

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

**LEVANTAMIENTO
HIDROGEOLÓGICO EN CUENCAS
PLUVIALES COSTERAS EN LA
REGIÓN DEL LIBERTADOR
GENERAL BERNARDO O'HIGGINS Y
REGIÓN DEL BIOBÍO**

RESUMEN EJECUTIVO

**REALIZADO POR:
AQUALOGY MEDIOAMBIENTE CHILE S.A.
S.I.T. N° 318**

NOVIEMBRE 2013

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministra de Obras Públicas

Sra. Loreto Silva Rojas

Director General de Aguas

Sr. Francisco Echeverría Ellsworth

Jefe de División de Estudios y Planificación

Sr. Adrián Lillo Zenteno

Inspector Fiscal

Sr. Juan Carlos Salgado González

AQUALOGY MEDIOAMBIENTE CHILE S.A.

Jefa de Proyecto

María Angélica Alegría Calvo

Ing. Civil Hidráulica

Director Técnico

Eduardo Lupiani Moreno

Hidrogeólogo

Expertos en Modelación Matemática

Alberto Barrera García

Hidrogeólogo

Juan Carlos Sirvent Artiaga

Hidrogeólogo

Profesionales de terreno

Beatriz Salas Martínez (Geóloga)

Berta Morales González (Geóloga)

Alejandro Vázquez González (Ing. Topógrafo)

Carlos Gata Maya (Geofísico)

Experto en SIG

Jorge Mena Gutiérrez

Geógrafo

ÍNDICE

0.	RESUMEN.....	5
1.	INTRODUCCIÓN.....	7
2.	EL ESTUDIO REALIZADO.....	9
3.	ÁREA DE ESTUDIO.....	11
3.1.	CUENCA COSTERA ENTRE EL RÍO RAPEL Y EL ESTERO NILAHUE (CÓDIGO DGA 061), VI REGIÓN	13
3.2.	CUENCA COSTERA ENTRE EL LÍMITE REGIONAL NORTE Y EL RÍO ITATA (CÓDIGO DGA 080), VIII REGIÓN.....	14
3.3.	CUENCA COSTERA ENTRE EL RÍO ITATA Y EL RÍO BÍO BÍO (CÓDIGO DGA 082), VIII REGIÓN	14
3.4.	CUENCA COSTERA ENTRE EL RÍO BÍO BÍO Y EL RÍO CARAMPANGUE (CÓDIGO DGA 084), VIII REGIÓN	14
3.5.	CUENCA COSTERA DEL RÍO CARAMPANGUE (CÓDIGO DGA 085), VIII REGIÓN.....	14
3.6.	CUENCA COSTERA ENTRE EL RÍO CARAMPANGUE Y EL RÍO LEBU (CÓDIGO DGA 086), VIII REGIÓN	15
3.7.	CUENCA COSTERA DEL RÍO LEBU (CÓDIGO DGA 087), VIII REGIÓN 15	
3.8.	CUENCA COSTERA ENTRE EL RÍO LEBU Y EL RÍO PAICAVÍ (CÓDIGO DGA 088), VIII REGIÓN	15
3.9.	CUENCA COSTERA ENTRE EL RÍO PAICAVÍ Y EL LÍMITE REGIONAL SUR (CÓDIGO DGA 089), VIII REGIÓN	16
4.	DESARROLLO DEL ESTUDIO.....	17
5.	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES.....	19
6.	HIDROLOGÍA SUPERFICIAL.....	21
6.1.	CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA CUENCAS VI REGIÓN	21
6.2.	CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA CUENCAS VIII REGIÓN	22
7.	CAMPAÑAS DE TERRENO.....	23
7.1.	CUENCAS COSTERAS DE LA VI REGIÓN (ENTRE R. RAPEL Y E. NILAHUE).....	23
7.2.	CATASTRO DE CAPTACIONES.....	23
7.3.	MEDICIÓN DE CALIDAD QUÍMICA DEL AGUA	24
7.4.	USOS Y DEMANDAS	24
7.4.1.	CAMPAÑA DE AFOROS	24
7.5.	CUENCAS COSTERAS VIII REGIÓN (ENTRE ITATA Y BIOBÍO)	24
7.5.1.	CATASTRO DE CAPTACIONES	24
7.5.2.	MEDICIÓN DE CALIDAD QUÍMICA DEL AGUA	25
7.5.3.	USOS Y DEMANDAS.....	25
7.5.4.	CAMPAÑA DE AFOROS	25
7.6.	PROSPECCIÓN GEOFÍSICA.....	25
8.	CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA Y MODELO CONCEPTUAL	27
8.1.	CUENCA COSTERA ENTRE RÍO RAPEL Y ESTERO NILAHUE (CÓDIGO DGA 061).....	28
8.1.1.	FORMACIONES PERMEABLES	28
8.1.2.	BALANCE HÍDRICO	29
8.1.3.	CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA	30

8.2. CUENCA COSTERA ENTRE RÍO ITATA Y BIOBÍO (CÓDIGO DGA 082)	
30	
8.2.1. FORMACIONES PERMEABLES	30
8.2.2. BALANCE HÍDRICO	30
8.2.3. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA	31
8.3. CUENCA COSTERA ENTRE LÍMITE REGIONAL NORTE Y RÍO ITATA (CÓDIGO DGA 080).....	32
8.3.1. FORMACIONES PERMEABLES	32
8.3.2. BALANCE HÍDRICO	33
8.3.3. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA	34
8.4. CUENCA COSTERA ENTRE RÍO BIO-BÍO Y CARAMPANGUE (CÓDIGO DGA 084).....	34
8.4.1. FORMACIONES PERMEABLES	34
8.4.2. BALANCE HÍDRICO	35
8.4.3. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA	36
8.5. CUENCA COSTERA RÍO CARAMPANGUE (CÓDIGO DGA 085)	36
8.5.1. FORMACIONES PERMEABLES	36
8.5.2. BALANCE HÍDRICO	37
8.5.3. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA	38
8.6. CUENCA COSTERA CARAMPANGUE-LEBU (CÓDIGO DGA 086)	38
8.6.1. FORMACIONES PERMEABLES	38
8.6.2. BALANCE HÍDRICO	39
8.6.3. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA	40
8.7. CUENCA COSTERA RÍO LEBU (CÓDIGO DGA 087).....	41
8.7.1. FORMACIONES PERMEABLES	41
8.7.2. BALANCE HÍDRICO	42
8.7.3. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA	43
8.8. CUENCA COSTERA RÍO LEBU Y PAICAVÍ (CÓDIGO DGA 088)	43
8.8.1. FORMACIONES PERMEABLES	43
8.8.2. BALANCE HÍDRICO	44
8.8.3. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA	45
8.9. CUENCA COSTERA ENTRE RÍO PAICAVÍ Y LÍMITE REGIONAL SUR (CÓDIGO DGA 089).....	45
8.9.1. FORMACIONES PERMEABLES	45
8.9.2. BALANCE HÍDRICO	47
8.9.3. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA	49
9. MODELO NUMÉRICO DEL ACUÍFERO DE NILAHUE (VI REGIÓN)	
51	
9.1. RESULTADOS OBTENIDOS	51
9.2. ESCENARIO 1. SITUACIÓN ACTUAL	52
9.3. ESCENARIO 2. SUSTENTABILIDAD FUTURA CON DERECHOS OTORGADOS	52
9.3.1. DESCRIPCIÓN Y SUPUESTOS	52
9.3.2. RESULTADOS OBTENIDOS.....	53
9.4. ESCENARIO 3. REGIMEN NATURAL	54
9.4.1. DESCRIPCIÓN Y SUPUESTOS	54
9.4.2. RESULTADOS.....	54
9.5. ESCENARIO 4. SUSTENTABILIDAD FUTURA CON CATASTRO REALIZADO	55

