMLRR en la estación fluviométrica "Estero Hualqui en Desembocadura".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.43, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.43: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Estero Hualqui en Desembocadura". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Estero Hualqui en Desembocadura	3	65,6	151,5	173,7

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Estero Hualqui en Desembocadura" sólo durante los años presentados en la Tabla C.44, arrojando un valor promedio de 48,8 mm/año equivalente a un 8,2% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Estero Hualqui en Desembocadura").

Tabla C.44: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Estero Hualqui en Desembocadura".

Años	Recarga [in]
2013	1,92
Promedio [in]	1,92
Promedio [mm]	48,8

C.27. RÍO LARAQUETE EN EL CAJÓN

La estación fluviométrica “Río Laraquete en El Cajón” está ubicada en las cuencas “Costeras e Islas entre Ríos Biobío y Carampangue” de la región del Biobío. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 35,26 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 1,45 m³/s. La estación meteorológica más cercana “Carampangue” presenta una precipitación promedio anual de 1199,9 mm (Figura C.73).

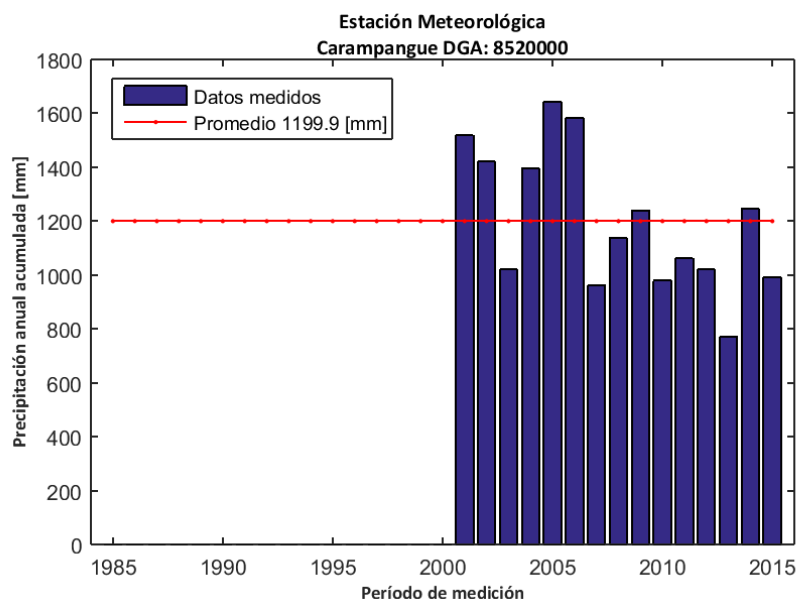


Figura C.73: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Carampangue”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 1985-2000. El valor calculado arrojó un promedio de 0,69 (Figura C.74), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

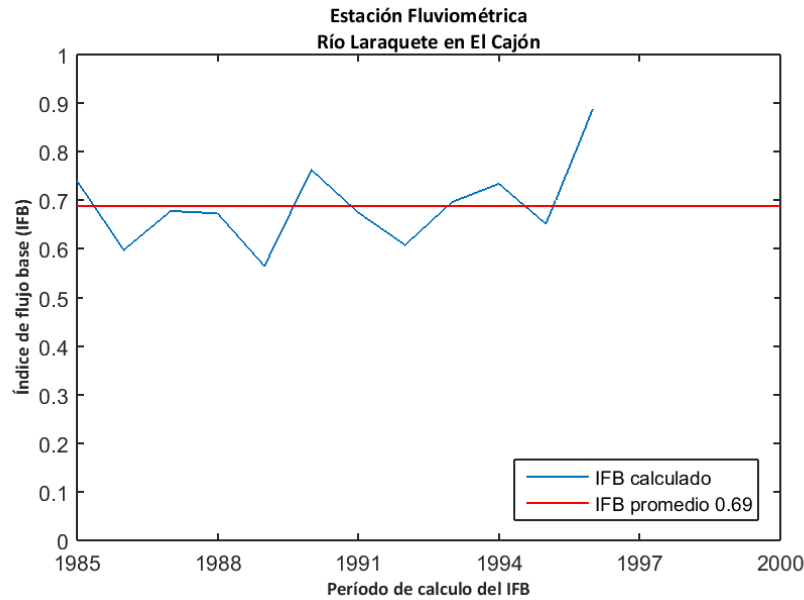


Figura C.74: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Laraquete en El Cajón”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Laraquete en El Cajón” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 539,2 mm/año (Figura C.75) equivalente a un 44,9% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Carampangue”).

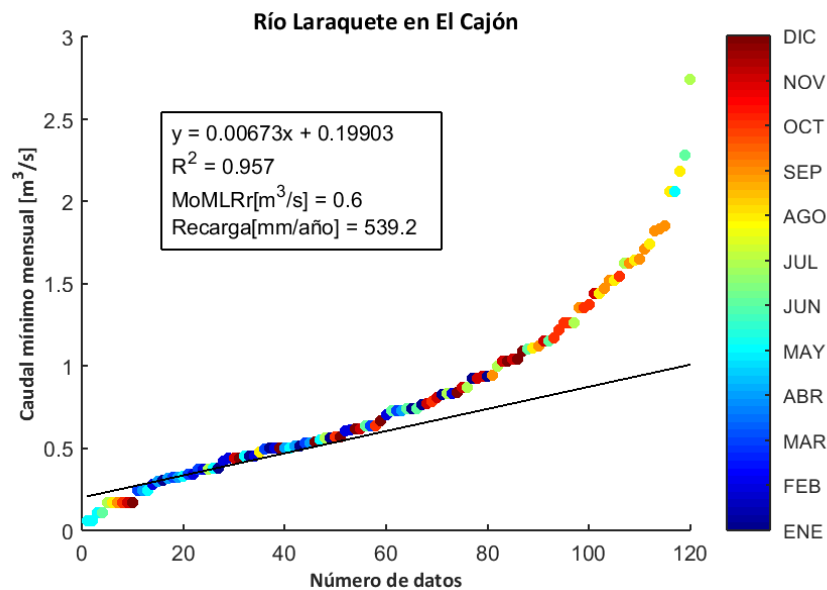


Figura C.75: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Laraquete en El Cajón".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.45, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante

RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.45: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Laraquete en El Cajón". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Laraquete en El Cajón	36	17,4	112,9	274,6

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Laraquete en El Cajón" sólo durante los años presentados en la Tabla C.46, arrojando un valor promedio de 1161,3 mm/año equivalente a un 96,8% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Carampangue").

Tabla C.46: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Laraquete en El Cajón".

Años	Recarga [in]
1987	41,25
1990	40,42
1991	49,01
1993	69,72
1994	37,92
1995	35,99
Promedio [in]	45,72
Promedio [mm]	1161,3

C.28. RÍO CARAMPAGNE EN CARAMPAGNE

No existen datos de caudal en esta estación fluviométrica durante el período de análisis (1985-2015). Por ello, no se pueden aplicar las metodologías de estimación de recarga seleccionadas.

C.29. RÍO LEBU EN LAS CORRIENTES (EN LOS ÁLAMOS)

La estación fluviométrica "Río Lebu en Las Corrientes (en Los Alamos)" está ubicada en las cuencas "Costeras entre Ríos Lebu y Paicaví" de la región del Biobío. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 665,69 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el

punto de medición de 40,13 m³/s. La estación meteorológica más cercana “Cañete” presenta una precipitación promedio anual de 1177,3 mm (Figura C.76).

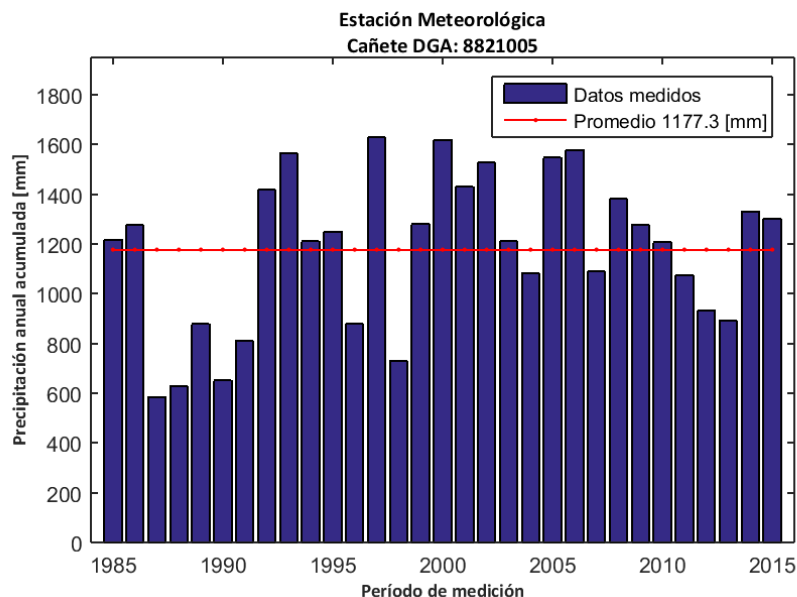


Figura C.76: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Cañete”.

La cantidad de datos no permiten realizar una estimación correcta del índice de flujo base en la estación fluviométrica.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Lebu en Las Corrientes (en Los Alamos)” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 255,6 mm/año (Figura C.77) equivalente a un 21,7% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Cañete”).

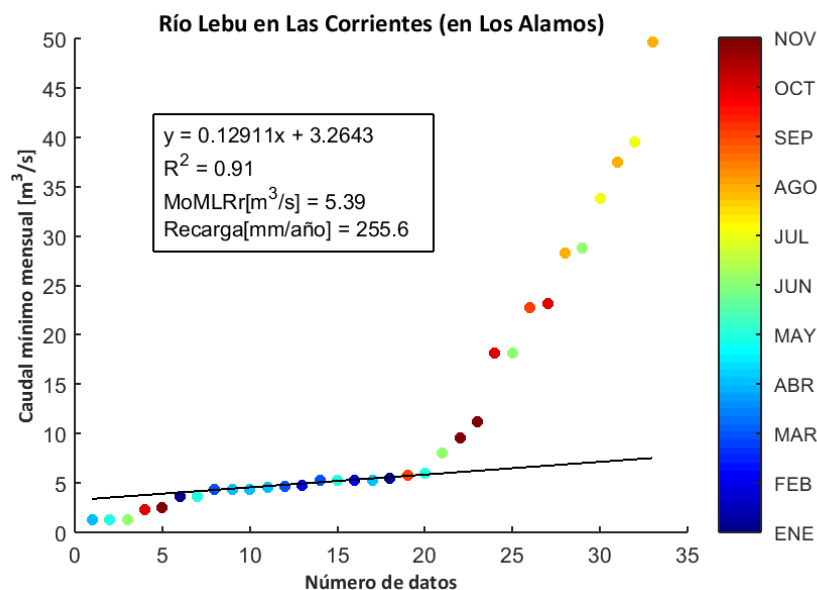


Figura C.77: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Lebu en Las Corrientes (en Los Alamos)".

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, no se pudo estimar la recarga mediante RORA en la estación "Río Lebu en Las Corrientes (en Los Alamos)" durante el período de análisis.

C.30. RÍO PURÉN EN TRANAMÁN

La estación fluviométrica "Río Purén en Tranamán" está ubicada en la cuenca "Río Imperial" de la región de La Araucanía. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 294,27 km^2 y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 9,57 m^3/s . La estación meteorológica más cercana "Tranamán" presenta una precipitación promedio anual de 934,4mm (Figura C.78).

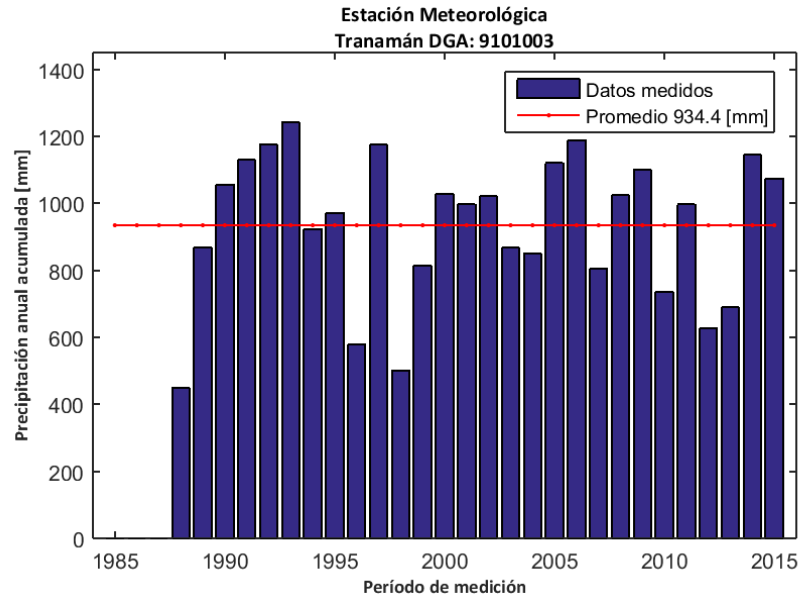


Figura C.78: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Tranamán”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 1985-2000. El valor calculado arrojó un promedio de 0,69 (Figura C.79), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

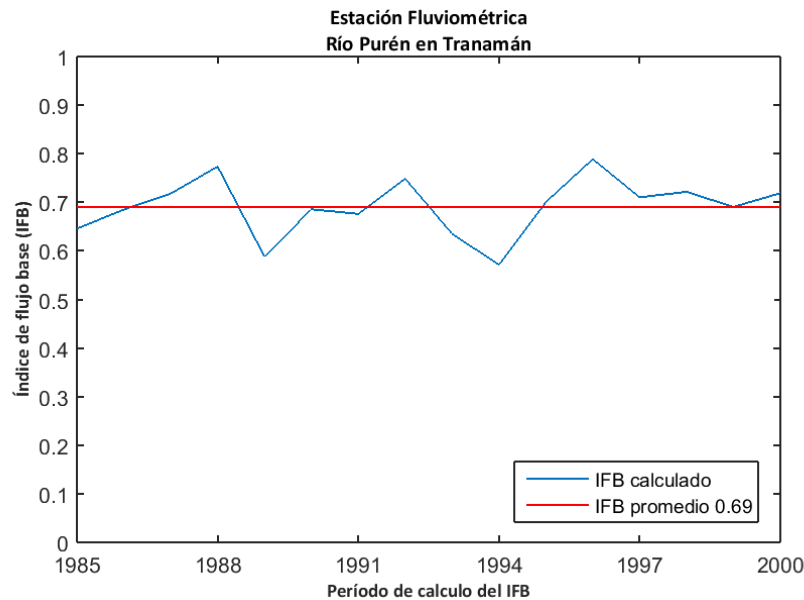


Figura C.79: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Purén en Tranamán”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Purén en Tranamán” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 319,7 mm/año (Figura

C.80) equivalente a un 34,2% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Tranamán”).

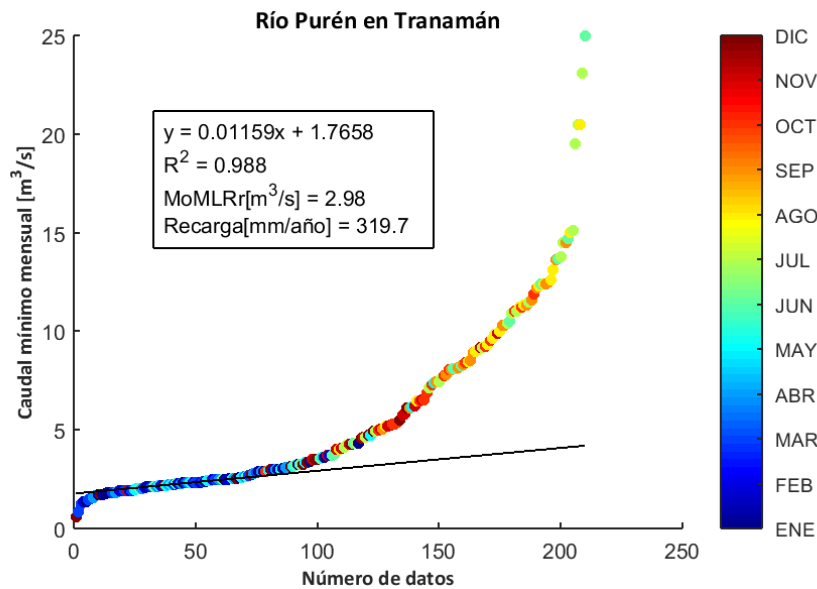


Figura C.80: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Purén en Tranamán".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.47, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.47: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Purén en Tranamán". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Purén en Tranamán	34	26,1	99,6	344,4

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación “Río Purén en Tranamán” sólo durante los años presentados en la Tabla C.48, arrojando un valor promedio de 827,2 mm/año equivalente a un 88,5% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Tranamán”).

Tabla C.48: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Purén en Tranamán".

Años	Recarga [in]
1985	31,89
1986	40,33
1987	28,10

Años	Recarga [in]
1988	22,81
1989	26,68
1990	37,51
1991	38,01
1992	45,38
1996	20,44
1999	28,85
2000	39,84
2003	30,97
Promedio [in]	32,57
Promedio [mm]	827,2

C.31. RÍO PURÉN EN PURÉN

La estación fluviométrica “Río Purén en Purén” está ubicada en la cuenca “Río Imperial” de la región de La Araucanía. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 188,98 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 9,57 m³/s. La estación meteorológica más cercana “Tranamán” presenta una precipitación promedio anual de 934,4mm (Figura C.81).

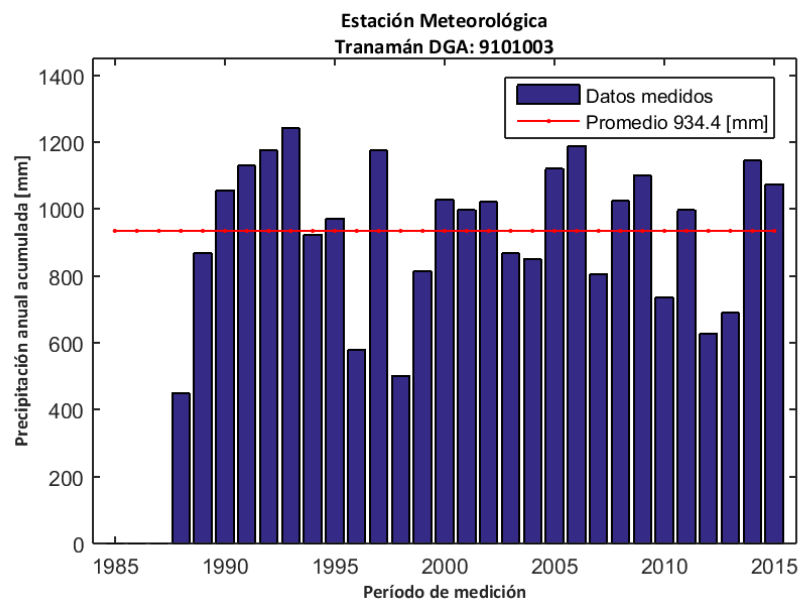


Figura C.81: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Tranamán”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,66 (Figura C.82), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

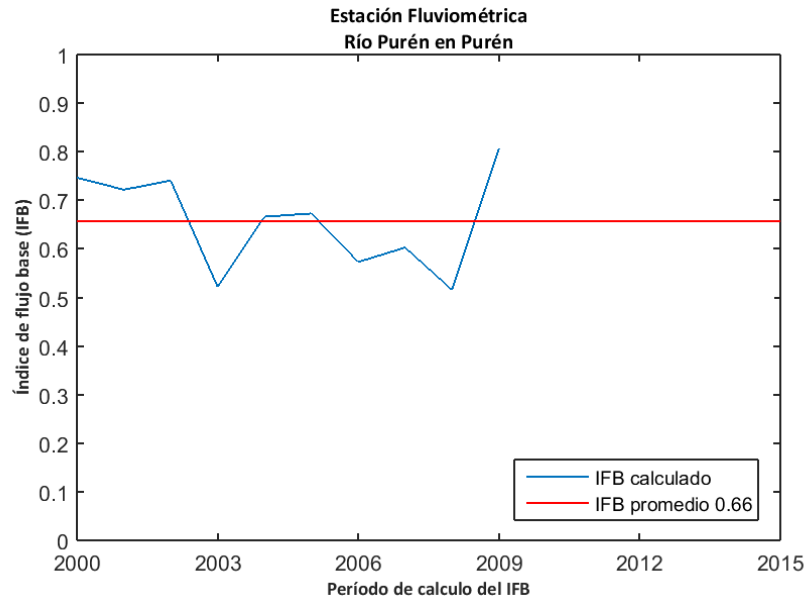


Figura C.82: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Purén en Purén”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Purén en Purén” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 367,3 mm/año (Figura C.83) equivalente a un 39,3% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Tranamán”).

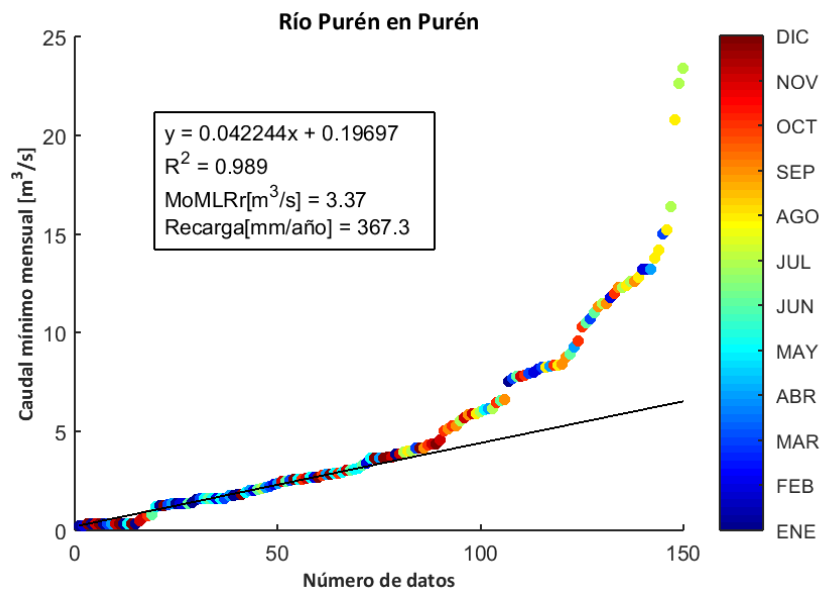


Figura C.83: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Purén en Purén".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.49, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga

mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.49: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Purén en Purén". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K_{min}	K_{med}	K_{max}
Río Purén en Purén	25	26,9	79,9	166,7

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Purén en Purén" sólo durante los años presentados en la Tabla C.50, arrojando un valor promedio de 1064,2 mm/año equivalente a un 113,9% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Tranamán").

Tabla C.50: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Purén en Purén".

Años	Recarga [in]
1997	38,84
2000	45,30
2001	37,26
2005	45,26
2006	57,73
2007	26,95
2008	41,94
Promedio [in]	41,90
Promedio [mm]	1064,2

C.32. RÍO LUMACO EN LUMACO

La estación fluviométrica "Río Lumaco en Lumaco" está ubicada en la cuenca "Río Imperial" de la región de La Araucanía. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 853,12 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 15,82 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Lumaco" presenta una precipitación promedio anual de 1020,2 mm (Figura C.84).

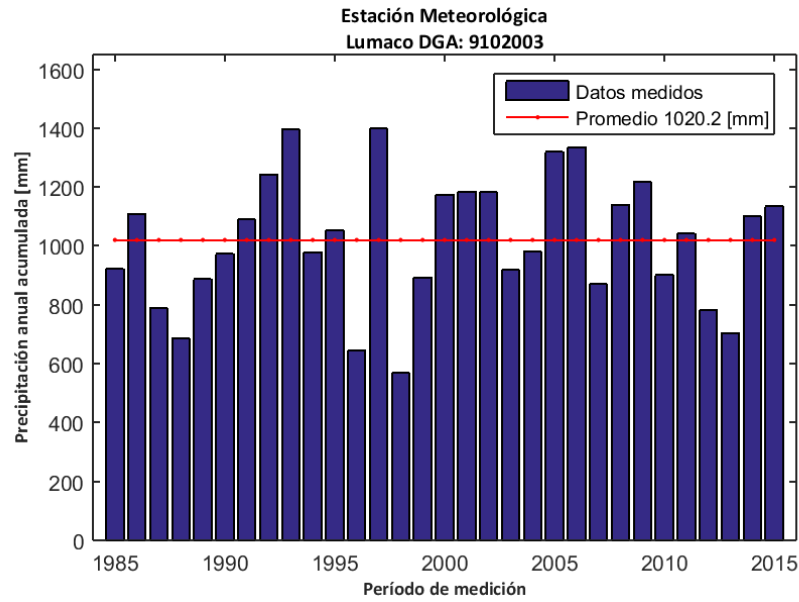


Figura C.84: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Lumaco”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,66 (Figura C.85), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

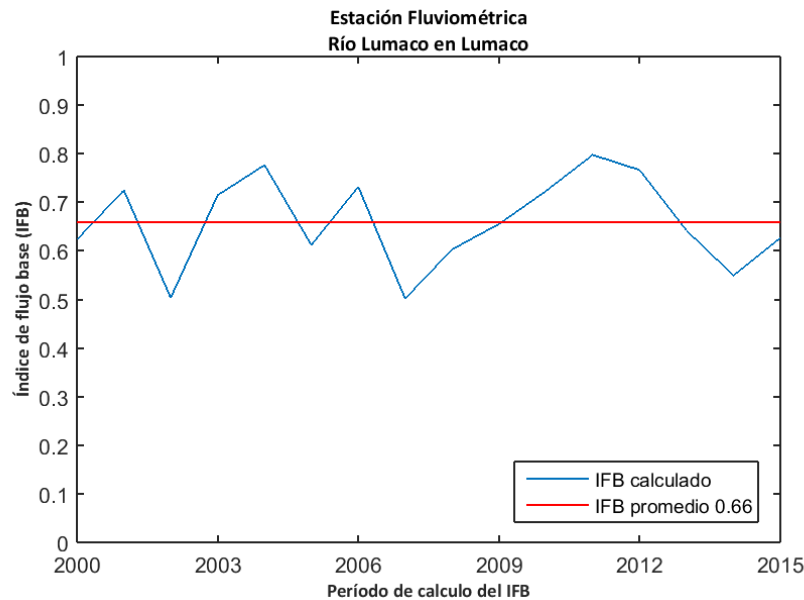


Figura C.85: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Lumaco en Lumaco”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Isluga en Bocatoma” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 144,0 mm/año (Figura

C.86) equivalente a un 14,1% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Lumaco”).

