



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

INFORME TÉCNICO

“SECTORIZACIÓN Y DETERMINACIÓN DE OFERTA HÍDRICA DEL ACUÍFERO DEL RÍO BUENO”

**REALIZADO POR:
División de Estudios y Planificación
SDT N° 417**

Santiago, Diciembre 2018

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	4
2	OBJETIVOS.....	5
2.1	Objetivo general.....	5
2.2	Objetivos específicos.....	5
3	ANTECEDENTES DISPONIBLES.....	6
4	SECTORIZACIÓN DEL ACUÍFERO DEL VALLE DEL RÍO BUENO	7
4.1	Identificación de la zona de estudio	7
4.2	Metodología	7
4.3	Resultados Obtenidos.....	9
4.4	Pluviometría y Fluviometría.....	10
4.5	Infiltración.....	12
4.5.1	Umbral de Escorrentía (P0)	12
4.5.2	Escorrentía e Infiltración	15
4.6	Caracterización hidrogeológica	20
4.6.1	Estudio de prospección geofísica	20
4.7	Sectorización preliminar de Acuíferos	22
4.7.1	Formaciones acuíferas	22
4.8	Sectorización Previa de acuíferos.....	23
5	ACTIVIDADES DE TERRENO.....	26
5.1	Catastro de Captaciones.....	26
5.2	Campaña de Aforos.....	27
6	MODELO CONCEPTUAL.....	28
6.1	Depresión intermedia	28
6.2	Equipotenciales y dirección de flujo.....	30
6.3	Parámetros elásticos	30
6.4	Balance hídrico.....	30
7	MODELO NUMÉRICO	31
7.1	Resultados obtenidos	31
8	CONCLUSIONES.....	35
9	ANEXOS.....	37
9.1	Anexo A	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo Digital de Elevaciones empleado.	8
Figura 2. Red Hídrica generada.	8
Figura 3. Clasificación según número de Horton-Strahler.	8
Figura 4. Subcuencas obtenidas.	9
Figura 5. Subcuencas y cauces obtenidos en la cuenca del río Bueno.	10
Figura 6. Ubicación de las estaciones analizadas.	12
Figura 7. Uso de suelo.	13
Figura 8. Distribución de pendientes.	13
Figura 9. Grupos de suelo.	14
Figura 10. Zonificación de umbral de escorrentía P_0	14
Figura 11. Campañas de prospección geofísica y antecedentes geofísicos de otros estudios en la cuenca del río Bueno.	20
Figura 12. Reinterpretación de la línea gravimétrica L1.	21
Figura 13. Reinterpretación de la línea gravimétrica L2.	21
Figura 14. Reinterpretación de la línea gravimétrica L3.	21
Figura 15. Sectorización preliminar de acuíferos. Modificado de SERNAGEOMIN.	23
Figura 16. Sectores acuíferos en la Cuenca del Río Bueno.	25
Figura 17. Puntos catastrados cuenca del Río Bueno.	26
Figura 18. Localización geográfica de los aforos realizados y estaciones fluviométricas de la DGA.	27
Figura 19. Acuífero depresión intermedia del río Bueno.	29
Figura 20. Niveles calculados.	32
Figura 21. Propuesta red de monitoreo.	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Bibliografía relevante.	6
Tabla 2. Subcuencas delimitadas.	9
Tabla 3. Estaciones meteorológicas de la red de Agromet.	11
Tabla 4. Estaciones meteorológicas de la red de la DGA.	11
Tabla 5. Umbral de escorrentía medio por subcuenca.	15
Tabla 6. Valores de referencia para la capacidad de campo y punto de marchitez en función de la textura del suelo.	15
Tabla 7. Valores de capacidad de campo, punto de marchitez y espesor radicular para cada serie de suelo.	16
Tabla 8. Infiltración, evapotranspiración y escorrentía de subcuencas de la cuenca del río Bueno (1 de 3).	17
Tabla 9. Infiltración, evapotranspiración y escorrentía de subcuencas de la cuenca del río Bueno (2 de 3).	18
Tabla 10. Infiltración, evapotranspiración y escorrentía de subcuencas de la cuenca del río Bueno (3 de 3).	19
Tabla 11. Nomenclatura de referencia según tipo de acuífero.	22
Tabla 12. Aforos realizados.	27
Tabla 13. Balance hídrico del acuífero de la depresión intermedia del río Bueno.	30
Tabla 14. Balance hídrico modelizado.	33

1 INTRODUCCIÓN

Entre las atribuciones y funciones de la Dirección General de Aguas (DGA) conferidas por el Código de Aguas, Artículo 299, letra a), consta la planificación del desarrollo del recurso en las fuentes naturales, con el fin de constituir derechos de aprovechamientos seguros y por caudales ciertos y razonables de explotar, además de formular recomendaciones para el aprovechamiento de los recursos hídricos, por lo que se ha abocado al estudio continuo de las fuentes de agua a fin de que sean aprovechadas de manera sustentable.

Por otra parte, como en el norte del país la mayor disponibilidad de agua corresponde a las aguas subterráneas, los estudios de este recurso se centran principalmente en la hidrogeología. Hacia el centro y el sur del país, en tanto, los estudios sobre recursos hídricos se basan en la hidrología de las aguas superficiales.

Dada esta situación de que no existe una sobrepresión o sobredemanda por recursos hídricos subterráneos en estas zonas, hasta la fecha el análisis técnico para la determinación de las disponibilidades efectivas de agua subterránea y su posterior balance para la constitución de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas se ha hecho en base a balances generales, confrontando la demanda por este concepto con la recarga estimada. Es decir, las solicitudes de agua subterránea se han resuelto con aproximaciones teóricas de la recarga del acuífero.

Adicionalmente, el aumento de la demanda ha ido agotando los derechos superficiales, tornándose cada vez más importante el uso de agua subterránea, que, entre otras cosas, ofrece mayor seguridad en el uso y abastecimiento de agua.

Por lo anterior, la Dirección General de Aguas considera necesario el estudio de los acuíferos prioritarios de la Región de los Ríos, desde el punto de vista de los volúmenes almacenados y disponibles, así como de su funcionamiento hidráulico, a fin de tener un mayor conocimiento hidrogeológico de la Región, conocer la disponibilidad real de los acuíferos que en ella existen y disponer de una herramienta de apoyo que permitirá avanzar en la constitución de derechos de aprovechamiento de aguas subterránea de manera sustentable.

El presente Informe, propone una sectorización al acuífero del río Bueno, región de Los Ríos, basado en antecedentes técnicos hidrogeológicos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

El objetivo general del Informe Técnico es proponer una sectorización hidrogeológica en el acuífero del valle del río Bueno, además de estimar su oferta.

2.2 Objetivos específicos

- Revisión de antecedentes disponibles en la zona de estudio.
- Elaborar una propuesta de sectorización del acuífero del valle del río Laja.
- Estimación preliminar de la recarga.

3 ANTECEDENTES DISPONIBLES

Para la realización de este informe se han revisado diversos estudios con antecedentes referidos a la geología, geofísica, hidrología, meteorología, hidrogeología e hidrogeoquímica del sector.

Tabla 1. Bibliografía relevante.

REF.	DOCUMENTO	AÑO	ELABORADO	AUTOR
1	Investigación modelación hidrogeológica en acuíferos prioritarios Región de los Ríos	2016	AQUALOGY MEDIOAMBIENTE	DGA
2	Estudio Cuencas Principales Región de los Ríos.	2012	AMPHOS 21 CONSULTING CHILE LTDA.	DGA
3	Mejoramiento y Ampliación de Red de Aguas Subterráneas, Regiones VII a X.	2010	CONIC BF	DGA
4	Levantamiento Hidrogeológico y Potencial de Agua Subterránea del Valle Central de la Región de los Lagos. BIP N° 20186775-0	2008	SERNAGEOMIN	SERNAGEOMIN
5	Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua Según Objetivos de Calidad. Cuenca del Río Bueno.	2004	CADE-IDEPE	DGA
6	Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección. X Región	2003	AYALA, CABRERA Y ASOCIADOS	CNR

4 SECTORIZACIÓN DEL ACUÍFERO DEL VALLE DEL RÍO BUENO

4.1 Identificación de la zona de estudio

La cuenca andina del río Bueno forma parte de la Región de Los Lagos, y abarca también parte de la Región de los Ríos, con 15.367 Km² de extensión. En su tercio oriental existe una gran cantidad de lagos de variadas dimensiones. Destacan por sus superficies los lagos Ranco, Puyehue y Rupanco.

El río Bueno nace en el extremo poniente del lago Ranco. Tras un recorrido de 130 km en dirección E-W, desemboca en el océano Pacífico al norte de la punta Dehui. Dicho río recibe sus más importantes tributarios desde el sur, donde la cuenca alcanza su mayor desarrollo.

Desde el punto de vista geomorfológico, existe una serie de elementos fisiográficos que se pueden identificar claramente:

- Cordillera de los Andes volcánica activa.
- Precordillera morrénica.
- Lagos de barrera morrénica.
- Depresión intermedia o Llano Central con Morrenas y Conos.
- Cordillera de la Costa.
- Planicies Litorales fluvio-marinas.

4.2 Metodología

Se detalla la metodología y se explica el proceso llevado a cabo para la delimitación de subcuencas, obteniendo sus respectivas áreas y la longitud de los cauces principales mediante un sistema de información geográfica.

El punto de partida fue un modelo digital del terreno (DEM), en el cual se realizaron los siguientes procedimientos:

1. Depurado y corregido de las imperfecciones existentes en la superficie del modelo digital de elevaciones, de tal forma que las celdas en depresión alcancen el nivel del terreno con el objetivo de poder determinar de forma adecuada la dirección del flujo.

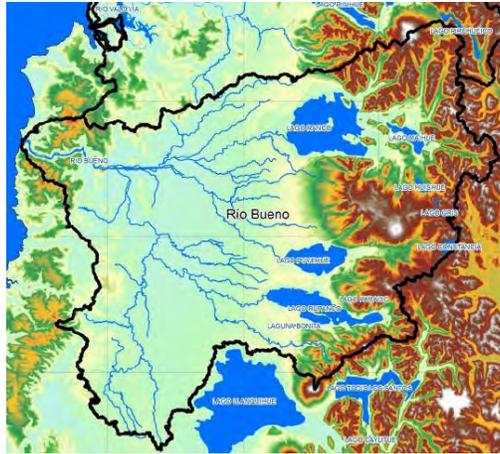


Figura 1. Modelo Digital de Elevaciones empleado.

2. Construcción de red hídrica

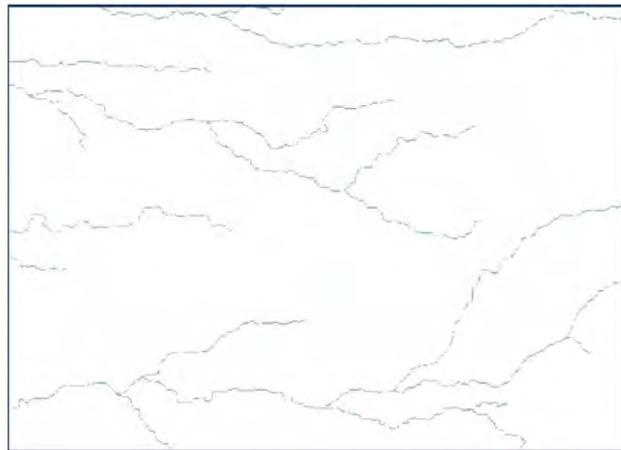


Figura 2. Red Hídrica generada.

3. Clasificación de tipos de corrientes

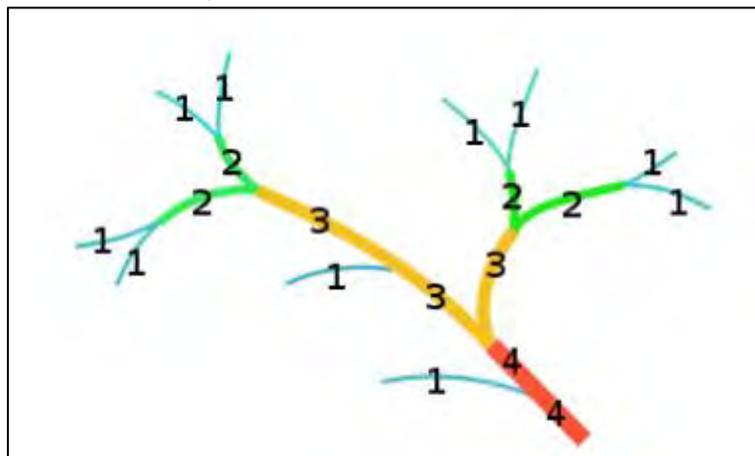


Figura 3. Clasificación según número de Horton-Strahler.

4. Obtención de cuencas con "watershead"

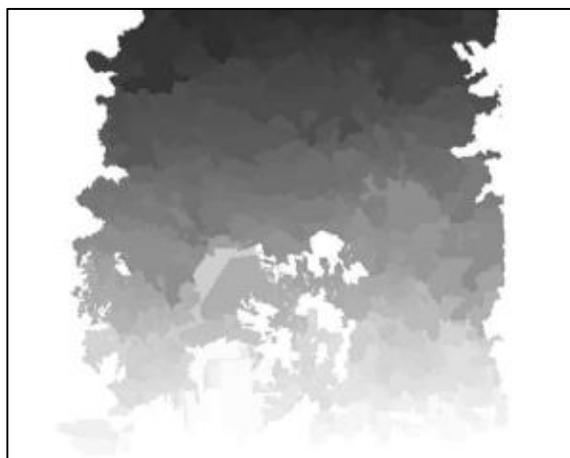


Figura 4. Subcuencas obtenidas.

4.3 Resultados Obtenidos

Se han agrupado las cuencas menores en subcuencas, según los siguientes criterios:

- Agrupar subcuencas pertenecientes a ríos de cierta entidad, permitiendo desde un punto de vista hidrológico la caracterización hidrológica de la zona de estudio y facilite los cálculos de infiltración y balance hídrico a una escala de fácil manejo sin llegar a ser engorrosa.
- Diferenciar tramos altos y bajos, ya que el régimen hidrológico es diferente a las zonas altas de las bajas, por lo que se han dividido algunos ríos en zonas de confluencia de otros ríos.

Las subcuencas definidas con la metodología anterior, son las siguientes:

Tabla 2. Subcuencas delimitadas.

