



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

## **INFORME TÉCNICO**

# **Delimitación del Acuífero del Río Ñuble Bajo y Determinación de la Recarga**

**REALIZADO POR:  
División de Estudios y Planificación  
SDT N° 379**

**Santiago, Septiembre de 2015**

## ÍNDICE

<b>1. Introducción .....</b>	<b>1-4</b>
<b>2. Objetivos.....</b>	<b>2-6</b>
2.1. Objetivo General .....	2-6
2.2. Objetivos específicos.....	2-6
<b>3. Antecedentes disponibles.....</b>	<b>3-7</b>
3.1. Manual de aplicación de la metodología para la delimitación y sectorización de acuíferos (S.I.T. N°341. DGA/GCF Ingenieros Ltda., 2014) 3-7	
3.2. Estudio: Estudio Hidrogeológico cuencas Biobío e Itata, Cuenca Itata, Tomo I. (S.I.T. N° 258. DGA/Aquaterra Ingenieros Limitada, 2011) .....	3-8
3.3. Estudio: Estimación preliminar de las recargas de agua subterránea 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 (S.D.T. N°359. DGA/DARH, 2014) .....	3-9
3.4. Información de pozos.....	3-10
3.4.1. <i>Antecedentes pozos ESSBIO.....</i>	<i>3-10</i>
3.4.2. <i>Derechos de agua .....</i>	<i>3-10</i>
<b>4. Sectorización preliminar del acuífero del río Ñuble .....</b>	<b>4-11</b>
4.1. Identificación de la zona de estudio .....	4-11
4.2. Definición de la red de drenaje .....	4-11
4.3. Sectorización preliminar .....	4-13
4.4. Representación hidrogeológica .....	4-13
4.5. Propuesta de Sectorización .....	4-18
<b>5. Determinación de la oferta hídrica (recarga) en el sector acuífero Ñuble Bajo .....</b>	<b>5-19</b>

5.1. Recarga mensual promedio en sectores de riego por precipitación y riego	5-19
5.2. Recarga mensual promedio por infiltración desde cauces naturales	5-21
5.3. Recarga mensual promedio por infiltración desde embalses .....	5-22
5.4. Resultados y análisis .....	5-22
<b>6. Conclusiones .....</b>	<b>6-25</b>

## **1. INTRODUCCIÓN**

La Dirección General de Aguas (DGA) es el organismo del Estado que se encarga de promover la gestión y administración del recurso hídrico en un marco de sustentabilidad, interés público y asignación eficiente, como también de proporcionar y difundir la información generada por su red hidrométrica y la contenida en el Catastro Público de Aguas con el objeto de contribuir a la competitividad del país y mejorar la calidad de vida de las personas.

Un elemento fundamental que se ha utilizado en los procedimientos para otorgar derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas ha sido el Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común (SHAC), que constituye la unidad territorial de Áreas de Restricción y Zonas de Prohibición, declaradas principalmente en acuíferos del centro y norte del país. El concepto fue definido en el Reglamento de Aguas Subterráneas (Decreto N°203 de 2013) como “el acuífero o parte de un acuífero cuyas características hidrológicas espaciales y temporales permiten una delimitación para efectos de su evaluación hidrogeológica o gestión en forma independiente”.

En julio de 2014, el Departamento de Administración de los Recursos Hídricos (DARH) publicó el estudio “Estimación preliminar de las recargas de agua subterránea y determinación de los sectores de aprovechamiento común en las cuencas de las regiones del Maule, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos”, cuyo objetivo fue delimitar y definir los SHAC que a la fecha no habían sido definidos por el Servicio. No obstante, dentro de los sectores definidos, no se consideró el acuífero subyacente a la subcuenca río Ñuble Bajo, donde actualmente existe una alta demanda de solicitudes de derechos de aprovechamiento.

Se hace indispensable, entonces, definir el sector acuífero asociado a la subcuenca río Ñuble Bajo, desde una perspectiva hidrogeológica coherente con la administración de los recursos hídricos. En este Informe Técnico se propone una sectorización basada en la “Metodología para la delimitación y sectorización de acuíferos a nivel nacional”, publicada por la División de Estudios y Planificación (DEP) en octubre de 2014, cuyo objetivo fue elaborar una metodología objetiva, científica y de aplicación institucional, desde la perspectiva de administración de los recursos hídricos. Además, se propone

una estimación preliminar de la recarga asociada. Las conclusiones de este Informe serán empleadas por el DARH para la delimitación definitiva del SHAC.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

El objetivo general del Informe Técnico es definir un sector acuífero asociado a la subcuenca río Ñuble Bajo y proponer una estimación preliminar de la recarga asociada, así como flujos subterráneos de entrada y salida.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Revisión de antecedentes disponibles en la zona de estudio;
- Sectorización del acuífero del río Ñuble Bajo;
- Estimación preliminar de la recarga.

### **3. ANTECEDENTES DISPONIBLES**

#### **3.1. Manual de aplicación de la metodología para la delimitación y sectorización de acuíferos (S.I.T. N°341. DGA/GCF Ingenieros Ltda., 2014)**

##### **Resumen:**

Este manual propone una secuencia de pasos a seguir para la delimitación y sectorización de acuíferos en Chile. El objetivo de esto fue generar una metodología de carácter científico-técnico y de aplicación institucional para delimitar acuíferos y sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común. Esto se realizó mediante una revisión de antecedentes que permitieran determinar cuáles son los principales criterios utilizados para delimitar y sectorizar acuíferos, tanto a nivel nacional como internacional. El nivel de detalle y precisión resultante de la sectorización así definida dependerá directamente de la cantidad y calidad de la información base que se utilice en el proceso.

##### **Etapas de la metodología:**

- i) Definición o identificación de la zona de estudio;
- ii) Base topográfica;
- iii) Definición de la red de drenaje;
- iv) Sectorización preliminar según subcuencas;
- v) Representación hidrogeológica;
- vi) Parámetros elásticos;
- vii) Captaciones de aguas subterráneas;
- viii) Sectorización definitiva,
- ix) Factores complementarios: zonas sensibles o protegidas;
- x) Vínculos;
- xi) Proyecto SIG y Respaldo Digital.

### **3.2. Estudio: Estudio Hidrogeológico cuencas Biobío e Itata, Cuenca Itata, Tomo I. (S.I.T. N° 258. DGA/Aquaterra Ingenieros Limitada, 2011)**

#### **Resumen:**

El objetivo del estudio fue elaborar un modelo hidrogeológico conceptual del acuífero de la cuenca del río Itata. Este estudio incluye una caracterización Hidrológica de la cuenca del río Itata, efectuada sobre la base de estadísticas pluviométricas y fluviométricas analizando la calidad y extensión de los registros de precipitaciones mensuales y caudales medios mensuales, rellenando estadísticas incompletas y efectuando un análisis de frecuencia analítico a nivel mensual para obtener una distribución de valores con diferentes probabilidades de excedencia.