9.5.1. DESCRIPCIÓN Y SUPUESTOS	55
9.5.2. RESULTADOS.....	55
10. MODELO NUMÉRICO DEL ACUÍFERO DE TALCAHUANO (VIII REGIÓN).....	57
10.1. RESULTADOS OBTENIDOS	57
10.2. ESCENARIO 1. SITUACIÓN ACTUAL.....	58
10.2.1. BALANCE HÍDRICO	58
10.3. ESCENARIO 2. SUSTENTABILIDAD FUTURA CON INCREMENTO DE LA DEMANDA.....	59
10.3.1. DESCRIPCIÓN Y SUPUESTOS	59
10.3.2. RESULTADOS OBTENIDOS.....	59
10.4. ESCENARIO 3. SUSTENTABILIDAD FUTURA CON INCREMENTO DE LA DEMANDA, Y CREACIÓN DE UNA NUEVA ZONA INDUSTRIAL	60
10.4.1. DESCRIPCIÓN Y SUPUESTOS	60
10.4.2. RESULTADOS OBTENIDOS.....	60
10.5. ESCENARIO 4. SUSTENTABILIDAD FUTURA CON INCREMENTO DE LA DEMANDA, CREACIÓN DE UNA NUEVA ZONA INDUSTRIAL Y OTRA ZONA URBANA.....	61
10.5.1. DESCRIPCIÓN Y SUPUESTOS	61
10.5.2. RESULTADOS OBTENIDOS.....	61
11. PROPUESTA DE RED DE MONITOREO DE PIEZOMETRÍA Y CALIDAD.....	63
11.1. ACUÍFERO NILAHUE	63
11.2. ACUÍFERO DE TALCAHUANO.....	64
11.3. RESTO DE CUENCAS COSTERAS VIII REGIÓN	66
12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67

0. RESUMEN

El presente estudio, desarrollado por Aqualogy Medioambiente Chile S.A., consistió en un levantamiento hidrogeológico que permitió la conceptualización de nueve acuíferos ubicados en cuencas costeras de la VI y VIII Regiones y la posterior modelación matemática de dos de ellos.

El estudio abarcó la definición geométrica de los acuíferos, la determinación de disponibilidad y uso del agua, el análisis de la calidad química y la determinación del funcionamiento hidrogeológico de los sistemas en su conjunto.

Como producto final se elaboraron modelos conceptuales para las 9 cuencas costeras consideradas, y modelos numéricos de los acuíferos de Nilahue y Talcahuano en régimen estacionario, que incorporaron las actividades y resultados obtenidos en todo el estudio.

En términos de resultados, para los acuíferos más importantes se tienen las siguientes conclusiones:

Acuífero Nilahue (VI Región):

- El acuífero de Nilahue, de acuerdo con los derechos constituidos, se considera sobreexplotado ya que la recarga evaluada en el sistema es inferior al caudal otorgado. No obstante, la explotación actual que se hace del mismo le permite estar en equilibrio, aunque con una afección al sistema superficial.
- Según los escenarios simulados en este acuífero los derechos constituidos debieran ser un 50% menores en caudal para que no se produzcan descensos generalizados en el acuífero para un periodo de 50 años.
- Se recomienda revisar el criterio de afección al sistema superficial en el acuífero Nilahue, ya que este resulta muy limitante respecto a los recursos disponibles del acuífero, pudiendo emplearse un límite distinto al 10% del caudal medio anual con 85% de probabilidad de excedencia.

Acuífero de Talcahuano (VIII Región):

- Respecto al acuífero de Talcahuano, se concluye que aun explotando la totalidad de los derechos constituidos, se tiene un comportamiento similar al de régimen natural, incluso, los caudales de explotación podrían incrementarse en un 550% respecto del total actual, además de poder crear nuevas zonas de explotación de pequeña entidad.
- Asimismo, el acuífero de Talcahuano es de menor entidad que el de Nilahue, además de presentar riesgo de intrusión salina en caso de querer incrementar la demanda en la zona. Motivo por el cual se recomienda realizar un seguimiento de esta variable de forma más o menos continuada.
- Cabe destacar que los escenarios simulados en régimen transiente deben considerarse referenciales puesto que los modelos han sido calibrados en régimen estacionario, lo que hace perder robustez a dicha calibración.
- Se recomienda obtener un registro continuo de los niveles en los acuíferos (medidas mensuales o cada dos meses) en distintos puntos de los acuíferos, para lo cual se ha propuesto una red de medición en cada uno de ellos, además de una cuantificación de las explotaciones a nivel mensual para su posterior calibración en régimen transiente.
- Asimismo, para el mejor ajuste y fiabilidad del modelo se recomienda la obtención de una topografía a escala 1:5.000 y una campaña de medición topográfica de precisión en los puntos de nivel observados.

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 de nuestro 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, se tiene que en las cuencas costeras tanto los recursos hídricos superficiales como subterráneos tienen una alta dependencia, en cuanto a su ocurrencia y magnitud, de los períodos de lluvia, dado que por su geomorfología estas cuencas no tienen alturas orográficas que permitan la acumulación de nieve.

Por ello las actividades productivas y de subsistencia de las comunidades son altamente vulnerables a los períodos de sequía, además de generar desarrollos más bien básicos debido a la poca disponibilidad de agua en los períodos de primavera y verano. 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 costeros, desde el punto de vista de los volúmenes almacenados y disponibles, así como de su funcionamiento hidráulico, a fin de tener un mayor conocimiento de la hidrogeología de las cuencas costeras, para conocer la disponibilidad real de los acuíferos que en ella existen, lo que le permitirá a dicho organismo avanzar en la constitución de derechos de aprovechamiento de aguas subterránea de manera sustentable.

2. EL ESTUDIO REALIZADO

El estudio consistió en un levantamiento hidrogeológico que permitió la conceptualización de nueve acuíferos ubicados en cuencas costeras de la VI y VIII Regiones y la posterior modelación matemática de dos de ellos.

Las cuencas consideradas fueron:

- Costeras entre el río Rapel y estero Nilahue
- Costeras entre límite norte de la VIII Región y el río Itata
- Costeras entre el río Itata y el río Bío Bío
- Costeras entre el río Bío Bío y el Carampangue
- Cuenca del río Carampangue
- Cuencas costeras entre el río Carampangue y el río Lebu
- Cuenca del río Lebu
- Costeras entre el río Lebu y el río Paicaví
- Costeras entre el río Paicaví y el límite de la VIII Región

La modelación matemática se realizó para los acuíferos de:

- Nilahue, en la cuenca delimitada por el río Rapel por el norte, y el río Nilahue por el sur, en la VI Región.
- Talcahuano, en la cuenca entre el río Itata y el río Bío Bío, en la VIII Región.

3. ÁREA DE ESTUDIO

El Estudio comprende nueve cuencas pluviales costeras, una de ellas en la VI Región y ocho cuencas pluviales en la VIII Región.