CUENCA	SUBCUENCA	LONGITUD CAUCE PRINCIPAL (km)	ÁREA SUBCUENCA (km²)
Río Bueno	Río Llollehue	91,72	887,58
	Río Bueno desembocadura	34,19	489,58
	Río Bueno Alto	131,61	4.479,47
	Río Damas	60,19	593,87
	Río Negro	97,96	239,05
	Río Rahue Alto	95,5	2.269,71
	Río Rahue Bajo	63,35	855,37
	Río Pilmaiquén	123,48	2.594,85

La siguiente figura muestra las subcuencas mencionadas anteriormente:

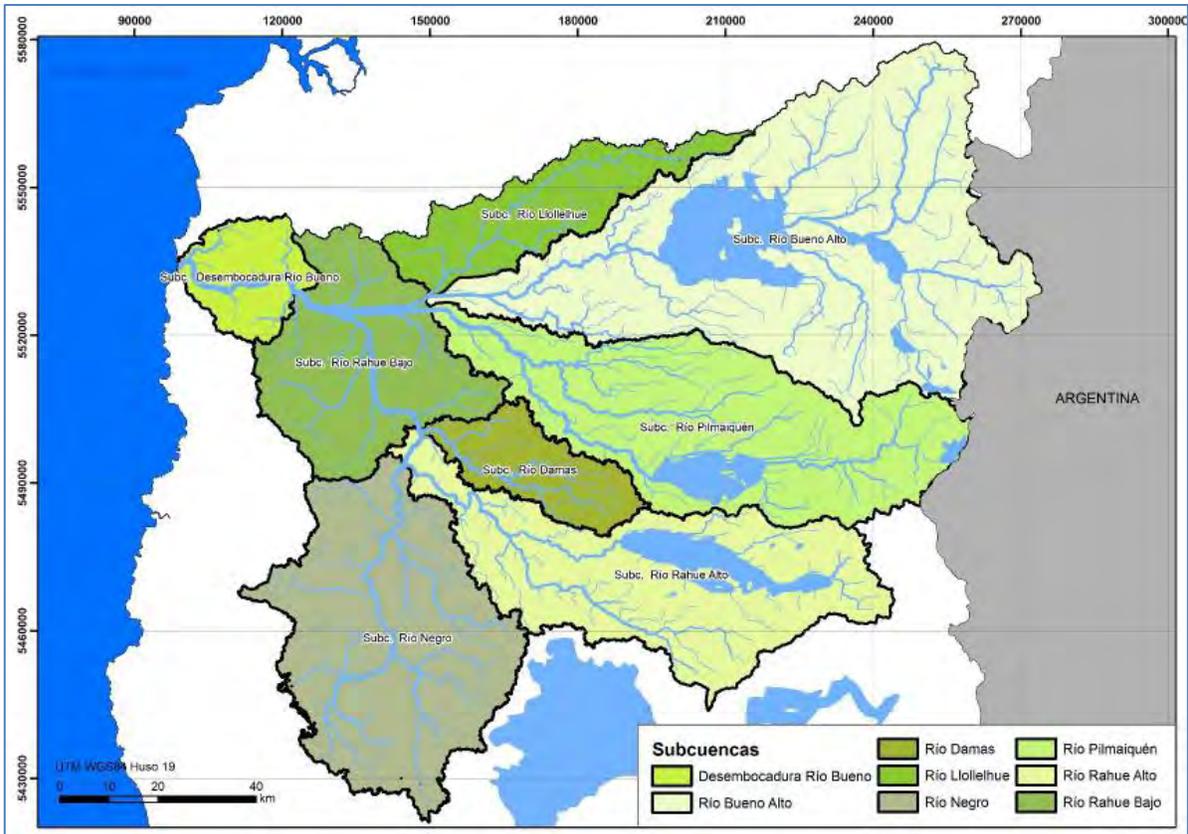


Figura 5. Subcuencas y cauces obtenidos en la cuenca del río Bueno.

4.4 Pluviometría y Fluviometría

Para la caracterización pluviométrica se han extraído datos de 11 estaciones de la red meteorológica de Agromet y de 10 estaciones de la red meteorológica de la DGA. Mencionar que los primeros solo aportan datos de precipitación y temperatura mientras que los segundos, en el caso de que corresponda, también aportan datos fluviométricos. No obstante, los registros obtenidos son muy cortos, en muchos casos inferiores al año, por lo que muy pocos resultan de utilidad real.

Tabla 3. Estaciones meteorológicas de la red de Agromet.

Nº	Estación	X	Y	Huso	Rango de datos		Datos ofrecidos
					Fecha inicio	Fecha fin	
1-A	Santa Carla, Panguipulli	240,200	5,678,941	19	28/03/2013	26/09/2014	PP y T ^a
2-A	Las Lomas, Máfil	673,191	5,681,321	18	22/02/2013	26/09/2014	PP y T ^a
3-A	Lago Verde, Paillaco	243,900	5,567,931	19	01/06/2011	30/09/2014	PP y T ^a
4-A	Palermo, La Unión	670,725	5,570,327	18	28/11/2013	30/09/2014	PP y T ^a
5-A	El Cardal, Río Bueno	676,629	5,527,239	18	01/05/2011	30/09/2014	PP y T ^a
6-A	Remehue, Osorno	669,417	5,512,359	18	01/10/2009	30/09/2014	PP y T ^a
7-A	Desague Rupanco, Puyehue	655,588	5,487,068	18	18/04/2013	30/09/2014	PP y T ^a
8-A	Octay, Puerto Octay	677,954	5,463,846	18	24/03/2011	30/09/2014	PP y T ^a
9-A	Quilanto, Frutillar	668,450	5,455,931	18	04/08/2011	30/09/2014	PP y T ^a
10-A	Polizones, Fresia	636,293	5,447,191	18	01/04/2011	30/09/2014	PP y T ^a
11-A	Colegual, Llanquihue	645,860	5,435,156	18	01/04/2011	30/09/2014	PP y T ^a

Tabla 4. Estaciones meteorológicas de la red de la DGA

Número	Código	Nombre estación	X	Y	Huso	Registro		Datos que aporta
						Fecha inicio	Fecha fin	
DGA-4	10123004-K	Llancahue	142,301	5,579,480	19	12/06/2014	30/09/2014	T ^a y PP
DGA-5	10360002-2	Adolfo Matthei	152,205	5,498,460	19	16/12/2013	03/10/2014	T ^a y PP
DGA-8	10122003-6	Río Calle en Pupunahue	165,928	5,586,330	19	03/01/2012	30/09/2014	PP y Q
DGA-9	10133000-1	Río Leufucade en Purulon	698,686	5,627,619	18	07/02/2013	30/09/2014	PP y Q
DGA-10	10313001-8	Río Llolelhue	153,897	5,532,960	19	07/03/2013	03/10/2014	PP y Q
DGA-11	10313001-8	Río Rahue en Desague Lago Rupanco	188,468	5,478,330	19	01/01/2012	03/10/2014	PP y Q
DGA-12	10356001-2	Negro en Chahuilco	143,377	5,484,330	19	23/05/2003	03/10/2014	PP y Q
DGA-13	10344003-3	Río Rahue antes Junta Río Negro	146,382	5,493,550	19	05/09/2014	03/10/2014	T ^a , PP y Q
DGA-14	10355003-3	Río Forrahue en Río Negro	670,725	5,570,327	18	04/09/2014	03/10/2014	T ^a , PP y Q
DGA-15	10100002-8	Fuí Di Lago Pihueico	252,865	5,582,150	19	25/03/2003	30/09/2014	T ^a , PP y Q

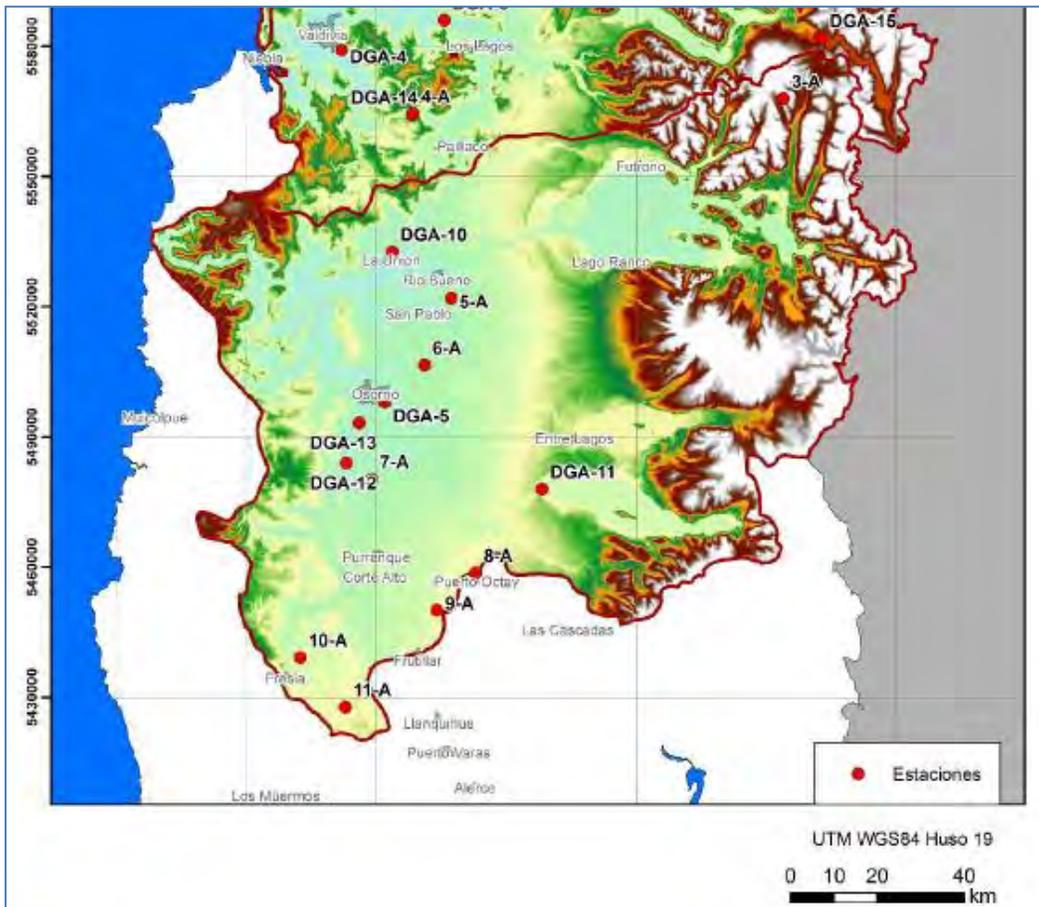


Figura 6. Ubicación de las estaciones analizadas.

4.5 Infiltración

Se calculó la infiltración por precipitación directa, así como la escorrentía superficial, para ello se realizó un balance hidrometeorológico en el suelo, calculando la evapotranspiración por cuenca, el umbral de escorrentía y finalmente la infiltración.

4.5.1 Umbral de Escorrentía (P_0)

Para el cálculo de P_0 se consideró: i) uso de suelo, ii) Pendientes y iii) la Permeabilidad. Con esto se tienen las siguientes figuras:

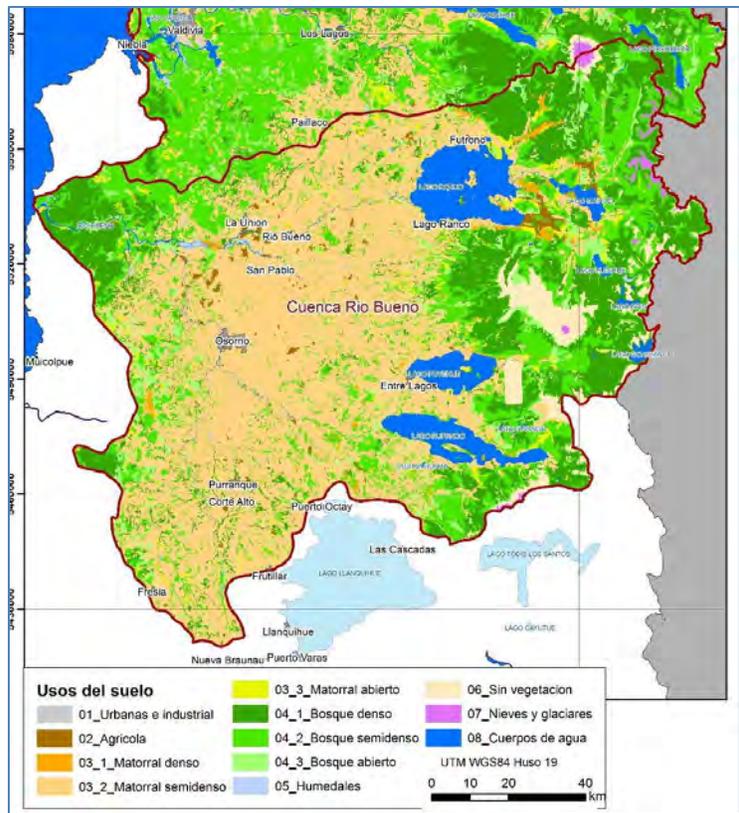


Figura 7. Uso de suelo.

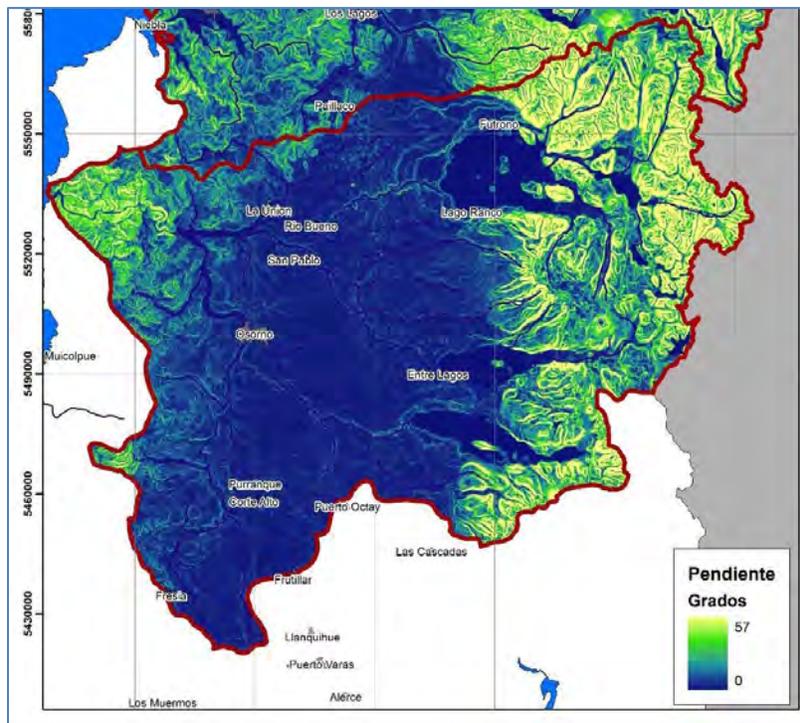


Figura 8. Distribución de pendientes.

A través de una media ponderada a la superficie de cada subcuenca (ver Tabla 5), se obtiene el valor medio del umbral de escorrentía:

Tabla 5. Umbral de escorrentía medio por subcuenca.

CUENCA	SUBCUENCA	P₀ (mm)
Río Bueno	Río Lollehue	29,44
	Río Bueno desembocadura	15,18
	Río Rahue Bajo	28,72
	Río Bueno Alto	19,53
	Río Damas	29,13
	Río Negro	34,24
	Río Rahue Alto	23,50
	Río Pilmaiquén	21,32

4.5.2 Escorrentía e Infiltración

Obtenido el umbral de escorrentía, se definen las características del suelo como son *capacidad de campo*, *punto de marchitez* y *espesor radicular*, ya que el valor de la ET es muy sensible a estas características.