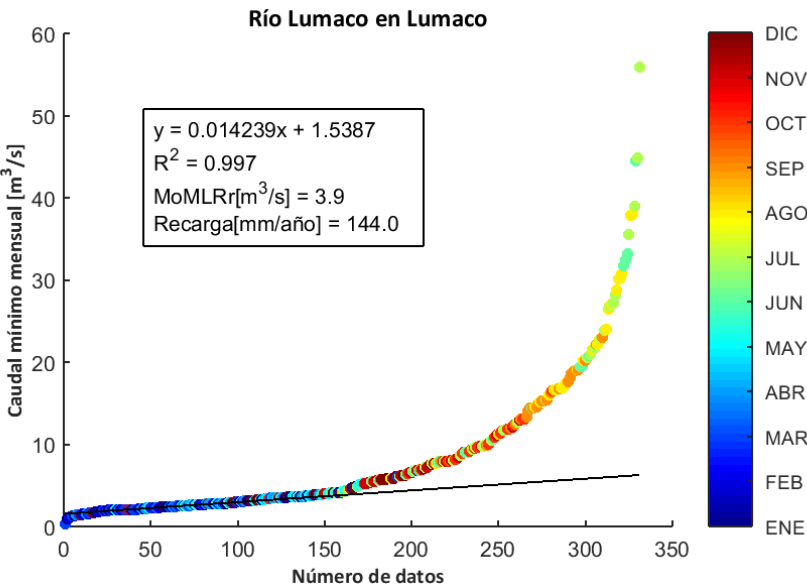


Figura C.86: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Lumaco en Lumaco".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.51, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.51: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Lumaco en Lumaco". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Lumaco en Lumaco	49	23,3	65,3	181,8

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación “Río Lumaco en Lumaco” sólo durante los años presentados en la Tabla C.52, arrojando un valor promedio de 495,3 mm/año equivalente a un 48,6% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Lumaco”).

Tabla C.52: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Lumaco en Lumaco".

Años	Recarga [in]
1985	21,20
1987	18,67
1988	13,67

Años	Recarga [in]
1989	15,18
1990	22,36
1991	22,70
1994	18,22
1995	26,60
1996	7,82
1997	24,98
1998	7,20
1999	15,09
2000	22,51
2001	21,02
2006	31,79
2008	23,72
2009	22,49
2010	16,37
2011	18,93
Promedio [in]	19,50
Promedio [mm]	495,3

C.33. RÍO DUMO EN SANTA ANA

La estación fluviométrica “Río Dumo en Santa Ana” está ubicada en la cuenca “Río Imperial” de la región de La Araucanía. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 393,09 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 2,04 m³/s. La estación meteorológica más cercana “Las Mercedes (Victoria)” presenta una precipitación promedio anual de 1455,2 mm (Figura C.87).

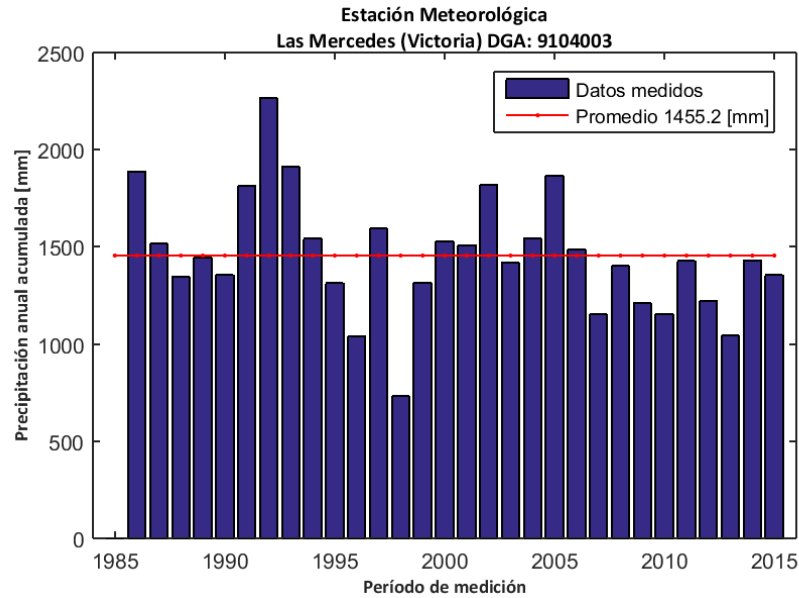


Figura C.87: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Las Mercedes (Victoria)”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,66 (Figura C.88), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

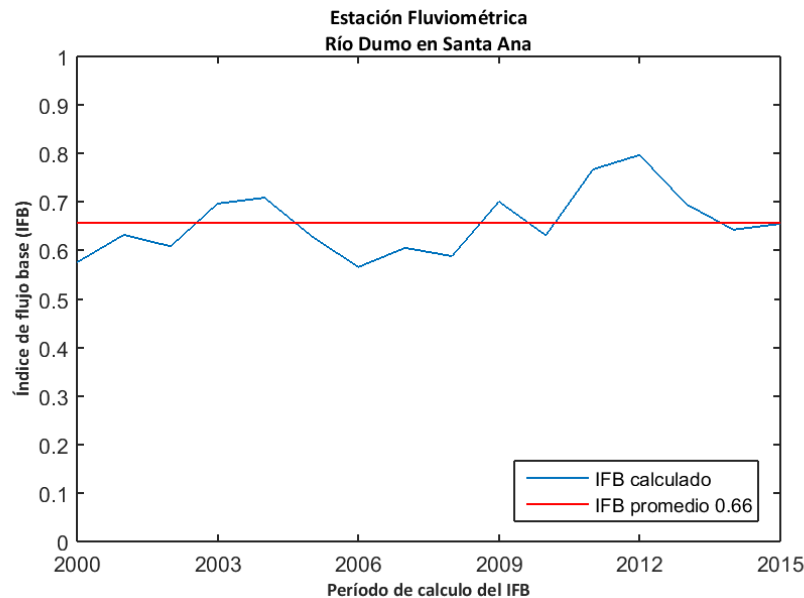


Figura C.88: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Dumo en Santa Ana”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Dumo en Santa Ana” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 16.8 mm/año (Figura

C.89) equivalente a un 1,2% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Las Mercedes (Victoria)”).

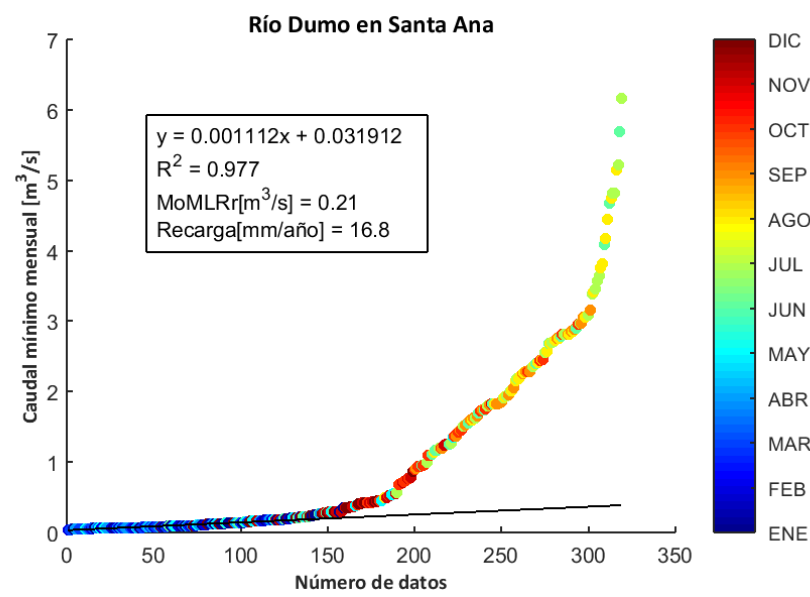


Figura C.89: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Dumo en Santa Ana".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.53, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.53: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Dumo en Santa Ana". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	Kmin	Kmed	Kmax
Río Dumo en Santa Ana	48	22,9	48,1	118,8

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación “Río Dumo en Santa Ana” sólo durante los años presentados en la Tabla C.54, arrojando un valor promedio de 155,9 mm/año equivalente a un 10,7% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Las Mercedes (Victoria)”).

Tabla C.54: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Dumo en Santa Ana".

Años	Recarga [in]
1987	5,71
1988	4,16
1989	5,02
1990	6,26
1991	6,77
1992	12,04
1993	8,88
1994	6,23
1995	7,10
1996	3,01
1997	7,06
1998	1,65
1999	5,14
2000	6,88
2001	6,68
2002	7,09
2003	6,00
2004	6,99
2006	6,34
2007	4,75
2008	6,31
2011	5,98
2012	4,04
2014	7,20
Promedio [in]	6,14
Promedio [mm]	155,9

C.34. ESTERO CHUFQUÉN EN CHUFQUÉN

La estación fluviométrica “Estero Chufquén en Chufquén” está ubicada en la cuenca “Río Imperial” de la región de La Araucanía. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 853,6 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 19,96 m³/s. La estación meteorológica más cercana “Traiguén” presenta una precipitación promedio anual de 1002,2 mm (Figura C.90).

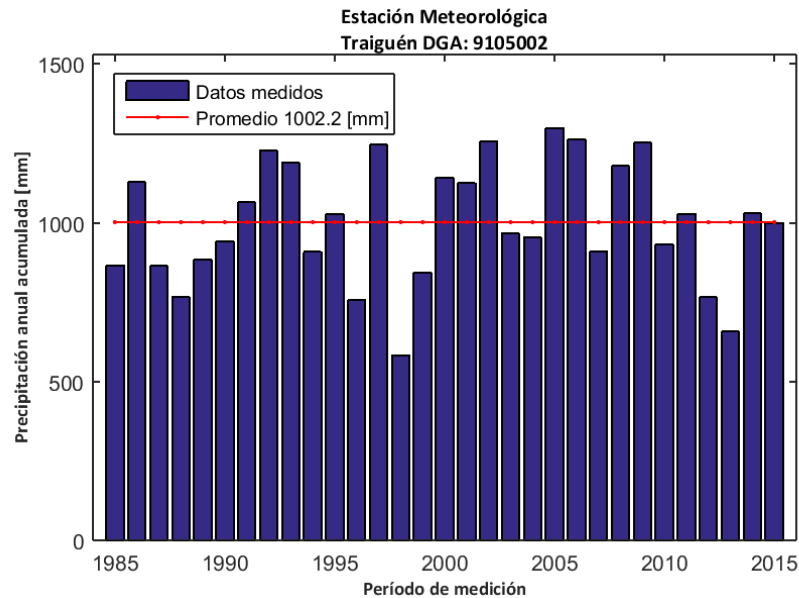


Figura C.90: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Traiguén”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,61 (Figura C.91), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

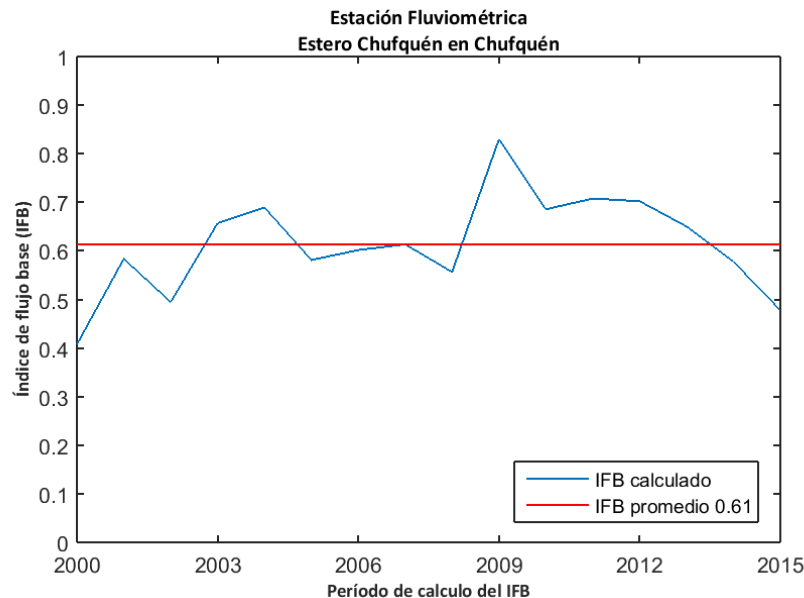


Figura C.91: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Estero Chufquén en Chufquén”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Estero Chufquén en Chufquén” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 88,5 mm/año

(Figura C.92) equivalente a un 8,8% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Traiguén”).

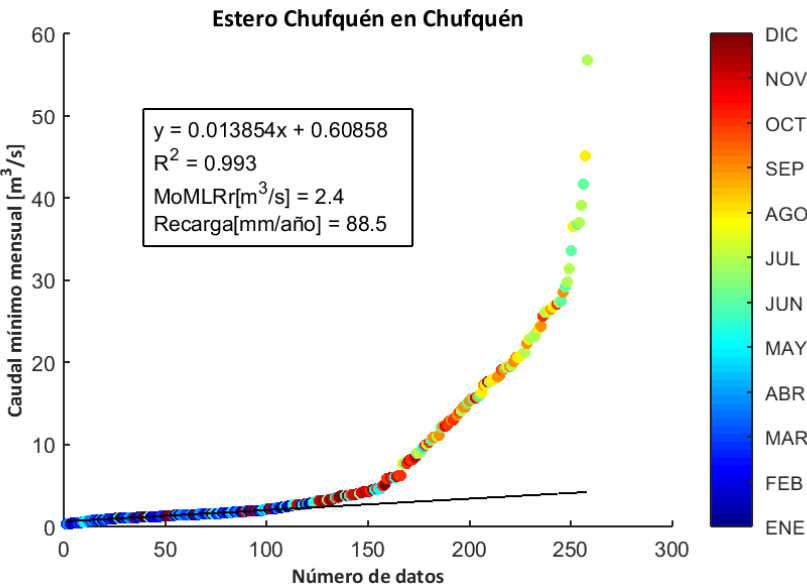


Figura C.92: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Estero Chufquén en Chufquén".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.55, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.55: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Estero Chufquén en Chufquén". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	Kmin	Kmed	Kmax
Estero Chufquén en Chufquén	48	28,5	42,2	113,4

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación “Estero Chufquén en Chufquén” sólo durante los años presentados en la

Tabla C.56, arrojando un valor promedio de 661,3 mm/año equivalente a un 66,0% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Traiguén”).

Tabla C.56: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Estero Chufquén en Chufquén".

Años	Recarga [in]
1990	28,74
2002	36,98
2003	23,64
2004	24,16
2005	30,03
2006	35,70
2008	25,32
2010	19,45
2012	18,99
2013	19,21
2014	24,15
Promedio [in]	26,03
Promedio [mm]	661,3

C.35. RÍO CAUTÍN EN CAJÓN

La estación fluviométrica "Río Cautín en Cajón" está ubicada en la cuenca "Río Imperial" de la región de La Araucanía. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 2755,36 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 132,64 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Río Cautín en Cajón" presenta una precipitación promedio anual de 1046,5 mm (Figura C.93).

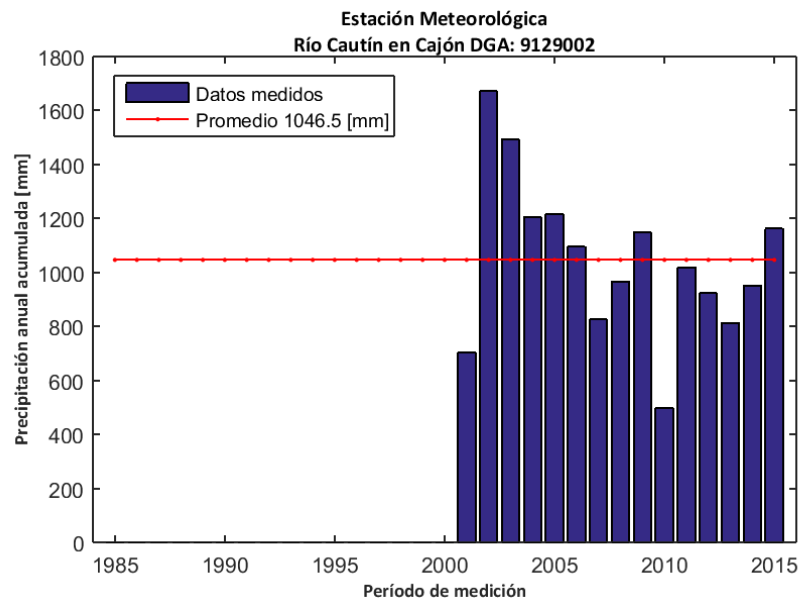


Figura C.93: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica "Río Cautín en Cajón".

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,75 (Figura C.94), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

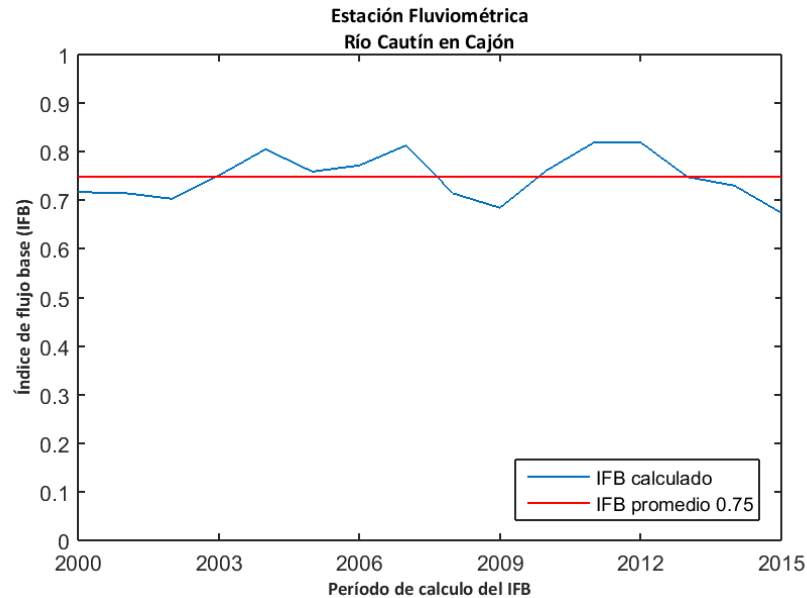


Figura C.94: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Cautín en Cajón”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Cautín en Cajón” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 583,9 mm/año (Figura C.95) equivalente a un 55,8% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Río Cautín en Cajón”).

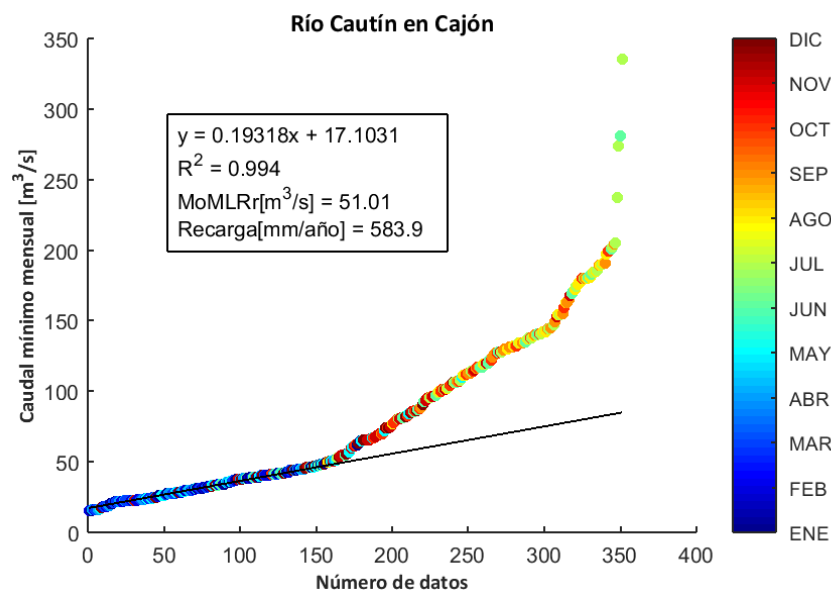


Figura C.95: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Cautín en Cajón".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.57, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.57: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Cautín en Cajón". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Cautín en Cajón	47	43,3	80,3	258,8

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Cautín en Cajón" sólo durante los años presentados en la Tabla C.58, arrojando un valor promedio de 1372,1 mm/año equivalente a un 131,1% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Río Cautín en Cajón").

Tabla C.58: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Cautín en Cajón".

Años	Recarga [in]
1985	54,54
1986	62,15
1987	47,91
1988	44,67
1989	45,57
1990	53,52
1991	55,03
1992	72,05
1993	87,51
1994	62,86
1995	65,87
1997	63,36
1998	20,32
1999	44,92
2000	62,47
2001	63,21
2002	64,58
2003	51,60
2004	54,85
2006	55,96
2007	40,29
2009	55,05
2010	41,97
2011	53,25
2012	44,95
2013	44,14
2014	49,50
2015	50,43
Promedio [in]	54,02
Promedio [mm]	1372,1

C.36. RÍO QUEPE EN QUEPE

La estación fluviométrica “Río Quepe en Quepe” está ubicada en la cuenca “Río Imperial” de la región de La Araucanía. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 1665,55 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 83,25 m³/s. La estación meteorológica más cercana “Freire Sendos” presenta una precipitación promedio anual de 1426,3 mm (Figura C.96).

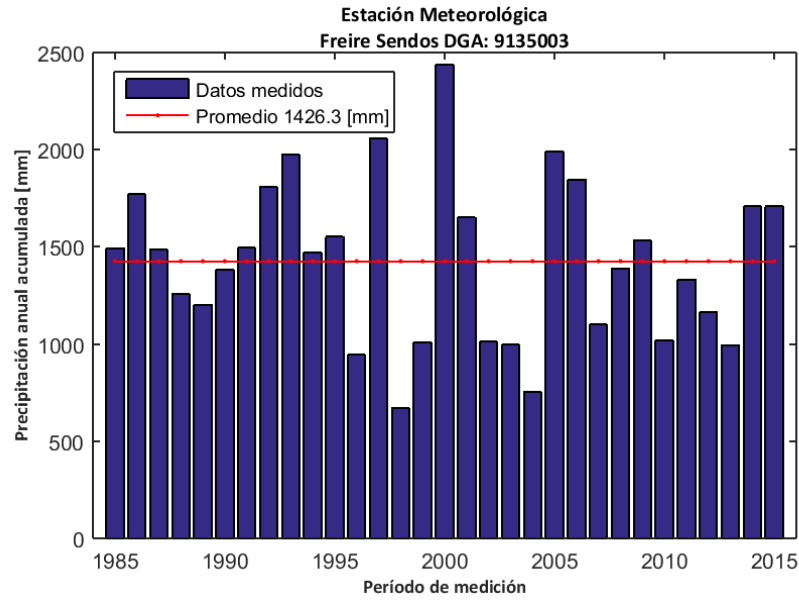


Figura C.96: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Freire Sendos”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,70 (Figura C.97), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

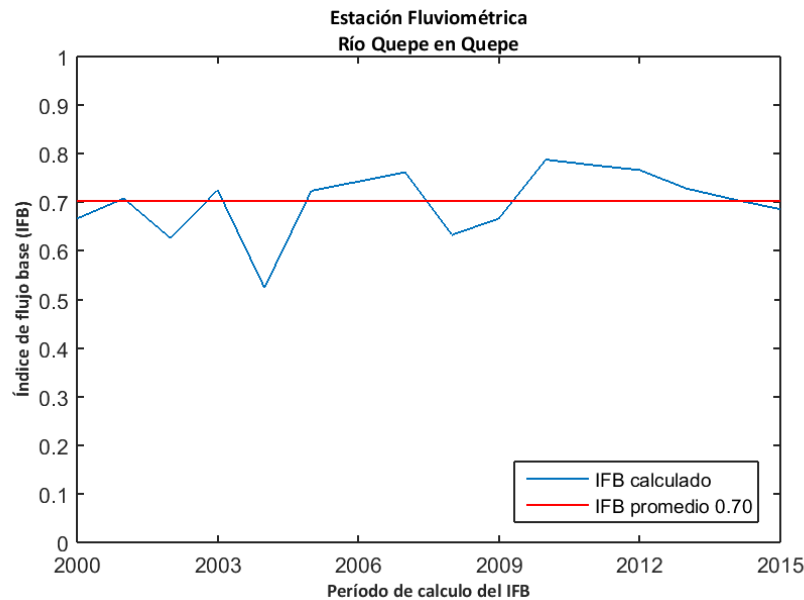


Figura C.97: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Quepe en Quepe”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Quepe en Quepe” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 510,7 mm/año (Figura

C.98) equivalente a un 35,8% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Freire Sendos").