#### **Información relevante:**

- i) información técnica de 442 sondajes (pruebas de bombeo, planos de construcción, etc.);
- ii) relleno estadístico (series de precipitaciones mensuales y caudales medios mensuales) y curvas de variación estacional;
- iii) análisis de 236 perfiles estratigráficos de pozos;
- iv) levantamiento geofísico (353 GRAV – 9 perfiles);
- v) niveles estáticos medidos en agosto de 2011;
- vi) curvas isofreáticas y valores de conductividad (115 pruebas de bombeo de expedientes DGA).

#### **Resultados/conclusiones:**

- i) predominio de una gran unidad hidrogeológica con variaciones horizontales y verticales de permeabilidad; existencia de dos subunidades: (A) sectores de mediana a alta permeabilidad, y (B) sectores de permeabilidad media a baja;
- ii) profundidad de la roca: 50 a 1.900 m al norte del río Ñuble; 500 a 1.000 m en el valle central;
- iii) recarga (modelo hidrológico simplificado): 0,27 L/s/ha (acuífero del río Itata; cauces/riego/otros);
- iv) no existen sondajes profundos que corroboren los resultados de la gravimetría;
- v) se ordena toda la información en un SIG (ArcGIS 9.2); la información es suficiente para aplicar la metodología de sectorización de acuíferos directamente.

### **3.3. Estudio: Estimación preliminar de las recargas de agua subterránea 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 (S.D.T. N°359. DGA/DARH, 2014)**

#### **Resumen:**

El objetivo del estudio fue delimitar y definir los Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC) de las cuencas de las regiones del Maule, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos que a la fecha no se encontraban estudiadas por el Servicio. Además, de forma preliminar y genérica, se estimó la recarga de aguas subterráneas asociada a cada uno de los SHAC identificados, con el propósito de determinar el potencial de explotación sustentable. Finalmente, se desarrolló una metodología simple que permite la determinación de la recarga en aquellas cuencas del país con consideradas en el estudio y que, además, no cuenten con estudios de disponibilidad del recurso hídrico subterráneo.

#### **Información relevante:**

- i) Identificación de 82 SHAC en la zona de estudio;
- ii) áreas y precipitación media en los SHAC identificados;
- iii) factor de infiltración por unidad geomorfológica (Cordillera de Los Andes, Depresión Intermedia y Cordillera de La Costa; 0.01, 0.05 y 0.02, respectivamente).
- iv) caudal preliminar de explotación sustentable para los SHAC identificados.

#### **Resultados/Conclusiones:**

- i) La recarga obtenida es conservadora;
- ii) los 82 SHAC identificados se encuentran en una situación tal que su explotación actual no genera riesgos en la sustentabilidad de dichos acuíferos;
- iii) la disponibilidad establecida deberá ser modificada con estudios de detalle.

### **3.4. Información de pozos**

#### **3.4.1. Antecedentes pozos ESSBIO**

Se obtuvo información de 7 pozos de propiedad de la empresa ESSBIO. La profundidad de estos pozos fluctúa entre 107 y 210 m, e incluyen descripciones de pozos de diversa calidad. Sin embargo, sólo dos de estos pozos presentan coordenadas UTM, y en uno de ellos no se indica el Datum ni el huso.

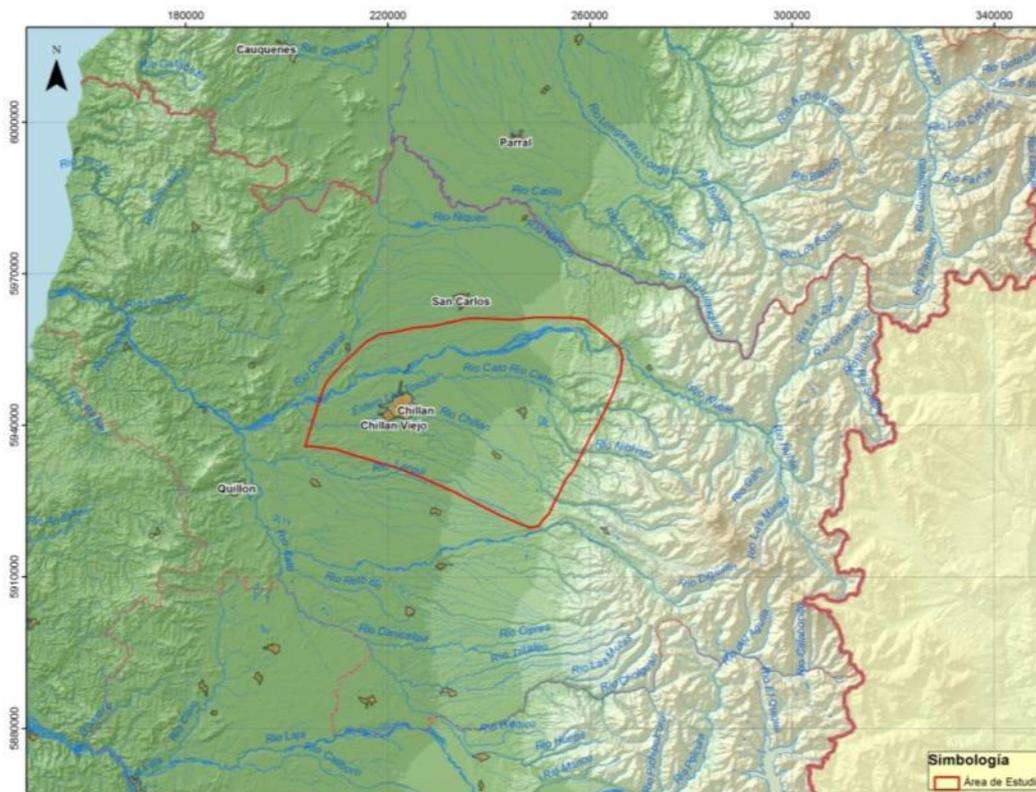
#### **3.4.2. Derechos de agua**

Se cuenta con información de 6.392 pozos en la Región del Biobío, de los cuales 4.685 tienen coordenadas.

## 4. SECTORIZACIÓN PRELIMINAR DEL ACUÍFERO DEL RÍO ÑUBLE

### 4.1. Identificación de la zona de estudio

La zona de estudio corresponde a la subcuenca del río Ñuble (cuenca del río Itata, Región del Biobío), específicamente entre los ríos Changaral y Larqui (Figura 1).