Posteriormente, para cada serie de suelo se ha asignado, según la siguiente tabla de referencia, considerando **la textura** del mismo, valores de capacidad de campo y punto de marchitez.

Tabla 6. Valores de referencia para la capacidad de campo y punto de marchitez en función de la textura del suelo.

TEXTURA DEL SUELO	CAPACIDAD DE CAMPO (%)	PUNTO DE MARCHITEZ (%)
Arenoso	9	2
Arenoso-franco	14	4
Franco arenoso-limoso	23	9
Franco arenoso + materia orgánica	29	10
Franco	34	12
Franco-arcillos	30	16
Arcilloso	38	34
Arcilloso con buena estructura	50	30

Con esto, los valores asignados para cada serie de suelo son los siguientes:

Tabla 7. Valores de capacidad de campo, punto de marchitez y espesor radicular para cada serie de suelo.

SERIE DE SUELO	TIPO DE SUELO	CAPACIDAD DE CAMPO	PUNTO DE MARCHITEZ	PROF. RADICULAR (m)
Cudico	Arcilloso	0,38	0,34	1,05
Osorno	Franco-arcilloso	0,30	0,16	1,00
Fresia	Arcilloso	0,38	0,34	1,05
Huiño-Huiño	Franco-arcilloso	0,30	0,16	1,20
Nahuelbuta	Franco-arcilloso	0,30	0,16	0,95
Frutillar	Franco-arcilloso	0,30	0,16	0,90
Puerto Fonk	Franco-arcilloso	0,30	0,16	0,80
Corte Alto	Franco arenoso	0,30	0,16	0,84
Chan-Chan	Franco-arcilloso	0,30	0,16	0,73
Correltue	Arcilloso	0,38	0,34	0,86
Crucero	Franco-arcilloso	0,30	0,16	1,20
Itropulli	Arcilloso	0,38	0,34	1,00
Los Lagos	Franco arenoso	0,14	0,04	0,80
Lanco	Franco arcilloso-arenoso	0,29	0,10	0,37
Lastarria	Franco-arcilloso	0,30	0,16	1,09
Llastuco	Arcilloso	0,38	0,34	1,3,
Maihue	Franco-arcilloso	0,30	0,16	1,14
Pelchuquín	Franco arcilloso-limoso	0,30	0,16	1,20
río Bueno	Franco arcilloso	0,30	0,16	0,68
La Unión	Arcilloso	0,38	0,34	0,92
Valdivia	Arcilloso	0,38	0,34	1,20

Por último, en las siguientes tablas se muestran los valores obtenidos de *infiltración, evapotranspiración y escorrentía*, para cada subcuenca, a partir de las series de precipitación y temperatura disponibles.

Tabla 8. Infiltración, evapotranspiración y escorrentía de subcuencas de la cuenca del río Bueno (1 de 3).

Río Bueno Alto (mm/mes)			
Mes	Recarga	ETR	Esc,
jun-11	155,9	37,9	67,1
jul-11	111,5	32,4	27,3
ago-11	120,2	37,5	17,6
sept-11	101,9	38,4	4,9
oct-11	54,9	39,6	8,6
nov-11	12,5	44,7	3,0
dic-11	0,0	55,3	0,0
ene-12	0,0	64,8	57,7
feb-12	37,7	57,2	33,9
mar-12	12,7	64,0	7,3
abr-12	0,0	52,2	0,0
may-12	119,1	51,4	54,0
jun-12	169,2	33,2	55,2
jul-12	77,2	28,6	32,1
ago-12	98,1	37,4	5,8
sept-12	67,9	41,0	1,5
oct-12	23,1	40,2	3,3
nov-12	10,7	45,5	26,9
dic-12	141,0	45,9	81,8
ene-13	2,7	69,4	0,0
feb-13	0,0	57,9	5,8
mar-13	0,0	63,4	0,0
abr-13	0,0	61,0	19,8
may-13	102,7	53,0	44,1
jun-13	88,2	39,9	21,2
jul-13	70,4	35,2	39,6
ago-13	117,5	34,9	19,8
sept-13	108,0	38,7	36,4
oct-13	2,3	43,7	0,0
nov-13	57,1	43,0	4,0
dic-13	0,0	56,4	0,0
ene-14	0,0	59,1	5,4
feb-14	6,9	58,6	0,0
mar-14	0,0	56,4	13,3
abr-14	26,7	51,2	3,9
may-14	127,8	53,6	15,2
jun-14	166,9	20,0	61,2
jul-14	189,3	20,3	54,0
ago-14	99,9	18,9	30,9
sept-14	159,2	16,5	22,1

Río Lollehe (mm/mes)			
Mes	Recarga	ETR	Esc,
may-11	60,6	44,0	4,2
jun-11	94,2	37,4	0,0
jul-11	102,6	34,2	0,0
ago-11	135,0	34,6	20,3
sept-11	62,5	40,5	0,0
oct-11	23,6	42,2	0,0
nov-11	0,0	47,1	0,0
dic-11	0,0	58,6	0,0
ene-12	0,0	63,0	0,0
feb-12	0,0	53,1	23,5
mar-12	0,0	65,5	0,0
abr-12	0,0	48,3	0,0
may-12	57,7	48,2	2,3
jun-12	141,6	34,0	34,1
jul-12	78,4	27,8	5,7
ago-12	78,7	37,8	0,0
sept-12	31,4	41,9	0,0
oct-12	0,0	43,3	0,0
nov-12	0,0	47,1	0,0
dic-12	75,2	49,0	31,8
ene-13	0,0	71,6	0,0
feb-13	0,0	55,2	0,0
mar-13	0,0	52,7	0,0
abr-13	0,0	49,7	44,7
may-13	76,9	56,1	0,5
jun-13	73,0	39,7	3,9
jul-13	61,5	35,5	0,0
ago-13	53,5	34,7	0,0
sept-13	71,0	37,8	4,8
oct-13	0,7	45,7	0,0
nov-13	19,5	45,5	0,0
dic-13	0,0	58,5	0,0
ene-14	0,0	61,3	0,0
feb-14	0,0	59,9	0,0
mar-14	0,0	25,7	0,0
abr-14	0,0	50,3	0,2
may-14	128,8	19,8	2,9
jun-14	160,4	20,0	36,6
jul-14	196,6	20,3	10,8
ago-14	108,6	18,9	5,5
sept-14	170,3	16,5	0,0

Río Pilmaiquén (mm/mes)			
Mes	Recarga	ETR	Esc,
may-11	51,6	44,0	13,2
jun-11	88,6	37,4	5,6
jul-11	96,3	34,2	6,3
ago-11	124,5	34,6	30,8
sept-11	62,5	40,5	0,0
oct-11	23,6	42,2	0,0
nov-11	0,0	47,1	0,0
dic-11	0,0	58,6	0,0
ene-12	0,0	67,9	0,0
feb-12	0,0	58,6	31,6
mar-12	0,0	65,5	0,0
abr-12	0,0	52,0	0,0
may-12	24,2	48,3	13,5
jun-12	127,0	34,0	48,7
jul-12	69,3	27,8	14,8
ago-12	68,6	37,8	10,1
sept-12	31,4	41,9	0,0
oct-12	0,0	43,3	0,0
nov-12	0,0	47,1	2,1
dic-12	56,9	49,0	48,1
ene-13	0,0	71,6	0,0
feb-13	0,0	60,5	1,4
mar-13	0,0	62,3	0,0
abr-13	0,0	58,9	58,2
may-13	27,8	56,1	10,6
jun-13	60,6	39,7	16,3
jul-13	56,2	35,5	5,3
ago-13	53,5	34,7	0,0
sept-13	62,9	37,8	12,9
oct-13	0,7	45,7	0,0
nov-13	19,5	45,5	0,0
dic-13	0,0	58,5	0,0
ene-14	0,0	61,3	0,0
feb-14	0,0	59,9	0,0
mar-14	0,0	58,7	4,3
abr-14	0,0	50,3	8,3
may-14	68,0	19,8	18,2
jun-14	141,8	20,0	55,2
jul-14	186,8	20,3	20,5
ago-14	97,6	18,9	16,5
sept-14	163,1	16,5	7,2

Tabla 9. Infiltración, evapotranspiración y escorrentía de subcuencas de la cuenca del río Bueno (2 de 3).

Río Damas (mm/mes)				Río Rahue Alto (mm/mes)				Río Rahue Bajo (mm/mes)			
Mes	Recarga	ETR	Esc,	Mes	Recarga	ETR	Esc,	Mes	Recarga	ETR	Esc,
oct-09	60,3	42,0	0,0	oct-09	60,3	42,0	0,0	oct-09	60,3	42,0	0,0
nov-09	36,7	38,7	0,0	nov-09	36,7	38,7	0,0	nov-09	36,7	38,7	0,0
dic-09	30,1	52,4	1,5	dic-09	24,5	52,4	7,1	dic-09	29,7	52,4	1,9
ene-10	0,0	63,8	0,0	ene-10	0,0	63,8	0,0	ene-10	0,0	63,8	0,0
feb-10	35,0	54,7	1,6	feb-10	29,4	54,7	7,2	feb-10	34,6	54,7	2,0
mar-10	0,0	66,7	0,0	mar-10	0,0	66,7	0,0	mar-10	0,0	66,7	0,0
abr-10	0,0	55,1	0,0	abr-10	0,0	55,1	0,0	abr-10	0,0	55,1	0,0
may-10	0,0	39,1	0,0	may-10	0,0	39,1	0,0	may-10	0,0	39,1	0,0
jun-10	90,9	46,3	7,1	jun-10	79,6	46,3	18,4	jun-10	90,0	46,3	8,0
jul-10	97,8	31,9	0,0	jul-10	97,8	31,9	0,0	jul-10	97,8	31,9	0,0
ago-10	138,9	34,5	19,7	ago-10	122,0	34,5	36,6	ago-10	137,7	34,5	20,9
sept-10	17,7	40,8	0,0	sept-10	17,7	40,8	0,0	sept-10	17,7	40,8	0,0
oct-10	6,0	45,0	0,0	oct-10	6,0	45,0	0,0	oct-10	6,0	45,0	0,0
nov-10	7,9	45,1	0,0	nov-10	7,9	45,1	0,0	nov-10	7,9	45,1	0,0
dic-10	9,7	50,1	0,0	dic-10	9,7	50,1	0,0	dic-10	9,7	50,1	0,0
ene-11	0,0	60,8	0,0	ene-11	0,0	60,8	0,0	ene-11	0,0	60,8	0,0
feb-11	0,0	61,5	0,0	feb-11	0,0	61,5	0,0	feb-11	0,0	53,6	0,0
mar-11	0,0	61,1	0,0	mar-11	0,0	61,1	0,0	mar-11	0,0	58,8	0,0
abr-11	0,0	53,3	55,7	abr-11	0,0	53,3	61,3	abr-11	0,0	53,3	56,1
may-11	47,6	44,4	0,0	may-11	38,1	44,4	3,9	may-11	57,3	44,4	0,0
jun-11	86,7	37,9	0,0	jun-11	86,7	37,9	0,0	jun-11	86,7	37,9	0,0
jul-11	129,7	34,9	0,0	jul-11	129,7	34,9	0,0	jul-11	129,7	34,9	0,0
ago-11	138,1	35,0	16,6	ago-11	130,3	35,0	24,4	ago-11	137,7	35,0	17,0
sept-11	60,0	41,6	0,0	sept-11	60,0	41,6	0,0	sept-11	60,0	41,6	0,0
oct-11	22,3	41,6	0,0	oct-11	22,3	41,6	0,0	oct-11	22,3	41,6	0,0
nov-11	0,0	46,2	0,0	nov-11	0,0	46,2	0,0	nov-11	0,0	46,2	0,0
dic-11	0,0	57,9	0,0	dic-11	0,0	57,9	0,0	dic-11	0,0	57,9	0,0
ene-12	0,0	66,8	0,0	ene-12	0,0	66,8	0,0	ene-12	0,0	47,5	0,0
feb-12	0,0	57,2	21,4	feb-12	0,0	57,2	27,0	feb-12	0,0	45,4	21,8
mar-12	0,0	66,1	0,0	mar-12	0,0	66,1	0,0	mar-12	0,0	65,0	0,0
abr-12	0,0	51,8	0,0	abr-12	0,0	51,8	0,0	abr-12	0,0	19,7	0,0
may-12	0,0	48,1	10,0	may-12	0,0	48,1	15,6	may-12	64,1	46,3	10,4
jun-12	130,3	33,0	32,7	jun-12	113,4	33,0	38,3	jun-12	131,1	33,0	33,1
jul-12	78,5	27,6	7,9	jul-12	72,8	27,6	13,5	jul-12	78,0	27,6	8,3
ago-12	89,5	38,5	0,0	ago-12	83,8	38,5	5,7	ago-12	89,5	38,5	0,0
sept-12	21,7	40,8	0,0	sept-12	21,7	40,8	0,0	sept-12	21,7	40,8	0,0
oct-12	0,0	42,4	0,0	oct-12	0,0	42,4	0,0	oct-12	0,0	42,4	0,0
nov-12	0,0	46,7	0,0	nov-12	0,0	46,7	0,0	nov-12	0,0	46,7	0,0
dic-12	78,2	47,4	10,5	dic-12	66,9	47,4	21,8	dic-12	77,3	47,4	11,4
ene-13	0,0	70,8	0,0	ene-13	0,0	70,8	0,0	ene-13	0,0	66,5	0,0
feb-13	0,0	60,3	0,0	feb-13	0,0	60,3	0,2	feb-13	0,0	45,2	0,0
mar-13	0,0	62,6	0,0	mar-13	0,0	62,6	0,0	mar-13	0,0	48,5	0,0
abr-13	0,0	57,2	41,8	abr-13	0,0	57,2	47,7	abr-13	0,0	56,0	42,2
may-13	67,7	53,9	14,3	may-13	51,2	53,9	24,6	may-13	101,5	53,9	14,7
jun-13	74,3	37,3	1,0	jun-13	68,6	37,3	6,6	jun-13	73,8	37,3	1,4
jul-13	82,4	33,6	0,0	jul-13	74,1	33,6	8,3	jul-13	82,4	33,6	0,0
ago-13	61,1	32,7	0,0	ago-13	61,1	32,7	0,0	ago-13	61,1	32,7	0,0
sept-13	94,2	35,7	5,7	sept-13	88,6	35,7	11,3	sept-13	93,8	35,7	6,1
oct-13	0,0	44,6	0,0	oct-13	0,0	44,6	0,0	oct-13	0,0	44,6	0,0
nov-13	0,0	44,0	0,0	nov-13	0,0	44,0	0,0	nov-13	0,0	44,0	0,0
dic-13	0,0	57,7	0,0	dic-13	0,0	57,7	0,0	dic-13	0,0	45,0	0,0
ene-14	0,0	59,7	0,0	ene-14	0,0	59,7	0,0	ene-14	0,0	47,7	0,0
feb-14	0,0	58,4	0,0	feb-14	0,0	58,4	0,0	feb-14	0,0	39,3	0,0
mar-14	0,0	52,9	0,0	mar-14	0,0	52,2	0,0	mar-14	0,0	20,5	0,0
abr-14	0,0	49,9	8,3	abr-14	0,0	49,9	13,9	abr-14	0,0	49,9	8,7
may-14	27,1	51,6	8,9	may-14	8,0	51,6	23,1	may-14	102,2	51,6	9,8
jun-14	177,2	34,7	33,7	jun-14	161,1	34,7	49,8	jun-14	176,3	34,7	34,6
jul-14	158,3	38,0	13,8	jul-14	148,7	38,0	23,4	jul-14	157,9	38,0	14,2
ago-14	87,8	41,7	13,7	ago-14	82,2	41,7	19,3	ago-14	87,4	41,7	14,1
sept-14	144,3	39,7	0,3	sept-14	135,9	39,7	8,7	sept-14	143,9	39,7	0,7

Tabla 10. Infiltración, evapotranspiración y escorrentía de subcuencas de la cuenca del río Bueno (3 de 3).