VI Región:

- Costeras entre el río Rapel y estero Nilahue

VIII Región

- Costeras entre límite norte de la VIII Región y el río Itata
- Costeras entre el río Itata y el río Bío Bío
- Costeras entre el río Bío Bío y el Carampangue
- Cuenca del río Carampangue
- Cuencas costeras entre el río Carampangue y el río Lebu
- Cuenca del río Lebu
- Costeras entre el río Lebu y el río Paicaví
- Costeras entre el río Paicaví y el límite de la VIII Región

En la Figura 1 se detalla la ubicación de la cuenca costera entre río Rapel y estero Nilahue (VI Región) dividida en 5 subcuencas. También se incluye la ubicación del acuífero de Nilahue.

En la Figura 2 se muestra la situación geográfica de las cuencas costeras de la VIII Región y el acuífero de Talcahuano.

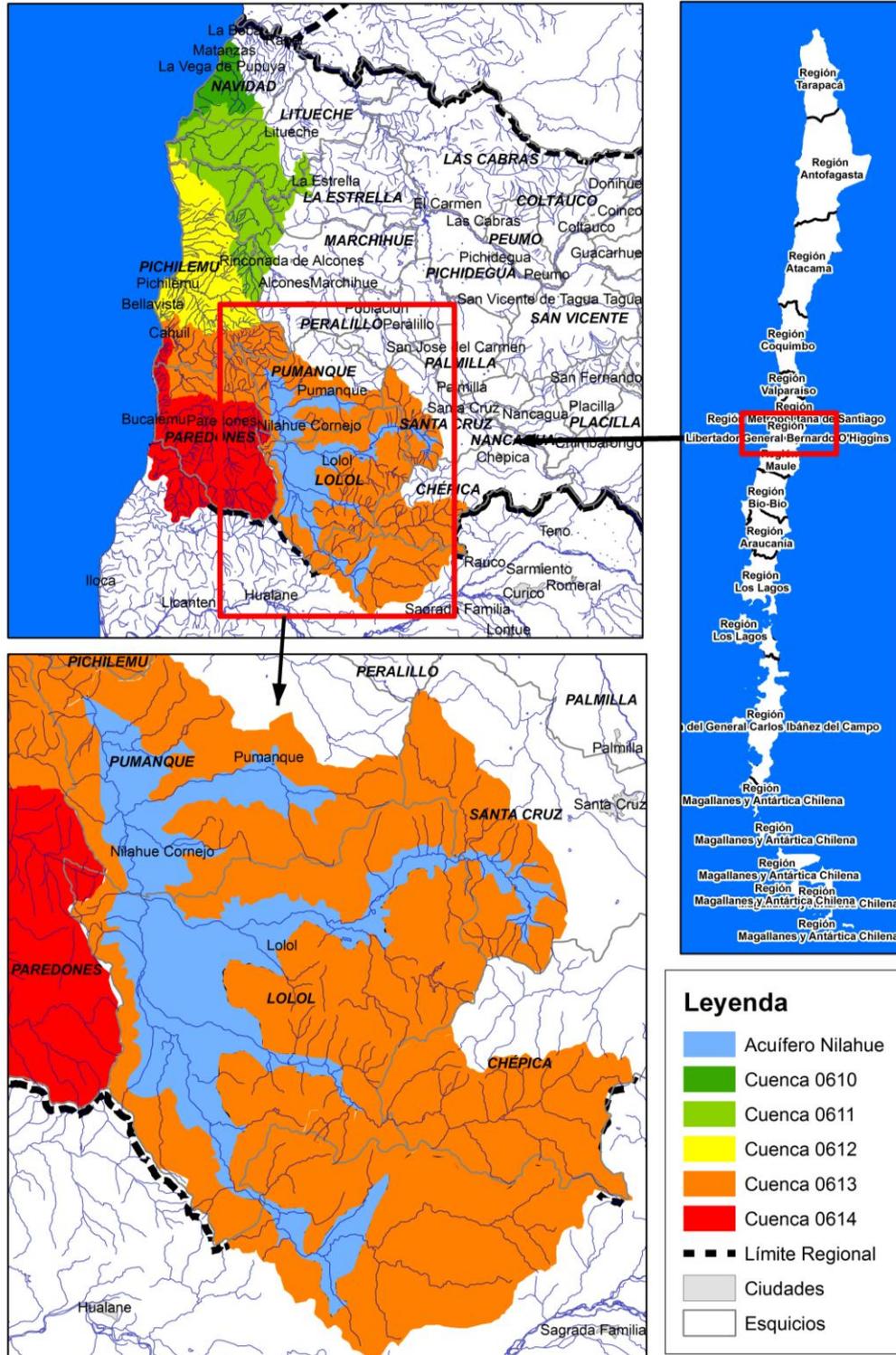


Figura 1. Cuenca Costera Rapel-Estero Nilahue (VI Región) y acuífero de Nilahue

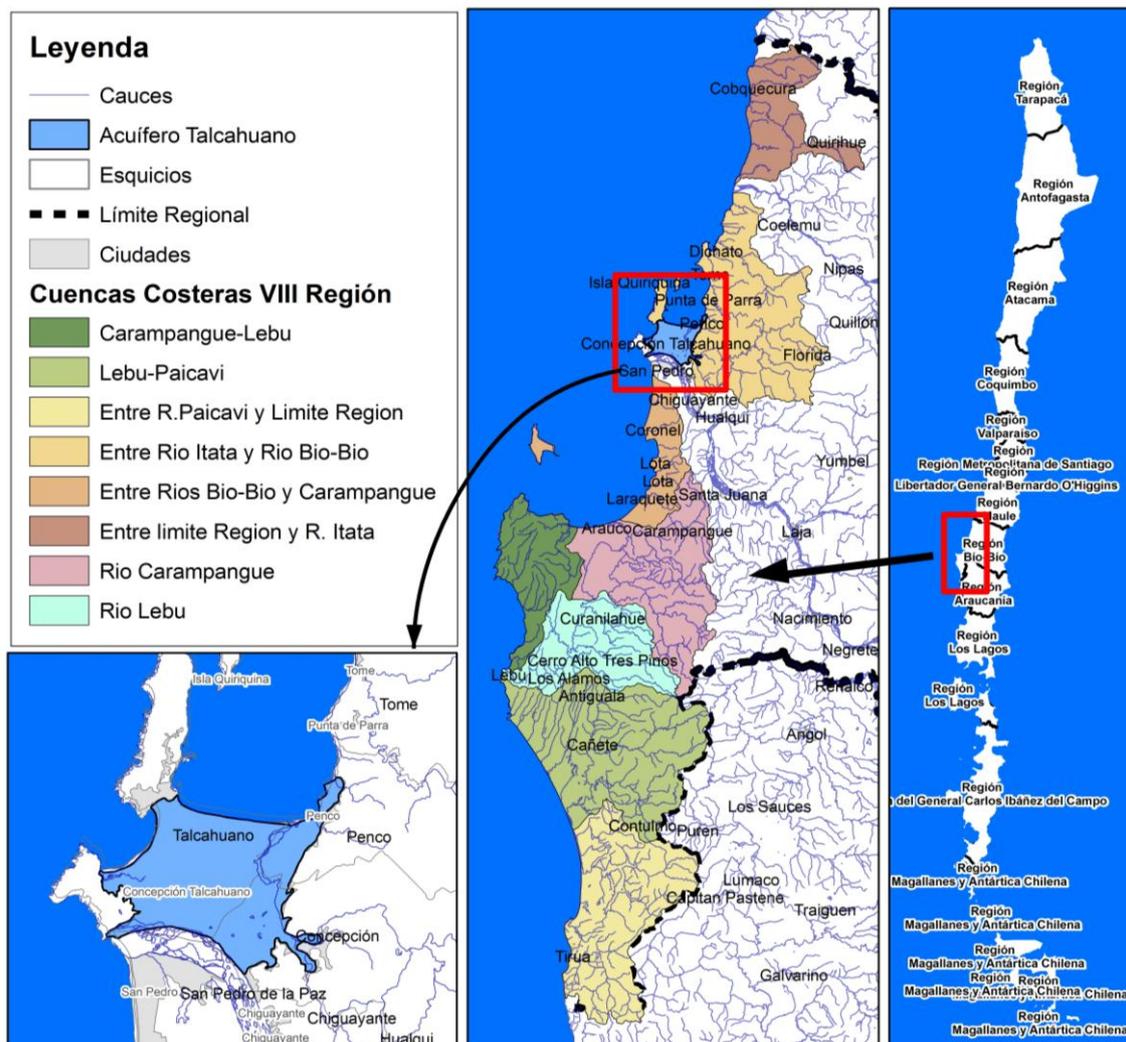


Figura 2. Cuencas Costeras VIII Región y acuífero de Talcahuano

Se incluye a continuación una breve descripción de las cuencas de estudio y acuíferos principales:

3.1. CUENCA COSTERA ENTRE EL RÍO RAPEL Y EL ESTERO NILAHUE (CÓDIGO DGA 061), VI REGIÓN

En esta cuenca el único acuífero de interés hidrogeológico es el de Nilahue, de tipo detrítico y comportamiento confinado, asociado al estero Nilahue y sometido a cierta explotación para uso agrícola y en riesgo potencial de sobreexplotación debido al volumen de derechos de aguas subterráneas otorgados.

3.2. CUENCA COSTERA ENTRE EL LÍMITE REGIONAL NORTE Y EL RÍO ITATA (CÓDIGO DGA 080), VIII REGIÓN

En la Cuenca Costera entre Límite Regional Norte de la VIII región y río Itata (Código DGA 080) se distribuye el conjunto de una unidad detrítica a modo de franja costera estrecha, con afloramientos que llegan a estar desconectados unos de otros a lo largo de dicha franja. Su anchura máxima llega a tener 1,9 km. Teniendo en cuenta las características litológicas, el acuífero detrítico puede comportarse como un acuífero monocapa y libre.

3.3. CUENCA COSTERA ENTRE EL RÍO ITATA Y EL RÍO BÍO BÍO (CÓDIGO DGA 082), VIII REGIÓN

En la Cuenca Costera entre Río Itata y Río Biobío (Código DGA 082) el único acuífero de interés hidrogeológico es el de Talcahuano, también detrítico con comportamiento libre, muy ligado a las descargas subterráneas hacia el mar y con relación entre el río Andalién y el río Biobío, con régimen prácticamente natural sin afección por bombeos.

3.4. CUENCA COSTERA ENTRE EL RÍO BÍO BÍO Y EL RÍO CARAMPANGUE (CÓDIGO DGA 084), VIII REGIÓN

En la Cuenca Costera entre Río Biobío y Carampangue (Código DGA (084) cabe diferenciar dos acuíferos detríticos; al norte los afloramientos aislados de niveles del cuaternario y paleoceno que quedan limitados al oeste por materiales paleozoicos, y, al sur, afloramientos del cuaternario que se extienden hacia la cuenca del río Carampangue. La geometría de ambas unidades corresponde a capas subhorizontales que se acuñan al este sobre los materiales paleozoicos. Este acuífero detrítico puede comportarse como un acuífero monocapa y libre aun cuando en la unidad ubicada al norte los materiales paleocenos pueden disponerse inferiores al cuaternario formando un acuífero multicapa.

3.5. CUENCA COSTERA DEL RÍO CARAMPANGUE (CÓDIGO DGA 085), VIII REGIÓN