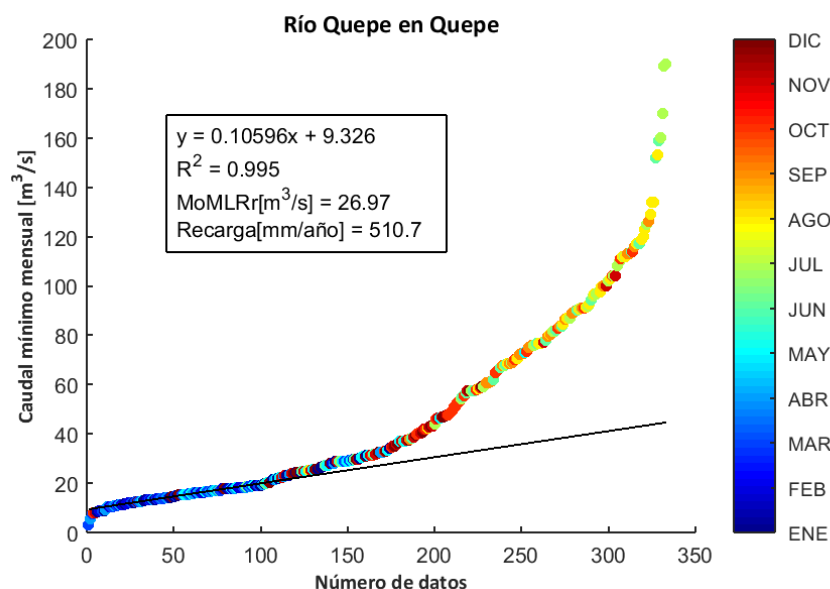


Figura C.98: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Quepe en Quepe".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.59, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.59: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Quepe en Quepe". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Quepe en Quepe	47	32,8	80,9	220,9

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Quepe en Quepe" sólo durante los años presentados en la

Tabla C.60, arrojando un valor promedio de 1439,7 mm/año equivalente a un 100,9% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Freire Sendos”).

Tabla C.60: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Quepe en Quepe".

Años	Recarga [in]
1985	57,15
1986	67,80
1987	47,62
1988	44,36
1989	43,12
1990	61,92
1991	58,68
1992	82,35
1993	75,09
1994	59,25
1995	53,22
1996	37,36
1997	66,00
1998	19,77
2000	59,40
2002	71,56
2003	56,54
2006	76,08
2007	52,20
2008	56,59
2010	44,21
Promedio [in]	56,68
Promedio [mm]	1439,7

C.37. RÍO ALLIPÉN EN LOS LAURELES

La estación fluviométrica "Río Allipén en Los Laureles" está ubicada en la cuenca "Río Toltén" de la región de La Araucanía. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 1674,08 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 127,27 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Los Laureles" presenta una precipitación promedio anual de 1939,9 mm (Figura C.99).

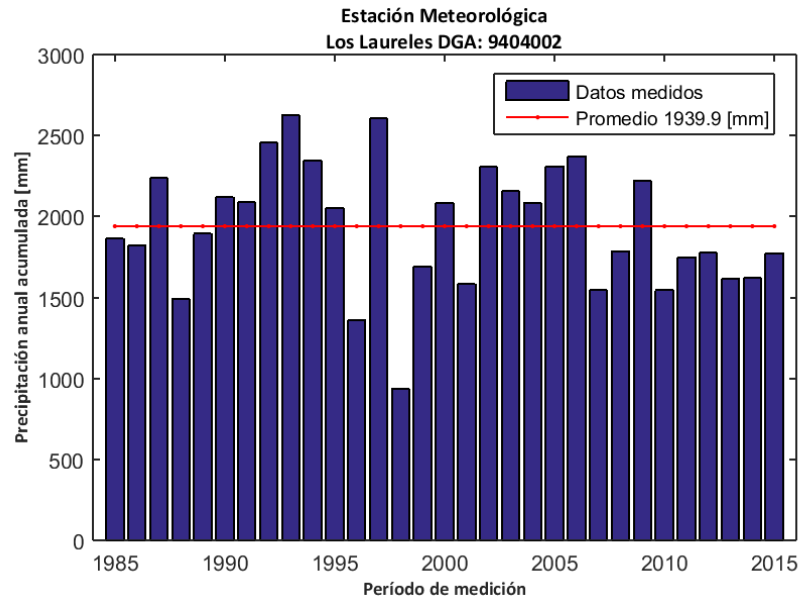


Figura C.99: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Los Laureles”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,78 (Figura C.100), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

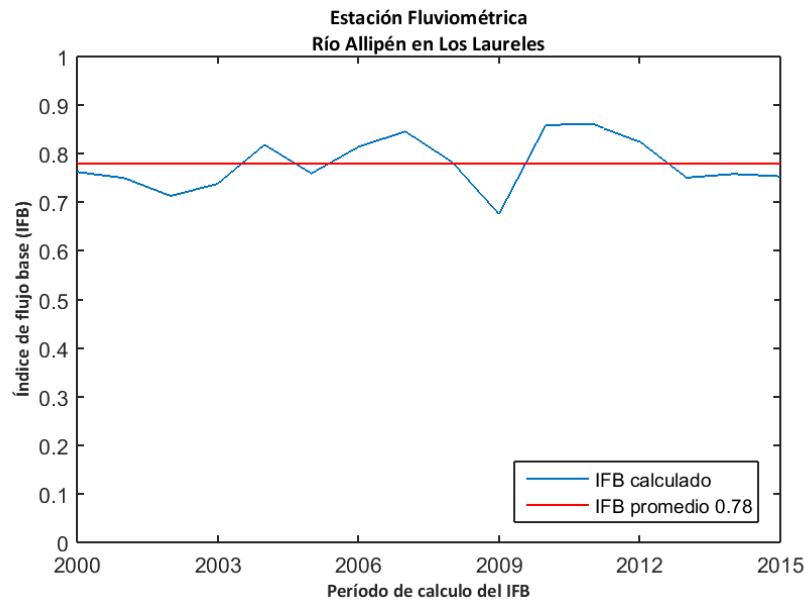


Figura C.100: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Allipén en Los Laureles”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Allipén en Los Laureles” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 1250,4 mm/año

(Figura C.101) equivalente a un 64,5% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Los Laureles”).

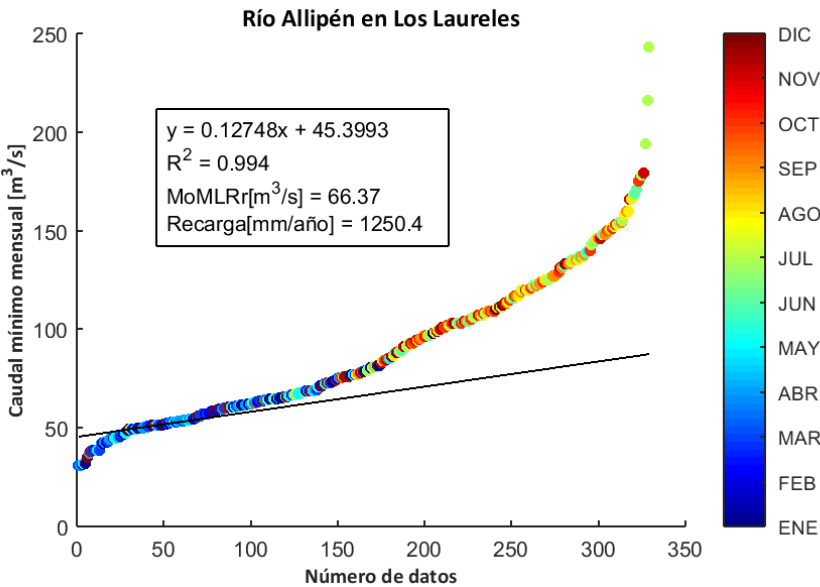


Figura C.101: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Allipén en Los Laureles".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.61, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.61: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Allipén en Los Laureles". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	Kmin	Kmed	Kmax
Río Allipén en Los Laureles	12	24,8	96,3	251,9

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación “Río Allipén en Los Laureles” sólo durante los años presentados en la

Tabla **c.62**, arrojando un valor promedio de 2243,8 mm/año equivalente a un 115,7% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Los Laureles”).

Tabla C.62: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Allipén en Los Laureles".

Años	Recarga [in]
1985	90,97
1986	101,53
1987	84,97
1988	80,85
1989	69,71
1990	93,16
1991	93,33
1992	102,57
1993	121,26
1994	109,30
1995	115,78
1996	63,77
1999	64,69
2000	85,97
2004	87,53
2006	111,33
2008	70,85
2010	73,66
2011	75,62
2012	69,89
Promedio [in]	88,34
Promedio [mm]	2243,8

C.38. RÍO LIUCURA EN LIUCURA

La estación fluviométrica “Río Liucura en Liucura” está ubicada en la cuenca “Río Toltén” de la región de La Araucanía. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 349,01 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 29,16 m³/s. La estación meteorológica más cercana “Ojos del Caburga” presenta una precipitación promedio anual de 2637,0 mm (Figura C.102).

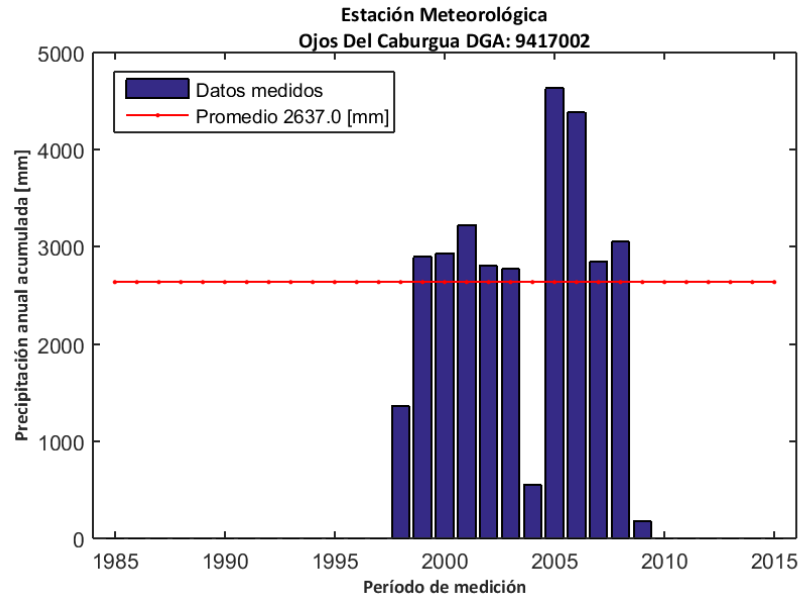


Figura C.102: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica “Ojos del Caburga”.

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arroja un promedio de 0,68 (Figura C.103), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

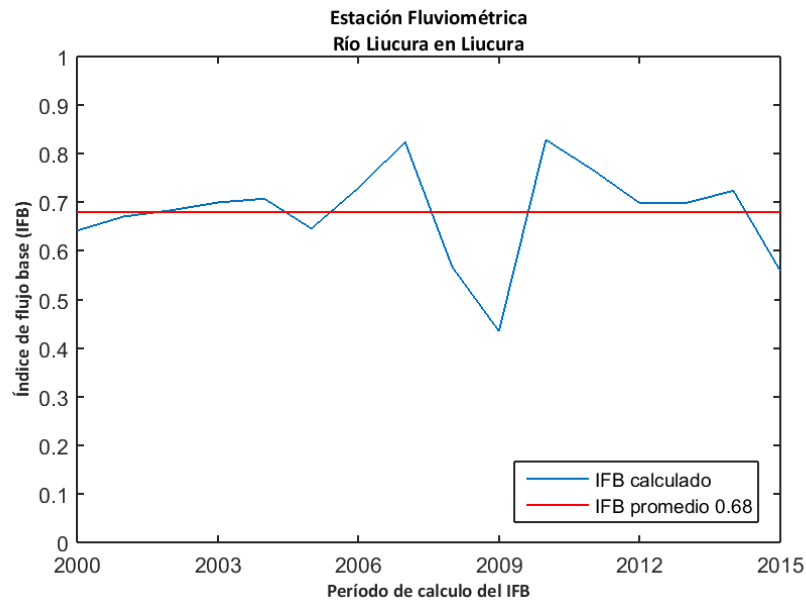


Figura C.103: Índice de flujo base para la estación fluviométrica “Río Liucura en Liucura”.

La recarga de agua subterránea en la estación “Río Liucura en Liucura” durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 952,2 mm/año (Figura

C.104) equivalente a un 36,1% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Ojos del Caburga”).

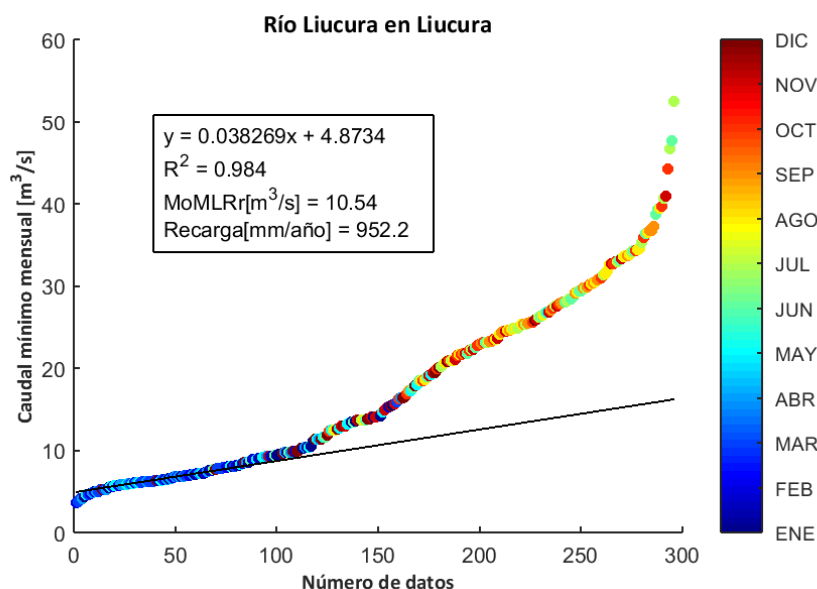


Figura C.104: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Liucura en Liucura".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.63, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.63: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Liucura en Liucura". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Liucura en Liucura	48	26,8	62,6	197,2

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación “Río Liucura en Liucura” sólo durante los años presentados en la

Tabla *c.64*, arrojando un valor promedio de 2577,1 mm/año equivalente a un 97,7% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana (“Ojos del Caburga”).

Tabla C.64: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Liucura en Liucura".

Años	Recarga [in]
1986	106,54
1987	86,55
1988	73,06
1990	92,30
1995	118,68
1997	118,73
2001	100,33
2002	114,33
2004	95,55
2005	113,15
2006	129,47
2007	90,96
2010	87,70
2014	93,11
Promedio [in]	101,46
Promedio [mm]	2577,1

C.39. RÍO DONGUIL EN GORBEA

La estación fluviométrica "Río Donguil en Gorbea" está ubicada en la cuenca "Río Toltén" de la región de La Araucanía. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 769,73 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 30,70 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Quitratué" presenta una precipitación promedio anual de 2049,5 mm (Figura C.105).

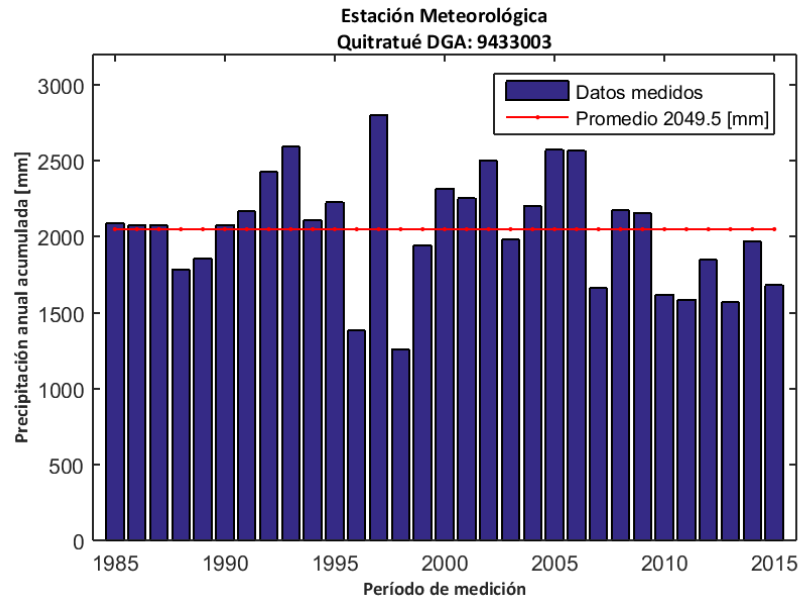


Figura C.105: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica "Quitratué".

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,65 (Figura C.106), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

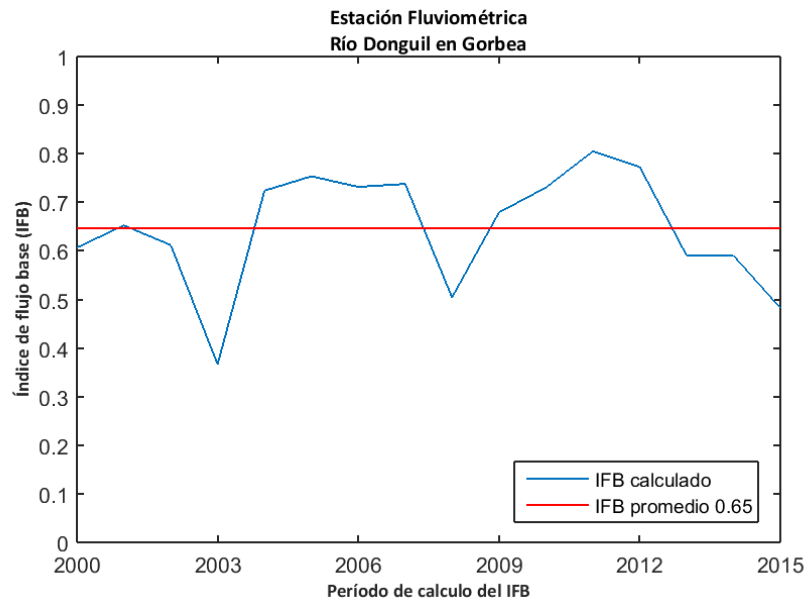


Figura C.106: Índice de flujo base para la estación fluviométrica "Río Donguil en Gorbea".

La recarga de agua subterránea en la estación "Río Donguil en Gorbea" durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 200,9 mm/año (Figura

C.107) equivalente a un 9,8% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Quitratué").

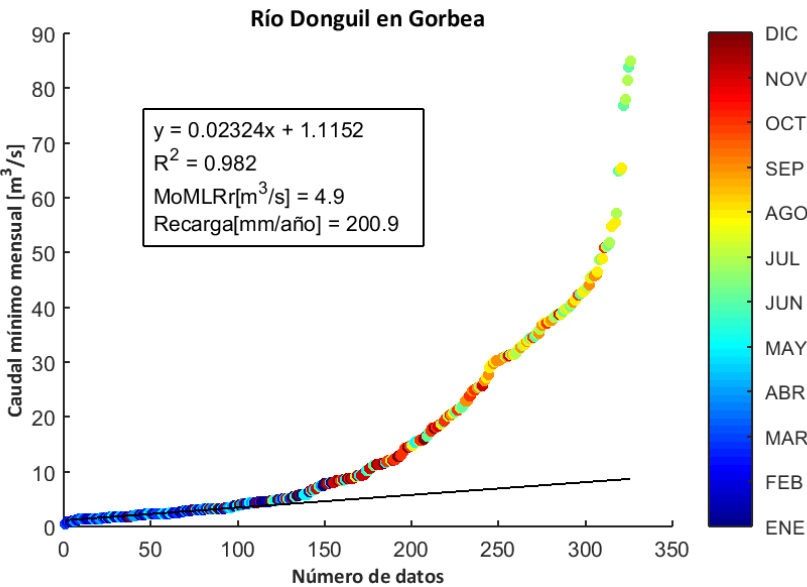


Figura C.107: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Donguil en Gorbea".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.65, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.65: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Donguil en Gorbea". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Donguil en Gorbea	49	31,2	65,9	146,2

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Donguil en Gorbea" sólo durante los años presentados en la

Tabla *c.66*, arrojando un valor promedio de 1147,5 mm/año equivalente a un 56,0% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Quitratué").

Tabla C.66: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Donguil en Gorbea".

Años	Recarga [in]
1985	41,51
1986	54,58
1989	30,33
1990	43,38
1991	45,26
1992	51,47
1993	65,37
1994	47,56
1995	56,40
1996	26,53
1997	68,78
1998	17,36
1999	36,58
2000	45,87
2001	49,80
2004	45,73
2005	57,76
2006	65,13
2007	33,86
2009	51,61
2010	38,25
2011	31,63
2012	34,34
Promedio [in]	45,18
Promedio [mm]	1147,5

C.40. RÍO MAHUIDANCHE EN SANTA ANA

La estación fluviométrica "Río Mahuidanche en Santa Ana" está ubicada en la cuenca "Río Toltén" de la región de La Araucanía. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 383,89 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 18,04 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Teodoro Schmidt" presenta una precipitación promedio anual de 1325,5 mm (Figura C.108).

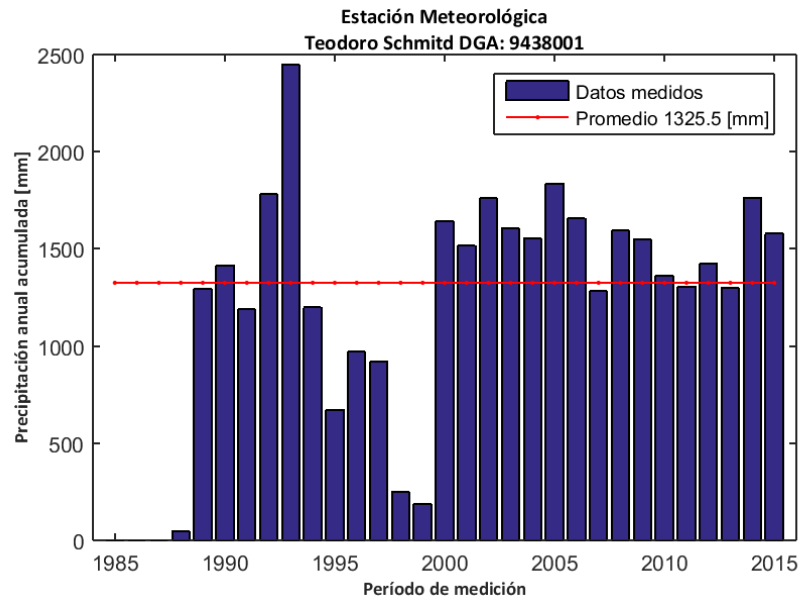


Figura C.108: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica "Teodoro Schmidt".

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,65 (Figura C.109), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

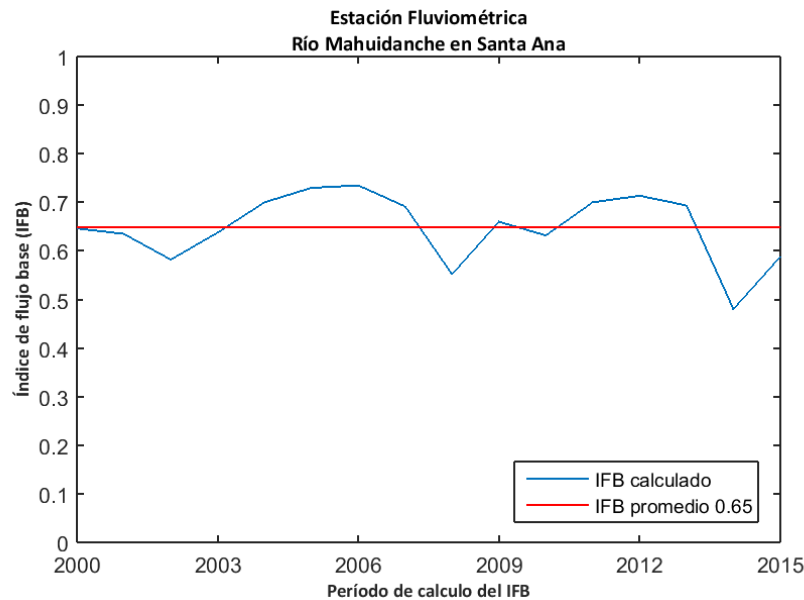


Figura C.109: Índice de flujo base para la estación fluviométrica "Río Mahuidanche en Santa Ana".

La recarga de agua subterránea en la estación "Río Mahuidanche en Santa Ana" durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 463,2

mm/año (Figura C.110) equivalente a un 34,9% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Teodoro Schmidt").