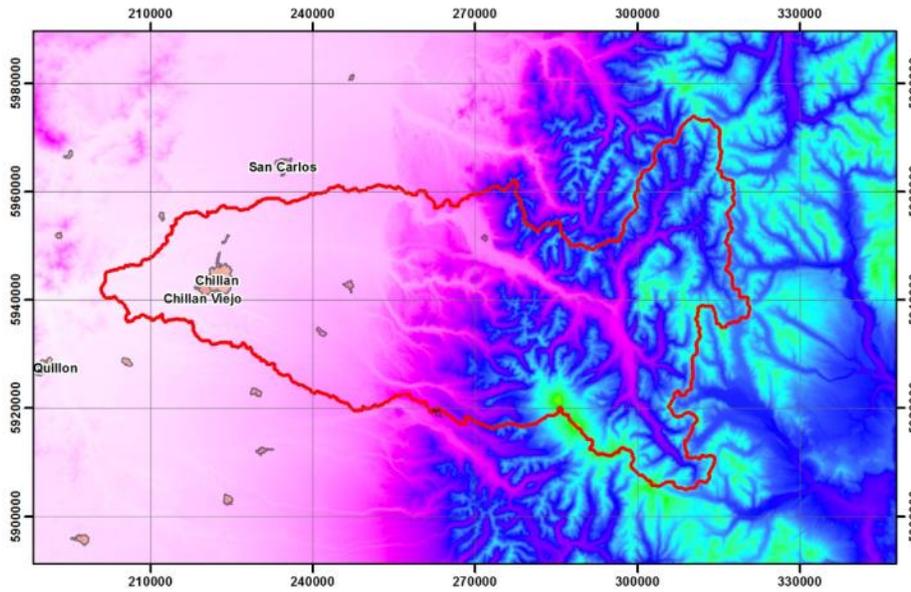


**Figura 1.** Área de estudio.

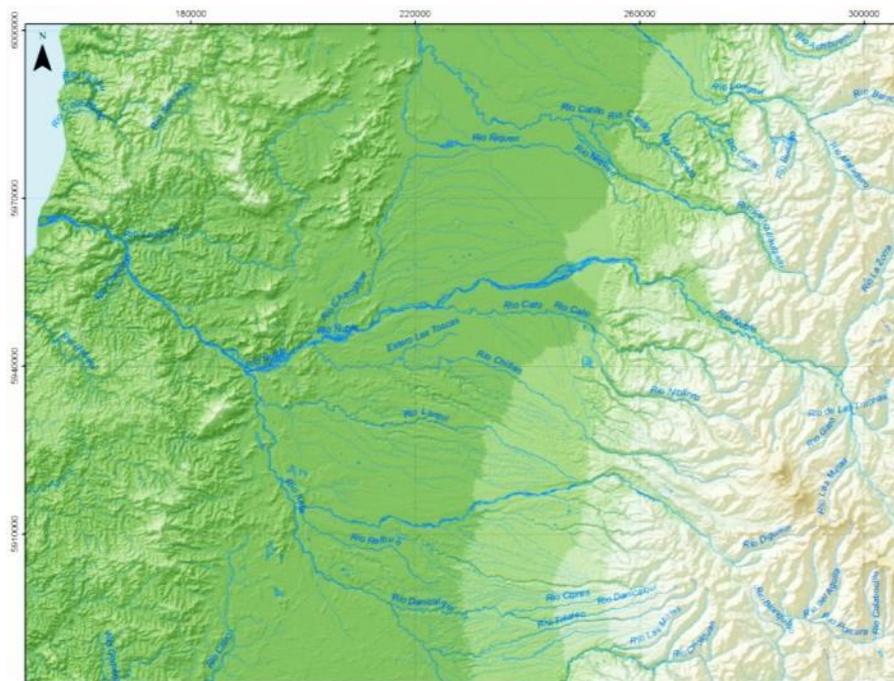
### 4.2. Definición de la red de drenaje

Para delimitar la cuenca asociada al área de estudio se empleó un Modelo de Elevación Digital SRTM con un tamaño de raster de 25 m (Figura 2). Para la definición de la red de drenaje se emplearon tres coberturas vectoriales de hidrografía de la mapoteca de la DGA (Figura 3). La primera es la red de drenaje principal, con cursos de agua principales. La segunda corresponde a la red de drenaje secundaria, la cual fue procesada para eliminar cursos no relevantes y/o confusos. Finalmente, se empleó una

cobertura que contiene todos los cuerpos de agua (lagos, lagunas, embalses, etc.), que pueden ser considerados para estimaciones de balances hídricos y/o recargas.



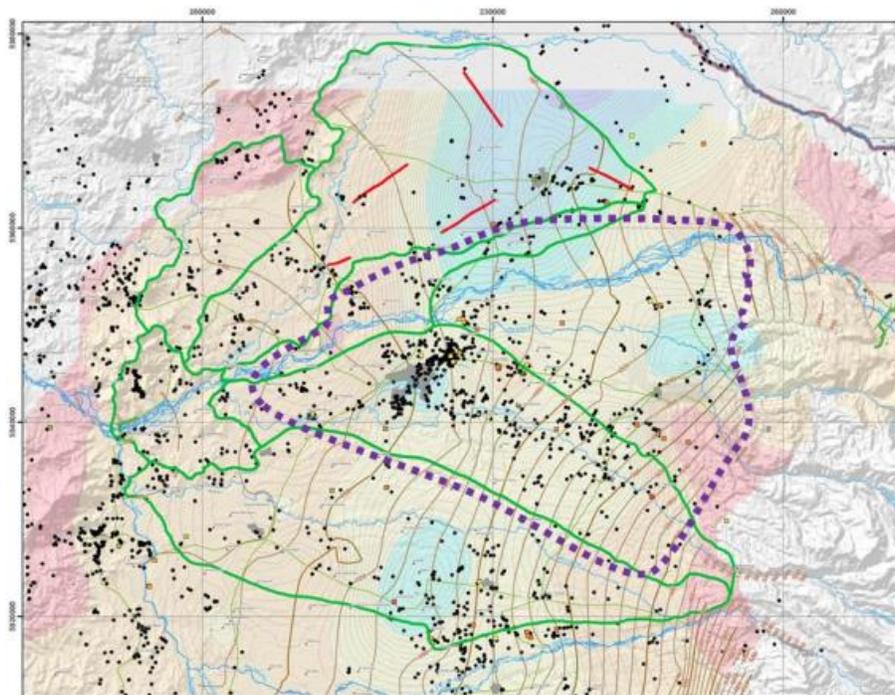
**Figura 2.** Modelo de Elevación Digital y delimitación cuenca del río Ñuble a partir de la confluencia con el río Chillán.