Desembocadura Bueno (mm/mes)				Río Negro (mm/mes)			
Mes	Recarga	ETR	Esc,	Mes	Recarga	ETR	Esc,
oct-09	50,2	42,0	10,1	abr-11	54,9	52,0	0,0
nov-09	36,7	38,7	0,0	may-11	52,2	44,5	0,0
dic-09	16,2	52,4	15,4	jun-11	113,8	37,9	0,0
ene-10	0,0	63,8	0,0	jul-11	212,9	34,2	17,1
feb-10	15,1	54,7	21,5	ago-11	172,1	33,0	9,2
mar-10	0,0	66,7	3,6	sept-11	67,6	39,2	0,0
abr-10	0,0	55,1	0,0	oct-11	10,1	41,0	0,0
may-10	0,0	39,1	4,1	nov-11	4,6	44,9	0,0
jun-10	55,2	46,3	35,0	dic-11	0,0	55,6	0,0
jul-10	94,2	31,9	3,6	ene-12	0,0	65,4	0,0
ago-10	93,8	34,5	64,8	feb-12	29,8	55,9	0,0
sept-10	17,7	40,8	0,0	mar-12	1,9	65,6	0,0
oct-10	4,2	45,0	1,7	abr-12	0,0	50,1	0,0
nov-10	7,9	45,1	0,0	may-12	102,4	48,5	6,3
dic-10	9,0	50,1	0,6	jun-12	150,1	33,2	0,0
ene-11	0,0	60,8	7,3	jul-12	96,0	28,9	0,0
feb-11	0,0	61,5	0,0	ago-12	131,6	38,3	3,4
mar-11	0,0	61,1	5,7	sept-12	11,3	41,4	0,0
abr-11	0,0	53,3	73,0	oct-12	7,7	41,7	0,0
may-11	0,2	44,4	17,1	nov-12	0,0	46,5	0,0
jun-11	78,1	37,9	8,5	dic-12	89,5	46,7	0,0
jul-11	106,0	34,9	23,7	ene-13	0,0	68,2	0,0
ago-11	111,0	35,0	43,7	feb-13	0,0	59,6	0,0
sept-11	58,2	41,6	1,8	mar-13	0,0	63,3	0,0
oct-11	22,3	41,6	0,0	abr-13	0,0	58,9	0,0
nov-11	0,0	46,2	0,0	may-13	118,8	54,8	2,7
dic-11	0,0	57,9	0,0	jun-13	110,9	41,2	0,0
ene-12	0,0	66,8	0,0	jul-13	74,4	37,1	1,0
feb-12	0,0	57,2	35,3	ago-13	119,0	33,2	0,0
mar-12	0,0	66,1	0,0	sept-13	113,1	35,5	0,0
abr-12	0,0	39,1	0,0	oct-13	0,0	43,7	0,0
may-12	0,0	46,3	42,8	nov-13	5,9	43,2	0,0
jun-12	71,6	33,0	59,1	dic-13	0,0	55,4	0,0
jul-12	56,8	27,6	29,6	ene-14	0,0	58,7	0,0
ago-12	67,1	38,5	22,3	feb-14	0,0	56,0	0,0
sept-12	20,4	40,8	1,3	mar-14	0,0	56,6	0,0
oct-12	0,0	42,4	0,0	abr-14	2,2	17,7	0,0
nov-12	0,0	46,7	0,0	may-14	160,4	19,9	14,5
dic-12	48,7	47,4	40,0	jun-14	179,4	20,1	66,6
ene-13	0,0	70,8	0,0	jul-14	194,9	20,4	2,4
feb-13	0,0	60,3	8,5	ago-14	91,7	18,9	0,0
mar-13	0,0	62,6	0,0	sept-14	127,3	16,5	0,0
abr-13	0,0	57,2	64,9				
may-13	1,8	53,9	48,5				
jun-13	52,9	37,3	22,3				
jul-13	54,9	33,6	27,5				
ago-13	55,7	32,7	5,4				
sept-13	77,2	35,7	22,6				
oct-13	0,0	44,6	0,0				
nov-13	0,0	44,0	0,0				
dic-13	0,0	57,7	0,0				
ene-14	0,0	59,7	0,1				
feb-14	0,0	58,4	0,0				
mar-14	0,0	41,6	1,7				
abr-14	0,0	49,9	22,2				
may-14	0,0	51,6	50,7				
jun-14	104,8	34,7	87,0				
jul-14	123,6	38,0	48,5				
ago-14	66,6	41,7	34,9				
sept-14	110,9	39,7	33,7				

4.6 Caracterización hidrogeológica

4.6.1 Estudio de prospección geofísica

Para complementar y obtener más antecedentes hidrogeológicos, se realizó una campaña de geofísica en la zona de estudio, utilizando los métodos TEM y gravimétrico.

Como antecedente se tiene que en la cuenca del río Bueno existen prospecciones geofísicas previas, las que se complementan con las actuales como muestra la siguiente figura:

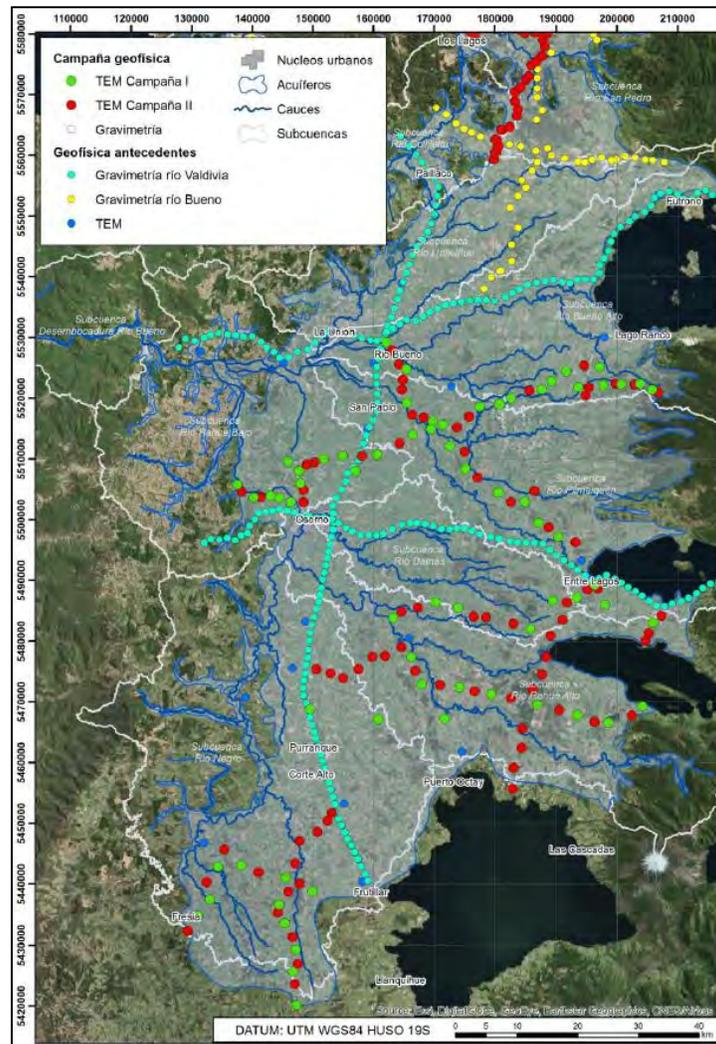


Figura 11. Campañas de prospección geofísica y antecedentes geofísicos de otros estudios en la cuenca del río Bueno.

Se interpretaron 3 perfiles en la cuenca del río Bueno, los cuales, a diferencia de la geofísica existente, indican un espesor de relleno sedimentario de menor potencia. A continuación se presentan dichos perfiles:

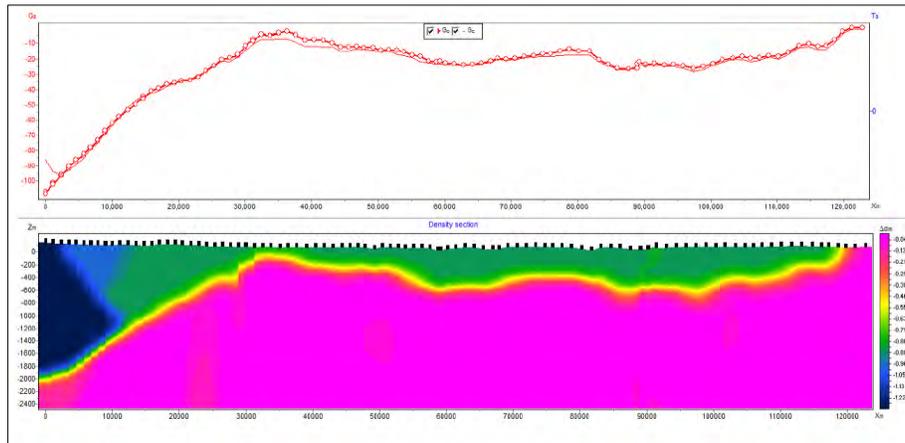


Figura 12. Reinterpretación de la línea gravimétrica L1.

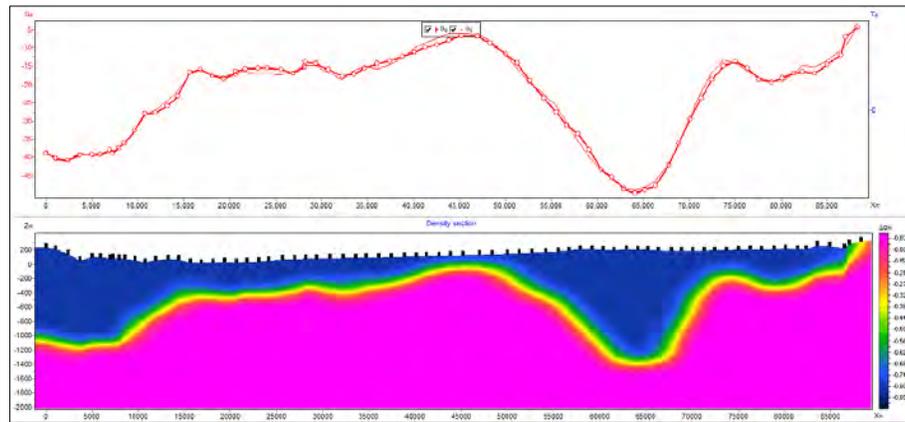


Figura 13. Reinterpretación de la línea gravimétrica L2.

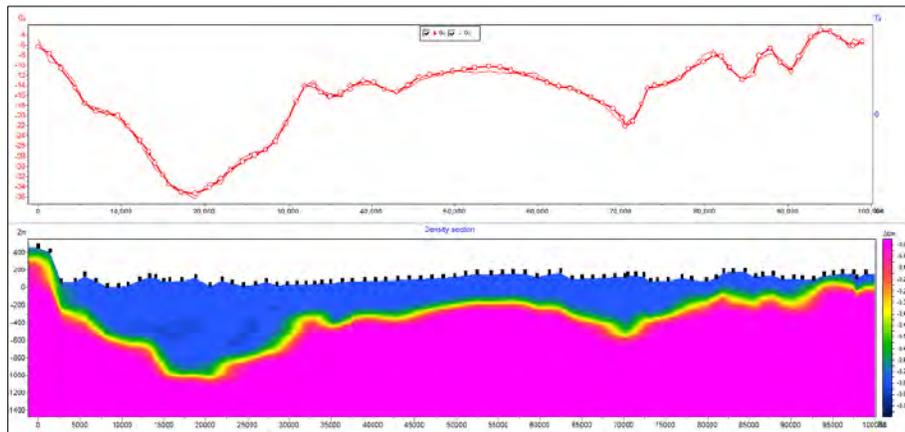


Figura 14. Reinterpretación de la línea gravimétrica L3.

4.7 Sectorización preliminar de Acuíferos

La sectorización de acuíferos viene condicionada por las particularidades geológicas y características propias de cada cuenca.

En la cuenca del río Bueno, desde los relieves pre-andinos, y rellenando toda la Depresión intermedia hasta la Cordillera de la Costa, aparecen extensas formaciones terciarias y cuaternarias de carácter volcánico y detrítico que constituyen los principales acuíferos de esta cuenca. A partir de la cordillera de la costa y hasta la zona litoral, existe una gran extensión de materiales paleozoicos cuyas propiedades como acuíferos le confieren poca importancia.

4.7.1 Formaciones acuíferas

La información de partida para la sectorización preliminar de acuíferos se basa en el estudio de SERNAGEOMIN del 2008, en el cual se realiza un estudio hidrogeológico con la finalidad, entre otras, de sectorizar los acuíferos.

A partir de esta definición, con la información levantada posteriormente en terreno y la interpretación de la prospección geofísica, se procedió a realizar una sectorización más detallada de los acuíferos integrados en la zona de estudio.

En la tabla siguiente se incorpora una descripción de la nomenclatura empleada en la clasificación preliminar de acuíferos:

Tabla 11. Nomenclatura de referencia según tipo de acuífero.