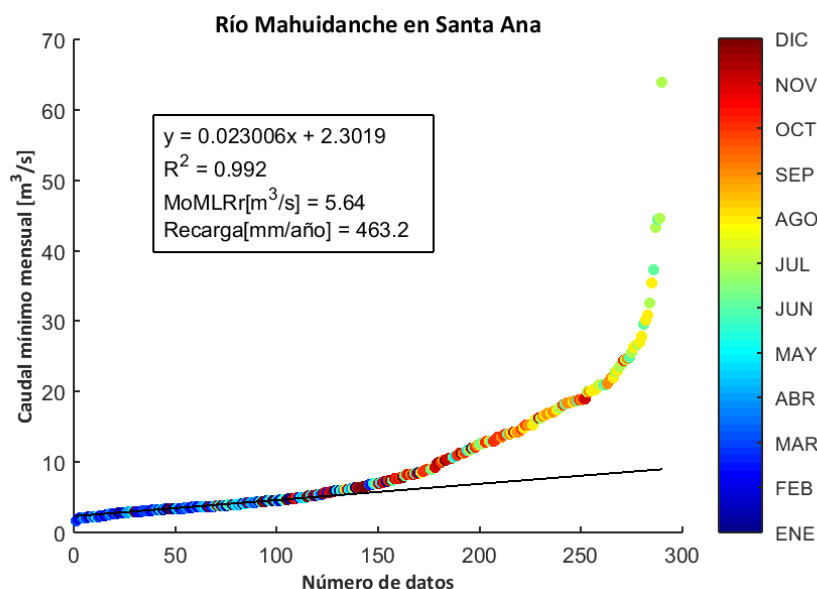


Figura C.110: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Mahuidanche en Santa Ana".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.67, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.67: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Mahuidanche en Santa Ana". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Mahuidanche en Santa Ana	47	34,7	79,2	157

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Mahuidanche en Santa Ana" sólo durante los años presentados en la

Tabla *c.68*, arrojando un valor promedio de 1196,3 mm/año equivalente a un 90,3% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Teodoro Schmidt").

Tabla C.68: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Mahuidanche en Santa Ana".

Años	Recarga [in]
1988	28,26
1990	54,80
1994	51,28
1995	61,28
1996	29,55
1997	61,84
1998	21,20
1999	38,23
2001	57,00
2005	74,05
2012	40,59
Promedio [in]	47,10
Promedio [mm]	1196,3

C.41. RÍO LIQUIÑE EN LIQUIÑE

La estación fluviométrica "Río Liquiñe en Liquiñe" está ubicada en la cuenca "Río Valdivia" de la región de Los Ríos. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 367,86 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 41,73 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Liquiñe" presenta una precipitación promedio anual de 2464,7 mm (Figura C.111).

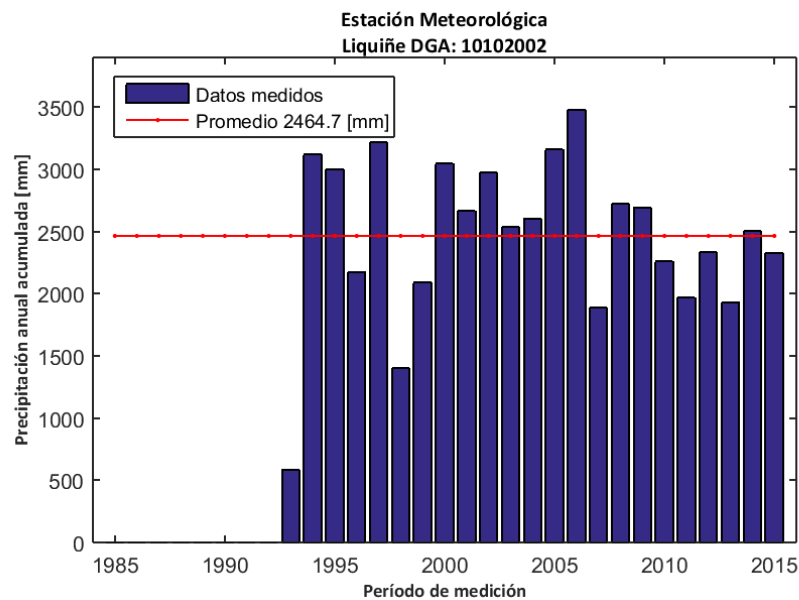


Figura C.111: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica "Liquiñe".

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,64 (Figura C.112), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

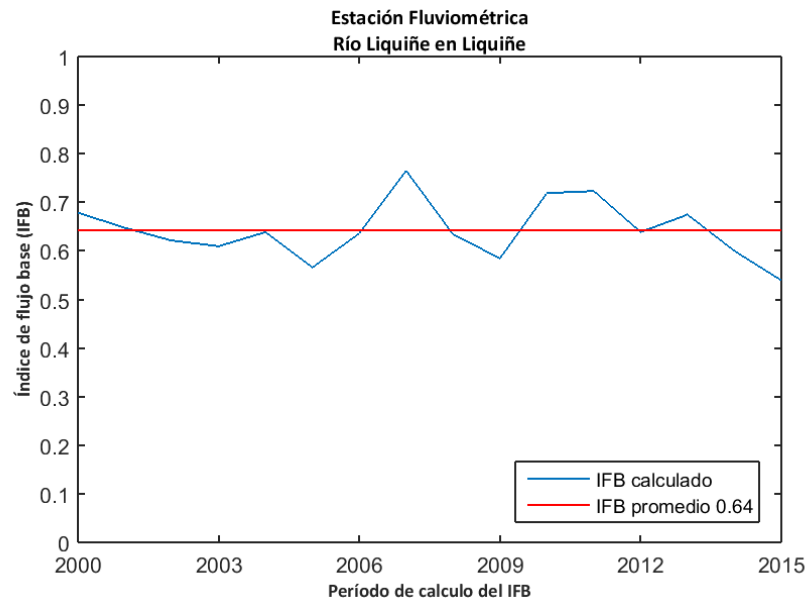


Figura C.112: Índice de flujo base para la estación fluviométrica "Río Liquiñe en Liquiñe".

La recarga de agua subterránea en la estación "Río Liquiñe en Liquiñe" durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 1564,4 mm/año (Figura C.113 equivalente a un 63,5% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Liquiñe")).

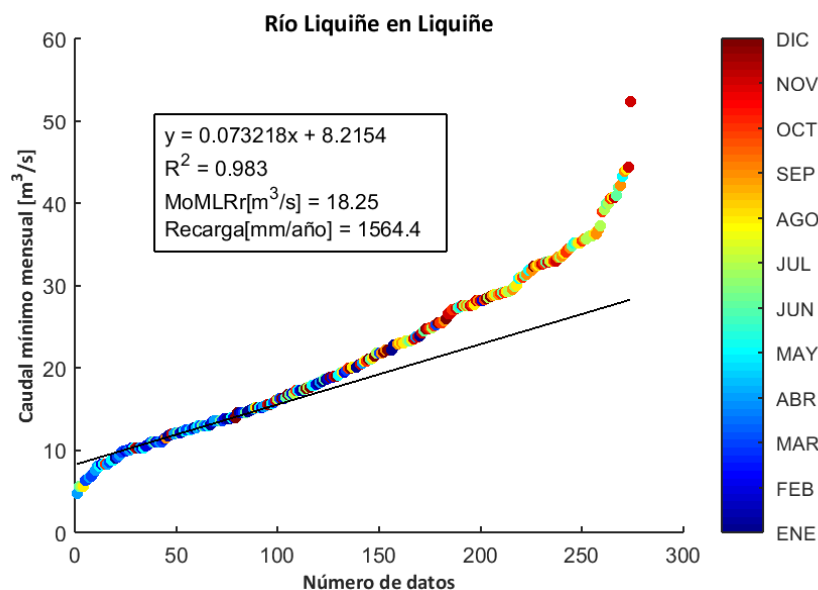


Figura C.113: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Liquiñe en Liquiñe".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.69, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.69: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Liquiñe en Liquiñe". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Liquiñe en Liquiñe	46	21,9	85,8	257,7

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Liquiñe en Liquiñe" sólo durante los años presentados en la Tabla C.70, arrojando un valor promedio de 2751,4 mm/año equivalente a un 111,6% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Liquiñe").

Tabla C.70: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Liquiñe en Liquiñe".

Años	Recarga [in]
1998	62,24
1999	95,25
2000	117,30
2001	108,85
2002	137,13

Años	Recarga [in]
2003	105,90
2004	105,46
2005	113,68
2006	139,86
2007	103,36
2008	107,62
2010	129,72
2011	120,89
2013	69,26
Promedio [in]	108,32
Promedio [mm]	2751,4

C.42. RÍO CRUCES EN RUCACO

La estación fluviométrica "Río Cruces en Rucaco" está ubicada en la cuenca "Río Valdivia" de la región de Los Ríos. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 1802,60 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 80,83 m³/s. La estación meteorológica más cercana "San José Mariquina" presenta una precipitación promedio anual de 1509,7 mm (Figura C.114).

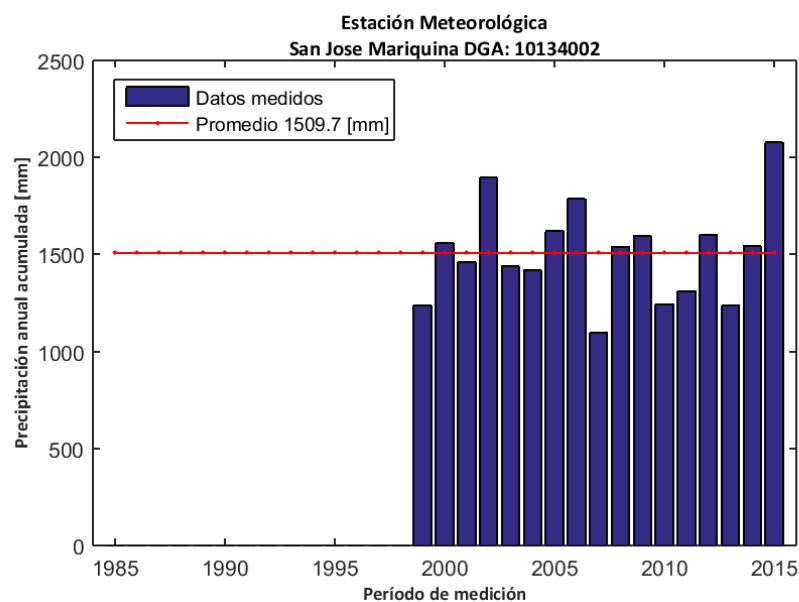


Figura C.114: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica "San José Mariquina".

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó

un promedio de 0,66 (Figura C.115), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

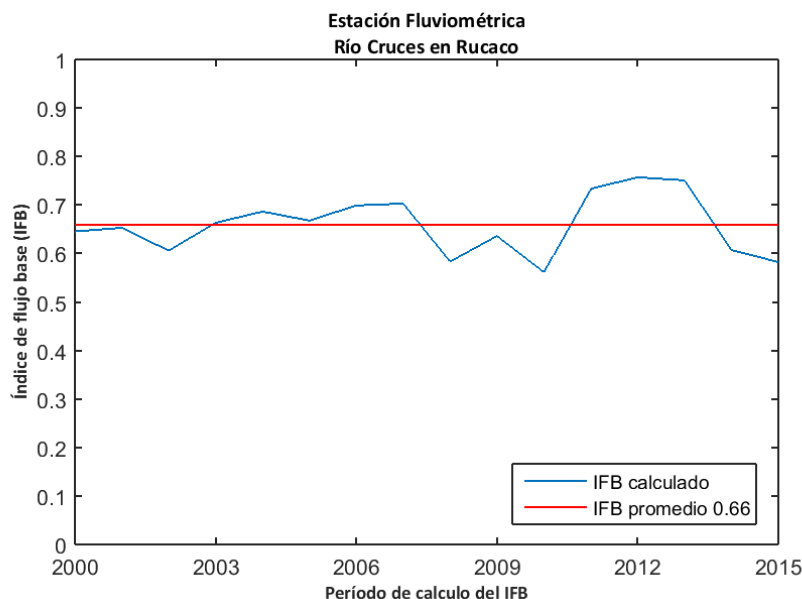


Figura C.115: Índice de flujo base para la estación fluviométrica "Río Cruces en Rucaco".

La recarga de agua subterránea en la estación "Río Cruces en Rucaco" durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 328,9 mm/año (Figura C.116) equivalente a un 21,8% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("San José Mariquina").

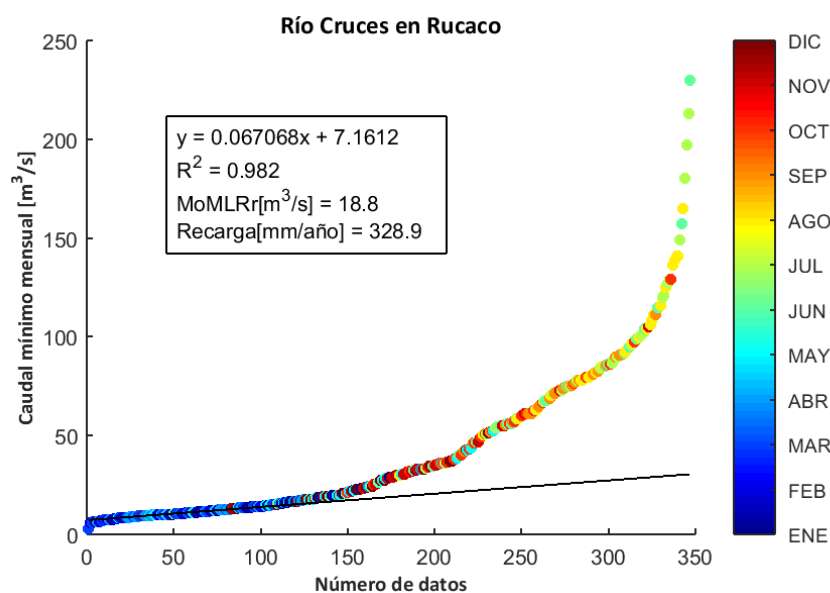


Figura C.116: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Cruces en Rucaco".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.71, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.71: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Cruces en Rucaco". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K_{min}	K_{med}	K_{max}
Río Cruces en Rucaco	47	23,6	85,8	155

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Cruces en Rucaco" sólo durante los años presentados en la Tabla C.72, arrojando un valor promedio de 1248,1 mm/año equivalente a un 82,7% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("San José Mariquina").

Tabla C.72: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Cruces en Rucaco".

Años	Recarga [in]
1985	50,53
1986	58,69
1987	49,16
1988	32,77
1989	35,85
1990	53,36
1991	53,72
1992	63,70
1993	68,24
1995	56,27
1997	59,65
1998	19,99
2000	51,50
2001	51,73
2002	63,71
2003	53,67
2004	45,98
2005	60,04
2006	64,64
2007	38,64
2008	45,09
2009	46,37

Años	Recarga [in]
2011	27,36
2012	37,97
2013	39,29
2014	47,08
2015	51,69
Promedio [in]	49,14
Promedio [mm]	1248,1

C.43. RÍO IÑAQUE EN MÁFIL

La estación fluviométrica "Río Iñaque en Máfil" está ubicada en la cuenca "Río Valdivia" de la región de Los Ríos. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 538,96 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 18,29 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Huichaco" presenta una precipitación promedio anual de 1705,0 mm (Figura C.117).

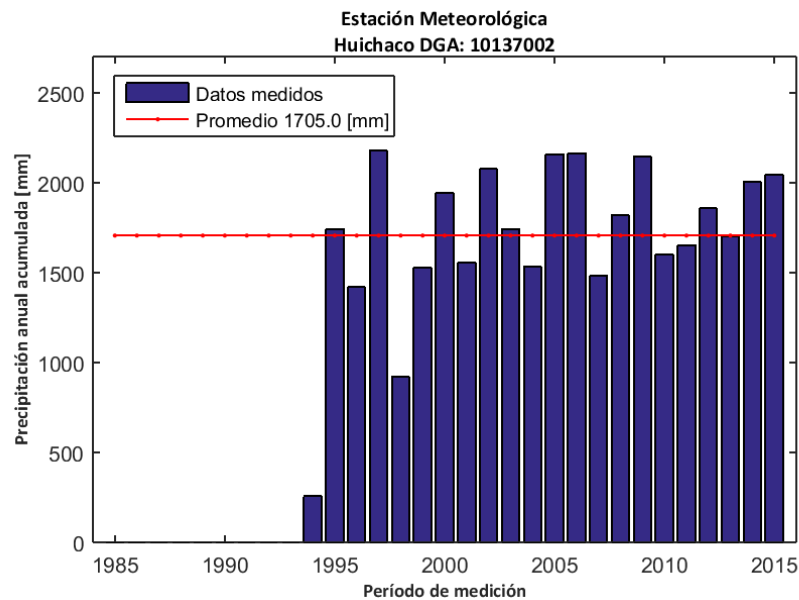


Figura C.117: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica "Huichaco".

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,62 (Figura C.118), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

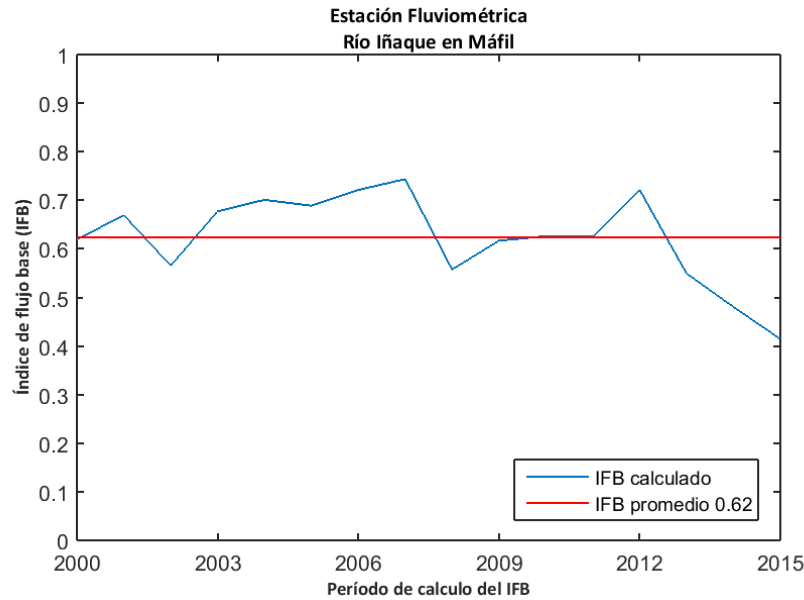


Figura C.118: Índice de flujo base para la estación fluvimétrica "Río Iñaque en Máfil".

La recarga de agua subterránea en la estación "Río Iñaque en Máfil" durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 306,5 mm/año (Figura C.119) equivalente a un 18,0% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Huichaco").

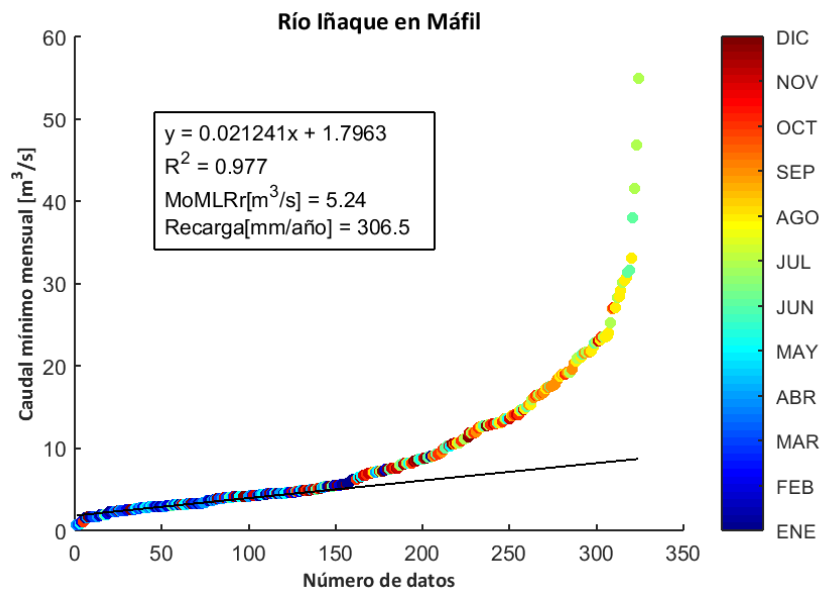


Figura C.119: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluvimétrica "Río Iñaque en Máfil".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluvimétrica de control se presentan en la Tabla C.73, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga

mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.73: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Iñaque en Máfil". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K_{min}	K_{med}	K_{max}
Río Iñaque en Máfil	47	25	89,9	171

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Iñaque en Máfil" sólo durante los años presentados en la Tabla C.74, arrojando un valor promedio de 980,9 mm/año equivalente a un 57,5% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Huichaco").

Tabla C.74: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Iñaque en Máfil".

Años	Recarga [in]
1987	37,79
1988	25,24
1989	27,48
1990	36,75
1991	37,57
1993	78,81
1994	40,77
1995	43,50
1997	43,33
1998	15,65
2000	41,14
2001	44,17
2002	51,73
2003	40,18
2004	37,09
2005	49,80
2006	50,31
2007	27,53
2012	20,21
2014	23,30
Promedio [in]	38,68
Promedio [mm]	980,9

C.44. RÍO SANTO DOMINGO EN RINCONADA DE PIEDRA

La estación fluviométrica "Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra" está ubicada en la cuenca "Río Queule" de la región de La Araucanía. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 107,56 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 8,47 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Toltén" presenta una precipitación promedio anual de 1980,7 mm (Figura C.120).

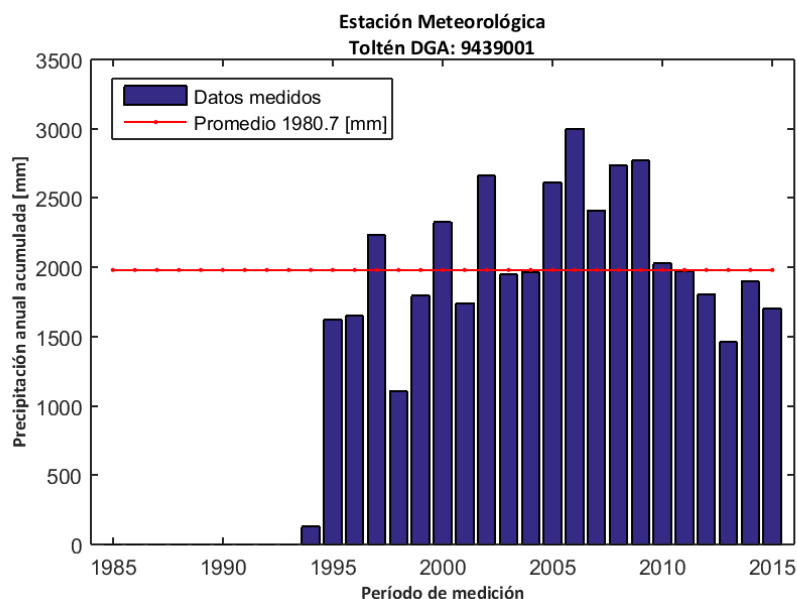


Figura C.120: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica "Toltén".

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,59 (Figura C.121), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

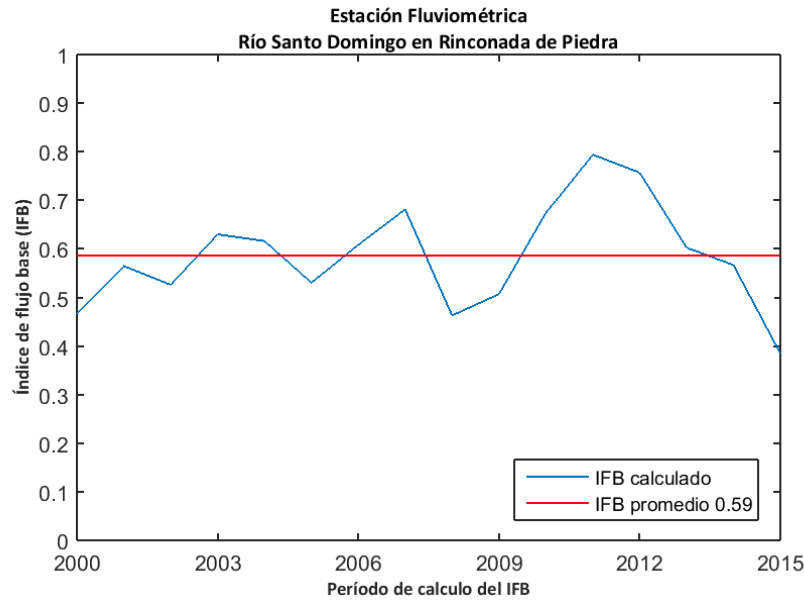


Figura C.121: Índice de flujo base para la estación fluviométrica "Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra".

La recarga de agua subterránea en la estación "Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra" durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 628,8 mm/año (Figura C.122) equivalente a un 31,7% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Toltén").

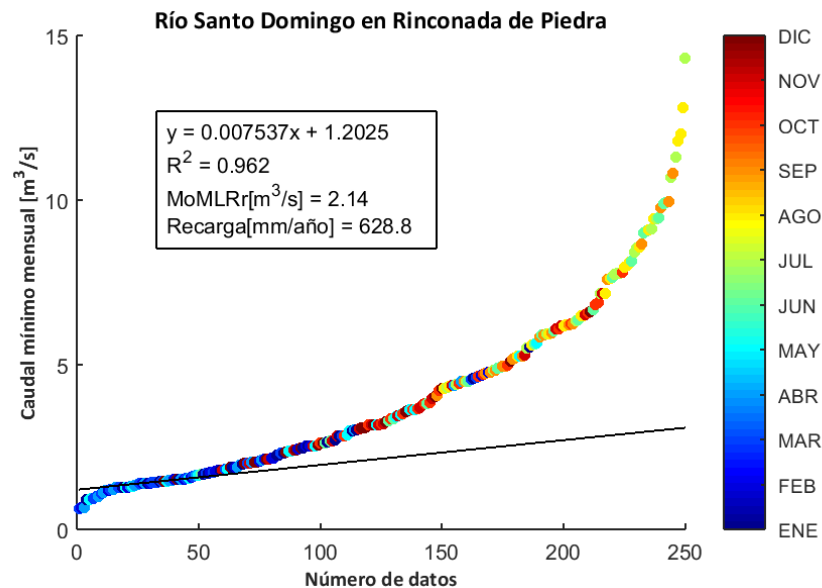


Figura C.122: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.75, donde se muestran el número de segmentos analizados en el

cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.75: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra".
Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra	41	24,4	79,7	180,2

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Santo Domingo en Rinconada de Piedra" sólo durante los años presentados en la Tabla C.76, arrojando un valor promedio de 1930,7 mm/año equivalente a un 97,5% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Toltén").