En esta cuenca se diferencia un acuífero detrítico al norte de la misma, con una geometría que corresponde a capas subhorizontales que se acuñan al sur sobre los materiales paleozoicos, por lo que, de acuerdo con sus

características litológicas, el acuífero puede comportarse como un acuífero monocapa y libre.

3.6. CUENCA COSTERA ENTRE EL RÍO CARAMPANGUE Y EL RÍO LEBU (CÓDIGO DGA 086), VIII REGIÓN

En ella existe la misma unidad detrítica descrita anteriormente que se distribuye en afloramientos limitados por fallas de direcciones NEE-SSW. No existe un límite propio como acuífero para esta unidad dentro de la cuenca, ya que existe conexión hidráulica con las formaciones adyacentes de la cuenca del río Lebu y río Campangue. De acuerdo con sus características litológicas descritas, el acuífero puede comportarse como uno multicapa y libre, aún cuando pueden aparecer tramos semi-confinados y confinados.

3.7. CUENCA COSTERA DEL RÍO LEBU (CÓDIGO DGA 087), VIII REGIÓN

En esta cuenca existe la misma unidad detrítica descrita anteriormente que se distribuye en una franja costera entre los límites norte y sur de la cuenca, limitando al este con las formaciones de filitas, pizarras y metaareniscas del Silúrico-Carbonífero y un afloramiento reducido del cretácico. No existe un límite propio como acuífero para esta unidad dentro de la cuenca, ya que se extiende tanto al norte como al sur a cuencas adyacentes. Este acuífero puede comportarse como uno multicapa y libre, aún cuando pueden aparecer tramos semi-confinados y confinados.

3.8. CUENCA COSTERA ENTRE EL RÍO LEBU Y EL RÍO PAICAVÍ (CÓDIGO DGA 088), VIII REGIÓN

Aquí existe la misma unidad detrítica ya descrita que se distribuye en una franja costera entre los límites norte y sur de la cuenca, limitando al este con las formaciones de filitas, pizarras y metaareniscas del Silúrico-Carbonífero. No existe un límite propio como acuífero para esta Unidad permeable dentro de la cuenca, ya que se extiende tanto al norte como al sur a cuencas adyacentes. De acuerdo con sus características litológicas, puede comportarse como un acuífero multicapa y libre, aún cuando pueden aparecer tramos semi-confinados y confinados.

3.9. CUENCA COSTERA ENTRE EL RÍO PAICAVÍ Y EL LÍMITE REGIONAL SUR (CÓDIGO DGA 089), VIII REGIÓN

En esta cuenca el acuífero se dispone a lo largo de la franja litoral de norte a sur. Al oeste conecta con la línea de costa y al este limita con la formación paleozoica que actúa de base impermeable. Respecto a sus límites norte y sur éstos se consideran abiertos pues la formación se prolonga a cuencas adyacentes. Este acuífero puede comportarse como un acuífero multicapa y libre, pudiendo aparecer tramos semi-confinados y confinados.

4. DESARROLLO DEL ESTUDIO

Como ya se señaló, el estudio consistió en la definición geométrica de los acuíferos, la determinación de disponibilidad y uso del agua, el análisis de la calidad química y la determinación del funcionamiento hidrogeológico de los sistemas en su conjunto.

Como producto final se elaboraron modelos conceptuales para las 9 cuencas costeras consideradas, y modelos numéricos de los acuíferos de Nilahue y Talcahuano en régimen estacionario, que incorporaron las actividades y resultados obtenidos en todo el estudio.

De forma complementaria, como herramienta de gestión para las labores propias de la DGA se realizaron balances hídricos sectorizados por cuencas.

5. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES

Para la realización del estudio, se han analizado y recopilado numerosos estudios y antecedentes sobre la geología, geofísica, hidrología, meteorología, hidrogeología e hidrogeoquímica de los sectores analizados.

Para la VI región la revisión abarcó más de nueve estudios y antecedentes, en tanto que para la VIII el número de fuentes revisadas superó las doce.

6. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

El interés de evaluar la esorrentía superficial, en el contexto de este estudio, es establecer los niveles de caudales de descarga asociados a las cuencas costeras, que confrontados con las precipitaciones respectivas, permita efectuar balances a un gran nivel de segregación, y con ello establecer la condición de borde de recarga del acuífero a un alto nivel de precisión.

Para la determinación de la hidrología superficial, se utilizó un modelo de generación sintética de caudales mediante la herramienta MPL, que corresponde a un modelo hidrológico de generación que simula el ciclo de esorrentía de una cuenca pluvial aplicando la ecuación de continuidad sobre un elemento de área y/o volumen de control en la cuenca.

Se utiliza una cuenca patrón que disponga de control fluviométrico y registro de precipitaciones. Una vez calibrados los parámetros de la cuenca patrón, éstos se utilizaron como representativos de todas las otras cuencas del modelo.

6.1. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA CUENCAS VI REGIÓN

En la VI Región existe un gran sistema hidrográfico principal, que corresponde a la cuenca del río Rapel, con sus afluentes Cachapoal y Tinguiririca, además de una zona costera que está formada por las hoyas de los esteros Tocopalma y Nilahue.

Como resultado del estudio se obtuvieron las siguientes producciones promedio:

Tabla 1. Producciones promedio Cuencas Costeras entre Rapel y Nilahue
 (m³/s)

Cuenca	Patrón	Pupuya	Topocalma	Pichilemu	Nilahue	ParedonesN	ParedonesS
Área (km ²)	1.390	107	544	412	1.778	569	569
Qmedio (m ³ /s)	6,1	0,5	2,7	2,1	8,9	2,6	2,6

6.2. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA CUENCAS VIII REGIÓN

La VIII región se caracteriza por un sistema hidrográfico principal de carácter mixto, correspondiente a la Cuenca del Río Itata y Cuenca del Río Biobío. El sistema hidrográfico de carácter pluvial correspondiente a las Cuencas Costeras, que comprende un área aproximada total de 8300 km². Estas cuencas se caracterizan por presentar una red de drenaje principalmente ramificada. Los principales ríos corresponden al Cobquecura, Talicu, Rafael, Andalién, Cabrera, Caramávida, Carampangue y Tirúa, los que definen las principales hoyas hidrográficas.

Como resultado del estudio se obtuvieron las siguientes producciones promedio:

Tabla 2. Producciones promedio Cuencas Costeras VIII Región (m³/s)

Código Cuenca	80	82	82-2	84	84-2	85	86	87	88	89	89-2
Área (km ²)	616	1.499	4	364	31	1.262	624	858	1.696	1.339	52
Qm (m ³ /s)	4,5	10,9	0,0	2,2	0,2	6,9	3,4	4,4	8,1	6,5	0,3

7. CAMPAÑAS DE TERRENO

A los efectos de aclarar y mejorar en el conocimiento de los procesos hidrológicos que dan lugar en el acuífero, permitiendo obtener un modelo conceptual más adecuado a la realidad, además de obtener una correcta estimación de los usos y demandas, así como para definir las equipotenciales piezométricas del acuífero, se realizó una campaña exhaustiva de terreno en donde se confeccionó un catastro de las captaciones subterráneas existentes en la zona de estudio (sondajes, punteras, etc.), en los cuales se tomaron medidas de piezometría y calidad.

Adicionalmente, se realizó una campaña de prospección geofísica en los acuíferos de Nilahue y Talcahuano, así como una corrida de aforos en los principales cursos fluviales de dichos acuíferos (estero Nilahue y río Andalién).

De forma complementaria, se realizaron reconocimientos litológicos puntuales para confirmar y/o modificar la cartografía geológica existente.

7.1. CUENCAS COSTERAS DE LA VI REGIÓN (ENTRE R. RAPEL Y E. NILAHUE)

7.2. CATASTRO DE CAPTACIONES

En esta cuenca se catastraron 197 puntos de agua y se hizo una estimación de los usos y demandas de la zona. Asimismo, se realizaron encuestas para obtener la estimación total de captaciones en la zona a fin de determinar antecedentes de explotación y uso del agua. Se tomaron 164 medidas del nivel estático y 26 registros de calidad.

Se prestó especial atención al acuífero del estero Nilahue, ya que es el acuífero de mayor entidad de la cuenca costera en estudio, y donde se concentra la principal demanda hídrica y las explotaciones.

Las captaciones catastradas arrojaron valores de caudal de bombeo medio de unos 11,65 l/s, con pozos de hasta 50 y 70 l/s de bombeo.

El volumen de explotación encuestado total asciende a 21.940.065 m³/año, equivalentes a 671,28 l/s. No obstante, se estima que el volumen de

explotación puede ser de en torno a un 15% más, lo que situaría el volumen anual de explotación en 25,23 hm³/año (771,97 l/s).

7.3. MEDICIÓN DE CALIDAD QUÍMICA DEL AGUA

Durante la campaña de terreno se midieron "in-situ" la conductividad, pH y temperatura del agua en 23 puntos distintos. De forma complementaria, se tomaron 5 muestras de agua subterránea y otras 5 de agua superficial para su análisis de elementos mayores en laboratorio.

7.4. USOS Y DEMANDAS

De las encuestas y antecedentes analizados, se tiene que el principal uso del agua en la zona de estudio es el regadío, concretamente para viñedos, y en menor proporción pero también importante para los frutales. Otros usos son para abastecimiento y ganado.

7.4.1. CAMPAÑA DE AFOROS

Se realizó una campaña de aforos en paralelo con la medición de calidad del agua del estero Nilahue, en la cual se midieron 6 puntos en septiembre y otros 6 en octubre. A partir de la misma se determinó la relación estero-acuífero.

7.5. CUENCAS COSTERAS VIII REGIÓN (ENTRE ITATA Y BIOBÍO)

7.5.1. CATASTRO DE CAPTACIONES

En la VIII Región el reconocimiento de terreno fue realizado en la cuenca costera entre el río Itata y el río Biobío, donde se catastraron 53 puntos de agua y se hizo una estimación de los usos y demandas de la zona. Asimismo, se realizaron encuestas para obtener la estimación total de captaciones en la zona y por tanto de explotación y uso del agua. Se tomaron 43 medidas del nivel estático y 15 registros de calidad.

Se prestó especial atención al acuífero detrítico ubicado entre las bahías de Concepción (norte) y de San Vicente (oeste) y el río Biobío, puesto que es

el acuífero de mayor entidad de la cuenca costera en estudio (acuífero de Talcahuano).

Las captaciones catastradas son en general de pequeña entidad, donde el mayor caudal de explotación registrado es de 30 l/s, y el caudal medio de 2,28 l/s. La mayor parte de los puntos no superan los 2 l/s de caudal de bombeo.

Respecto a las profundidades de perforación, todas las captaciones se encuentran por debajo de los 25 m de profundidad, excepto una que alcanza los 60 m.

El volumen de explotación encuestado total asciende a 790.000 m³/año, equivalentes a 25,05 l/s.

7.5.2. MEDICIÓN DE CALIDAD QUÍMICA DEL AGUA

Durante la campaña de terreno se registraron "in-situ" la conductividad, pH y temperatura del agua en 16 puntos.