**Figura 3.** Red de drenaje área de estudio.

### 4.3. Sectorización preliminar

A partir de la base topográfica, curvas de nivel, red de drenaje, mapa de pendientes y DEM, y considerando los límites de subcuencas y áreas de recarga de acuíferos de la cuenca del río Itata (DGA/Aquaterra, 2011), además del contacto roca/relleno, se realizó un primer ejercicio de sectorización, coincidente con las subcuencas de drenaje superficial (Figura 4, línea segmentada). La delimitación propuesta contiene al sector acuífero AC-02, definido en el estudio DGA/Aquaterra (2011).



**Figura 4.** Sectorización preliminar en base a subcuencas, equipotenciales, ubicación de captaciones subterráneas, etc.

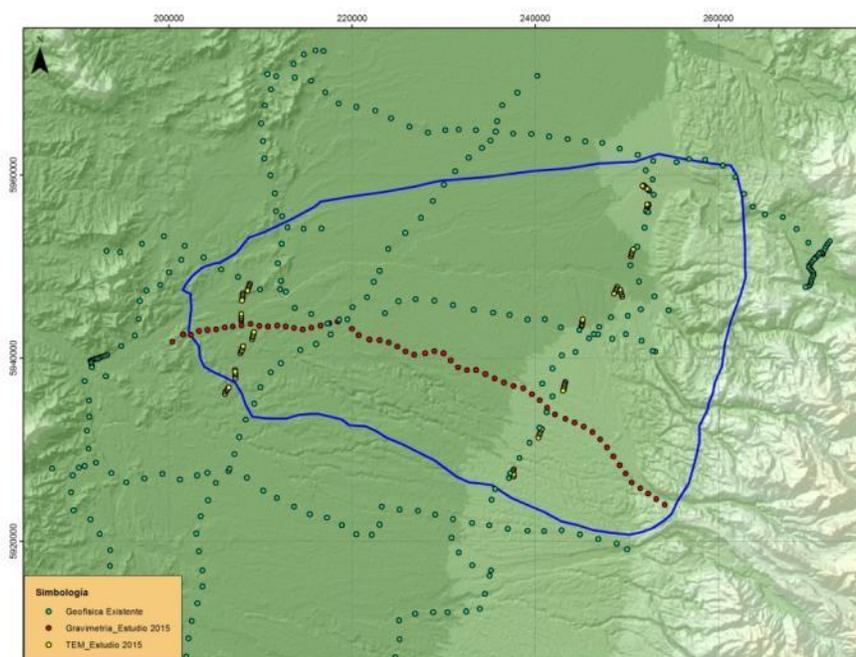
### 4.4. Representación hidrogeológica

#### **Geometría**

En el estudio DGA/Subterránea SpA (2015) se realizó un levantamiento de información geofísica complementario al ya realizado en 2011, cuyo objetivo fue definir la geometría del sector acuífero Ñuble Bajo con más precisión. Se realizaron 124 estaciones gravimétricas y 80 estaciones TEM. Los equipos empleados en el levantamiento de 2015 son de última generación; los resultados son el producto de

una estadística de más de 120 medidas por punto (Figura 5), por lo que es esperable un error de medición menor.

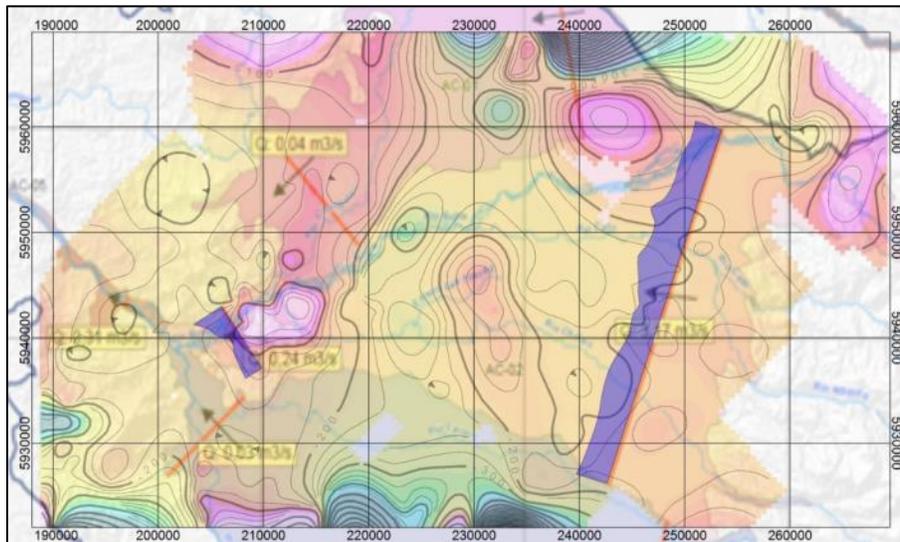
Para integrar los datos de gravedad en una superficie común (datos levantados en el estudio DGA/Aquaterra 2011 y las mediciones realizadas en 2015 por DGA/Subterránea SpA) se utilizaron los valores de gravedad absoluta. Sin embargo, se identificó una diferencia de 84,77 mGal entre ambas campañas, valor que fue restado a los datos de la campaña previa, obteniendo un mapa de gravedad absoluta consistente a ambos set de datos.



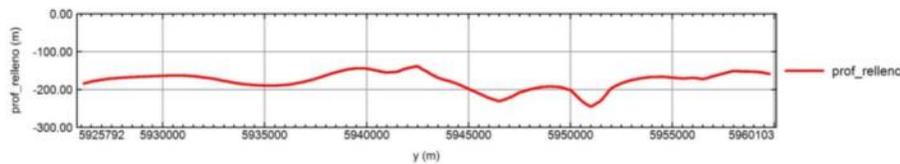
**Figura 5.** Geofísica existente en la zona de estudio. En verde: gravimetría DGA/Aquaterra (2011). En rojo: gravimetría DGA/Subterránea SpA (2015). En amarillo: TEM DGA/Subterránea (2015).

Con la interpretación de estos datos se pudo realizar una modelación generalizada de la profundidad del basamento para el área de estudio (Figura 6), las que fueron ajustadas de acuerdo a los valores obtenidos para las profundidades de basamento obtenidas mediante la inversión de los antecedentes de Transiente Electromagnético levantados por Subterránea SpA este año, especialmente al oeste de la cuenca. Las

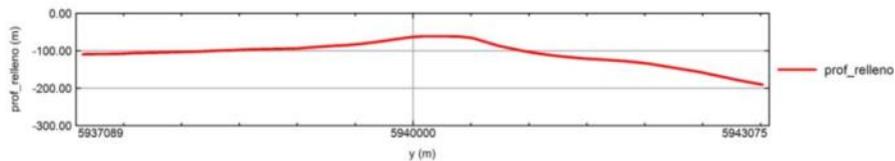
Figuras 7 y 8 muestran la profundidad del basamento en las secciones de entrada y salida del sector acuífero delimitado (Ñuble Bajo).