Tabla C.76: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Santo Domingo en Rinconada De Piedra".

Años	Recarga [in]
1994	76,13
1995	74,02
1996	51,36
1997	91,13
1998	44,04
1999	54,57
2001	66,65
2004	71,89
2006	91,96
2008	85,31
2009	75,55
2011	113,26
2012	98,54
2013	69,77
Promedio [in]	76,01
Promedio [mm]	1930,7

C.45. RÍO FUTA EN TRES CHIFLONES

La estación fluviométrica "Río Futa en Tres Chiflones" está ubicada en la cuenca "Río Valdivia" de la región de Los Ríos. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 517,06 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 27,22 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Llancahue" presenta una precipitación promedio anual de 1935,1 mm (Figura C.123).

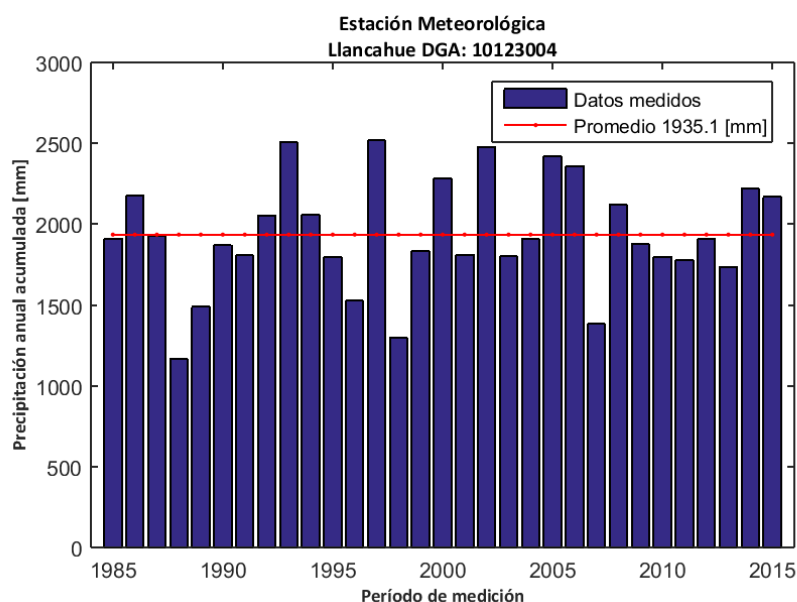


Figura C.123: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica "Llancahue".

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,46 (Figura C.124), lo cual indica que la influencia de agua subterránea en el caudal no es significativa.

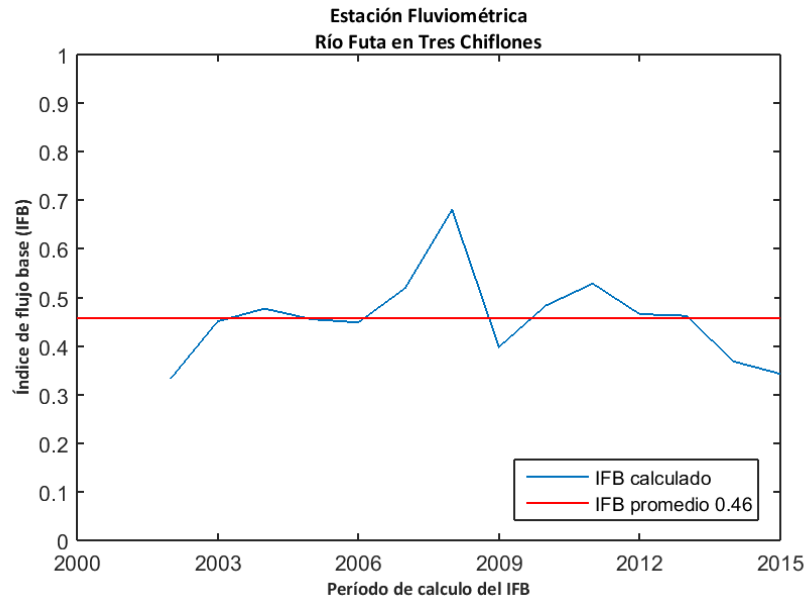


Figura C.124: Índice de flujo base para la estación fluviométrica "Río Futa en Tres Chiflones".

La recarga de agua subterránea en la estación "Río Futa en Tres Chiflones" durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 320,8 mm/año (Figura C.125) equivalente a un 16,6% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Llancahue").

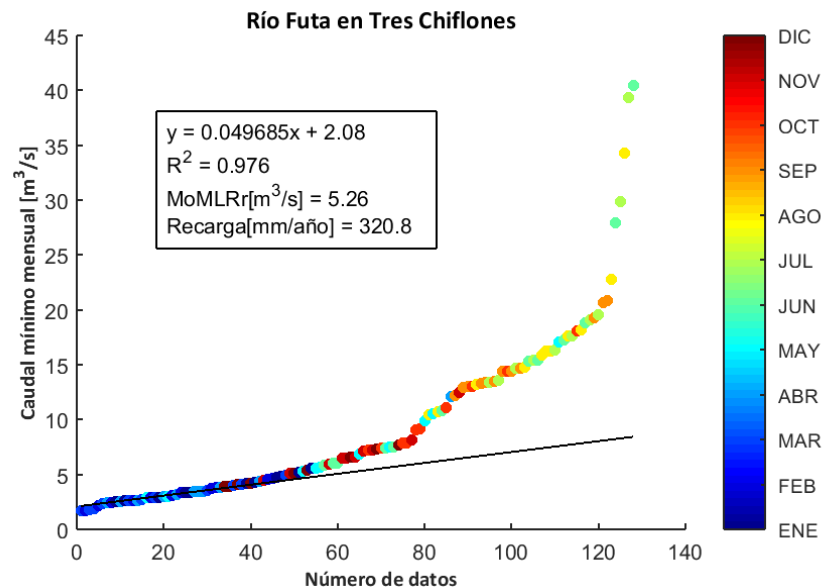


Figura C.125: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Futa en Tres Chiflones".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.77, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga

mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.77: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Futa en Tres Chiflones". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Futa en Tres Chiflones	38	9,2	63,8	136

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Futa en Tres Chiflones" sólo durante los años presentados en la Tabla C.78, arrojando un valor promedio de 886,1 mm/año equivalente a un 45,8% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Llancahue").

Tabla C.78: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Futa en Tres Chiflones".

Años	Recarga [in]
2007	31,71
2012	38,06
Promedio [in]	34,89
Promedio [mm]	886,1

C.46. RÍO CAUNAHUE CAMINO A LLIFÉN

La estación fluviométrica "Río Caunahue Camino a Llifén" está ubicada en la cuenca "Río Bueno" de la región de Los Ríos. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 355,59 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 37,49 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Caunahue" presenta una precipitación promedio anual de 1616,9 mm (Figura C.126).

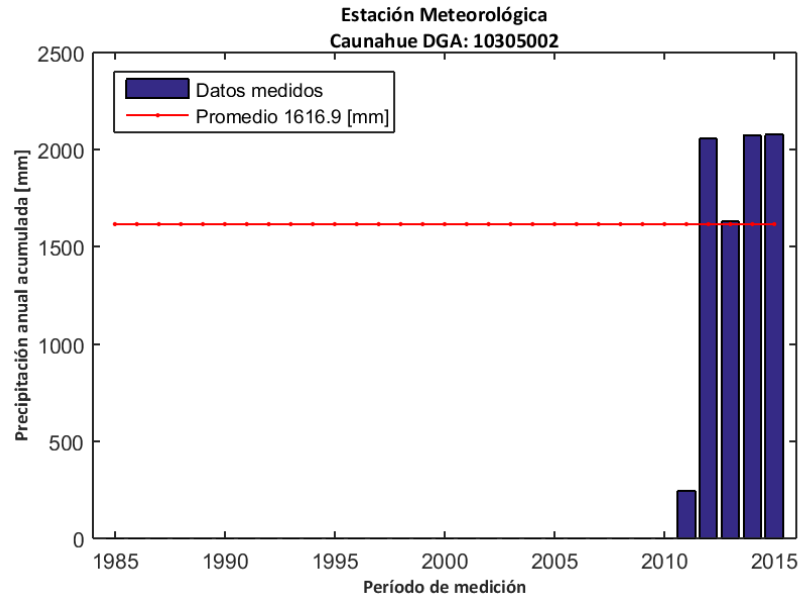


Figura C.126: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica "Caunahue".

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,50 (Figura C.127), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

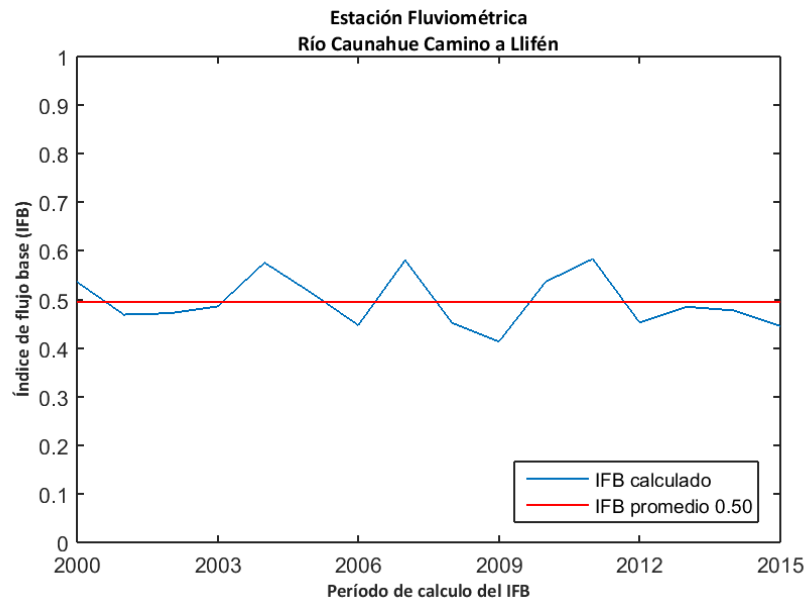


Figura C.127: Índice de flujo base para la estación fluviométrica "Río Caunahue Camino a Llifén".

La recarga de agua subterránea en la estación "Río Caunahue Camino a Llifén" durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 780,9 mm/año

(Figura C.128) equivalente a un 48,3% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Caunahue").

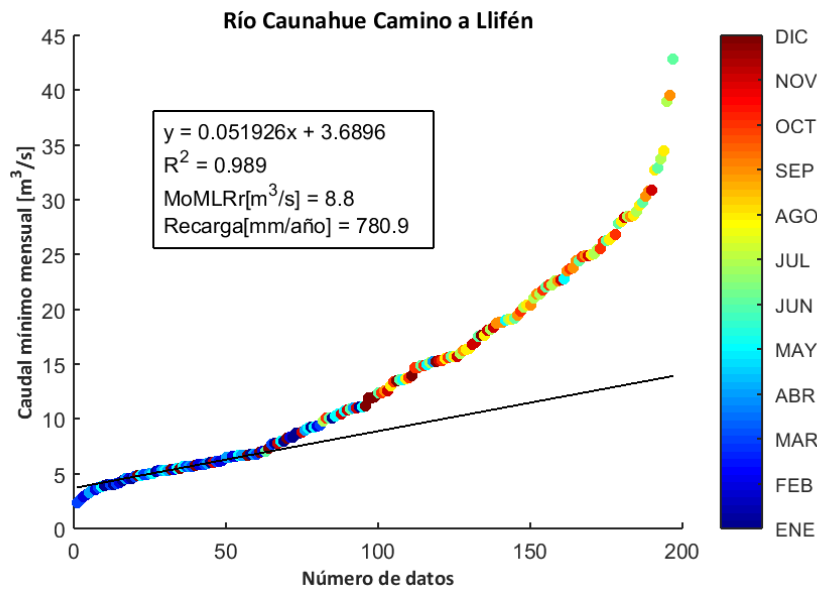


Figura C.128: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Caunahue Camino a Llifén".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.79, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.79: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Caunahue Camino a Llifén". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	Kmin	Kmed	Kmax
Río Caunahue Camino a Llifén	26	34	64,7	110,7

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Caunahue Camino a Llifén" sólo durante los años presentados en la

Tabla *c.80*, arrojando un valor promedio de 2282,1 mm/año equivalente a un 141,1% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Caunahue").

Tabla C.80: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Caunahue Camino A Llifén".

Años	Recarga [in]
1998	46,36
2000	94,88
2004	106,50
2005	104,36
2006	126,33
2007	80,34
2008	76,76
2010	93,18
2011	96,26
2012	92,19
2013	78,15
2014	82,83
Promedio [in]	89,85
Promedio [mm]	2282,1

C.47. RÍO LLOLLEHUE EN LA UNIÓN

La estación fluviométrica "Río Llollehue en La Unión" está ubicada en la cuenca "Río Bueno" de la región de Los Ríos. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 689,79 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 16,52 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Río Llollehue en La Unión" presenta una precipitación promedio anual de 992,3 mm (Figura C.129).

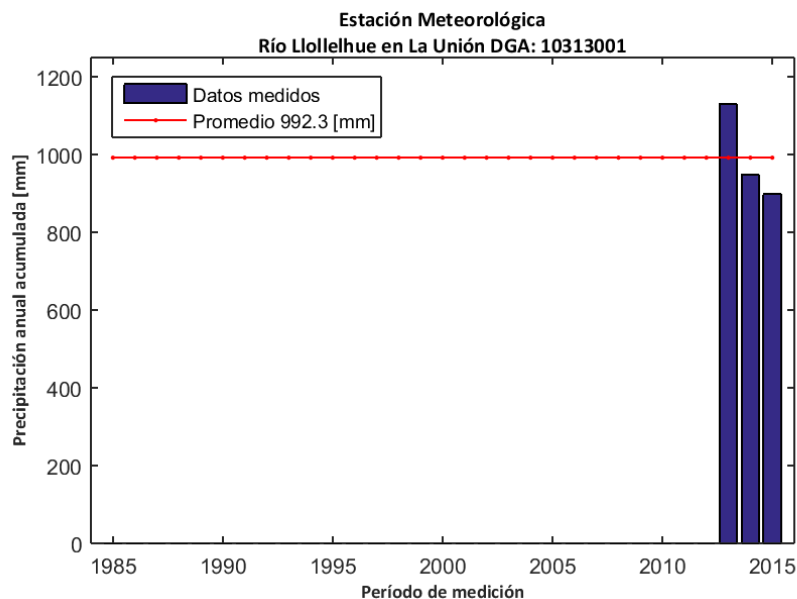


Figura C.129: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica "Río Llolelhue en La Unión".

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,73 (Figura C.130), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

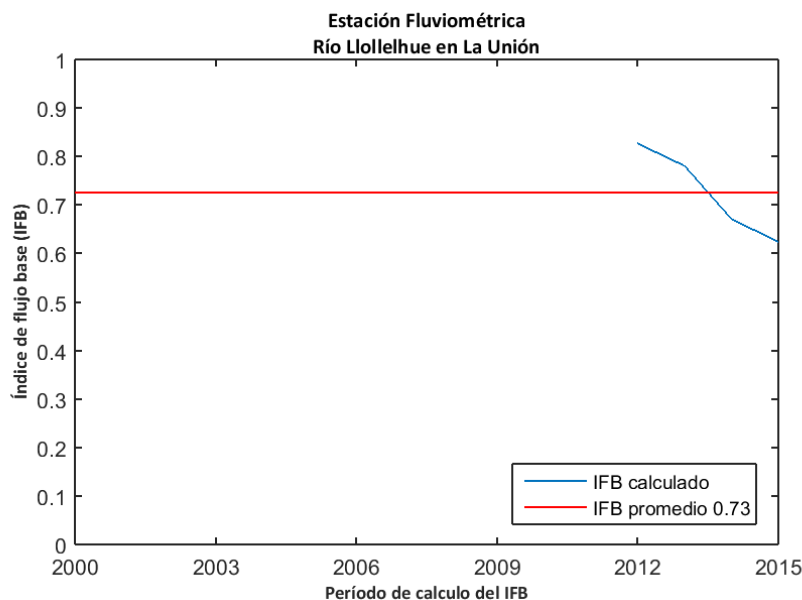


Figura C.130: Índice de flujo base para la estación fluviométrica "Río Llolelhue en La Unión".

La recarga de agua subterránea en la estación "Río Llolelhue en La Unión" durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 291,9 mm/año (Figura

C.131) equivalente a un 29,4% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Río Llollelhue en La Unión").

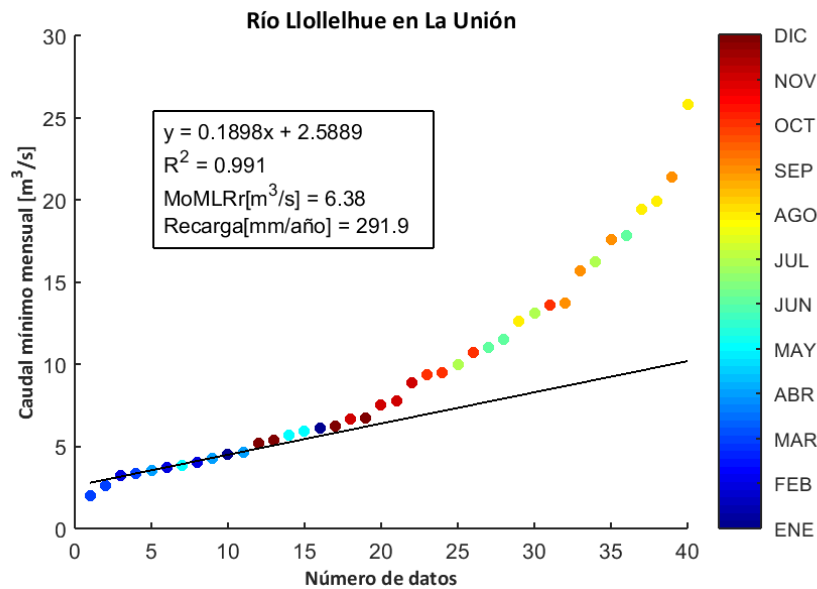


Figura C.131: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Llollelhue en La Unión".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.81, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.81: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Llollelhue en La Unión". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Llollelhue en La Unión	6	65,2	100,7	150,4

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Llollelhue en La Unión" sólo durante los años presentados en la

Tabla *c.82*, arrojando un valor promedio de 589,4 mm/año equivalente a un 59,4% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Río Llollelhue en La Unión").

Tabla C.82: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Llollelhue en La Unión".

Años	Recarga [in]
2013	21,04
2014	25,37
Promedio [in]	23,21
Promedio [mm]	589,4

C.48. RÍO GOLGOL EN PUENTE N°2

La estación fluviométrica "Río Golgol en Puente N°2" está ubicada en la cuenca "Río Bueno" de la región de Los Ríos. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 503,04 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 63,09 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Anticura" presenta una precipitación promedio anual de 1678,1 mm (Figura C.132).

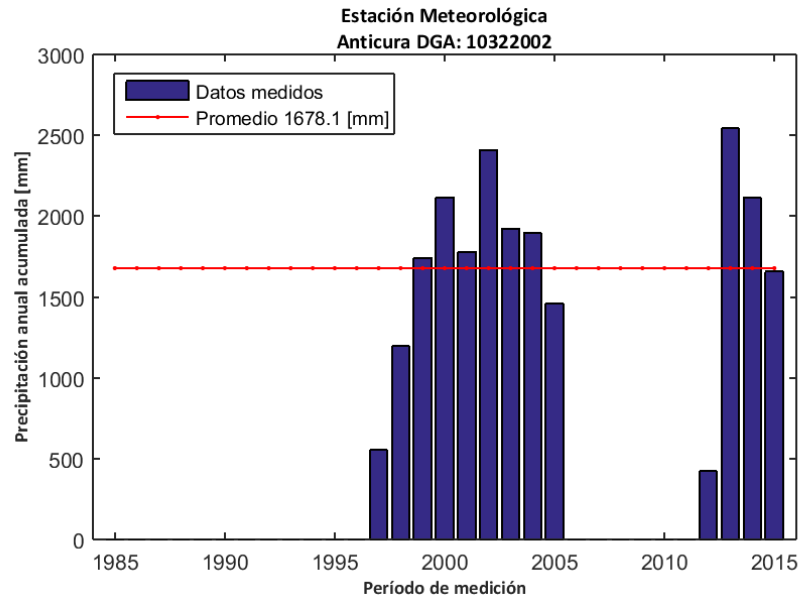


Figura C.132: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica "Anticura".

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,64 (Figura C.133), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

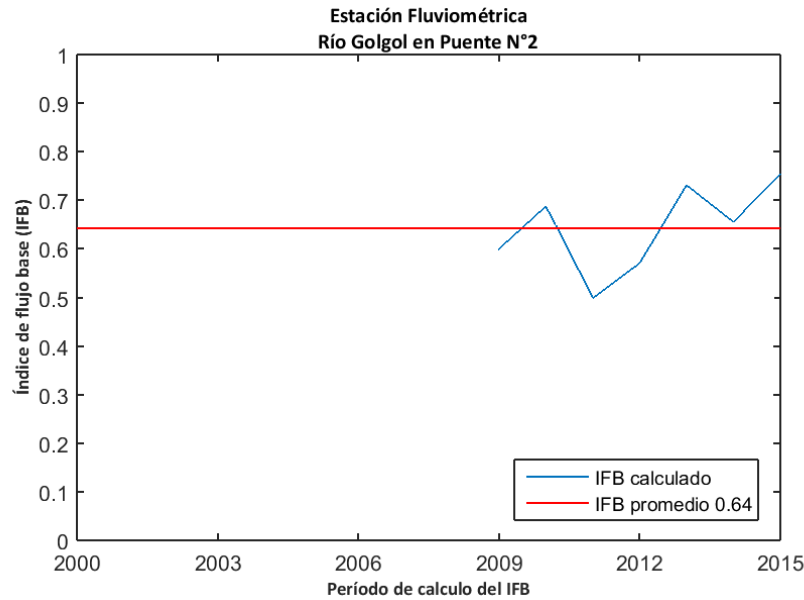


Figura C.133: Índice de flujo base para la estación fluviométrica "Río Golgol en Puente N°2".

La recarga de agua subterránea en la estación "Río Golgol en Puente N°2" durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 1965,1 mm/año (Figura C.134) equivalente a un 117,1% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Anticura").

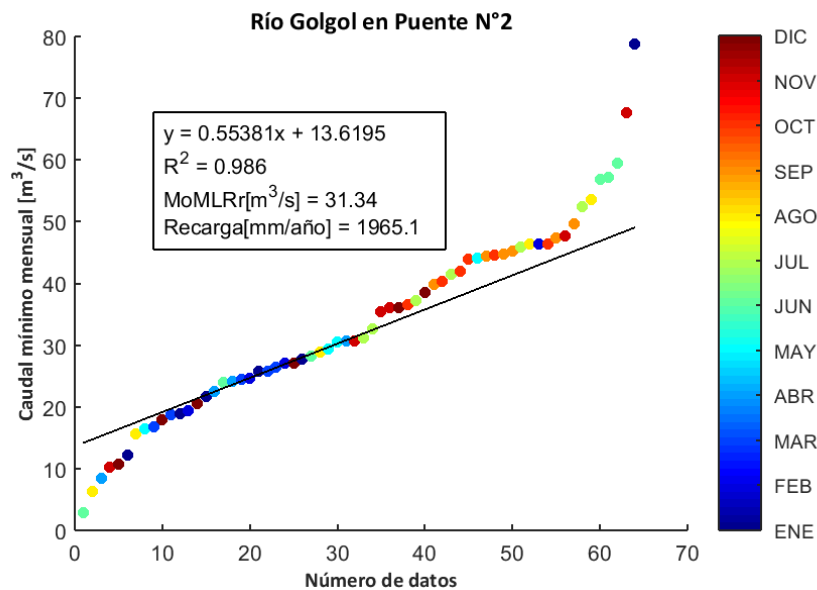


Figura C.134: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Golgol en Puente N°2".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.83, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga

mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.83: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Golgol en Puente N°2". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Golgol en Puente N°2	11	23,8	51,5	85,2

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Golgol en Puente N°2" sólo durante los años presentados en la Tabla C.84, arrojando un valor promedio de 3104,6 mm/año equivalente a un 185,0% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Anticura").

Tabla C.84: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Golgol en Puente N° 2".

Años	Recarga [in]
2010	122,23
Promedio [in]	122,23
Promedio [mm]	3104,6

C.49. RÍO CHIRRE ANTES JUNTA RÍO PILMAIQUÉN

La estación fluviométrica "Río Chirre Antes Junta Río Pilmaiquén" está ubicada en la cuenca "Río Bueno" de la región de Los Ríos. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 776,23 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 46,31 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Río Pilmaiquén en San Pablo" presenta una precipitación promedio anual de 836,6 mm (Figura C.135).