7.5.3. USOS Y DEMANDAS

En esta cuenca el uso del agua principal es para abastecimiento e industrial, el uso para regadío está limitado a pequeñas zonas de cultivos o pequeños huertos.

7.5.4. CAMPAÑA DE AFOROS

Se realizó una campaña de aforos en paralelo con la medición de calidad del agua en el río Andalién en 10 puntos, con valores de caudal en el río Andalién comprendidos entre los 3,39 m³/s, justo aguas abajo de la confluencia con el estero Nonguén, hasta valores de 1,63 m³/s e incluso caudal prácticamente nulo (agua embalsada sin velocidad de flujo perceptible por molinete hidráulico) en zonas próximas a desembocadura.

7.6. PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

Con el objetivo de poder realizar una caracterización geológica y geométrica que permitiera una mejor elaboración de los modelos matemáticos del

acuífero Nilahue y del acuífero de Talcahuano, se realizó una prospección geofísica con el método eléctrico de Sondeos Eléctricos Verticales.

Dicha prospección permitió localizar la profundidad del basamento rocoso, además de detectar distintas formaciones geológicas que conforman el relleno sedimentario suprayacente.

Los resultados obtenidos sirvieron de base para la generación de la geometría de los modelos matemáticos realizados.

8. CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA Y MODELO CONCEPTUAL

La Región del Biobío y la del Libertador General Bernardo O'Higgins, como resultado de la configuración tectónica de Chile central y de la orogénesis de los Andes, presenta tres zonas morfoestructurales bien diferenciadas, que son, de oeste a este, la Cordillera de la Costa, la Depresión Central, más desarrollada en la VIII Región, y la Cordillera Principal, dispuestas paralelas entre sí, y alineadas norte-sur.

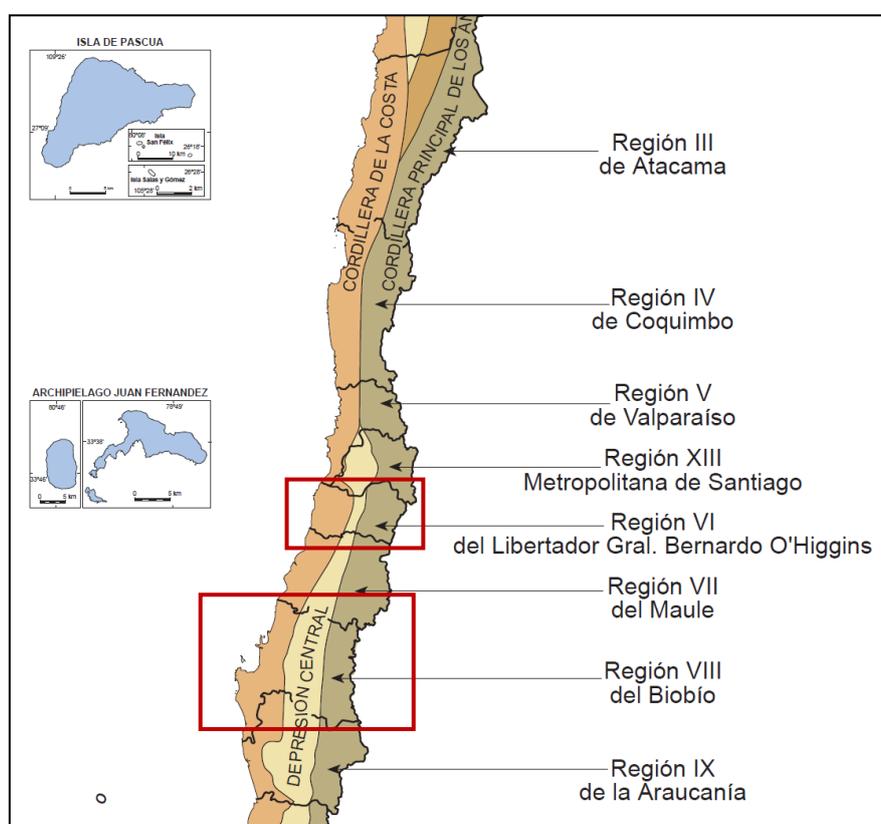


Figura 3. Dominios morfoestructurales de la zona central de Chile.
Modificado de Sernageomin (2000).

De importancia para el presente Estudio, se reconocen sedimentos no consolidados de edad Cuaternario depositados en ambientes de origen fluvial, fluvioglacial, glacial, coluvial y lacustre. Existiendo además en la Cordillera de la Costa terrazas marinas desarrolladas probablemente durante el Pleistoceno y Holoceno.

La geología de las cuencas costeras de la VI región se caracteriza por estar compuesta por unidades antiguas, de edad Paleozoico cubierta, en la zona oriental por secuencias volcano-sedimentarias de edad Jurásico-Cretácico,

en la zona centro sur con un relleno fluvio-aluvial no consolidado, y pequeños rellenos sedimentarios en la zona noroccidental.

De la misma manera, la geología de las cuencas costeras de la VIII región se caracteriza también por estar compuesta por unidades antiguas, de edad Paleozoico cubierta, principalmente en el sector sur, con una serie de formaciones sedimentarias Miocenas de origen principalmente marino. El relleno consta principalmente de depósitos fluviales de los cauces actuales de esteros y ríos y depósitos litorales.

8.1. CUENCA COSTERA ENTRE RÍO RAPEL Y ESTERO NILAHUE (CÓDIGO DGA 061)

8.1.1. FORMACIONES PERMEABLES

En esta cuenca las formaciones permeables corresponden con los depósitos cuaternarios ligados a los valles de los afluentes del Estero Nilahue fundamentalmente, así como de los depósitos ligados al mencionado Estero.

En el resto de la cuenca afloran materiales impermeables o muy poco permeables que no constituyen ninguna formación de especial interés

La geometría de este acuífero ha sido elaborada a partir de la información hidrogeológica existente, de la campaña de terreno llevada a cabo y de la campaña de prospección geofísica descrita en apartados anteriores.

El acuífero Nilahue se encuentra limitado prácticamente por todo el perímetro por el contacto entre formaciones permeables y el basamento impermeable intrusivo y volcánico. No obstante, la parte norte del mismo se encuentra abierto por el aluvial del estero Nilahue, el cual queda fuertemente encajado por el relieve montañoso, quedando una pequeña sección acuífera que llega hasta la desembocadura del mismo río en las inmediaciones de Pichilemu. Asimismo, el acuífero presenta entradas laterales de forma subsuperficial desde los afluentes y quebradas existentes.

En este acuífero hay una fuerte explotación subterránea, motivada por la demanda hídrica para agricultura existente en el área. Tal y como se mencionó anteriormente, el volumen total de explotación obtenido de las encuestas asciende a 21.940.065 m³/año, equivalentes a 671,28 l/s. No

obstante, se estima que el volumen de explotación puede ser de en torno a un 15% más, lo que situaría el volumen anual de explotación en 25,23 hm³/año (771,97 l/s).

8.1.2. BALANCE HÍDRICO

Se establecen dos tipos de balances hídricos: uno para el sistema acuífero de Nilahue, en el cual se incluyen los aportes de cuencas vertientes al sistema, y otro para las cuencas vertientes al mar, independientes del acuífero de Nilahue, que pertenecen a la cuenca costera entre Rapel y Nilahue.