**Figura 6.** Profundidad de basamento y secciones de entrada y salida (sector acuífero Ñuble Bajo).



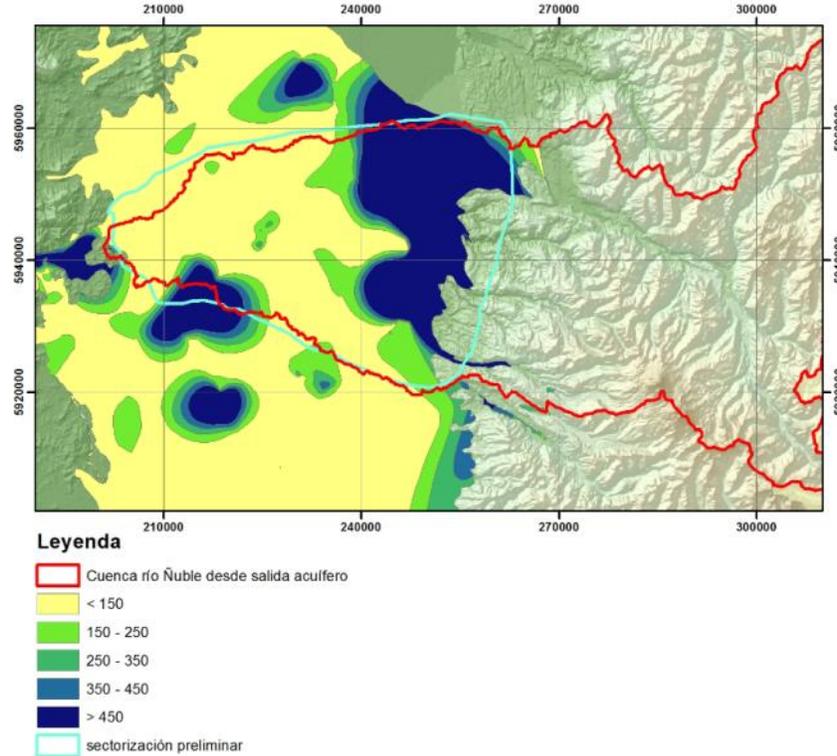
**Figura 7.** Sección de entrada (sector acuífero Ñuble Bajo).



**Figura 8.** Sección de salida (sector acuífero Ñuble Bajo).

### **Parámetros Elásticos**

La transmisividad se obtuvo a partir de la reinterpretación de pruebas de bombeo realizada en el estudio DGA/Aquaterra (2011). En la Figura 9 se muestra el mapa de transmisividades asociado al sector acuífero Ñuble Bajo; en él se trazaron los perfiles de entrada y salida.



**Figura 9.** Transmisividad sector acuífero Ñuble Bajo.

### **Flujos subterráneos**

Tanto el flujo de entrada como el de salida al sector acuífero Ñuble medio pueden ser estimados a partir de la ecuación de Darcy:

$$Q = T \cdot i \cdot B = K \cdot i \cdot A$$

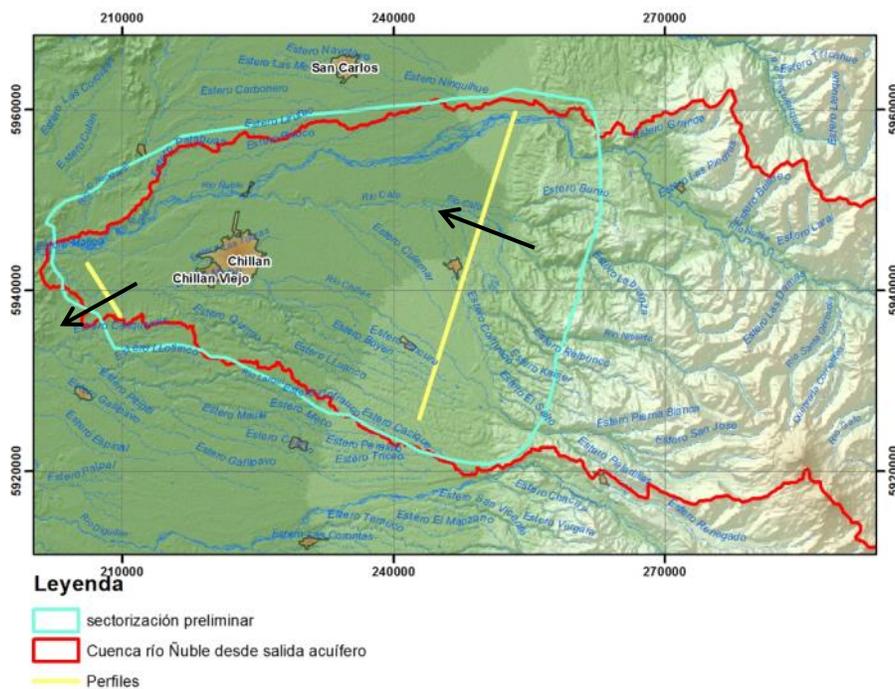
Donde **Q** es el caudal subterráneo en m<sup>3</sup>/s; **T** es la transmisividad en m<sup>2</sup>/s; **i** es el gradiente hidráulico de la napa; **b** es el ancho de la sección considerada en m; **K** es la conductividad hidráulica en m/s y **A** es el área de la sección transversal al flujo en m<sup>2</sup>.

Para el cálculo del caudal subterráneo se utilizaron los valores de transmisividad generados por DGA/Aquaterra (2011). Para la sección aguas arriba los valores de transmisividad se ponderaron según una distribución de un 50% de la sección acuífera con un valor de 100 m<sup>2</sup>/día y el otro 50% de la sección con un valor de 500 m<sup>2</sup>/día. Para la sección de aguas abajo se estimó un 100% de la sección con un valor de 500 m<sup>2</sup>/día. Pese a que estos valores pueden ajustarse de mejor forma con un mayor conocimiento de la estratigrafía del acuífero, por el momento se estima una buena aproximación.

En la Tabla 1 se muestran los resultados para las secciones acuíferas consideradas, y de acuerdo a los valores de transmisibilidad específicos aquí establecidos en las secciones de entrada y salida. La profundidad del acuífero en ambas secciones se ha simplificado de acuerdo a los métodos geofísicos realizados por DGA/Subterránea SpA (2015) y a las profundidades del agua subterránea señaladas por un levantamiento realizado en el estudio DGA/Aquaterra (2011).