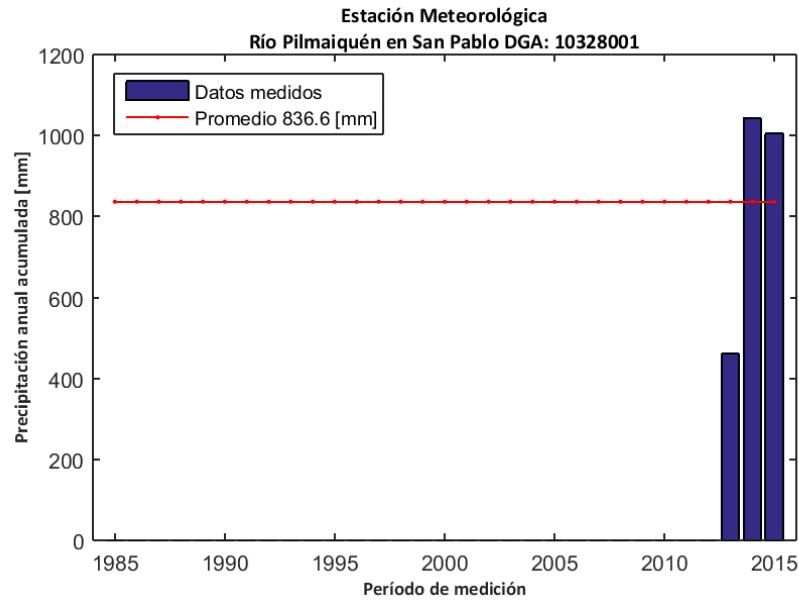


Figura C.135: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica "Río Pilmaiquén en San Pablo".

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,58 (Figura C.136), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

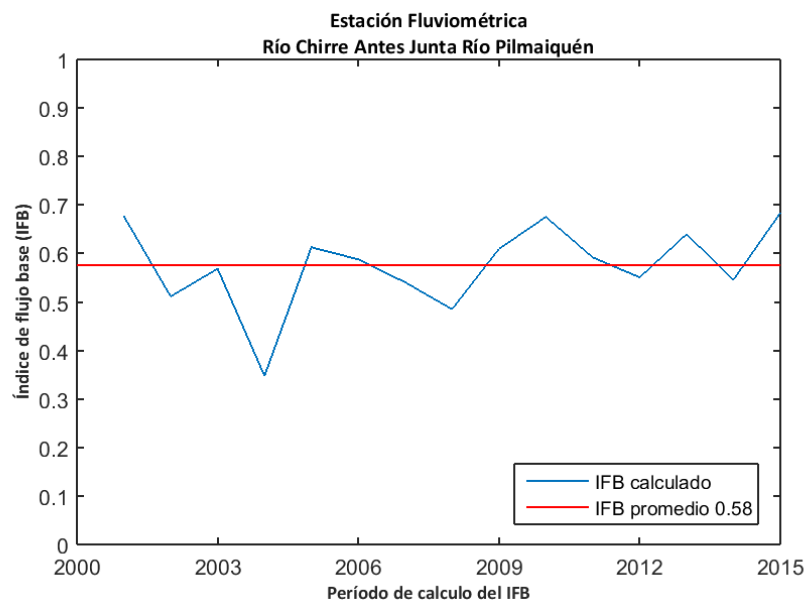


Figura C.136: Índice de flujo base para la estación fluviométrica "Río Chirre Antes Junta Río Pilmaiquén".

La recarga de agua subterránea en la estación "Río Chirre Antes Junta Río Pilmaiquén" durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 575,9

mm/año (Figura C.137) equivalente a un 68,8% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Río Pilmaiquén en San Pablo").

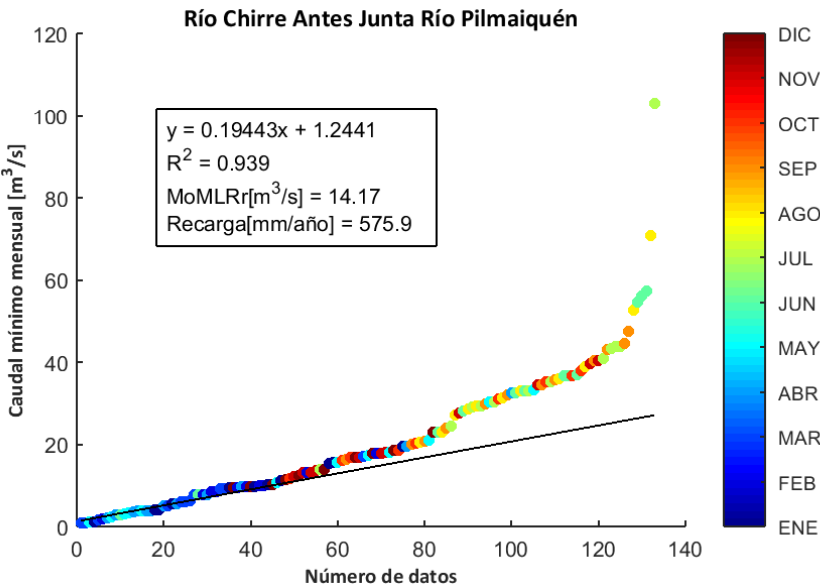


Figura C.137: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Chirre Antes Junta Río Pilmaiquén".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.85, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.85: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Chirre Antes Junta Río Pilmaiquén". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	Kmin	Kmed	Kmax
Río Chirre Antes Junta Pilmaiquén	16	21,5	44,3	98,2

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Chirre Antes Junta Río Pilmaiquén" sólo durante los años presentados en la

Tabla *c.86*, arrojando un valor promedio de 1430,2 mm/año equivalente a un 171,0% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Río Pilmaiquén en San Pablo").

Tabla C.86: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Chirre Antes Junta Río Pilmaiquén".

Años	Recarga [in]
2005	56,85
2006	75,71
2007	40,26
2013	52,41
Promedio [in]	56,31
Promedio [mm]	1430,2

C.50. RÍO COIHUECO ANTES JUNTA RÍO RAHUE

La estación fluviométrica "Río Coihueco Antes Junta Río Rahue" está ubicada en la cuenca "Río Bueno" de la región de Los Lagos. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 702,80 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 44,08 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Río Rahue en Desagüe Lago Rupanco" presenta una precipitación promedio anual de 1532,3 mm (Figura C.138).

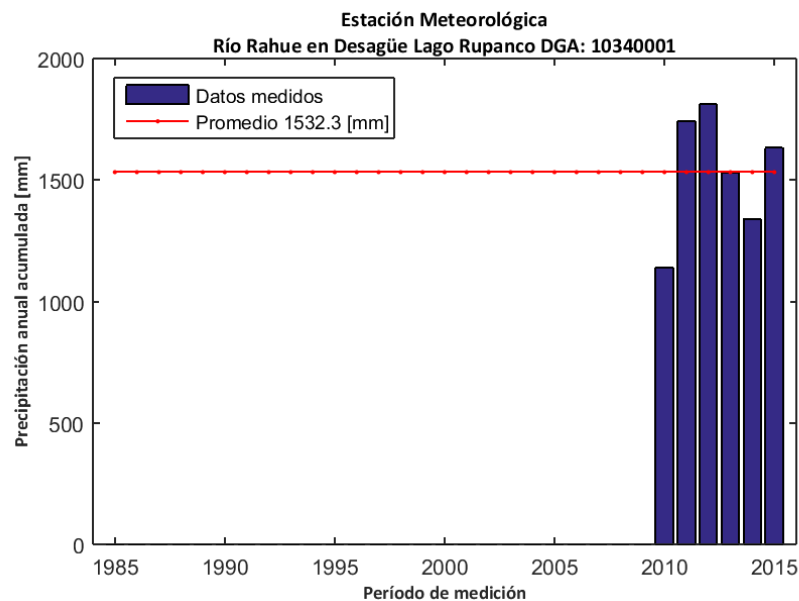


Figura C.138: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica "Río Rahue en Desagüe Lago Rupanco".

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,46 (Figura C.139), lo cual indica que la influencia de agua subterránea en el caudal no es significativa.

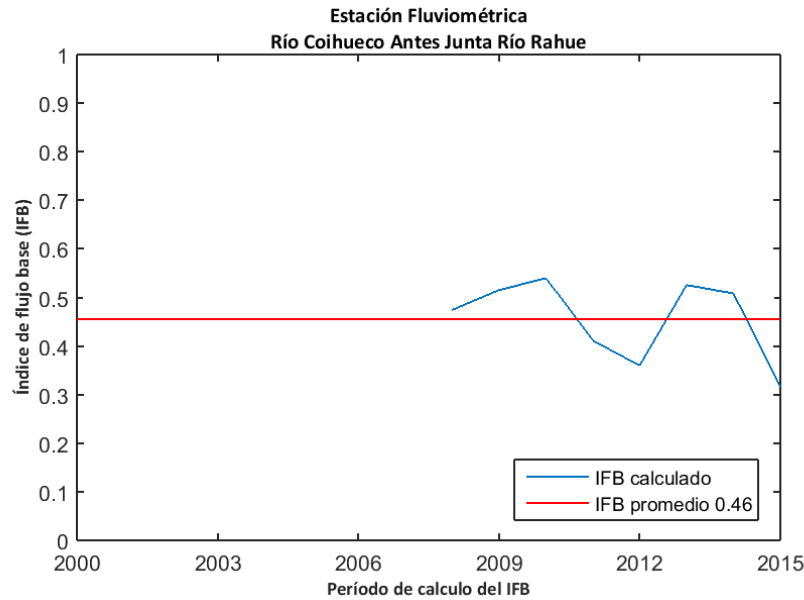


Figura C.139: Índice de flujo base para la estación fluviométrica "Río Coihueco Antes Junta Río Rahue".

La recarga de agua subterránea en la estación "Río Coihueco Antes Junta Río Rahue" durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 605,7 mm/año (Figura C.140) equivalente a un 39,5% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Río Rahue en Desagüe Lago Rupanco").

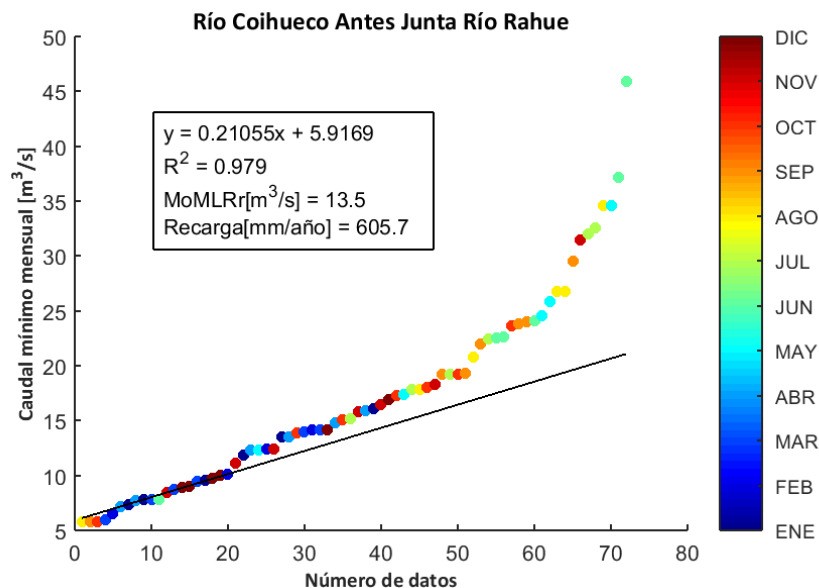


Figura C.140: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Coihueco Antes Junta Río Rahue".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.87, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo,

además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.87: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Coihueco Antes Junta Río Rahue". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K_{min}	K_{med}	K_{max}
Río Coihueco Antes Junta Rahue	19	32,1	65,4	112,7

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Coihueco Antes Junta Río Rahue" sólo durante los años presentados en la Tabla C.88, arrojando un valor promedio de 1419,1 mm/año equivalente a un 92,6% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Río Rahue en Desagüe Lago Rupanco").

Tabla C.88: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Coihueco Antes Junta Río Rahue".

Años	Recarga [in]
2013	53,33
2014	58,41
Promedio [in]	55,87
Promedio [mm]	1419,1

C.51. RÍO NEGRO EN CHAHUILCO

La estación fluviométrica "Río Negro en Chahuilco" está ubicada en la cuenca "Río Bueno" de la región de Los Lagos. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 2279,73 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 61,57 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Río Negro en Chahuilco" presenta una precipitación promedio anual de 1265,5 mm (Figura C.141).

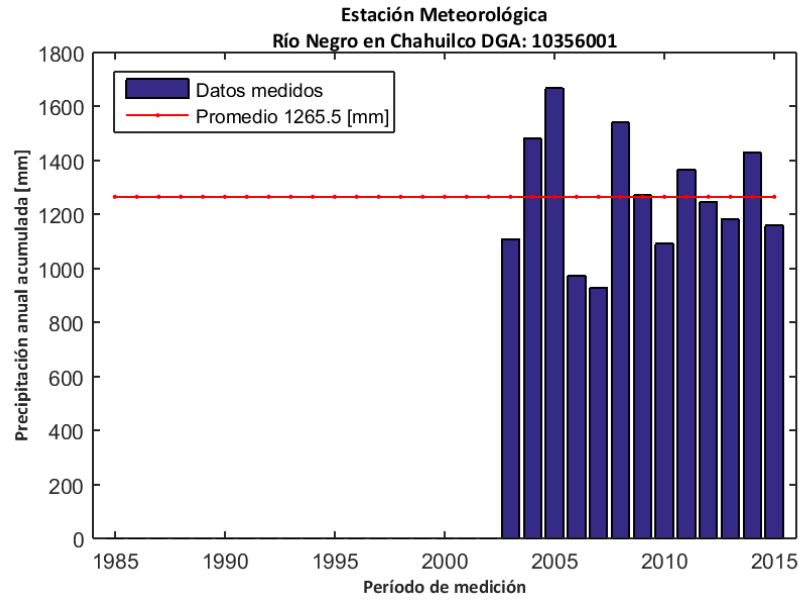


Figura C.141: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica "Río Negro en Chahuilco".

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,59 (Figura C.142), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

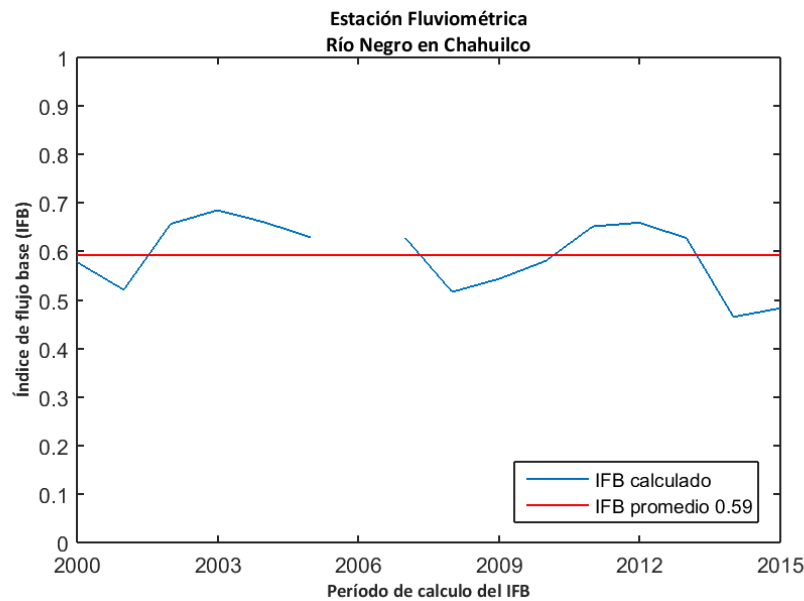


Figura C.142: Índice de flujo base para la estación fluviométrica "Río Negro en Chahuilco".

La recarga de agua subterránea en la estación "Río Negro en Chahuilco" durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 165,9 mm/año (Figura

C.143) equivalente a un 13,1% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Río Negro en Chahuilco").

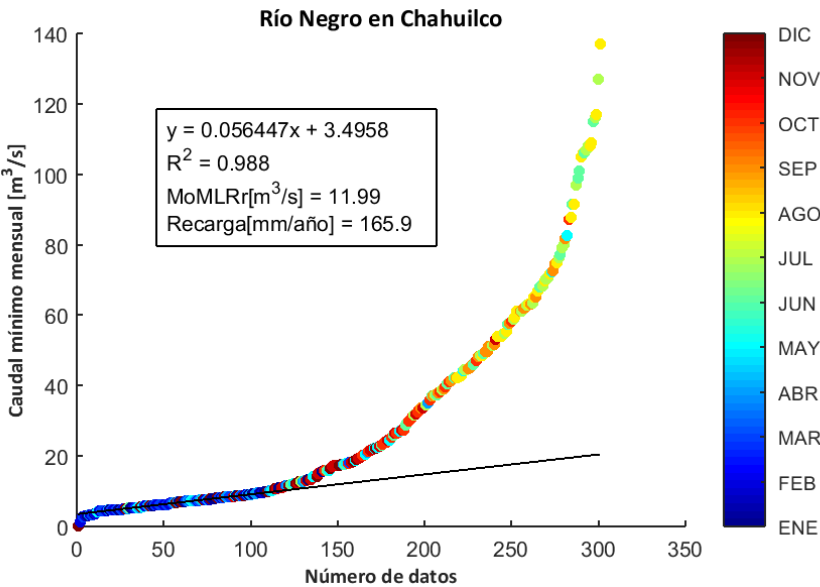


Figura C.143: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Negro en Chahuilco".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.89, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.89: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Negro en Chahuilco". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Negro en Chahuilco	49	25,9	57,7	135,7

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Negro en Chahuilco" sólo durante los años presentados en la

Tabla *c.90*, arrojando un valor promedio de 681,5 mm/año equivalente a un 53,9% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Río Negro en Chahuilco").

Tabla C.90: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Negro en Chahuilco".

Años	Recarga [in]
1987	24,21
1988	14,89
1989	19,97
1991	25,06
1992	33,65
1994	30,68
1995	31,41
1996	18,93
2001	28,37
2002	42,39
2003	25,75
2004	24,08
2005	37,82
2011	30,48
2012	22,86
2013	21,58
2014	27,40
2015	23,41
Promedio [in]	26,83
Promedio [mm]	681,5

C.52. RÍO TRANALLAGUÍN EN CARRICO

La estación fluviométrica "Río Tranallaguín en Carrico" está ubicada en las cuencas "Costeras e Islas entre Ríos Bueno y Puelo" de la región de Los Lagos. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 412,18 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 13,75 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Bahía Mansa" presenta una precipitación promedio anual de 1361,6 mm (Figura C.144).

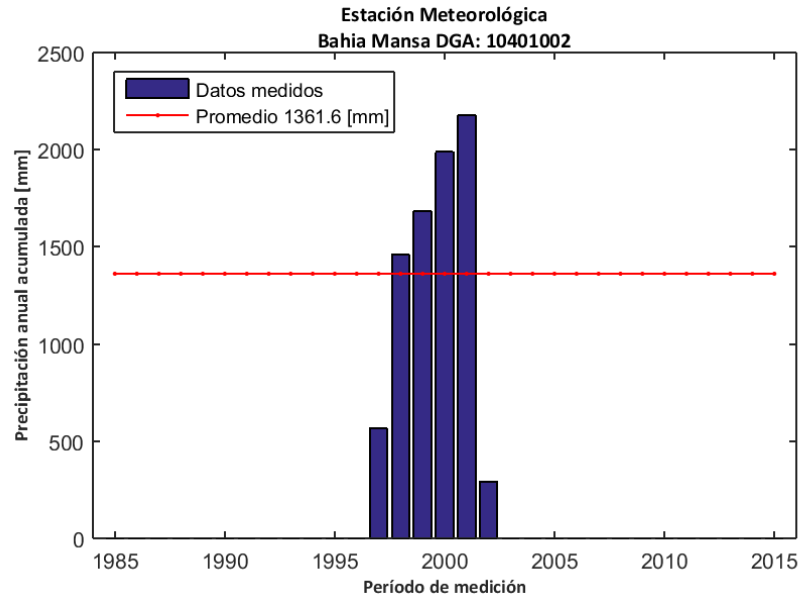


Figura C.144: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica "Bahía Mansa".

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,37 (Figura C.145), lo cual indica que la influencia de agua subterránea en el caudal no es significativa.

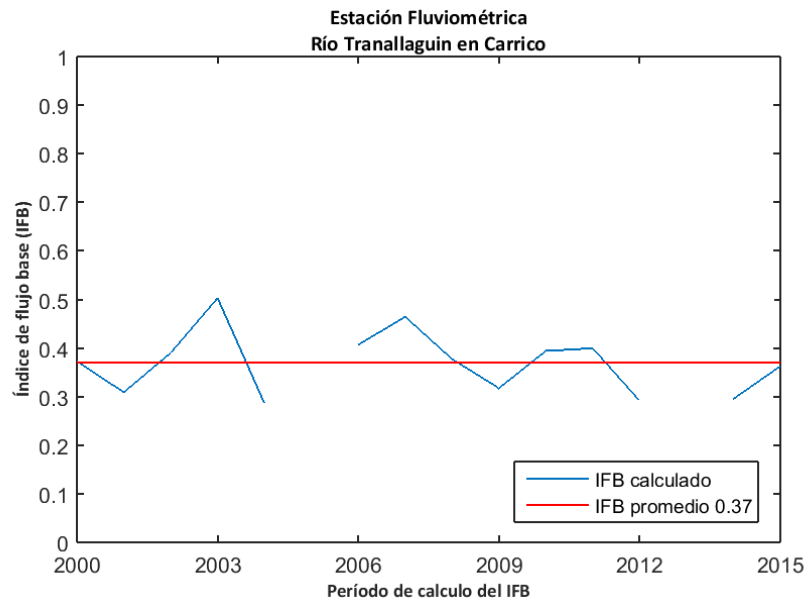


Figura C.145: Índice de flujo base para la estación fluviométrica "Río Tranallaguín en Carrico".

La recarga de agua subterránea en la estación "Río Tranallaguín en Carrico" durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 168,3 mm/año (Figura

C.146) equivalente a un 12,4% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Bahía Mansa").

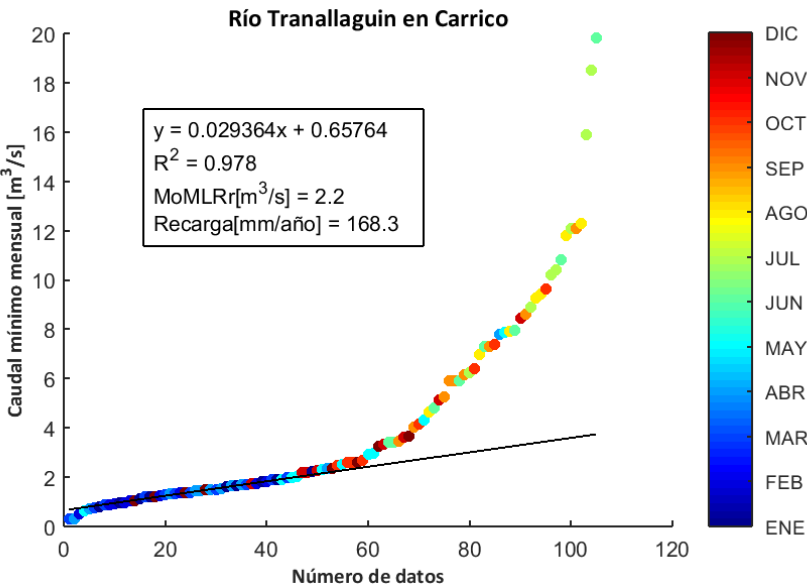


Figura C.146: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Tranallaguín en Carrico".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.91, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.91: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Tranallaguín en Carrico". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Tranallaguín en Carrico	22	24,6	46,1	111,6

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Tranallaguín en Carrico" sólo durante los años presentados en la Tabla C.92, arrojando un valor promedio de 638,8 mm/año equivalente a un 46,9% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Bahía Mansa").

Tabla C.92: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Tranallaguín en Carrico".

Años	Recarga [in]
2001	26,10
2003	28,40

Años	Recarga [in]
2007	22,87
2008	23,23
Promedio [in]	25,15
Promedio [mm]	638,8

C.53. RÍO HUEYUSCA EN ÑAPECO

Los datos de caudal en esta estación fluviométrica son insuficientes para realizar una correcta interpretación de los datos y obtener un valor de recarga certero. Por ello, no se aplicarán las metodologías de estimación de recarga.

C.54. RÍO CHICO ANTES RÍO CHAMIZA

La estación fluviométrica "Río Chico Antes Río Chamiza" está ubicada en las cuencas "Costeras e Islas entre Ríos Bueno y Puelo" de la región de Los Lagos. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 136,68 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 11,96 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Puerto Montt" presenta una precipitación promedio anual de 1881,0 mm (Figura C.147).

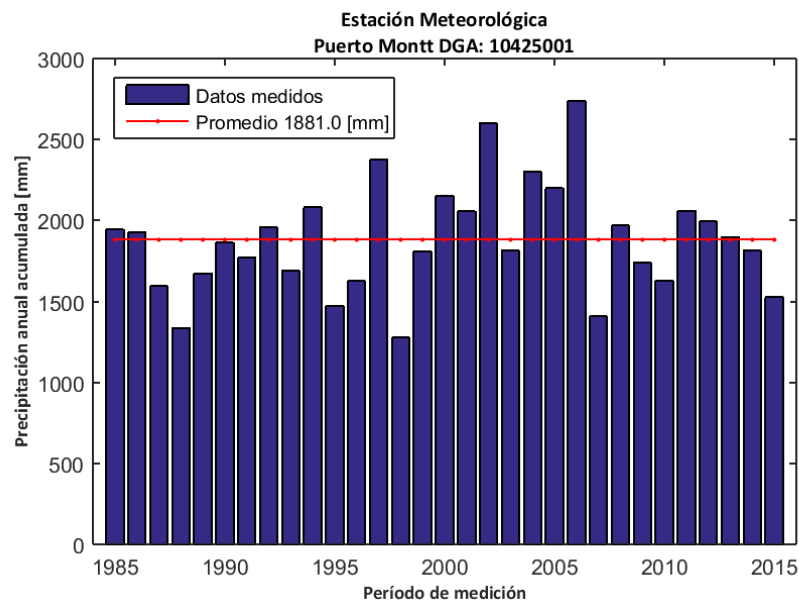


Figura C.147: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica "Puerto Montt".