NOMENCLATURA	IMPORTANCIA HIDROGEOLÓGICA	TIPO
A	Alta	Libre
B	Media	Libre
C	Baja	Libre
D	Nula	Impermeable
//A	Alta	Confinado o semiconfinado
//B	Media	Confinado o semiconfinado
//C	Baja	Confinado o semiconfinado
1-5	Variedad litológica dentro del mismo acuífero	

La descripción de cada sistema acuífero y su nivel de importancia se describen en el Anexo A del presente informe. Con dicha información se obtiene la siguiente sectorización preliminar de acuíferos:

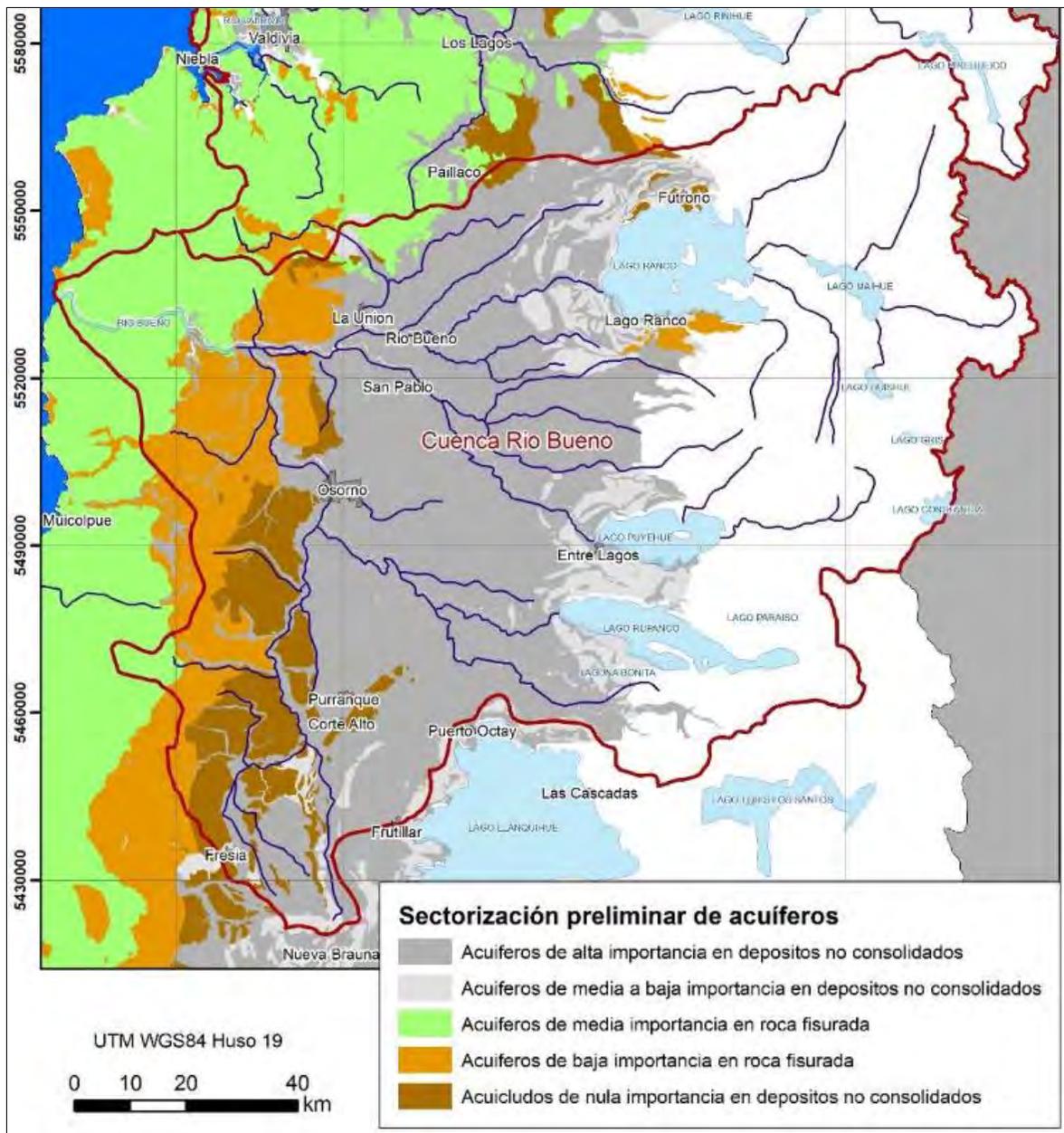


Figura 15. Sectorización preliminar de acuíferos. Modificado de SERNAGEOMIN.

4.8 Sectorización Previa de acuíferos

En la cuenca del río Bueno existe una mejor delimitación de los acuíferos existentes por dos elementos morfológicos marcados; los límites del frente de los lagos, donde aparecen las formaciones de morrenas, las cuales son alimentadas por estas masas de agua, y la cordillera intermedia, que supone un límite neto y barrera para las extensas formaciones que ocupan la depresión intermedia. De esta forma, puede considerarse una gran unidad acuífera que de este a oeste ocupa toda la depresión intermedia y cuya salida

se produce a través de acuíferos aluviales que cortan dicha cordillera en su salida al mar.

En trabajos previos (Estudio Hidrogeológico Cuencas Principales Región de los Ríos), en esta gran unidad se han diferenciado dos acuíferos principales; uno en dirección WNW paralelo a los ríos Pilmaiquen y Rahue y el otro en dirección SSW paralelo al batolito costero hasta juntarse ambos con el acuífero de la cuenca del río Maullín por el sur.

De acuerdo al estudio antes mencionado, la Depresión Intermedia en el sector de la cuenca del río Bueno está formada por estratos de sedimentos del Pleistoceno-Holoceno relativo a las unidades geológicas existentes y a los resultados de las prospecciones geofísicas realizadas. Los resultados del estudio geofísico existente indican que los rellenos sedimentarios poseen un espesor mínimo de unos 200 m, lo cual se confirma con los antecedentes estratigráficos disponibles.

Los sectores confinados ocupan alrededor de un 50% del acuífero en los bordes E y W del acuífero, quedando libre el sector central y la unión del río Rahue con el río Bueno.

En resumen, también en esta cuenca cabe considerar una gran unidad hidrogeológica formada por tramos permeables de diferente naturaleza y localmente confinados por formaciones impermeables. A priori se considera que existe una conexión hidráulica en toda la unidad, ya que no existe información de detalle que permita discretizar acuíferos de forma más precisa en cuanto a su extensión espacial y límites concretos.

Siguiendo con la sectorización previa realizada para el resto de las cuencas de estudio, en esta se proponen los siguientes sectores:

- Depresión Intermedia del Río Bueno: constituida por el relleno de toda la depresión desde la zona de los lagos hasta la Cordillera Intermedia que hace de barrera impermeable.
- Aluvial de los ríos Bueno y Rahue: Aluviales de cierta entidad correspondientes al río Bueno y su afluente el Rahue.



Figura 16. Sectores acuíferos en la Cuenca del Río Bueno.

5 ACTIVIDADES DE TERRENO

5.1 Catastro de Captaciones

Se inventariaron 354 captaciones y se hizo una estimación de los usos y demandas en la zona.

Se midieron un total de 285 datos de nivel estático y 11 del nivel dinámico. Los datos de niveles estáticos varían entre un mínimo de 0 y 110 metros de profundidad. Los niveles dinámicos medidos se sitúan entre los 6 y los 66 metros de profundidad.

El caudal de bombeo se reparte en un rango de 0,08 a 63 l/s, con un valor total estimado de 583,64 l/s.

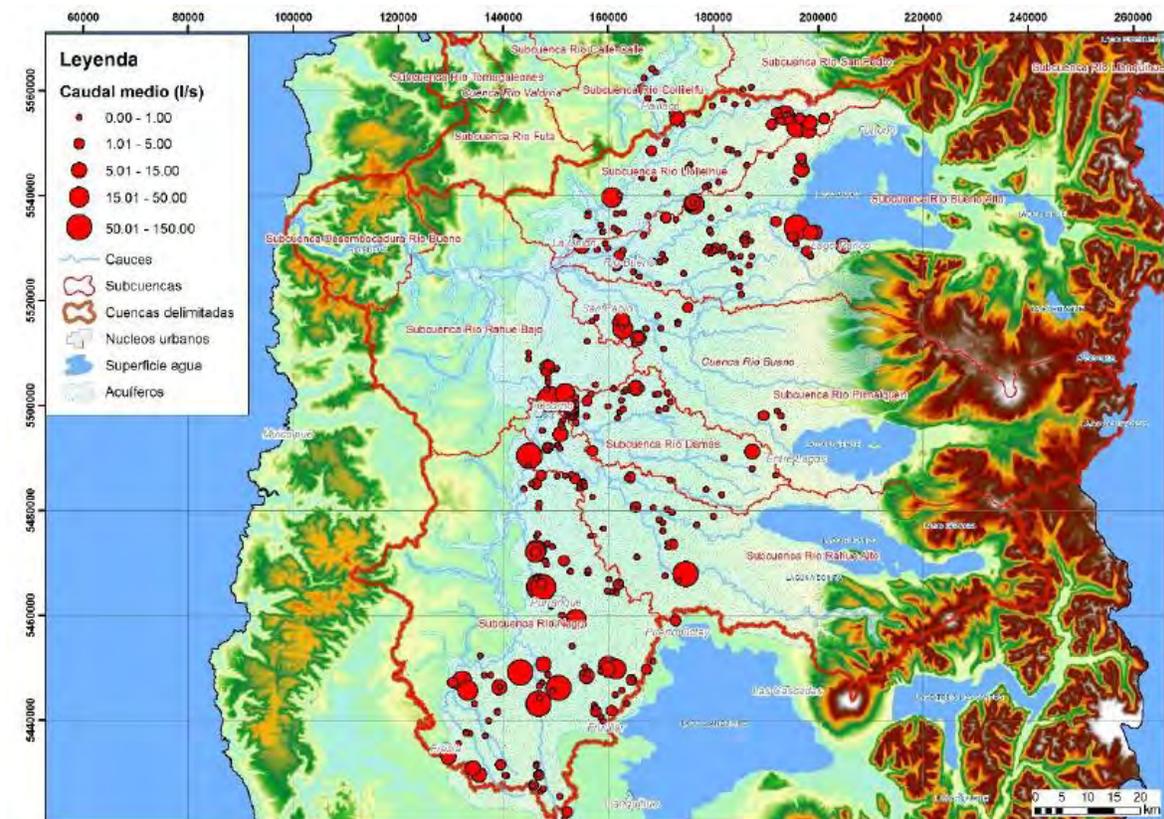


Figura 17. Puntos catastrados cuenca del Río Bueno.

El principal uso del agua en la zona de estudio es el abastecimiento de agua potable, y en menor proporción, pero también importante la ganadería. Otros usos son el riego y la industria.

5.2 Campaña de Aforos

Para estimar de mejor manera y corroborar lo monitoreado por la DGA en los cauces principales de la cuenca del río Bueno, se realizó una campaña de aforos, se presentan los valores obtenidos y la ubicación de dichos aforos.

Tabla 12. Aforos realizados.

NOMBRE	CAUCE	ESTE WGS84	NORTE WGS84	FECHA	Q (m ³ /s)
Aaq5	Río Pilmaiquen	677055	5521316	22-04-2015	16,75
Aaq6	Río Chirre	684676	5515744	22-04-2015	6,37
Aaq9	Río Rahue	671521	5485805	23-04-2015	64,74
Extra	Río Negro	646612	5482986	23-04-2015	6,45

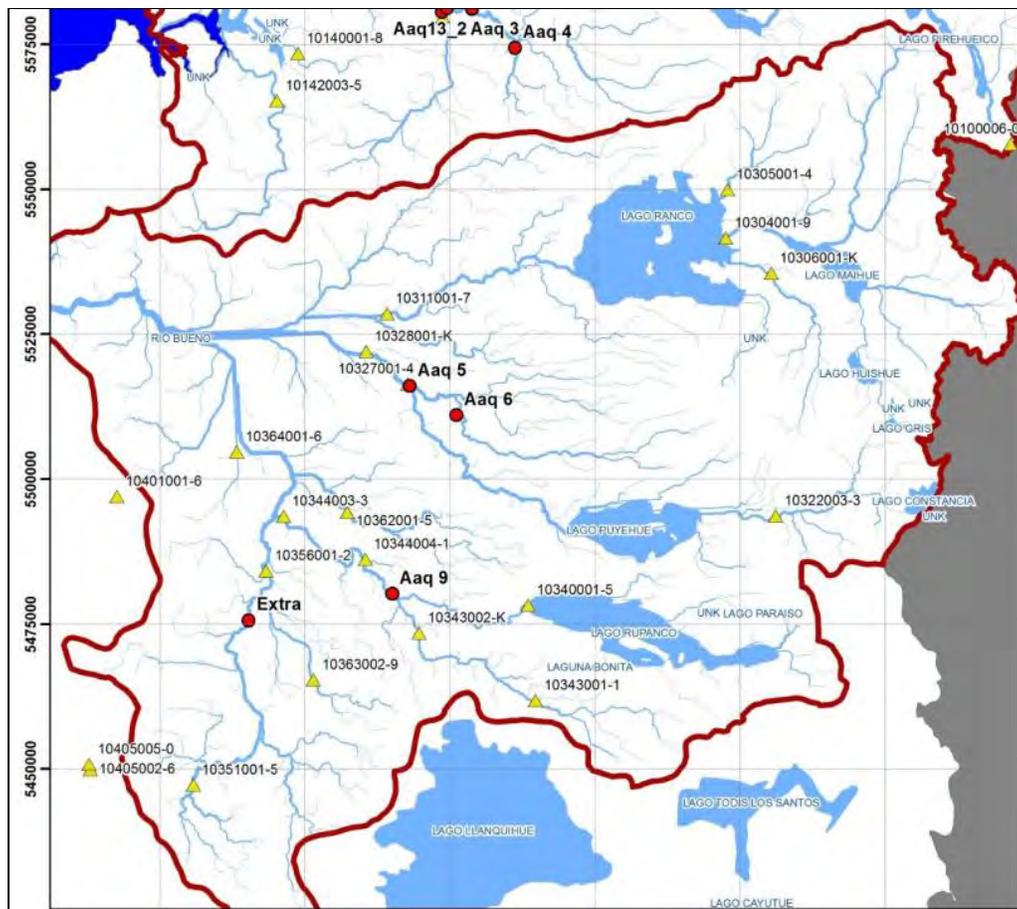


Figura 18. Localización geográfica de los aforos realizados y estaciones fluviométricas de la DGA.

6 MODELO CONCEPTUAL

Se realizó una división en dos grandes sectores bien diferenciados, uno es la Depresión Intermedia del río Bueno, coincidente con el relleno sedimentario que ocupa la depresión existente entre la cordillera de la costa y la cordillera Andina, dando comienzo con los lagos al pie de la cordillera, y el otro que corresponde a los aluviales que se encuentran conectados con la depresión intermedia y dan salida hacia la desembocadura del río Bueno, siendo estos los aluviales de los ríos Bueno y Rahue. Por tanto, se definen los siguientes acuíferos:

- Depresión Intermedia del río Bueno.
- Aluvial del río Bueno y Rahue.

6.1 Depresión intermedia

La depresión Intermedia corresponde a un único acuífero, heterogéneo pero con un funcionamiento hidráulico en conjunto, no siendo necesario dividirlo en subacuíferos.

La Depresión Intermedia del río Bueno conforma un acuífero de grandes dimensiones, con una extensión de 2.005 km², y grandes profundidades de hasta 2.000 metros de relleno sedimentario, si bien, estas profundidades corresponden a rellenos miocenos con poca importancia hidrogeológica, el acuífero Pleistoceno-Cuaternario posee unas buenas características hidrogeológicas tal y como se reflejan en los parámetros elásticos.