**Tabla 1.** Flujos subterráneos de entrada y salida; sector acuífero Ñuble Bajo.

Sección	T (m <sup>2</sup> /d)	K = T/h (m/s)	i	b (m)	h (m)	A (m <sup>2</sup> )	Q Estudio 2011 (m <sup>3</sup> /s)	Q Estudio 2015 (m <sup>3</sup> /s)
<b>Aguas arriba</b>	300	1,87688E-05	0.00974	39084	185	7230540	3,17	<b>1,32</b>
<b>Aguas abajo</b>	500	5,78704E-05	0,00336	7378	100	737800	0,24	<b>0,14</b>

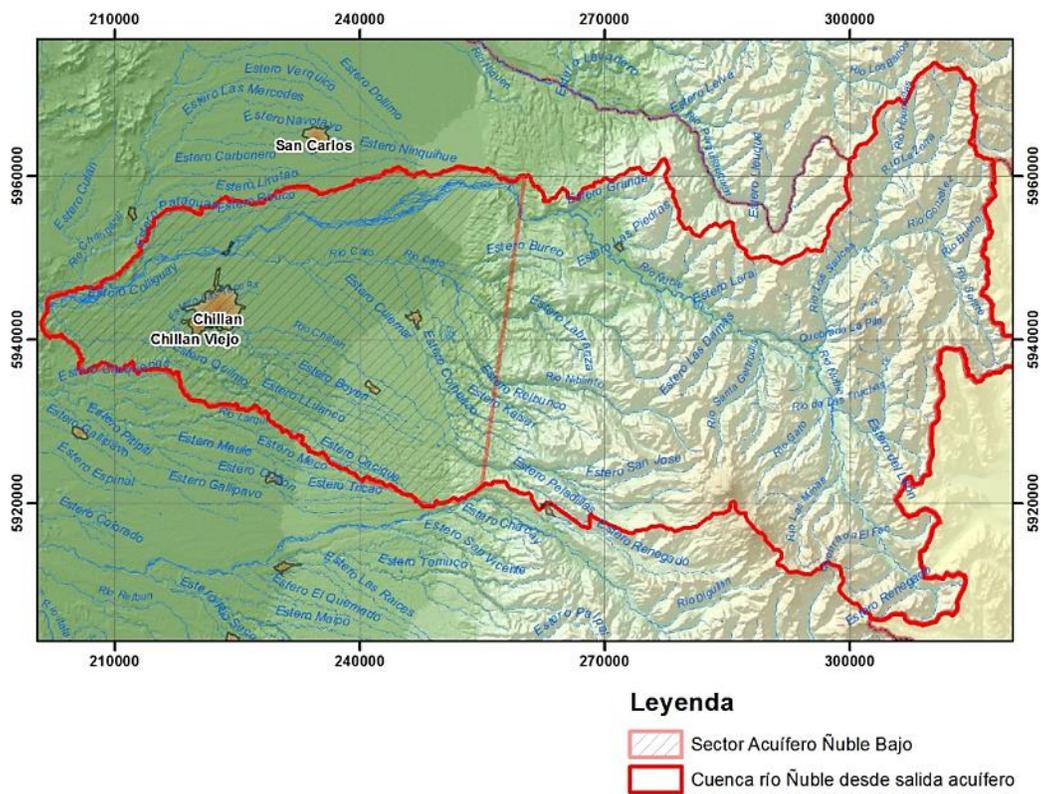


**Figura 10.** Secciones de entrada y salida. Sector acuífero Ñuble Bajo (polígono amarillo).

El flujo subterráneo que entra al sector acuífero Ñuble Bajo es **1,32** m<sup>3</sup>/s, es decir, un 40% del estimado por DGA/Aquaterra en 2011. **Este resultado debe ser considerado en el balance global del sector acuífero Ñuble Bajo.**

#### 4.5. Propuesta de Sectorización

A continuación se muestra una propuesta de sectorización (Figura 11). El área del sector acuífero Ñuble Bajo es de 1.500 km<sup>2</sup>, aproximadamente. El área de la cuenca aportante (río Ñuble aguas arriba de la confluencia con el río Changaral) es de 4.050 km<sup>2</sup>, aproximadamente. El límite oriental del sector delimitado coincide con el contacto roca/relleno; será definido con precisión en el estudio DGA/Subterránea SpA (2015), por lo tanto la línea recta incluida es meramente referencial.



**Figura 11.** Sector acuífero Ñuble Bajo (área achurada).

## **5. DETERMINACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA (RECARGA) EN EL SECTOR ACUÍFERO ÑUBLE BAJO**

Para estimar la recarga se empleó un modelo hidrológico simplificado (DGA/Aquaterra, 2011). El modelo consideró la interacción de sectores de riego, cauces superficiales, embalses y pozos de bombeo. Se simularon 12 meses de un año con disponibilidad de agua para una probabilidad de excedencia dada, tanto en lo que se refiere a los cauces superficiales como a las precipitaciones, es decir, la simulación representa un año hidrológico tipo.

Para estudiar el comportamiento del sistema en un año promedio, se simuló, en primera instancia, el año hidrológico asociado a un 50% de probabilidad de excedencia. Complementariamente, se simuló el año hidrológico asociado a un 85% de probabilidad de excedencia. A partir de estos resultados se identificó la recarga promedio correspondiente al sector acuífero Ñuble Bajo.

La recarga al acuífero está dada por tres procesos principales:

- i) Recarga mensual promedio en sectores de riego por precipitación y riego;
- ii) Recarga mensual promedio por infiltración desde cauces naturales;
- iii) Recarga mensual promedio por infiltración desde embalses.

A continuación se describe brevemente la metodología empleada para estimar la recarga asociada a cada proceso.

### **5.1. Recarga mensual promedio en sectores de riego por precipitación y riego**

En el modelo hidrológico se consideraron 33 sectores de riego, cubriendo gran parte de las cuencas de los ríos Changaral, Ñuble Bajo, Cato, Chillán e Itata, principalmente. De los 33 sectores considerados, 17 se asocian al sector acuífero Ñuble Bajo (Tabla 2).

Cada sector de riego posee un área de cultivo y un área no cultivada, ésta última compuesta de bosques, sectores de cerros, etc. A su vez, dentro del área de cultivo, una parte es de riego y la restante es de secano. En esta área se tiene una diversidad

de cultivos con una demanda evapotranspirativa, que se calcula con la información mensual de la evapotranspiración potencial y el coeficiente de cultivo. Parte de esa demanda es satisfecha por la precipitación efectiva, luego por el agua captada en un cauce superficial, luego por el agua disponible en un embalse, y si aún faltara, por el agua bombeada desde pozos. Se considera que al interior de los predios existe un reuso de los derrames, por lo que la demanda de riego a nivel predial es inferior a la demanda de riego a nivel de cultivos (DGA/Aquaterra, 2011).