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,33 (Figura C.148), lo cual indica que la influencia de agua subterránea en el caudal no es significativa.

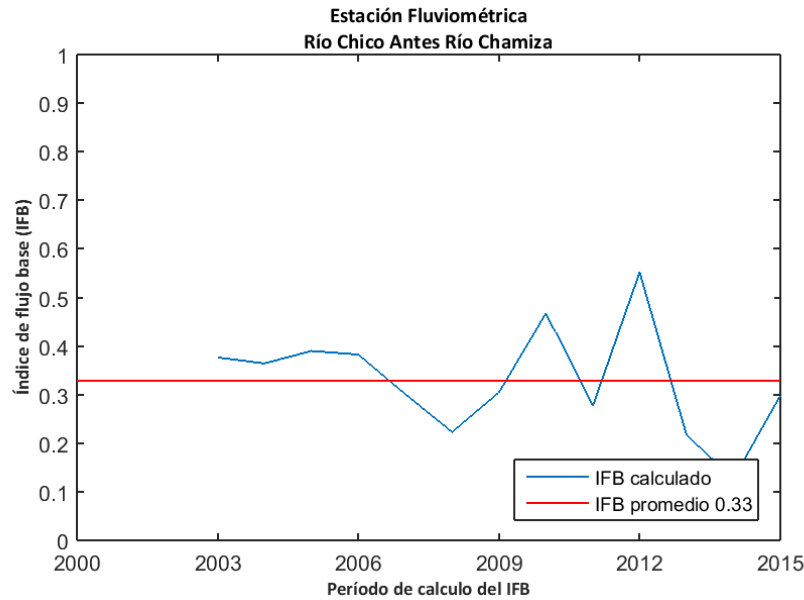


Figura C.148: Índice de flujo base para la estación fluviométrica "Río Chico Antes Río Chamiza".

La recarga de agua subterránea en la estación "Río Chico Antes Río Chamiza" durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 421,1 mm/año (Figura C.149) equivalente a un 22,4% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Puerto Montt").

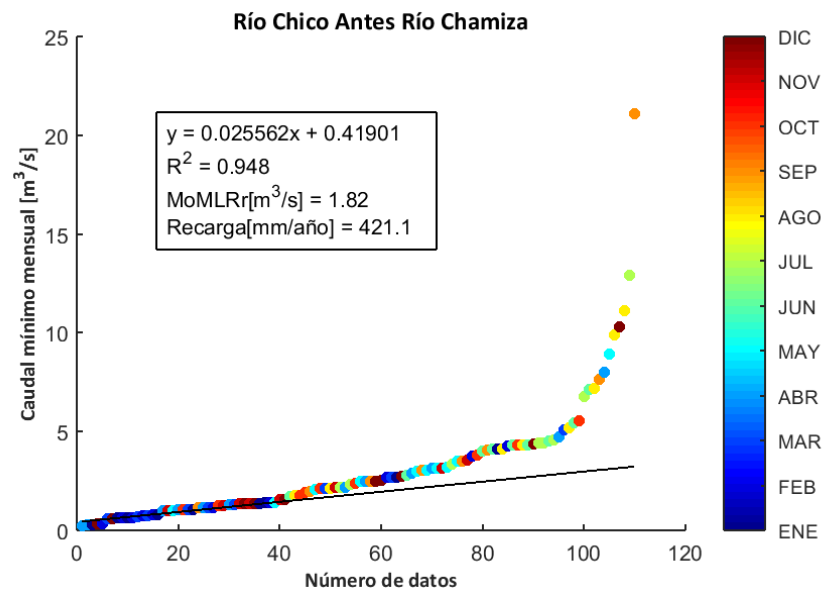


Figura C.149: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Chico Antes Río Chamiza".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.93, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo,

además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.93: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Chico Antes Río Chamiza". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K_{min}	K_{med}	K_{max}
Río Chico Antes Chamiza	32	0,1	37,4	155,1

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Chico Antes Río Chamiza" sólo durante los años presentados en la Tabla C.94, arrojando un valor promedio de 1805,2 mm/año equivalente a un 96,0% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Puerto Montt").

Tabla C.94: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Chico Ante Río Chamiza".

Años	Recarga [in]
2005	75,40
2012	120,83
2013	40,99
2015	47,06
Promedio [in]	71,07
Promedio [mm]	1805,2

C.55. RÍO MANSO ANTES JUNTA RÍO PUELO

La estación fluviométrica "Río Manso Antes Junta Río Puelo" está ubicada en la cuenca "Río Puelo" de la región de Los Lagos. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 3589,47 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 218,91 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Río Puelo en Desagüe Lago Tagua Tagua" presenta una precipitación promedio anual de 2085,7 mm (Figura C.150).

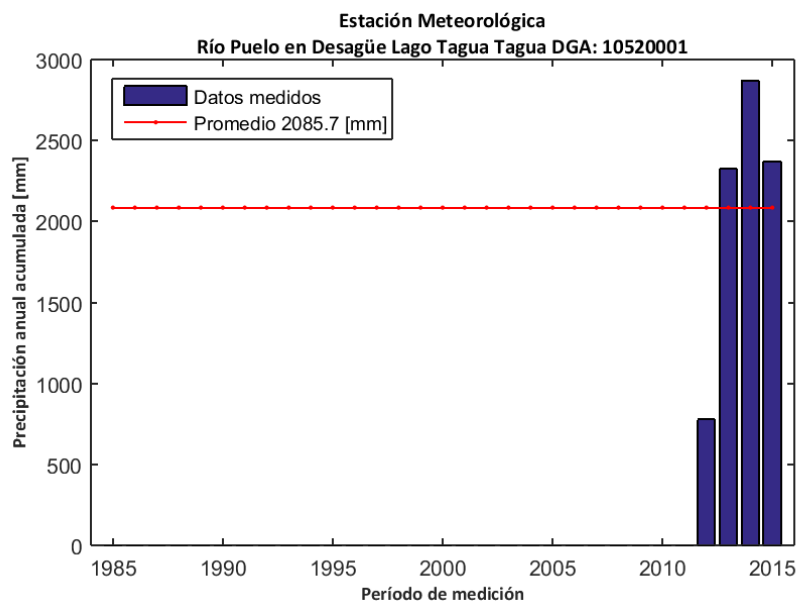


Figura C.150: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica "Río Puelo en Desagüe Lago Tagua Tagua".

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,72 (Figura C.151), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

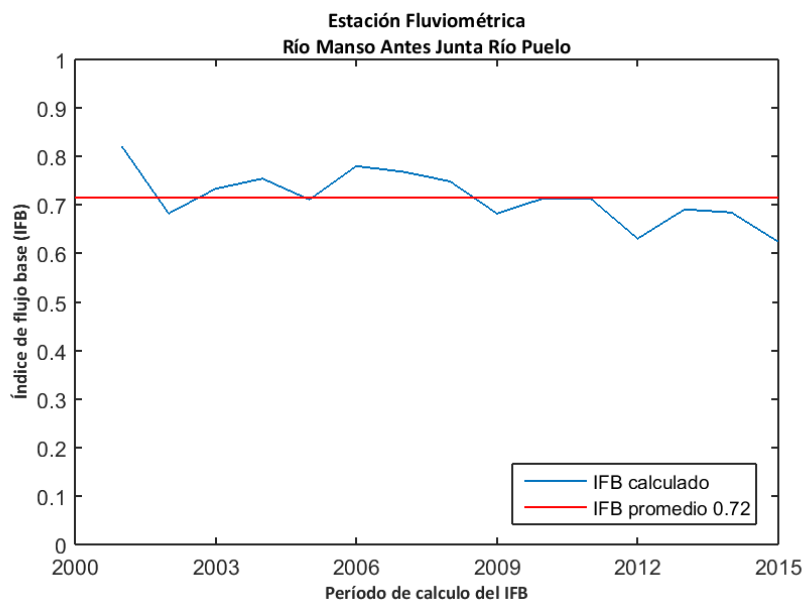


Figura C.151: Índice de flujo base para la estación fluviométrica "Río Manso Antes Junta Río Puelo".

La recarga de agua subterránea en la estación "Río Manso Antes Junta Río Puelo" durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 626,5

mm/año (Figura C.152) equivalente a un 30,0% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Río Puelo en Desagüe Lago Tagua Tagua").

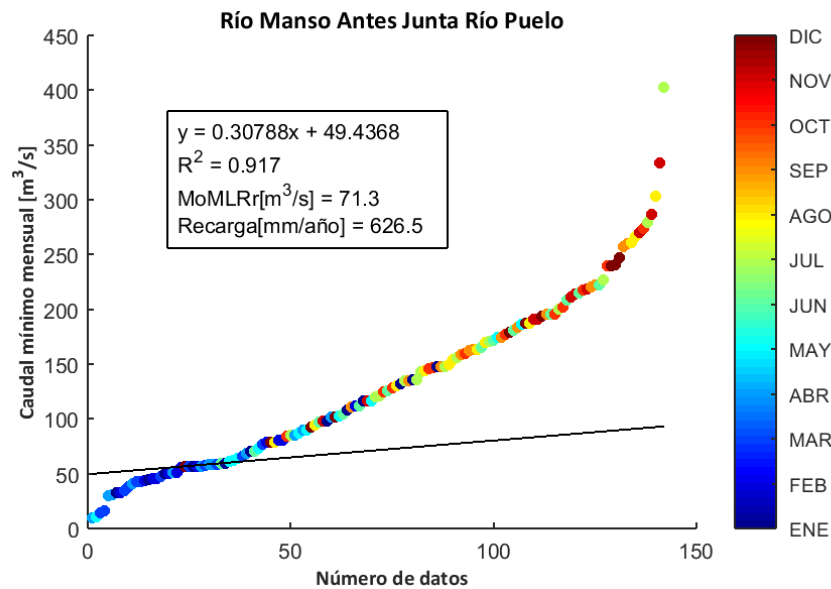


Figura C.152: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Manso Antes Junta Río Puelo".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.95, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.95: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Manso Antes Junta Río Puelo". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Manso Antes Junta Puelo	31	23,9	47,9	175,1

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Manso Antes Junta Río Puelo" sólo durante los años presentados en la

Tabla *c.96*, arrojando un valor promedio de 1873,2 mm/año equivalente a un 89,8% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Río Puelo en Desagüe Lago Tagua Tagua").

Tabla C.96: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Manso Antes Junta Río Puelo".

Años	Recarga [in]
2004	79,76
2005	77,42
2006	100,72
2008	62,55
2009	67,57
2013	54,46
Promedio [in]	73,75
Promedio [mm]	1873,2

C.56. RÍO ESPOLÓN EN DESAGÜE LAGO ESPOLÓN

La estación fluviométrica "Río Espolón en Desagüe Lago Espolón" está ubicada en la cuenca "Río Yelcho" de la región de Los Lagos. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 486,67 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 58,50 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Lago Espolón" presenta una precipitación promedio anual de 2586,1 mm (Figura C.153).

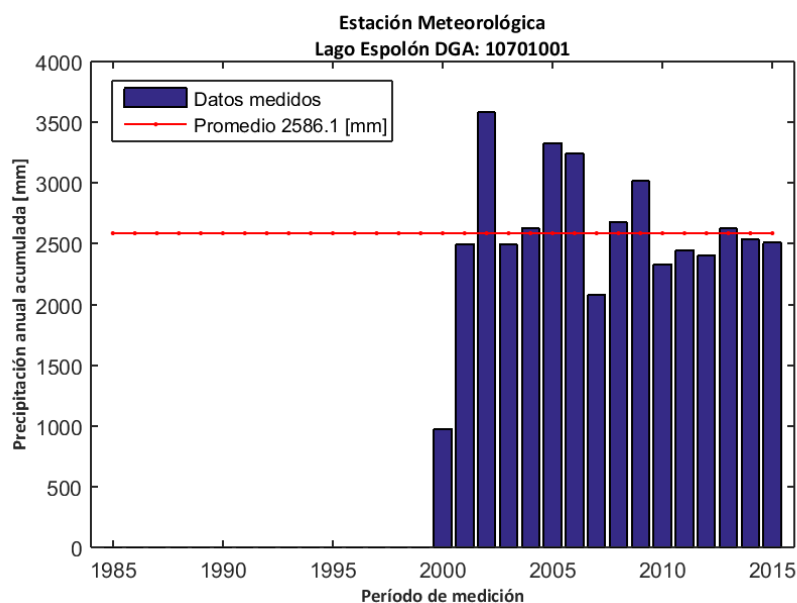


Figura C.153: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica "Lago Espolón".

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,60 (Figura C.154), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

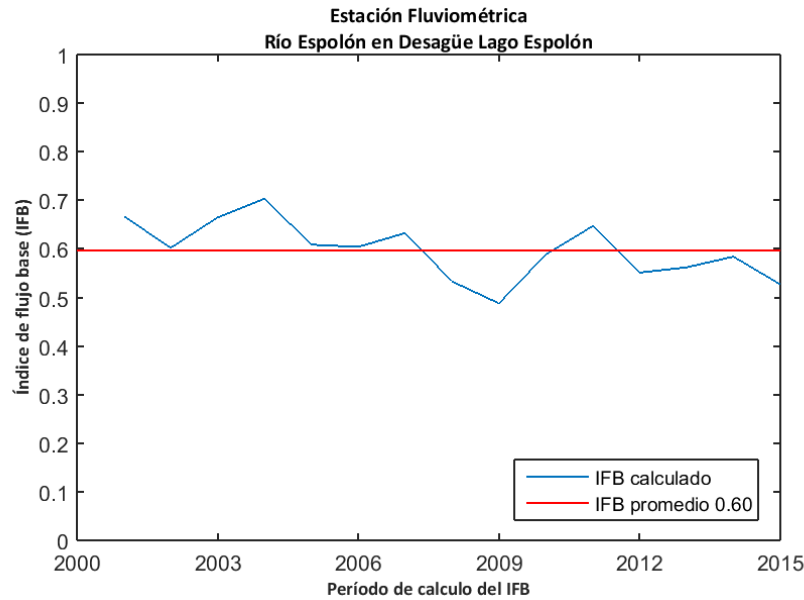


Figura C.154: Índice de flujo base para la estación fluviométrica "Río Espolón en Desagüe Lago Espolón".

La recarga de agua subterránea en la estación "Río Espolón en Desagüe Lago Espolón" durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 1624,5 mm/año (Figura C.155) equivalente a un 62,8% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Lago Espolón").

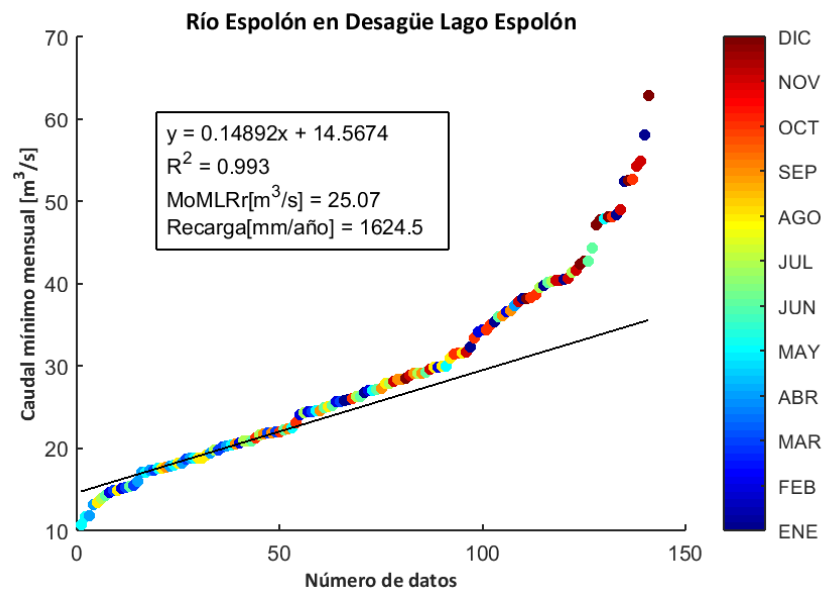


Figura C.155: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Espolón en Desagüe Lago Espolón".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.97, donde se muestran el número de segmentos analizados en el

cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.97: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Espolón en Desagüe Lago Espolón". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K_{min}	K_{med}	K_{max}
Río Espolón en Desagüe Lago Espolón	21	19,8	30	84,3

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Espolón en Desagüe Lago Espolón" sólo durante los años presentados en la Tabla C.98, arrojando un valor promedio de 3123,4 mm/año equivalente a un 120,8% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Lago Espolón").

Tabla C.98: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Espolón en Desagüe Lago Espolón".

Años	Recarga [in]
2003	135,40
2004	134,54
2007	99,59
2011	124,86
2012	127,95
2013	115,46
Promedio [in]	122,97
Promedio [mm]	3123,4

C.57. RÍO FUTALEUFÚ EN LA FRONTERA

La estación fluviométrica "Río Futaleufú en La Frontera" está ubicada en la cuenca "Río Yelcho" de la región de Los Lagos. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 7329,94 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 340,47 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Lago Espolón" presenta una precipitación promedio anual de 2586,1 mm (Figura C.156).

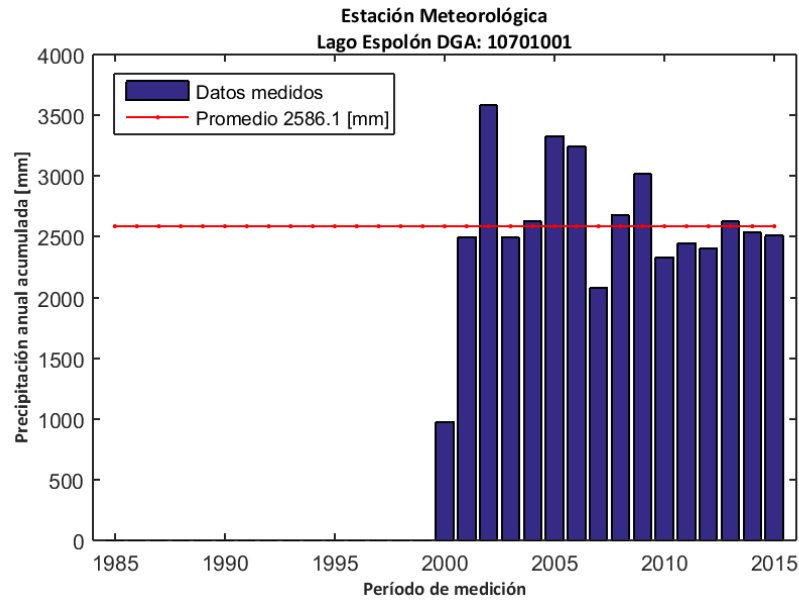


Figura C.156: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica "Lago Espolón".

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,87 (Figura C.157), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

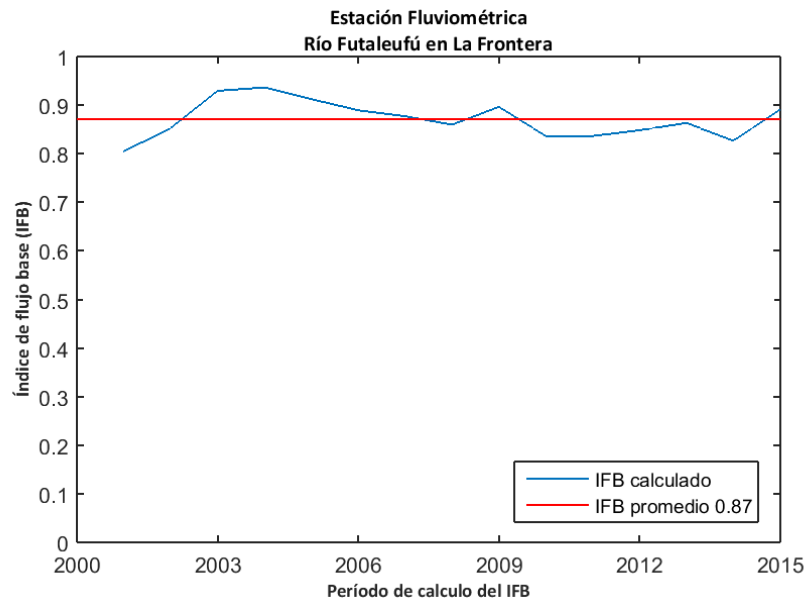


Figura C.157: Índice de flujo base para la estación fluviométrica "Río Futaleufú en La Frontera".

La recarga de agua subterránea en la estación "Río Futaleufú en La Frontera" durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 829,2 mm/año

(Figura C.158) equivalente a un 32,1% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Lago Espolón").

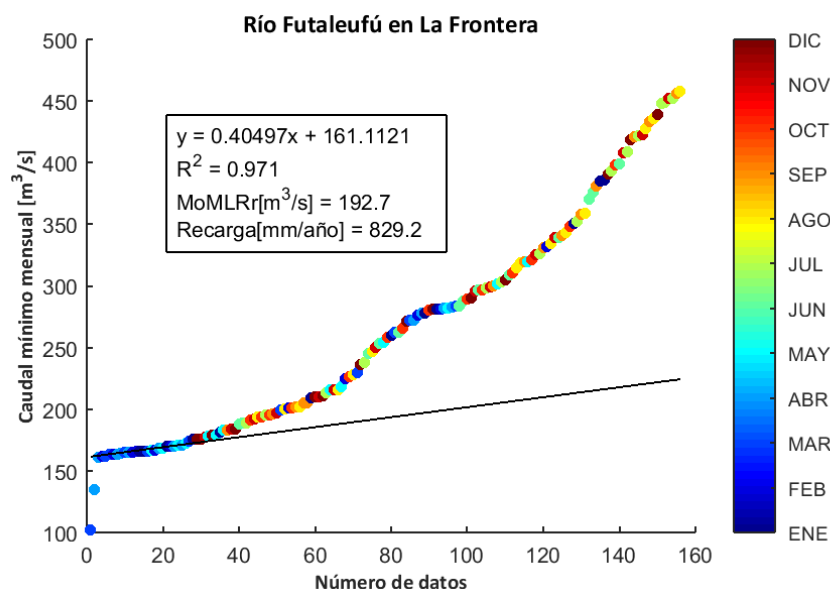


Figura C.158: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Futaleufú en La Frontera".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.99, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.99: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Futaleufú en La Frontera". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Futaleufú en La Frontera	2	27,6	40	52,4

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Futaleufú en La Frontera" sólo durante los años presentados en la

Tabla *c.100*, arrojando un valor promedio de 1106,2 mm/año equivalente a un 42,8% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Lago Espolón").

Tabla C.100: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Futaleufú en La Frontera".

Años	Recarga [in]
2002	36,44
2003	43,00
2004	36,04
2005	32,96
2006	67,10
2007	35,84
2008	49,10
2009	48,90
2012	36,88
2013	55,88
2014	39,79
2015	40,66
Promedio [in]	43,55
Promedio [mm]	1106,2

C.58. RÍO TIGRE EN LA FRONTERA

La estación fluviométrica "Río Tigre en La Frontera" está ubicada en las cuencas "Río Palena y Costeras Límite Décima Región" de la región de Los Lagos. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 325,77 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 16,09 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Palena" presenta una precipitación promedio anual de 1527,9 mm (Figura C.159).

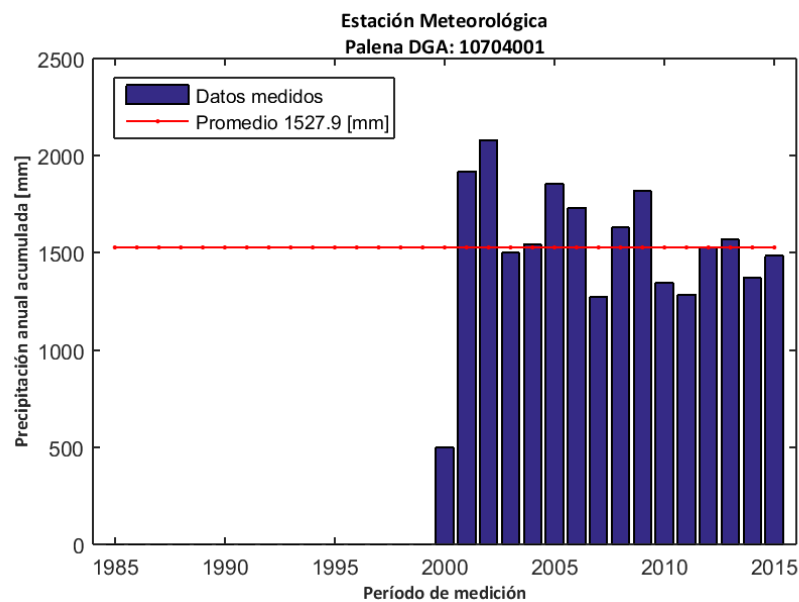


Figura C.159: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica "Palena".