Este acuífero está conformado por depósitos morrenicos, fluvio-glaciales y glaciofluviales, aluviales, y volcánico piroclásticos, depositados sobre un mioceno arenoso (formación Ranquil y Cholchol) de gran espesor, que a su vez descansa sobre el basamento paleozoico, tanto intrusivo al este como metamórfico al oeste (esquistos pelíticos y grafitosos del paleozoico).

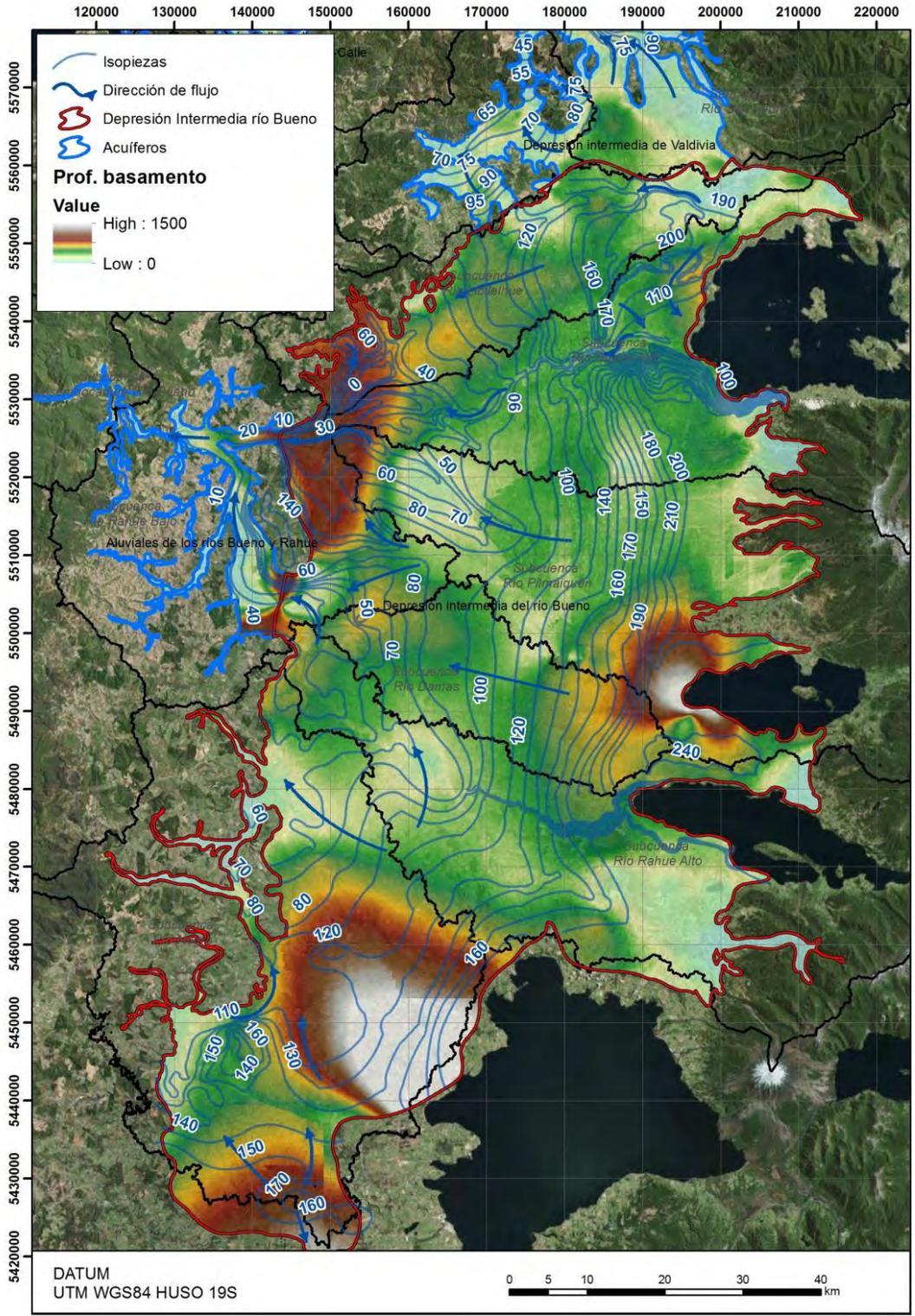


Figura 19. Acuífero depresión intermedia del río Bueno.

6.2 Equipotenciales y dirección de flujo

Las líneas de flujo en este acuífero siguen a *grosso modo* el drenaje superficial. Con dirección principal E-W, más acentuada hacia el sur en la parte norte y hacia el norte en la parte sur, donde se aprecia el aporte de los lagos en la parte este del acuífero, y el drenaje hacia los aluviales de los ríos Rahue y Bueno hacia el oeste (Figura 19).

Los ríos son ganadores, puesto que el nivel freático está alto y genera surgencia que hace que siempre haya un caudal importante en los ríos.

6.3 Parámetros elásticos

Debido a la variabilidad hidrogeológica de este acuífero, se han obtenido valores de transmisividad muy diversos, desde 3.072 a 2 m²/d, cuyo valor medio se sitúa en torno a los 300 m²/d.

6.4 Balance hídrico

La infiltración media obtenida en la Depresión Intermedia del río Bueno, para el periodo de octubre 2013-septiembre 2014, es de 694 mm/año, lo que supone, en una superficie de 2.005 km² (superficie en planta del acuífero), una recarga por infiltración de lluvia de 44.130 l/s (1,392 hm³/a).

Respecto a los bombeos, durante la campaña de terreno se cuantificaron 1.314L/s de extracciones en pozos para este acuífero.

Tabla 13. Balance hídrico del acuífero de la depresión intermedia del río Bueno.

ENTRADAS (L/S)	SALIDAS (L/S)	
Infiltración lluvia	Bombeos	Afloramientos, descargas a aluviales
44.130	1.314	42.816

7 MODELO NUMÉRICO

Una vez desarrollado el modelo conceptual del acuífero, se llevó a cabo un modelo numérico que permita la simulación del acuífero según la situación actual.

El modelo numérico fue calibrado en régimen permanente, y la información utilizada fue la expuesta en apartados anteriores tales como la geofísica, catastro realizado, piezometría, aforos, estudios previos, etc.

El modelo se realizó considerando una única capa acuifera, formada por el volumen entre el basamento y la superficie topográfica, determinada mediante la extrapolación entre los perfiles geológicos trazados en apartados anteriores. El mallado se realizó considerando 320 columnas y 500 filas, con tamaño de celdas de 284x284 metros y orientación norte sur. La zona modelada ocupa una superficie de 91x142 km.

Se consideró heterogéneo e isótropo en la horizontal ($k_x/k_y=1$) y heterogéneo y anisótropo en la vertical (k_z/k_x aprox 0, 10, 01).

La zonificación de la conductividad hidráulica se realizó atendiendo a los datos recopilados y fue modificada durante la calibración para ajustar los niveles observados a los calculados.

Se establecieron dos tipos de borde: impermeable y celdas de nivel constante (Constant Head Boundary).

La recarga por infiltración directa en el acuífero se incluyó de forma homogénea en toda la superficie utilizando el módulo de recarga (Recharge). El valor asignado fue obtenido en el balance hídrico realizado en el apartado anterior, ajustando éste al igual que en el modelo anterior durante el proceso de calibración.

Los pozos de extracción incluidos han sido los correspondientes al inventario existente, ascendiendo a un caudal de 759,32L/s.

7.1 Resultados obtenidos

Los niveles calculados se distribuyen en el acuífero de acuerdo a la siguiente figura:

Tabla 14. Balance hídrico modelizado.

Entradas		Salidas	
Concepto	Q(l/s)	Concepto	Q(l/s)
Entradas desde lagos	938,6	Salidas al mar y lagos	22.200,9
Ríos	96,4	Bombeos	759,3
Recarga por precipitación	28.974,1	Ríos	7.048,9
TOTAL	30.009,2	TOTAL	30.009,2

Hay un total de entradas en el sistema de 30.001 l/s, procedentes principalmente de la recarga de lluvia. Las principales salidas se dan al mar y lagos aunque también son importantes las salidas por descargas a ríos.

Se entiende como volumen embalsado el volumen total existente en un acuífero, y que hipotéticamente podría ser explotado. Este volumen no es constante en el tiempo ya que depende de factores como la recarga y las extracciones, entre otras. Este dato se obtiene calculando el volumen existente entre el basamento del acuífero y la superficie freática (volumen del acuífero), y se multiplica por la porosidad efectiva para calcular qué parte del volumen total corresponde a agua explotable.

Para realizar el cálculo del volumen almacenado en el caso que nos ocupa, se ha utilizado la geometría del basamento definida a partir de los perfiles geofísicos, perfiles en pozos, etc. y la superficie freática calculada en el modelo numérico una vez calibrado. Ambas superficies se han introducido en el **software ARCGIS y mediante la herramienta "Cut Fill" se ha calculado el volumen que contienen ambas superficies.** El volumen total obtenido para los acuíferos del río Bueno es de 464.638 Hm³.

Para determinar el volumen de explotación sustentable, se realizó una simulación de un periodo de explotación de 50 años, para el cual se deben cumplir los siguientes requisitos:

- No afección al 5% de la demanda, suponiendo esta demanda el volumen de derechos otorgados
- No afección al 5% de las captaciones.
- No afección al sistema superficial. Considerando una afección al sistema superficial cuando este grado de interacción sea mayor al 10% de los flujos superficiales pasantes en cada una de las zonas, evaluado como el caudal promedio anual de 85% de probabilidad de excedencia.

$$\Delta Q < 10\% Q_{\text{Flujo pasante 85\%}}$$

$$\Delta Q = \text{Caudal que deja de aflorar} + \text{Aumento de la infiltración}$$

- Que no existan descensos generalizados en los niveles piezométricos del acuífero.

La explotación por bombeos es muy inferior a la recarga. Asimismo, atendiendo a los resultados obtenidos en la simulación del escenario descrito anteriormente, se han determinado los volúmenes de explotación sustentables.

- Volumen de **explotación sustentable** de los acuíferos del **río Bueno: 23.350 l/s.**

8 CONCLUSIONES

Actualmente en el estudio del 2016, se propone un único sector acuífero. El cual alberga los acuíferos de alta importancia y de media a baja importancia en depósitos consolidados. Sin embargo, se recomienda realizar una sectorización con mayor detalle en toda la cuenca, la que proponga una separación entre las unidades con distintas potencial acuífero y afloramiento de rocas del basamento.

Desde el punto de vista de la explotación real de los acuíferos, cabe destacar que ésta es muy baja respecto al volumen explotable de forma sustentable, no obstante, el volumen de derechos otorgados sí se encuentra relativamente cerca de una explotación sustentable, por lo que a partir de este momento se debiera tener la precaución de no sobrepasar este umbral.

Se recomienda complementar con geofísica en los sectores donde aún hay vacíos de información y a fin de robustecer el modelo conceptual y propender a una sectorización de mayor detalle que sea efectiva a la DGA regional para el otorgamiento de derechos.

Se recomienda la implementación de una red de monitoreo de niveles robusta (Figura 21), permanente, que permita validar los resultados del modelo desarrollado. Los puntos en color verde corresponden a sitios donde existen pozos de usuarios con derecho y que debieran incluirse en la red de monitoreo, en amarillo se muestra la ubicación de sitios donde se sugiere construir nuevos piezómetros complementen la red.

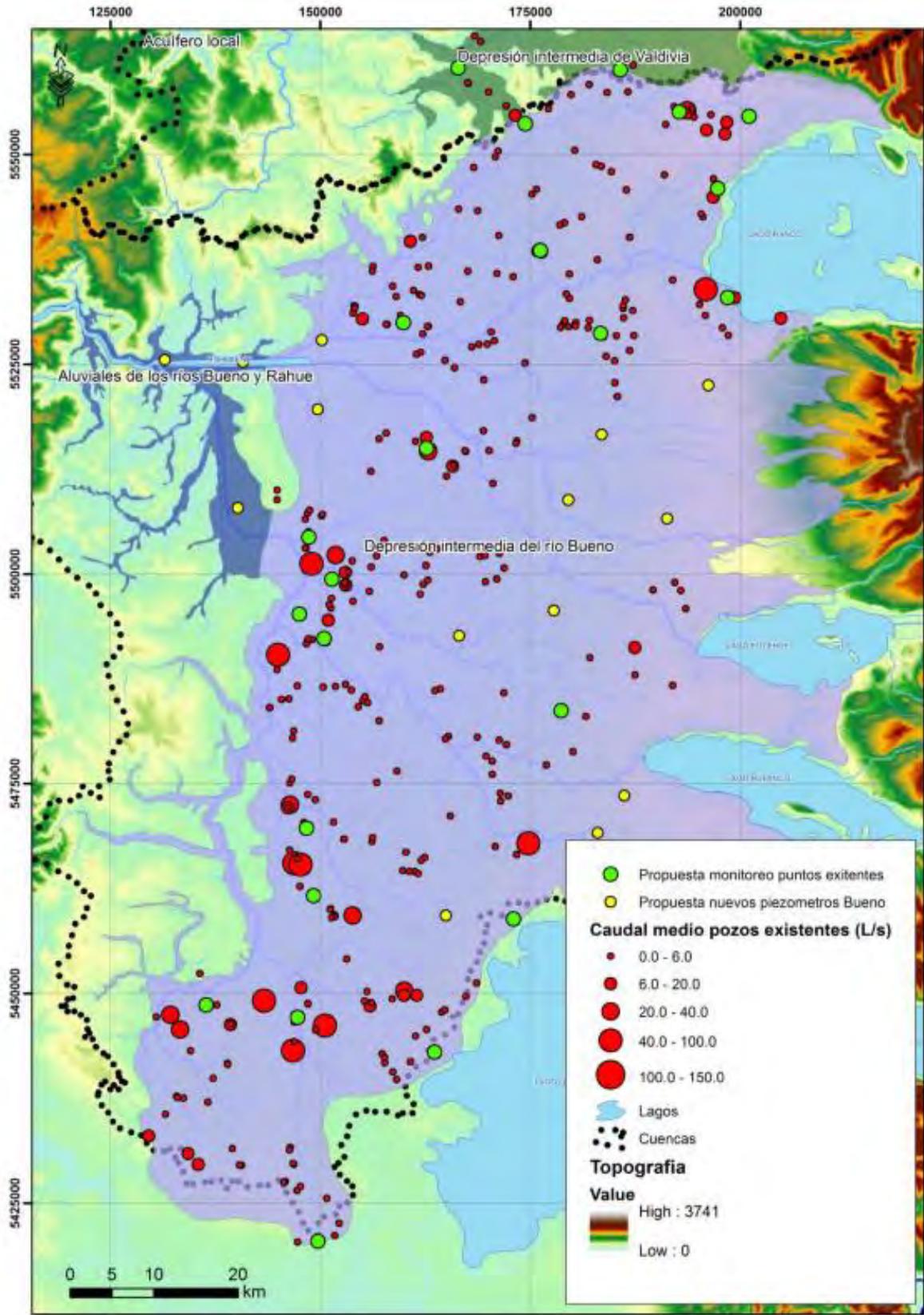


Figura 21. Propuesta red de monitoreo.