**Tabla 2.** Sectores de riego del acuífero del Ñuble Bajo.

Nº Sector	Superficie cultivada		Superficie No Cultivada (has)	Total (has)
	Riego (has)	Secano (has)		
2	0	2030	739	2768
3	666	9468	2000	12134
4	2197	5194	1291	8683
5	2114	8270	2113	12496
6	480	11853	2561	14894
7	62	4463	1271	5797
8	3059	5296	1502	9857
9	3113	1462	777	5352
10	276	1908	346	2531
11	21	3565	1055	4641
12	2970	7315	2011	12296
13	3579	4391	1441	9411
14	255	1737	281	2273
15	3600	6977	1879	12456
16	1415	1331	516	3262
17	3019	3816	1041	7877
18	8205	5609	2627	16441
<b>TOTAL</b>	<b>35031</b>	<b>84685</b>	<b>23451</b>	<b>143169</b>

En lo que dice relación con los derechos de captación de cada bocatoma, se asumió una relación proporcional a la superficie de riego, en cada cauce.

Para cada sector de riego se estableció el caudal total de bombeo otorgado por derechos constituidos, y los diferentes usos de esas explotaciones. Los usos y sus



### 5.3. Recarga mensual promedio por infiltración desde embalses

En el acuífero Ñuble Bajo opera el embalse Cohihueco, cuyas curvas de embalse son las siguientes:

$$\text{Volumen embalsado (m}^3\text{)} = V_0 * H_a + V_1$$

$$\text{Superficie inundada (m}^2\text{)} = S_0 * H_b$$

**Tabla 3.** Parámetros curvas embalse Coihueco.

V <sub>0</sub>	V <sub>1</sub>	S <sub>0</sub>	a	b	H <sub>min</sub>	H <sub>max</sub>	V <sub>min</sub>	V <sub>max</sub>	S <sub>min</sub>	S <sub>max</sub>
(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>2</sup> )			(m)	(m)	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	(10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup> )	(10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup> )
12994	530000	29885	2,3	1,3	3,0	28,3	0,69	28,90	0,12	2,31

### 5.4. Resultados y análisis

#### **Metodología DGA/Aquaterra (2011)**

A partir del modelo hidrológico disponible (DGA/Aquaterra, 2011), se identificó la recarga asociada al sector acuífero Ñuble Bajo, delimitado en este informe técnico. A continuación se muestra la recarga correspondiente a un año hidrológico promedio (Tabla 4).

**Tabla 4.** Recarga sector acuífero Ñuble Bajo (m<sup>3</sup>/s). Probabilidad de excedencia de 50%.

Método: modelación hidrológica simplificada.

	<b>Recarga media anual</b>
Recarga por infiltración desde sectores de riego	12.08
Recarga por infiltración desde cauces naturales	19.96
Recarga por infiltración desde embalses	0.09
Afloramiento en cauces naturales	-16.87
<b>Recarga neta</b>	<b>15.27</b>

Los resultados anteriores se deben interpretar de la siguiente forma: **se espera que la recarga sea de al menos 15,27 m<sup>3</sup>/s el 50% del tiempo, es decir, en promedio, uno de cada dos años.**

### **Metodología alternativa: Coeficiente de Infiltración**

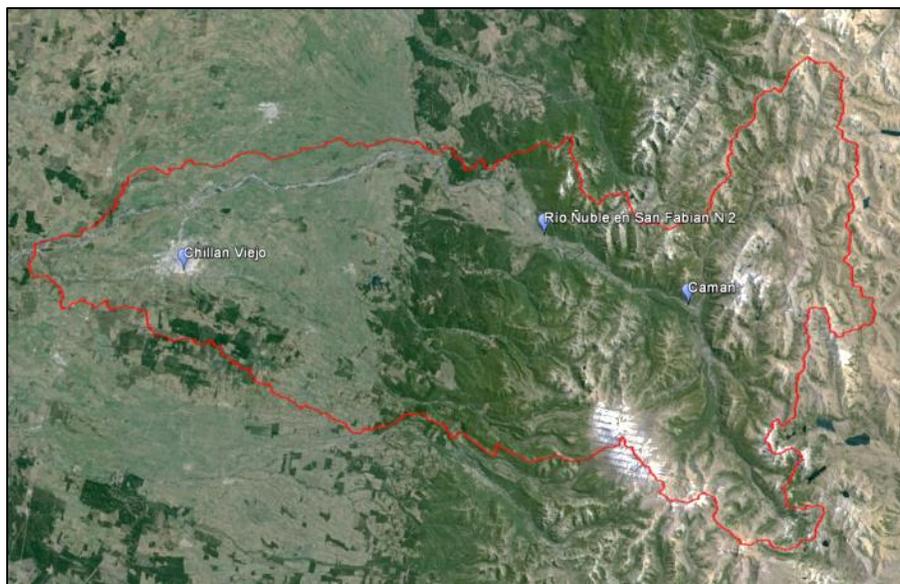
Una manera alternativa – y simplificada – de estimar la recarga corresponde a la utilización de coeficientes de infiltración, es decir, estimar el porcentaje de la precipitación que infiltra hasta el acuífero (directa o indirectamente).

$$Recarga = A * P_p * C_i$$

Donde A es el área de la cuenca, P<sub>p</sub> la precipitación y C<sub>i</sub> el coeficiente de infiltración.

En el Informe SDT N°359 DARH del 2014 el coeficiente de infiltración se estableció según las grandes unidades geomorfológicas reconocidas en el país. En las cuencas ubicadas en la Cordillera de Los Andes se asignó un coeficiente de infiltración del 1%, para las cuencas localizadas en la zona de la cordillera de la costa un coeficiente de 2% y **para las cuencas del valle central o depresión intermedia un coeficiente de 5%.**

Para estimar la precipitación media anual característica de la cuenca asociada al sector acuífero se empleó el registro de las estaciones Chillán Viejo, Río Ñuble en San Fabián y Caman (Figura 13). De esta forma, la recarga neta es de 9,6 m<sup>3</sup>/s (Tabla 5).



**Figura 13.** Estaciones meteorológicas empleadas en la estimación de la precipitación media anual característica de la cuenca aportante.

**Tabla 5.** Recarga al sector acuífero Ñuble Bajo (m<sup>3</sup>/s).

**Método:** coeficiente de infiltración.

<b>Área cuenca (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Pp (m/año)</b>	<b>Ci</b>	<b>Recarga (m<sup>3</sup>/s)</b>
4.050.000.000	1,50	0,05	9,64

### **Discusión**

Para obtener una recarga de 15,27 m<sup>3</sup>/s se requiere un coeficiente de infiltración de 8% (Tabla 6), lo que implicaría que el 8% de la precipitación que cae sobre la cuenca recarga el acuífero.