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,63 (Figura C.160), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

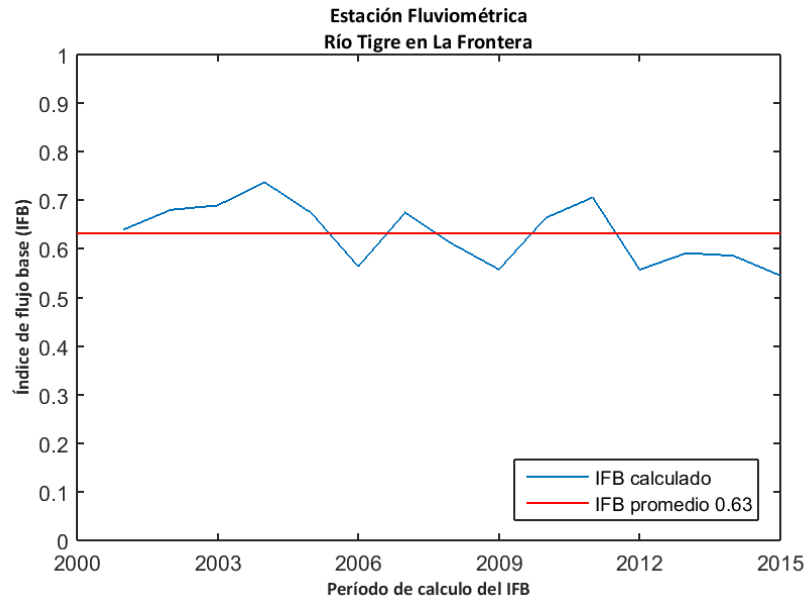


Figura C.160: Índice de flujo base para la estación fluviométrica "Río Tigre en La Frontera".

La recarga de agua subterránea en la estación "Río Tigre en La Frontera" durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 720,7 mm/año (Figura C.161) equivalente a un 47,2% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Palena").

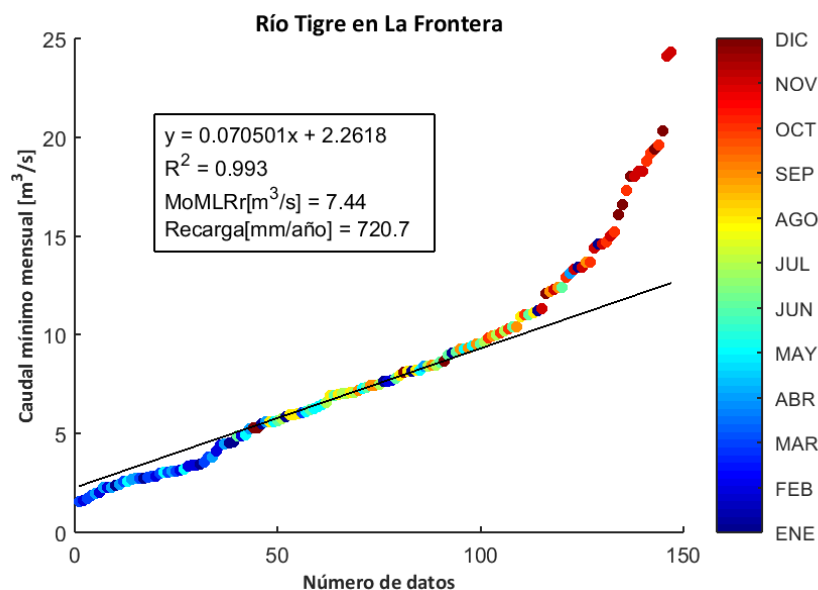


Figura C.161: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Tigre en La Frontera".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.101, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.101: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Tigre en La Frontera". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Tigre en La Frontera	17	28	50,2	70,3

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Tigre en La Frontera" sólo durante los años presentados en la Tabla C.102, arrojando un valor promedio de 1453,8 mm/año equivalente a un 95,1% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Palena").

Tabla C.102: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Tigre en La Frontera".

Años	Recarga [in]
2002	72,85
2003	58,44
2004	60,95
2005	63,59
2007	50,56

2008	50,90
2009	62,00
2010	48,62
2013	47,21
Promedio [in]	57,24
Promedio [mm]	1453,78

C.59. RÍO VENTISQUERO EN CARRETERA AUSTRAL

La estación fluviométrica "Río Ventisquero en Carretera Austral" está ubicada en las cuencas "Costeras e Islas entre Río Palena y Río Aysén" de la región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 163,51 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 34,34 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Puerto Puyuhuapi" presenta una precipitación promedio anual de 3048,0 mm (Figura C.162).

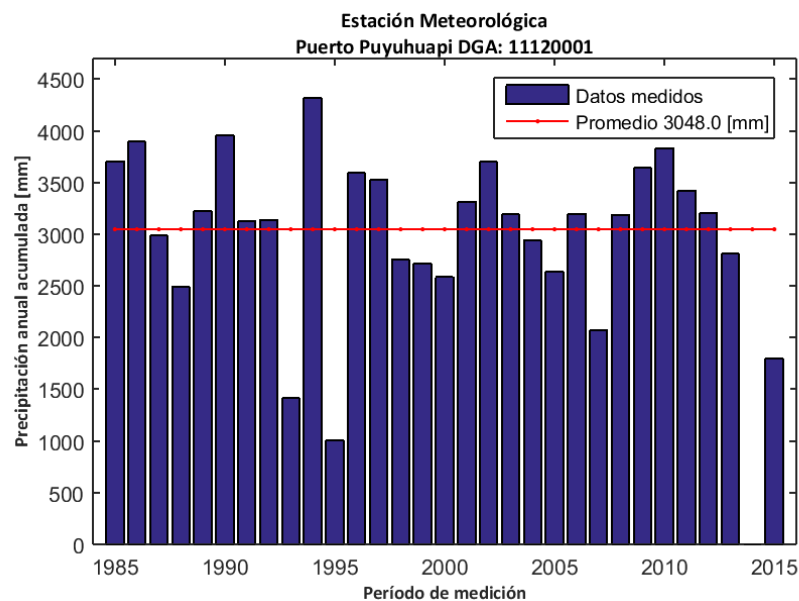


Figura C.162: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica "Puerto Puyuhuapi".

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,53 (Figura C.163), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

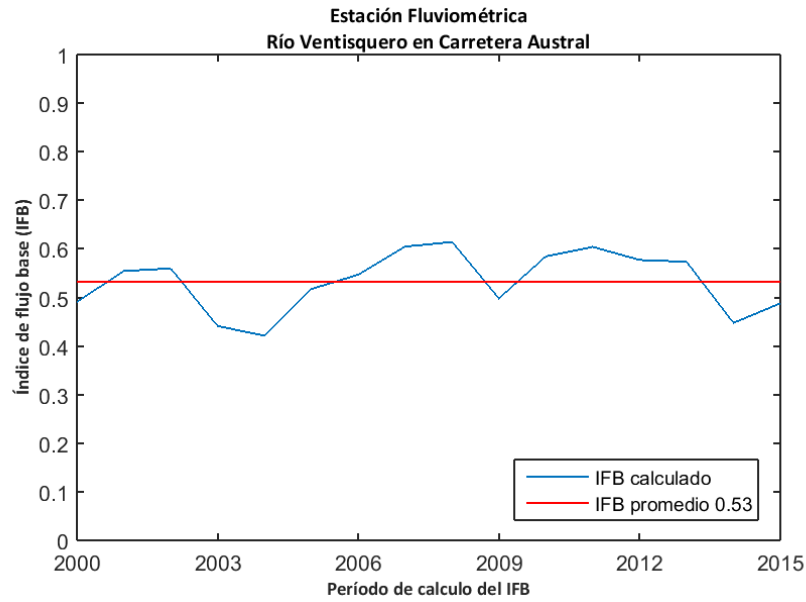


Figura C.163: Índice de flujo base para la estación fluviométrica "Río Ventisquero en Carretera Austral".

La recarga de agua subterránea en la estación "Río Ventisquero en Carretera Austral" durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 2126,9 mm/año (Figura C.164) equivalente a un 69,8% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Puerto Puyuhuapi").

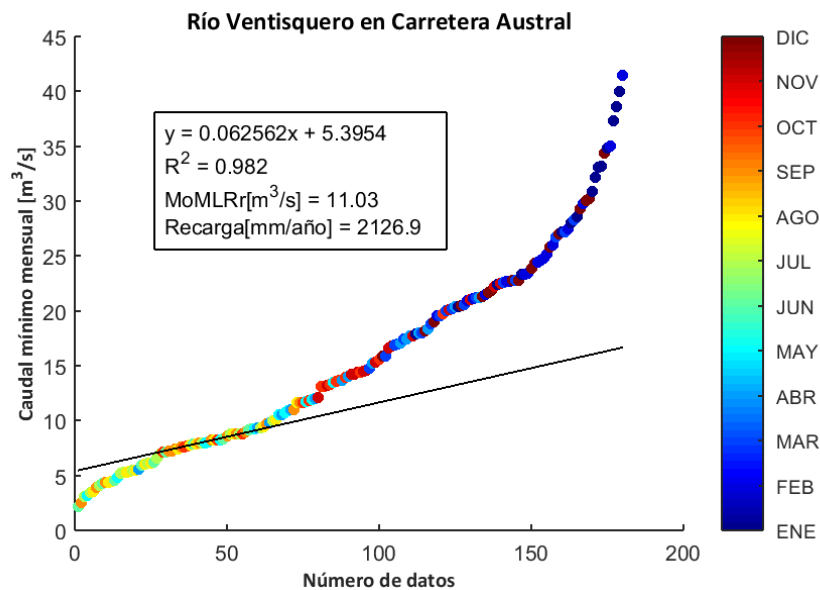


Figura C.164: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Ventisquero en Carretera Austral".

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, no se pudo estimar la recarga mediante RORA en la estación “Río Ventisquero en Carretera Austral” durante el período de análisis.

C.60. RÍO CISNES ANTES JUNTA RÍO MORO

La estación fluviométrica "Río Cisnes Antes Junta Río Moro" está ubicada en las cuencas “Costeras e Islas entre Río Palena y Río Aysén” de la región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 2258,36 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 42,75 m³/s. La estación meteorológica más cercana "La Tapera" presenta una precipitación promedio anual de 700,4 mm (Figura C.165).

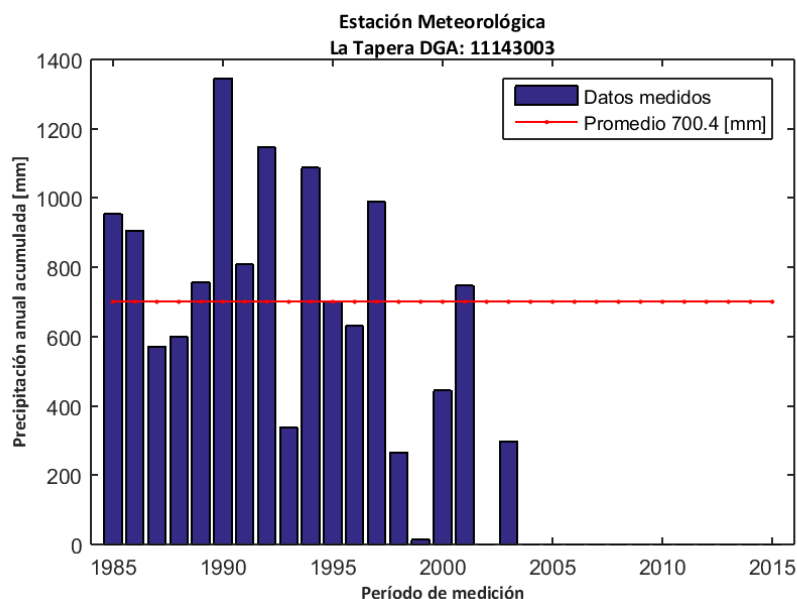


Figura C.165: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica "La Tapera".

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,63 (Figura C.166), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

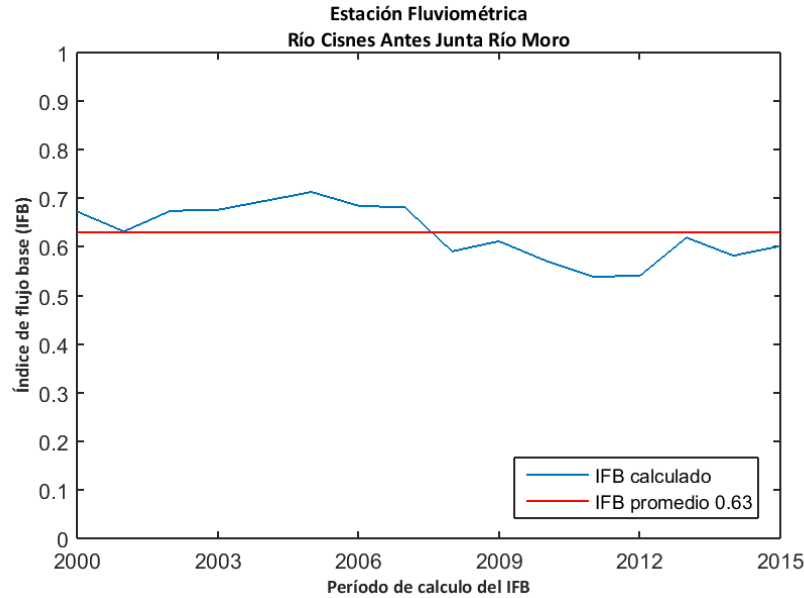


Figura C.166: Índice de flujo base para la estación fluviométrica "Río Cisnes Antes Junta Río Moro".

La recarga de agua subterránea en la estación "Río Cisnes Antes Junta Río Moro" durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 201,1 mm/año (Figura C.167) equivalente a un 28,7% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("La Tapera").

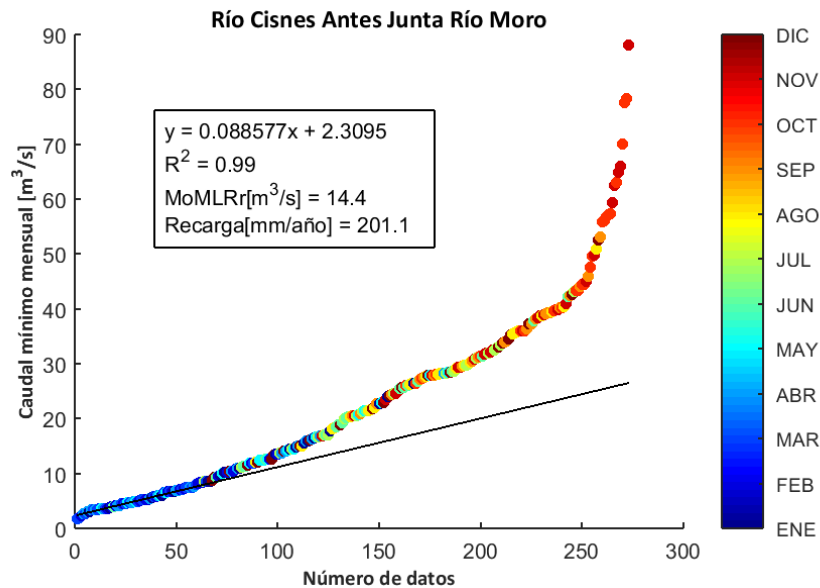


Figura C.167: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Cisnes Antes Junta Río Moro".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.103, donde se muestran el número de segmentos analizados en el

cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.103: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Cisnes Antes Junta Río Moro". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Cisnes Antes Junta Moro	4	31,4	41,7	50,2

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Cisnes Antes Junta Río Moro" sólo durante los años presentados en la Tabla C.104, arrojando un valor promedio de 457,4 mm/año equivalente a un 65,3% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("La Tapera").

Tabla C.104: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Cisnes Antes Junta Río Moro".

Años	Recarga [in]
1989	16,65
1990	23,95
1992	18,87
1993	17,82
1997	19,03
1999	11,77
2000	14,68
2004	19,76
2013	20,28
2014	17,55
2015	17,74
Promedio [in]	18,01
Promedio [mm]	457,4

C.61. RÍO MORO ANTES JUNTA RÍO CISNES

La estación fluviométrica "Río Moro Antes Junta Río Cisnes" está ubicada en las cuencas "Costeras e Islas entre Río Palena y Río Aysén" de la región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo. La red de drenaje asociada a esta estación tiene una superficie aproximada de 133,83 km² y un caudal promedio durante el período 1985-2015 en el punto de medición de 4,56 m³/s. La estación meteorológica más cercana "Puerto Cisnes" presenta una precipitación promedio anual de 2787,5 mm (Figura C.168).

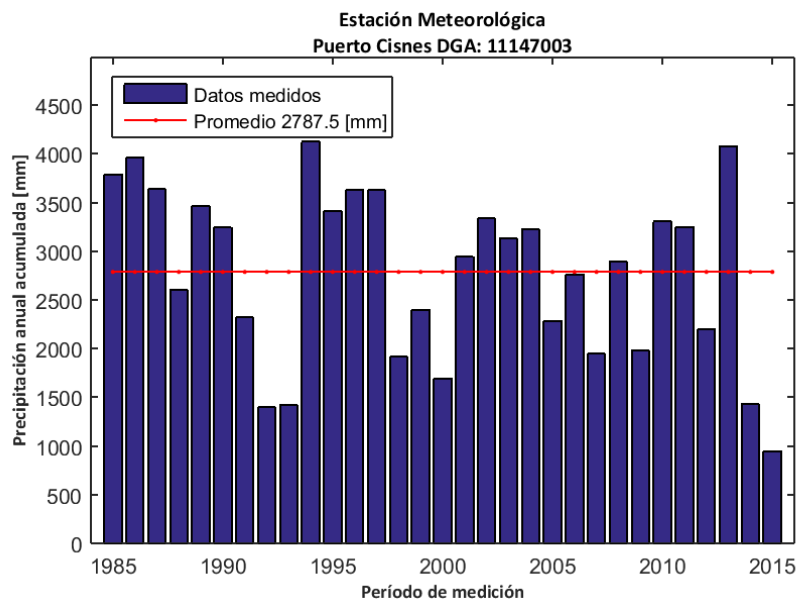


Figura C.168: Precipitación anual acumulada durante el período 1985-2015 en la estación meteorológica "Puerto Cisnes".

La influencia de agua subterránea en la estación fluviométrica se determinó mediante el cálculo del índice de flujo base en los caudales registrados durante el período 2000-2015. El valor calculado arrojó un promedio de 0,57 (Figura C.169), lo cual indica que existe una influencia significativa en el caudal producto de flujos subterráneos.

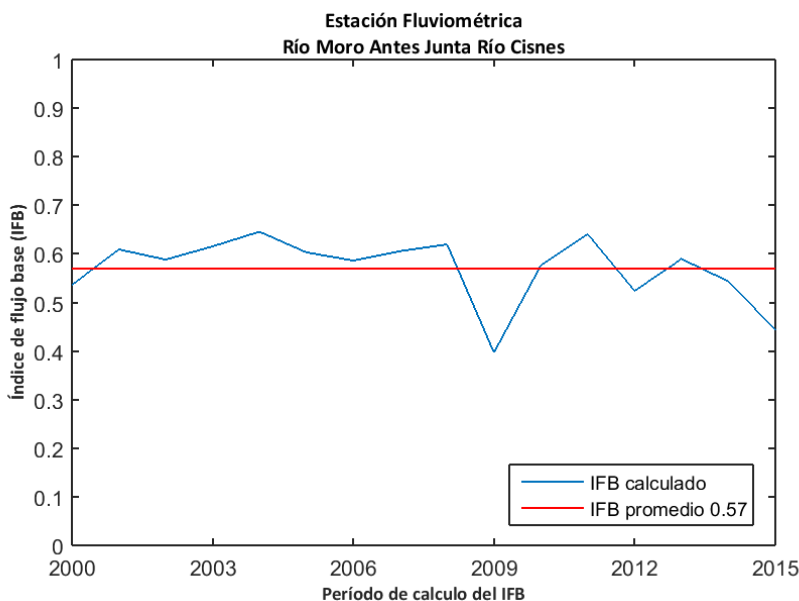


Figura C.169: Índice de flujo base para la estación fluviométrica "Río Moro Antes Junta Río Cisnes".

La recarga de agua subterránea en la estación "Río Moro Antes Junta Río Cisnes" durante el período de análisis (1985-2015) se calculó mediante el método MoMLRr estimando un valor de 304,5

mm/año (Figura C.170) equivalente a un 10,9% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Puerto Cisnes").

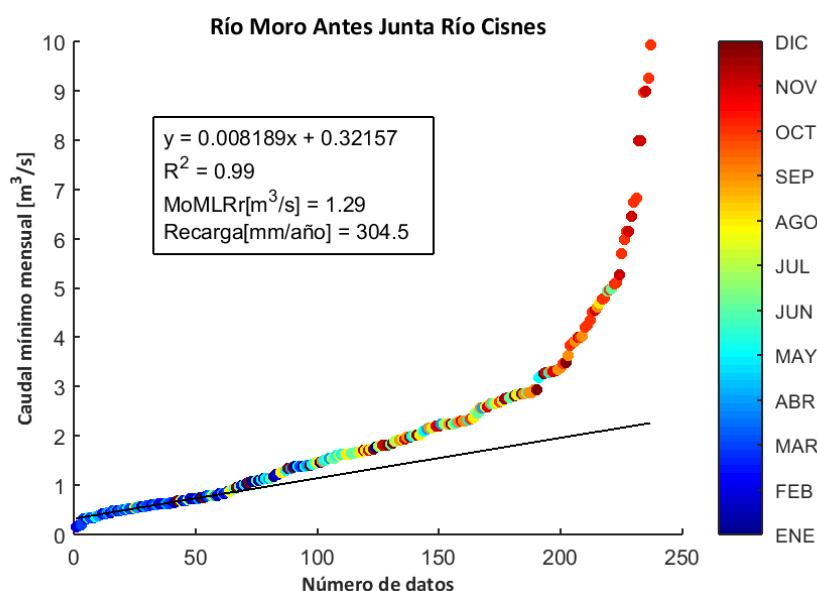


Figura C.170: Estimación de recarga mediante el método MoMLRr en la estación fluviométrica "Río Moro Antes Junta Río Cisnes".

Los índices de recesión calculados mediante el programa RECESS en la estación fluviométrica de control se presentan en la Tabla C.105, donde se muestran el número de segmentos analizados en el cálculo, además del mínimo, la mediana y el máximo valor obtenido. Dado que el cálculo de la recarga mediante RORA no es particularmente sensible al índice de recesión, se usará la mediana como dato de entrada de este método.

Tabla C.105: Índices de recesión (días/ciclo log) en la estación fluviométrica "Río Moro Antes Junta Río Cisnes". Número de segmentos analizados (#), mínimo (min), mediana (med) y máximo (max).

Estación Fluviométrica	#	K _{min}	K _{med}	K _{max}
Río Moro Antes Junta Cisnes	9	33,9	50,5	81,9

El programa RORA ocupa un registro de caudal diario anual completo para realizar los cálculos respectivos. Por ello, se estimó la recarga en la estación "Río Moro Antes Junta Río Cisnes" sólo durante los años presentados en la

Tabla *c.106*, arrojando un valor promedio de 742,3 mm/año equivalente a un 26,6% de las precipitaciones registradas en la estación meteorológica más cercana ("Puerto Cisnes").

Tabla C.106: Cálculo de la recarga mediante RORA en la estación fluviométrica "Río Moro Antes Junta Río Cisnes".

Años	Recarga [in]
2001	31,30
2004	34,07
2006	33,66
2008	27,32
2013	25,79
2014	23,20
Promedio [in]	29,22
Promedio [mm]	742,3

D. ANEXO D: RESULTADOS DEL PROCESO DE CALIBRACIÓN

Este anexo corresponde a un Anexo digital en donde se muestran los ajustes de las calibraciones en todas las cuencas en régimen natural analizadas, así como la comparación con SWE en caso de existir estimaciones de otros estudios.

Se verifica también la calidad de las series simuladas en humedad de suelo, cobertura de nieve y distintas componentes de la curva de duración entre series observadas y simuladas.

E. ANEXO E: ESTIMACIÓN DE LOS APORTES GLACIARES

Se ha estimado el aporte por derretimiento de cada uno de los cuerpos glaciares catastrados en el inventario glaciar DGA aplicando la metodología descrita. El anexo E en formato digital presenta, para cada cuerpo glaciar, las series de tiempo de la estimación del área glaciar, el equivalente de agua en nieve (SWE) sobre el glaciar y el caudal medio diario producto del derretimiento. Cada una de las series nombradas se presentan durante todo el periodo de modelación (01/01/1979 a 31/12/2015).

F. ANEXO F: RESULTADOS DE REGIONALIZACIÓN

Los resultados del proceso de regionalización se presentan en el anexo digital F, considerando los distintos criterios de clasificación de cuencas, junto con las distintas estrategias de asignación de parámetros. De este modo, los resultados corresponden a mapas del territorio nacional en el que cada pixel posee el código BNA de la cuenca que le dona parámetros en el proceso de regionalización.

Adicionalmente, en el mismo anexo digital se encuentran los resultados del proceso de validación cruzada según los distintos criterios de clasificación y las distintas estrategias de asignación de parámetros.

G. ANEXO G: CAMBIO CLIMÁTICO

Los resultados detallados de las proyecciones de cambio climático se presentan en el anexo digital G, en el cual hay un libro de Excel para cada uno de los cuatro modelos de circulación general analizados. Estos archivos resumen las proyecciones de las componentes del balance hídrico en cada una de las cuencas DGA-CIREN para los periodos históricos y proyectados.