9 ANEXOS

9.1 Anexo A

ACUÍFEROS Y SISTEMAS DE ACUÍFEROS DE ALTA IMPORTANCIA EN DEPÓSITOS NO CONSOLIDADOS

Acuífero A1

Acuífero libre en depósitos glacio-fluviales de la glaciación Santa María (Plgf2)', correspondientes a gravas en matriz de arenas gruesas con lentes de arenas y limos y meteorización débil a moderada, que pueden alcanzar más de 30 m de espesor, en el sector central de la Hoja Valdivia, en los márgenes del cordón de cerros de Madre de Dios y Tripayante.

Los niveles estáticos varían entre 12 y 6 m de profundidad, con caudales cercanos a 4 l/s.

Acuífero //A1

Acuífero confinado, semiconfinado o libre cubierto en depósitos glacio-fluviales (Plgf2). En la zona central de la Hoja Osorno, en el entorno de las ciudades de Osorno, San Pablo y Rio Bueno, el acuífero está cubierto por depósitos de permeabilidad baja a muy baja de la Secuencia piroclásica-epiclástica San Pablo (Plsp). Hacia el sur, en la Hoja Puerto Montt este acuífero se encuentra cubierto por limos, arcillas y arenas finas laminadas de los depósitos glacio-lacustres (Plgl2) y en partes por los depósitos morrénicos de bloques de la glaciación Santa María.

Constituye un acuífero importante, tanto por su extensión, como por su productividad y calidad del agua. Abastece el 95% de los pozos profundos y tiene conexión hidráulica con los ríos principales. Incluye arenas y gravas, con intercalaciones de arcillas y limos, y forma estratos y cuerpos lenticulares con extensiones laterales limitadas de 20 m a 1 km. Debido al frecuente cambio de facies, las propiedades hidrogeológicas varían de pozo a pozo.

Los valores de transmisividad para este acuífero varían entre 50 y 2.000 m²/d, correspondiente a una transmisividad baja a muy alta. Los valores de la permeabilidad fluctúan entre 1X10⁻⁵ y 1x10⁻³m/s, lo que indica una permeabilidad media a alta, equivalente a la de un depósito de arena. La distribución espacial de estos valores indica un aumento de la permeabilidad hacia el este, que corresponde con el aumento de la fracción gruesa de los sedimentos glacio-fluviales (Plgf2). La transmisividad aumenta, generalmente, hacia el norte, debido al aumento del espesor del acuífero en esta dirección. Los niveles estáticos varían entre los 7 y 43 m b.n.t, se sitúa a una profundidad variable entre los 10 y 77 m y posee un espesor superior a los 10 m.

Los caudales específicos vanan entre 0,2 y 2,9 (l/s)/m. La relación entre los caudales específicos, transmisividades y espesores del acuífero en los pozos construidos no es óptima, esto se debe, probablemente, a que la calidad de la construcción de los pozos profundos influye en el caudal específico,

aumentando este en aquellos pozos mejor construidos. Los caudales máximos de pozos operativos se encuentran entre 5 y 63 l/s. Varios de estos pozos no alcanzan caudales óptimos, debido a diversos errores de diseño como pueden ser la extensión y posición de la zona captante (puede generar una captación parcial del acuífero), material de la criba o filtro (puede provocar obstrucciones en las ranuras por precipitación de Fe o daños por corrosión), características de la grava del "prefiltro", tiempo y método del "desarrollo", etc.

Acuífero A2

Acuífero libre en depósitos glacio-fluviales de la glaciación Llanquihue (Plgfl), que se localiza hacia el oeste de los lagos Calafquén, Panguipulli y Rinihue, en las cabeceras de los ríos Leufucade, San Pedro y algunos esteros menores como el estero Quicha.

Está constituido por gravas con matriz de arenas gruesas y lentes de arenas, ocasionalmente con lentes de limos laminados, con espesor entre 30 y 60 m. Los niveles freáticos se encuentran entre 1 y 5 m b.n.t, un espesor de la zona no saturada variable entre 0 y 5 m, los caudales de pozo varían entre 20 y 50 l/s, mientras que un ensayo de bombeo realizado en este acuífero indicó un caudal específico de 21,49 (l/s)/m y una transmisividad del orden de los 2.000 m²/día.

Sistema de acuíferos A2/A1

Corresponde a los depósitos de gravas y arenas de glacio-fluviales de la Glaciación Llanquihue (Plgfl) y Santa María (Plgf2), que en su conjunto constituyen un acuífero libre. Se extiende en el área de la Hoja Valdivia, asociado a los valles de los ríos Cruces, Leufucade y al este de Pishuenco, en el río Calle-Calle, Quínchilca y San Pedro. En general, en esta hoja posee un nivel freático variable entre 0 y 5 m b.n.t., por lo tanto, un espesor de la zona no saturada variable entre los 0 y 5 m y un espesor de la zona saturada entre 3 y 15 m, el que aumenta hacia el este.

De igual forma, en la Hoja Osomo se presenta en los márgenes de valles profundos de los ríos principales, como el Pilmaiquén, Negro, Rahue y Blanco y en el sector localizado al noreste de Río Bueno hasta el Lago Raneo, donde los depósitos glaciofluviales (Plgf2) subyacen directamente a depósitos glaciofluviales (Plgfl) y fluviales (PIHf y Hf), los cuales en su conjunto constituyen un acuífero libre con conexión a la red fluvial local. En general, en el sector localizado al noreste de Río Bueno, en la Hoja Osomo, el nivel freático y la profundidad del agua, se encuentra, entre 10 y 20 m y el espesor saturado en agua supera los 20 m.

En las hojas Puerto Montt y Castro se extiende ampliamente en el sector oriental y en forma reducida y discontinua en el lado occidental de cada hoja. Tanto en Puerto Montt como en Chiloé las gravas y arenas, con escasos limos y arcillas glacio-fluviales (Plgf2) subyacen a las gravas y arenas glacio-fluviales (Plgfl), fluviales (PIHf, Hf), litorales (Hp), bloques, gravas y arenas coluviales (He) y/o gravas, arenas y limos aluviales o estuarios (Ha, He). Localmente, se encuentran intercalaciones de arcilla entre los depósitos glacio-fluviales Plgfl y

Plgf2. En ambas hojas los niveles estáticos se sitúan a mayor profundidad alcanzando los 69 m b.n.t.

Este sistema a nivel regional posee transmisividades bajas a muy altas (T: 50 a 3000 m²/d), permeabilidades bajas a altas (K: 10⁻⁵ a 10⁻³ m/s), caudales de explotación variables entre 1 y 80 l/s y específicos entre 0,11 y 18,75 (l/s)/m.

Sistema de acuíferos A2//A1

Formado por un acuífero superior libre (A2) constituido por gravas y arena de los depósitos glacio-fluviales de la Glaciación Llanquihue (Plgfl) y/o fluviales (PIHf, Hf), litorales (Hp), eólicos (Heo) y arenas y limos estuarinos (He), que se disponen sobre un acuífero confinado (//A1) en depósitos del mismo tipo, correspondientes a la Glaciación Santa María (Plgf2).

El acuífero //A1 es confinado por depósitos de cenizas, lapillis, gravas, arenas y arcillas piroclásticos-epiclásticos (Plsp), limos, arcillas y arenas finas glacio-lacustres (Plgl2) o localmente por limos, arcillas, arenas finas, gravas y bloques morrénicos (Plm2)

En el sector sureste de la Hoja Osorno, al oeste de los Lagos Puyehue y Rupanco, y extendiéndose hacia los valles de la parte central, los depósitos glacio-fluviales (Plgfl) y fluviales (PIHf y Hf) constituyen un acuífero libre (A2), que abastece mayoritariamente norias y yace sobre los depósitos de la Secuencia piroclástica-epiclástica San Pablo (Plsp), que a su vez yace sobre el acuífero de alta importancia IIA1. La misma situación ocurre al noroeste del lago Raneo, en los alrededores de Paillaco. En tanto, en la hoja Puerto Montt se extienden al oeste del lago Llanquihue hacia los valles de la parte central, teniendo su mayor exposición en el valle del río Maullín.

El acuífero A1, a nivel regional, posee transmisividades bajas a media-alta (T: 50 a 400 m²/d), permeabilidades bajas a altas (K: 10⁻⁵ a 10⁻³ m/s), caudales de explotación variables entre 2 y 15 l/s y específicos inferiores a 1,98 (l/s)/m. El espesor de los depósitos saturados con agua es inferior a los 10 m y el nivel freático se encuentra entre 1 y 5 m bajo la superficie del terreno.

Sistema de acuíferos //A2/A1

Corresponde a un sistema similar al anterior en cuanto a las formaciones permeables que lo integran y su disposición estratigráfica, pero que se encuentra en condición de confinamiento o semiconfinamiento, al estar cubierto por gravas y bloques en matriz de arenas y limos de origen volcánico (PkJp).

Este sistema que se extiende en la ribera sur del lago Llanquihue y entre las ciudades de Puerto Montt y Puerto Varas, a una profundidad variable entre los 12 y 73 m, con niveles estáticos entre 6 y 17 m bajo la superficie del terreno, con un espesor superior a los 20 m, posee transmisividades bajas a muy altas (T: 100 a 15000 m²/d), permeabilidades bajas a altas (K: 10⁻⁵ a 10⁻³ m/s), caudales de explotación variables entre 5 y 50 l/s y específicos entre 0,53 y 4,54 (l/s)/m.

Sistema de acuíferos //A3//A1

Se compone de 2 acuíferos confinados: un acuífero superior en depósitos fluvio-estuarinos del último período interglaciar (Ptfe) y un acuífero inferior en depósitos glacio-fluviales de la Glaciación Santa María (Plgf2), separados por estratos de arcillas impermeables de 6 a 30 m de espesor, pertenecientes a la misma secuencia de depósitos fluvio-estuarinos. Esta secuencia sedimentaria aparece en forma discontinua en las depresiones de San José de la Mañina y Valdivia, donde la cubren, localmente, sedimentos fluvio-estuarinos impermeables (PIHf) y descansaría sobre el basamento metamórfico indiferenciado (PzTrbm) y/o sobre rocas sedimentarias indiferenciadas (Msd, CHMpc).

El acuífero superior //A3, constituido por arenas y gravas de 5 a 29 m de espesor, posee transmisividades bajas a altas (T: 10 a 800 mVd), caudal explotable variable entre 1 y 30 l/s, caudales promedios de 6,2 l/s y específico entre 0,1 y 7,5 (l/s)/m, permeabilidad baja a alta (K: 10⁻⁵ a 10⁻³ m/s) y un nivel estático variable entre 2 y 13 mb.n.t. Las isoprofundidades determinadas para este acuífero indican que las profundidades menores del agua subterránea, 7 m bajo la superficie, se encuentran en la localidad de Pelchuquín y aumentan, tanto hacia el oeste y norte hasta los 27 m, como al este y sur hasta los 47 m, en el sector de cruce a Máfil. En la ciudad de Valdivia, las profundidades varían de 15 a 19 m en las inmediaciones de la Avenida Picarte y disminuyen hacia el río Valdivia, tanto hacia el oeste como hacia el sur, hasta 5 m bajo la superficie.

El acuífero inferior IIA1, compuesto por arenas y gravas de 6 a 33 m de espesor, situadas a profundidades superiores a 40 m, se caracteriza por tener transmisividades bajas a altas (T: 50 a 1.000 m²/d), un caudal explotable variable entre 2 y 45 l/s, con caudales promedios de 17 l/s y específico entre 0,04 y 12 (l/s)/m, baja a alta permeabilidad y niveles estáticos variables entre 2 y 13 m b.n.t.

Si bien se considera que ambos acuíferos son independientes, no se descarta la posibilidad de una conexión hidráulica entre ellos, debido al acuñamiento de los estratos arcillosos o a paleocanales que erosionaron las arcillas y depositaron sedimentos más permeables. Además, existe conexión hidráulica entre ambos acuíferos a través del espacio anular de los propios sondajes, que impide la medición de los niveles estáticos del acuífero inferior.

Acuífero I/A4

Corresponde a un acuífero confinado o semiconfinado en depósitos fluvio-estuarinos (Pife), cubierto por arenas finas, limosas y consolidadas, y arcillas pertenecientes al mismo depósito (Pife) y, localmente, por arenas limosas y arcillas (PIHf), de 8 a 28 m de espesor, expuesto en los sectores Bayo, Niebla e islas San Francisco y Del Rey. El acuífero, compuesto de arenas finas a gruesas, de 7 a 21 m espesor, tiene transmisividades bajas a medias-altas (T: 10 y 300 m²/d), un caudal explotable variable entre 1 y 6 l/s, con un caudal

especifico entre 0,1 y 3 (l/s)/m, permeabilidades bajas a medias (K: 10^{-5} a 2×10^{-3} m/s) y niveles estáticos a profundidades variables entre 2,4 y 15 m.

Las isopropfundidades determinadas para este acuífero indican que la profundidad del agua subterránea en las inmediaciones del estero Estancilla varía entre 20 y 23 m, y aumenta hacia el sur hasta 28 m. Debido a que la profundidad de los sondajes conocidos no supera los 45 m, no es posible reconocer la presencia de otros acuíferos.

Tanto //A4 como //A3 presentan acuíferos colgados en los estratos confinantes superiores (PIHf, Pife). El agua, frecuentemente, se encuentra en fisuras, a profundidades menores que 10 m, en el estrato tradicionalmente denominado cancagua, correspondiente a arenas limosas arcillosas moderadamente cementadas.

Sistema de acuíferos A5//A3//A1

Está integrado por un acuífero libre, compuesto principalmente por arenas limosas fluviales (PIHf), el cual, a su vez, se encuentra, sobre el acuífero colgado en cancagua, y/o sobre los acuíferos confinados del sistema //A3//A1 en depósitos fluvio-estuarinos (Pife) y glacio-fluviales (Plgf2), en los valles de los ríos Calle-Calle, Cruces y Plchoy. El acuífero libre posee conexión hidráulica con los ríos de los valles principales y de otros secundarios. El espesor de la zona no saturada varía entre 0 y 5 m y el de la zona saturada entre 2 y 10 m, y aumenta hacia el este.

Si bien se considera que estos acuíferos son independientes, no se descarta la posibilidad de una conexión hidráulica entre ellos, debido al acuñamiento de los estratos arcillosos.

ACUÍFEROS DE MEDIA A BAJA IMPORTANCIA EN DEPÓSITOS NO CONSOLIDADOS

Acuífero //B1

Acuífero libre cubierto, semiconfinado o confinado en bloques, gravas y arenas gruesas a finas, con arcilla o arcilla limosa en algunos niveles e intercalaciones de estratos de arcilla limosa pertenecientes a depósitos que se intercalan y gradan lateralmente con gravas y arenas de los depósitos glacio-fluviales de la misma glaciación (Plgfl) y que se distribuye en el sector frontal de los lagos Calafquén, Panguipulli, Rinihue, Raneó, Puyehue, Rupanco y Llanquihue y en la parte occidental de la isla de Chiloé. En sectores, estos depósitos se encuentran cubiertos por arcillas y limos laminados glaciolacustres (PlgM) y/o limos, arcillas y arenas finas estuarinas (He).