El resumen del balance hídrico en el acuífero de Nilahue se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 3. Balance hídrico de Nilahue

Entradas			Salidas		
Concepto	Q (hm ³ /año)	Q (l/s)	Concepto	Q (hm ³ /año)	Q (l/s)
Recarga directa lluvia	4,95	157,07	Bombeos	25,23	800
Laterales	76,79	2.435,12	Subterráneas	4,19	133
Infiltración Nilahue	7,94	251,87	Afloramientos	60,20	1.911,06
Total entradas	89,68	2.844,06	Total salidas	89,63	2.844,06

El balance hídrico de las cuencas vertientes al mar debe tenerse en cuenta de forma complementaria al sistema superficial, ya que la recarga obtenida puede volver al sistema superficial durante su escorrentía subsuperficial.

Tabla 4. Balance hídrico cuencas vertientes al mar

Entradas		
Concepto	Q (hm ³ /año)	Q (l/s)
Cuenca 610	5,64	178,95
Cuenca 611	45,29	1.436,05
Cuenca 612	27,03	857,10
Cuenca 613	7,51	238,09
Cuenca 614	20,99	665,51
Cuenca 614.2	9,44	299,32
Total	115,90	3.675,03

8.1.3. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA

La cuenca presenta aguas poco mineralizadas (conductividad eléctrica máxima registrada de 1.754 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y media de 435 $\mu\text{S}/\text{cm}$), la cual incrementa ligeramente hacia la zona de desembocadura (NW).

Asimismo, los resultados de las muestras de agua superficial reflejan valores muy parecidos unas de otras, y los de aguas subterráneas poseen mayor variabilidad aunque todas dentro de la misma caracterización hidroquímica.

8.2. CUENCA COSTERA ENTRE RÍO ITATA Y BIOBÍO (CÓDIGO DGA 082)

8.2.1. FORMACIONES PERMEABLES

En esta cuenca las formaciones permeables son de origen sedimentario, que descansan sobre el basamento metamórfico e intrusivo.

La geometría del acuífero de Talcahuano ha sido elaborada a partir de la información hidrogeológica existente, de la campaña de terreno llevada a cabo y de la campaña de prospección geofísica descrita en apartados anteriores.

En esta cuenca no hay muchas captaciones ni son de gran magnitud. Según el catastro realizado el volumen de explotación asciende a 790.000 $\text{m}^3/\text{año}$, equivalentes a 25,05 l/s.

8.2.2. BALANCE HÍDRICO

Se establecen dos tipos de balances hídricos. Uno para el sistema acuífero de Talcahuano, en el cual se incluyen los aportes de cuencas vertientes al sistema, y otro para las cuencas vertientes al mar, independientes del acuífero de Talcahuano, que pertenecen a la cuenca costera entre Itata y Biobío.

Tabla 5. Balance hídrico de Talcahuano según modelo realizado

Entradas		Salidas	
Concepto	Q (l/s)	Concepto	Q (l/s)
Recarga directa lluvia	23,87	Bombeos	1,88
Laterales	7,12	Subterráneas al mar	33,22
Infiltración Ríos	39,91	Afloramientos	36,84
Subterráneas (Andalién)	1,03		
Total entradas	71,94	Total salidas	71,94

El balance hídrico de las cuencas vertientes al mar debe tenerse en cuenta de forma complementaria al sistema superficial, ya que la recarga obtenida puede volver al sistema superficial durante su escorrentía subsuperficial.

Tabla 6. Balance hídrico cuencas vertientes al mar

Entradas			Salidas		
Concepto	Q (hm ³ /año)	Q (l/s)	Concepto	Q (hm ³ /año)	Q (l/s)
Cuenca 6	0,21	7	Bombeos	0,008	0,25
Cuenca 7	0,02	1	Salidas mar y afloramientos	4,192	132,93
Cuenca 8	3,97	126			
Total entradas	4,20	133	Total salidas	4,200	133

8.2.3. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA

La cuenca costera entre Itata y Biobío posee una calidad química marcada por un alto contraste de aguas muy poco mineralizadas hacia partes altas y medias de la cuenca, además de la intrusión salina existente en el borde costero norte.

Las conductividades registradas fuera del acuífero de Talcahuano, es decir, en partes altas y medias de la cuenca, varían entre los 60 y 170 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad eléctrica, salvo un punto, en el cual se han registrado 302 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos valores indican la baja mineralización de las aguas, directamente relacionada con el bajo tiempo de residencia del agua en las capas subsuperficiales, se podría decir que es agua de tipo superficial.

No obstante, en el acuífero detrítico de Talcahuano los valores registrados son mayores, de entre 350 y 610 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo cual indica una mayor salinidad, directamente relacionado con un mayor tiempo de residencia del agua en la roca, que aun así siguen siendo valores de conductividad eléctrica bajos, es decir, poco mineralizados.

Por el contrario, en los afloramientos de agua ubicados en el borde costero noroeste, y en la desembocadura del río Andalién (borde noreste), las conductividades obtenidas son superiores a los 20 mS/cm, típico valor del agua marina, lo cual es reflejo de la intrusión marina tan marcada en el borde norte del acuífero, que es indicativo de no haber salida de agua dulce en este borde acuífero.

El pH registrado varía entre valores cercanos a 7 y 8,5, siendo los de la zona sur de la cuenca todos cercanos a 7, en la zona noreste varían entre 7,15 y 8,15, y en el acuífero de Talcahuano son todos superiores a 7 sin llegar a superar los 8.

8.3. CUENCA COSTERA ENTRE LÍMITE REGIONAL NORTE Y RÍO ITATA (CÓDIGO DGA 080)

8.3.1. FORMACIONES PERMEABLES

De acuerdo a la clasificación usada, en esta cuenca se presenta la unidad A formada por los materiales cuaternarios y pliocenos en una estrecha franja costera adosada a los materiales paleozoicos. El resto de la cuenca, a excepción de las formaciones cretácicas y triásicas que aparecen en afloramientos reducidos, está ocupada por materiales paleozoicos formados por pizarras, filitas y metaareniscas en su parte más occidental, y por granitos y granodioritas en su parte oriental.

Como se ha comentado en el capítulo anterior, no se dispone de datos de sondajes y pozos que hayan permitido valorar la distribución de espesores de la formación acuífera con mayor detalle. Su geometría se corresponde con las formaciones cuaternarias y pliocenas que por el este se acúan perdiendo espesor desde la línea de costa hasta el contacto con el paleozoico alineado en un eje norte-sur.

En la documentación consultada se han encontrado datos referentes a captaciones de aguas subterráneas en el trabajo "Estudio Hidrológico e Hidrogeológico de cuencas costeras ESSBIO, VII Región", donde se recogen datos del 2008 sobre 20 captaciones que sumaban un caudal total de explotación de 25 l/s. Por las características de los depósitos cuaternarios, ceñidos en su mayoría a la franja costera, se estima que las captaciones en esta cuenca se concentran en la unidad de materiales paleozoicos.

La piezometría en esta cuenca presenta un esquema simple. Se trata de una superficie piezométrica con un gradiente suave hacia la línea de costa donde en las formaciones cuaternarias es casi superficial y los niveles terminan por conectar con la línea base del mar. No se dispone de datos de cotas de nivel que permitan establecer valores concretos. De acuerdo con ello, las direcciones de flujo principales se orientan con un gradiente tendido en dirección E-W. No obstante, la red de drenaje de carácter dendrítico puede imponer direcciones con otra orientación de carácter local.

8.3.2. BALANCE HÍDRICO

Para los balances se han tomado en cuenta los valores obtenidos por cuenca en el "Estudio hidrológico e hidrogeológico de Cuencas Costeras Esbio, VII Región".