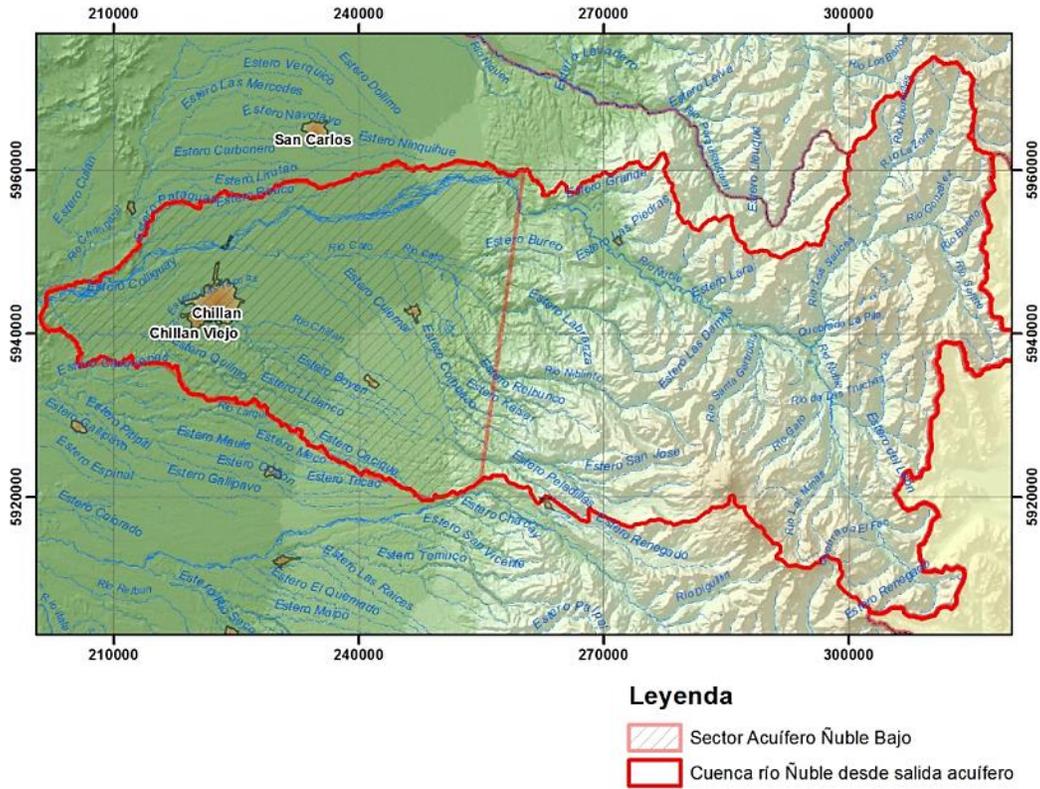
**Tabla 6.** Coeficiente de infiltración asociado a la recarga estimada con ambas metodologías.

<b>Método</b>	<b>Área cuenca (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Pp (m/año)</b>	<b>Ci</b>	<b>Recarga (m<sup>3</sup>/s)</b>
DGA/Aquaterra 2011	4.050.000.000	1,50	<b>0,08</b>	15,27
DARH 2014	4.050.000.000	1,50	<b>0,05</b>	9,64

Con estos resultados se puede establecer un rango de validez para la recarga del sector acuífero Ñuble Bajo. Se considera que un coeficiente de infiltración del 5% es conservador en comparación a lo observado en cuencas con similares características, por lo que se empleará el límite superior del rango de validez, es decir, 8%.

## 6. CONCLUSIONES

El área de la cuenca aportante (río Ñuble aguas arriba de la confluencia con el río Changaral) es de 4.050 km<sup>2</sup>, aproximadamente. El acuífero sectorizado (Ñuble Bajo) coincide con el sector poniente de la cuenca aportante (valle central o depresión intermedia) y tiene una superficie aproximada de 1.500 km<sup>2</sup>. El límite oriental del sector acuífero corresponde al contacto roca/relleno.



**Figura 14.** Propuesta de Sectorización. Ñuble Bajo.

Considerando el aporte de los sectores de riego, cauces naturales y embalses (Tabla 7), la recarga media anual del sector acuífero Ñuble Bajo es de **15,27 m<sup>3</sup>/s**. Esta recarga corresponde a un coeficiente de infiltración de 8%, es decir, el 8% de la precipitación que cae sobre la cuenca (Figura 14) infiltra hasta el sector acuífero Ñuble Bajo. Los resultados son coherentes con lo establecido por el Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH) en su estudio "Estimación preliminar de las recargas de agua subterránea 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”, donde se estableció, preliminarmente, un coeficiente de infiltración del 5%.

**Tabla 7.** Recarga media anual al sector acuífero Ñuble Bajo (m<sup>3</sup>/s).

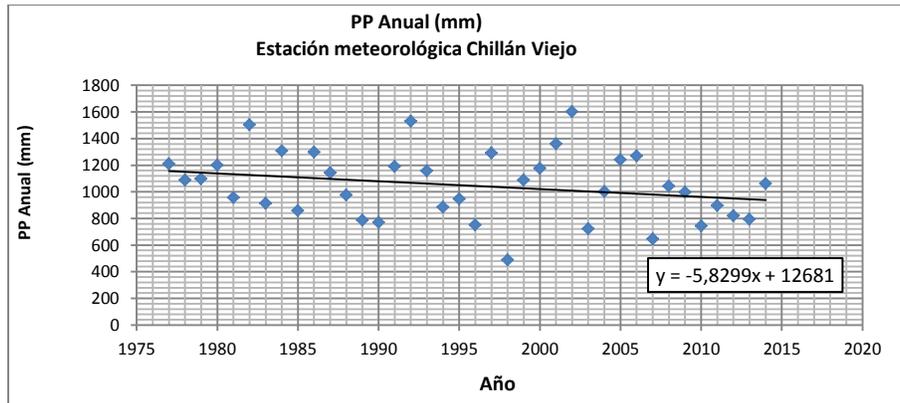
	<b>Recarga media anual</b>
Recarga por infiltración desde sectores de riego	12.08
Recarga por infiltración desde cauces naturales	19.96
Recarga por infiltración desde embalses	0.09
Afloramiento en cauces naturales	-16.87
<b>Recarga neta</b>	<b>15.27</b>

A partir de los resultados establecidos en este informe, se propone un balance preliminar del sector acuífero definido:

**Tabla 8.** Balance hídrico preliminar (subterráneo). Sector acuífero Ñuble Bajo.

Recarga neta	15.27
Bombeo	6.83
Caudal subterráneo entrante	1.32
Caudal subterráneo saliente	0.14
<b>Almacenamiento <math>\Delta V</math></b>	<b>9.62</b>

Los resultados muestran que, con los niveles actuales de demanda, durante un año promedio se almacenan 9,62 m<sup>3</sup>/s. Para considerar los efectos del cambio climático, se propone una disminución de un 10% en el monto de recarga estimado, en coherencia con las tendencia globales de precipitación. De esta forma, el almacenamiento disminuye a un 8,09 m<sup>3</sup>/s.



**Figura 15.** Precipitación anual. Estación meteorológica Chillán Viejo.