Cuando el acuífero es libre cubierto, los niveles estáticos se encuentran entre 28,9 y 74,3 m, si es confinado se registra un nivel de 6 m, y en la situación de semiconfinado los niveles varían entre 10,7 y 71,8 m bajo la superficie del terreno. Regionalmente, posee transmisividades bajas a alta (T: 50 a 1.000 m²/d), caudales de explotación variables entre 1 y 50 l/s y específicos entre 0,85 y 3,14 (l/s)/m. El espesor conocido del acuífero varía entre 4y115 m y se

sitúa entre los 28,9 y 74,3 m (libre cubierto) y entre los 1 y 96 m (semiconfinado y confinado) de profundidad.

Los estratos semiconfinantes se componen principalmente de bloque, gravas, arena fina y arcilla-limo. En la isla de Chiloé la granulometría más gruesa corresponde a las gravas que se encuentra en un porcentaje inferior al 10%.

Acuífero //B2

Corresponde a un acuífero confinado en depósitos fluvio-estuarinos del último interglaciar (Pife), constituido por arenas, gravas de cuarzo y esquistos, arcillas y, [ocalmente, limos, de 4 a 10 m de espesor. Está situado entre 40 y 80 m de profundidad, próximo al basamento rocoso, y podría corresponder a los niveles basales de los depósitos fluvio-estuarinos (Pife), a escombros de talud o a conos aluviales derivados de rocas metamórficas indiferenciadas (PzTrbm) o sedimentarias indiferenciadas (Msd). Se encuentra en los bordes de las depresiones de Valdivia y San José de la Mariquina, específicamente en los sectores de Santa Rosa, isla Teja, Las Gaviotas-Angachilla Nuevo y Las Mulatas-Guacamayo. En los dos últimos lugares mencionados, este acuífero registra caudales de explotación entre 0,5 y 25 l/s, con caudales específicos entre 0,02 y 0,12 (l/s)/m, transmisividades muy bajas ($T < 10 \text{ m}^2/\text{d}$) y permeabilidades bajas a medias ($K: 4,7 \times 10^{-8}$ a $2,4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$). En el sector Las Mulatas-Guacamayo, este acuífero se sitúa a profundidades entre 55 y 70 m, posee un espesor de 9 a 18 m, caudales de 3,6 a 20 l/s, caudal específico de 0,3 a 5 (l/s)/m, transmisividades bajas a altas ($T: 30$ a $550 \text{ m}^2/\text{d}$), permeabilidades medias a altas ($K: 2,4 \times 10^{-5} \text{ m/s}$) y niveles estáticos variables entre 7,9 y 15 m b.n.t.

Acuífero //B5

Acuífero confinado en bloques y gravas, en matriz de limo, arcilla y/o arena gruesa a fina, compacta y cementada, con óxidos de Fe y Mn, pertenecientes a depósitos morrénicos que se intercalan y gradan lateralmente con gravas y arenas de depósitos glacio-fluviales de la glaciación Santa María (Plgf2), presentes en forma discontinua al oeste de los lagos Calafquén, Panguipulli, Riñihue, Raneo, Puyehue, Rupanco y Llanquihue y en la parte norte y centro de la isla de Chiloé.

Este acuífero que se encuentra cubierto principalmente por arcillas y gravas pertenecientes a los depósitos morrénicos, posee niveles estáticos entre los 9,9 y 29,0 m bajo la superficie del terreno, transmisividades bajas a alta ($T: 100$ a $750 \text{ m}^2/\text{d}$), permeabilidad baja ($8 \times 10^{-5} \text{ m/s}$), caudales de explotación variables entre 0,01 y 7 l/s y específicos entre 0,08 y 1,5 (l/s)/m. El espesor del acuífero varía entre 5 y 41 m y se sitúa entre los de 24 y 57 m de profundidad.

Acuífero //B6

Acuífero semiconfinado en bloques y gravas, en matriz de arena y/o arcilla, con intercalaciones de arenas y óxidos de Fe y Mn correspondientes a los

depósitos glacio-fluviales (PIgf3). Se sitúa entre los 50 y 60 m de profundidad, encontrándose cubierto principalmente por gravas y arcillas pertenecientes a los depósitos glacio-fluviales y, en sectores, cubiertas irregularmente por depósitos morrénicos de poco espesor (Plm3). Posee niveles estáticos entre los 3 y 33 m bajo la superficie del terreno, caudales de explotación variables entre 0,5 y 3,6 l/s y específicos 0,06 (l/s)/m y un espesor de 10 m.

ACUÍFEROS DE MEDIA IMPORTANCIA EN ROCA FISURADA

Acuífero B3

Corresponde al acuífero en roca Asurada del Complejo Metamórfico Bahía Mansa (PzTrtom), que se extiende ampliamente en la región, formando la Cordillera de la Costa. Presenta las siguientes situaciones:

- **B3. Acuífero libre en esquistos pelíticos a semipelíticos con intercalaciones de esquistos máficos y anfibolíticos con foliación penetrativa y fracturas abiertas.** Incluye pequeñas intrusiones, de similar grado de fracturación, pertenecientes a la Granodiorita Oncol (Kgo) y la Dacita Laurel (Kdl), localizadas en los sectores homónimos, y la dacita-andesita Tren-Tren, en el sector de Pillecozcoz.

- **B3a. Acuífero libre en esquistos pelíticos a semipelíticos, localmente cubiertos por sedimentos permeables de gravas y arenas de playa (Hp), fluviales (Hf, PIHf), glacio-fluviales (PIgf2, PIgfl), bloques, gravas y arenas coluviales (He), arenas eólicas (Heo) o arenas finas y limos estuarinos (He), con espesores promedio de 5 m, en el margen costero y en ríos secundarios.**

- **//B3. Acuífero confinado o libre cubierto en esquistos pelíticos a semipelíticos, cubierto por estratos impermeables a semipermeables de areniscas y arcillolitas sedimentarias (Msd), bloques y gravas en matriz de limo y arcilla (Pldi), bloques y gravas en matriz arena, limo y/o arcilla morrénicos (Plml, 2, 3 y 4), arenas arcillosas consolidadas fluvio-estuarinos (Pife) o arenas arcillosas fluviales (PIHf).**

Se registran caudales variables entre 0,1 y 3,5 l/s en vertientes. Si este acuífero se encuentra libre, la superficie del agua se situaría entre 0 y 10 m de profundidad. Si se encuentra libre cubierto o confinado el agua se localiza entre los 5 y 25 m de profundidad. La recarga se da por la infiltración de las precipitaciones, a través de las fracturas y por el aporte de los esteros en zonas de estructuras, que favorecen la infiltración. El volumen de agua almacenada en el acuífero disminuye en profundidad, debido al cierre de las fracturas por el aumento de la presión confinante.

Se incluyen en esta unidad, conglomerados, areniscas y lutitas de la Formación Tralcán (Trt) y metareniscas, pizarras y filitas del Complejo metamórfico Trafún (Pzt), localizadas en el sector este de la hoja Valdivia, en el frente oeste de los Lagos Calafquén, Panguipulli y Rñihue, que se infiere constituyen un acuífero en roca Asurada de similares características existentes en el Complejo Bahía Mansa.

Acuífero B4

Este acuífero en roca fisurada de la Granodiorita Chaihuín (Kgc), localizado en el sector del mismo nombre, presenta las siguientes situaciones:

- **Acuífero libre en granodiorita (Kgc), que se extiende por 22 km en la costa** sur de Valdivia, sectores Punta Palo Muerto-Caleta Chaihuín-Caleta Guaidei. Granodiorita de grano fino a grueso (Egm) y dacita (Edg) de reducida extensión en la isla de Chiloé y tonalita de grano medio a grueso (Mg) al este de la ciudad de Puerto Montt. Las aguas subterráneas circularían a profundidades superiores a 20 m.
- **Acuífero confinado o libre** cubierto en granodiorita (Kgc). Se distribuye, localmente, en el margen costero entre los 25 y 50 m s.n.m., y en las riberas del río Chaihuín, está cubierto por estratos de areniscas y arcillolitas cuarzo micáceas impermeables la unidad sedimentaria Msd y/o arenas limosas arcillosas consolidadas, semipermeables y arcillas de depósitos fluvio-estuarinos (Pife), de 5 m de espesor promedio. Se reconocen vertientes en escombros de talud y en zonas de contacto con arcillolitas y areniscas (Msd) y con esquistos (PzTrbm), con caudales variables de 0,1 a 2 l/s y 0,5 a 5 l/s, respectivamente.

Acuífero C1

Acuífero en roca fisurada de origen sedimentario, volcano-sedimentario y volcánico que se extiende ampliamente en la región, formando parte de la Cordillera de la Costa. Este acuífero presenta los siguientes tipos:

- **C1. Acuífero libre en areniscas, arcillolitas, conglomerados, tobas, limolitas,** basaltos y/o andesitas basálticas fisuradas (OIMp, OIMsp, OIMlr, Msd, MI, Me, OIMc, OIMa, OIMch, Olee). En el sector central-oeste de la hoja Osomo, las areniscas, conglomerados y limolitas, se encuentran libres y con conexión a la red fluvial. Poseen un espesor superior a los 5 m, niveles estáticos entre 1,7 y 24,70 m bajo la superficie del terreno, caudales de vertiente y pozo profundo >5 l/s y 6 l/s, respectivamente, caudal específico de 0,08 (l/s)/m y se sitúa a una profundidad variable entre los 1,7 y 24,7 m.
- **C1a. Acuífero libre en areniscas, arcillolitas, conglomerados, tobas, limolitas,** basaltos y/o andesitas basálticas fisuradas (Msd, Me, MI, OIMc, OIMa), localmente cubiertos por depósitos permeables de gravas y arenas glacio-fluviales (Plgf2, Plgfl) y litorales (Hp), arenas eólicas (Heo) o arenas limosas fluviales y estuarianas (PIHf, He), de baja importancia como acuífero y como cubierta protectora del acuífero en roca fisurada. Destacan los acuíferos de los valles de los ríos Hueyusca y Llico debido a que los depósitos de gravas y arenas Auviales (PIHp), que lo cubren poseen un espesor variable entre 1 y 10 m.
- //C1. Acuífero confinado, semiconfinado o libre cubierto en areniscas, arcillositas, conglomerados, tobas, limolitas, basaltos y/o andesitas basálticas fisuradas (Msd, Me, MI, OIMc, OIMa), localmente cubiertas por estratos impermeables a semipermeables de bloques y gravas en matriz arena, limo y/o arcilla morrénicos (Plm2, 3 y 4), cenizas, lapillis, gravas, arenas y arcillas

pirocásticos-epiclásticos (Plsp), arenas arcillosas fluviales (PIHf) o arenas arcillosas consolidadas fluvio-estuarinas (Pife). Se ubican principalmente en las nacientes del río Cayumapu y en valles del Aanco este de la Cordillera de la Costa. Posee un espesor superior a los 5 m, niveles estáticos entre 7 y 15,4 m bajo la superficie del terreno, caudales de vertientes inferiores a 5 l/s y se sitúa a una profundidad variable entre los 8 y 50m.

Aunque las areniscas poseen cemento arcilloso que impide el paso del agua a través de los poros, ellas se encuentran fracturadas, aumentando su permeabilidad secundaria. Los niveles arcillosos carecen de permeabilidad secundaria por fisuras, por lo que son totalmente impermeables. Existen escasas norias, vertientes y pozos profundos. Las vertientes situadas en zonas muy fracturadas o en el contacto litológico entre niveles arcillosos y arenosos, poseen caudales del orden de 1 l/s.

En sectores, donde las areniscas, conglomerados y limolitas fisuradas, están cubiertas por depósitos morrénicos (Plm2, 3 y 4) y piroclásticos-epiclásticos (Plsp), aunque no se ha comprobado, se infiere en ellas la presencia de un acuífero confinado. Localmente, es libre cubierto en altos topográficos, bajo depósitos morrénicos, y semiconfinado en valles, bajo depósitos piroclásticos-epiclásticos.

Acuífero C2

Acuífero libre en rocas fisuradas de las secuencias sedimentarias y volcánicas de los Estratos de Pitreno (Mplip) y Formación Caleta Godoy (Plicg). Se localiza en el sector sur de la ciudad Lago Raneo y en la Cordillera de la Costa, específicamente en el área cordillera de Zarao-Río Llico y en la parte norte de la isla de Chiloé. Se infiere que rocas de la misma unidad geológica, distribuidas en afloramientos aislados al norte del lago Raneo, presentarían las mismas propiedades hidrogeológicas. Este acuífero presenta los siguientes tipos:

- **C2. Acuífero libre en conglomerados, brechas y lavas andesíticas, fuertemente alteradas (MPlip) y conglomerados, tobas y areniscas (Plicg).** El agua percola a través de fracturas y emerge en vertientes y norias para abastecimiento domiciliario. Posee un espesor superior a los 5 m, niveles estáticos entre 1 y 5 m bajo la superficie del terreno y se sitúa a una profundidad variable entre 1 y 5 m.
- **C2a. Acuífero libre en conglomerados, brechas y lavas andesíticas, fuertemente alteradas (MPlip) y conglomerados, tobas y areniscas (Plicg), cubiertos localmente por depósitos permeables de gravas y arenas fluviales y litorales (PIHp, Hp).**
- **//C2. Acuífero confinado en conglomerados, brechas y lavas andesíticas, fuertemente alteradas (MPlip) y conglomerados, tobas y areniscas (Plicg), localmente cubiertos por depósitos morrénicos de bloques y gravas en matriz limo, arcilla y arena fina (Plm2).** Se infiere un espesor para este acuífero superior a los 5 m.

ACUÍCLUDOS DE NULA IMPORTANCIA EN DEPÓSITOS NO CONSOLIDADOS

Acuícludo D

En la región, se distinguen como acuícludos, es decir, depósitos que no constituyen acuífero, los depósitos morrénicos de gravas y bloques con matriz de arcilla y limo de la glaciación Tegalda (Plm4), depósitos morrénicos de gravas en matriz de arcilla, limo y arenas finas de la glaciación Río Llico (Plm3), depósitos fluviales y glacio-fluviales antiguos de gravas con matriz de arcillas, muy meteorizadas (Plfg), depósitos glacio-lacustres de arcillas y limos laminados (Plgl) y la secuencia piroclástica-epiclástica San Pablo (Plsp), que por su alto contenido de arcilla y/o meteorización intensa presentan baja a muy baja permeabilidad.

Desde el punto de vista hidrogeológico no son aptos para la construcción de captaciones de aguas subterráneas, ya que no permiten la circulación del agua a través de ellos. Localmente, los depósitos morrénicos están cubiertos por depósitos fluviales de poco espesor y limitada extensión, que tampoco constituyen acuíferos de importancia.