Al igual que en las otras cuencas costeras se ha considerado una infiltración del 10% para los materiales detríticos y del 3% para las formaciones paleozoicas. De esta manera se obtienen los siguientes datos:

Tabla 7. Balance hídrico cuenca 080

Cuenca 080	Área km ²	PP (mm)	ET (mm)	Escorrentía	Infiltración %	Infiltración mm.	Salidas Hm ³ /a	Balance	
Cuenca	616	1.000	600						
Paleozoico				388	3%	12			
Detrítico				360	10%	40			
		hm ³ /a	hm ³ /a	hm ³ /a		hm ³ /a	hm ³ /a	hm ³ /a	l/s
Paleozoico	599	599	359	232		7,19	0,78	6,41	203
Detrítico	17	17	10	6		0,68	0,00	0,68	21
TOTALES		616	370	239		7,87	0,78	7,09	225

Para el acuífero detrítico se tiene una escasa infiltración de 0,68 hm³. La mayoría de recursos se concentran en el paleozoico con 7,19 hm³/año de los cuales se detraían a fecha de 2008 0,78 hm³. Aunque los caudales contenidos en la formación paleozoica drenan lateralmente hacia los materiales detríticos costeros y podrían suponer un recurso a sumar a dicha unidad, en la práctica, dada la morfología de los depósitos detríticos y su cercanía al mar, no resulta viable su explotación. Entre otros aspectos a considerar, hay que tener en cuenta la alta sensibilidad de estas formaciones al riesgo de salinización por intrusión marina.

8.3.3. CARACTERIZACIÓN HIDROQUIMICA

No se dispone de datos o referencias previas de analíticas de aguas en esta cuenca. Para otros análisis realizados en las cuencas del sur, se ha obtenido una clasificación de las aguas mayoritariamente bicarbonatadas sódicas en las zonas costeras y medias. El dato pertenece al "Estudio Hidrológico e Hidrogeológico de Cuencas Costeras ESSBIO, VII Región".

El análisis de cationes e iones muestra que éstos se mantienen con bajas variaciones en el área costera, con una tendencia a incrementar, desde Este a Oeste, particularmente en lo que se refiere a la concentración de cloruro, alcalinidad y conductividad. Hacia el interior de las cuencas costeras predominan aguas del tipo bicarbonatadas- cálcicas a sódicas. En este caso, donde existe una predominancia de materiales paleozoicos, cabría asimilar las aguas a estas facies.

8.4. CUENCA COSTERA ENTRE RÍO BIO-BÍO Y CARAMPANGUE (CÓDIGO DGA 084)

8.4.1. FORMACIONES PERMEABLES

En la cuenca cabe diferenciar dos acuíferos detríticos: al norte los afloramientos aislados de niveles del cuaternario y paleoceno que quedan limitados al oeste por materiales paleozoicos, y el otro al sur, afloramientos del cuaternario que se extienden hacia la cuenca del río Carampangue. La geometría de ambas unidades corresponde a capas subhorizontales que se acuñan al este sobre los materiales paleozoicos. Se mencionan espesores para el cuaternario en torno a 30 metros de media si bien pueden ser muy variables.

En la documentación consultada se han encontrado datos referentes a captaciones de aguas subterráneas en el trabajo "Estudio Hidrológico e Hidrogeológico de cuencas costeras ESSBIO, VII Región", donde se recogen datos del 2008 sobre 105 captaciones que sumaban un caudal total de explotación de 1.877 l/s. Por las características de los depósitos cuaternarios, ceñidos en su mayoría a la franja costera, se estima que las captaciones en esta cuenca se reparten en la unidad de materiales cuaternarios y paleozoicos.

La piezometría en esta cuenca presenta un esquema simple. Se trata de una superficie piezométrica con un gradiente suave hacia la línea de costa donde en las formaciones cuaternarias es casi superficial y los niveles terminan por conectar con la línea base del mar. Se dispone de datos de cotas de nivel de varios sondeos. Un grupo de ellos, situados en el borde de la formación cuaternario-paleoceno, presenta cotas entre los 13 y 17 m.s.n.m. Tomando estos valores como referencia y la línea base de la costa tendríamos un gradiente del 0,002.

De acuerdo a la piezometría estimada, las direcciones de flujo principales se orientan con un gradiente tendido en dirección E-W. No obstante, la red de drenaje de carácter dendrítico puede imponer direcciones con otra orientación de carácter local.

8.4.2. BALANCE HÍDRICO

Para los balances se han tomado en cuenta los valores obtenidos por cuenca en el "Estudio hidrológico e hidrogeológico de Cuencas Costeras Essbio, VII Región".

Al igual que en las otras cuencas costeras se ha considerado una infiltración del 10% para los materiales detríticos y del 3% para las formaciones paleozoicas. De esta manera se obtienen los siguientes datos:

Tabla 8. Balance hídrico cuenca 084

Cuenca 084	área km ²	PP (mm)	ET (mm)	Escorrentía	Infiltración n %	Infiltración mm.	Salidas Hm ³ /a	Balance	
Cuenca	364	1.000	600						
Paleozoico				388	3%	12			
Detrítico				360	10%	40			
		hm ³ /a	hm ³ /a	hm ³ /a		hm ³ /a	hm ³ /a	hm ³ /a	l/s
Paleozoico	248	248	149	96		2,98	39,30	-36,32	-1.152
Detrítico	116	116	70	42		4,64	19,60	-14,96	-474
TOTALES		364	218	138		7,62	58,90	-51,28	-1.626

Para el acuífero detrítico se obtiene unos recursos escasos por infiltración de 4,64 hm³ y para el paleozoico de 2,98 hm³. Como los recursos explotados de acuerdo a los datos existentes son mayores, se ha supuesto como primera aproximación que un tercio son extraídos del acuífero detrítico, y dos tercios del paleozoico. Aun así, con este escenario, ambas unidades

presentan una sobreexplotación que suma 1.626 l/s, con lo que no cabe contemplar entradas laterales del paleozoico al detrítico.

Claramente esta cuenca presenta sobreexplotación, y en caso de concentrar las captaciones en la zona costera puede dar lugar a fenómenos de intrusión marina y salinización del acuífero.

8.4.3. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA

No se dispone de datos o referencias previas de analíticas de aguas en esta cuenca. Para otros análisis realizados en las cuencas del sur, se ha obtenido una clasificación de las aguas mayoritariamente bicarbonatadas sódicas en las zonas costeras y medias. El dato pertenece al "Estudio Hidrológico e Hidrogeológico de Cuencas Costeras ESSBIO, VII Región.

El análisis de cationes e iones muestra que éstos se mantienen con bajas variaciones en el área costera, con una tendencia a incrementar, desde Este a Oeste, particularmente en lo que se refiere a la concentración de cloruro, alcalinidad y conductividad. Hacia el interior de las cuencas costeras predominan aguas del tipo bicarbonatadas- cálcicas a sódicas. En este caso, donde existe una predominancia de materiales paleozoicos, cabría asimilar las aguas a estas facies.

8.5. CUENCA COSTERA RÍO CARAMPANGUE (CÓDIGO DGA 085)

8.5.1. FORMACIONES PERMEABLES

Casi toda la cuenca está ocupada por materiales paleozoicos, a excepción de una franja costera donde aparecen materiales detríticos del cuaternario y paleoceno.

En esta cuenca cabe diferenciar un acuífero detrítico al norte de la misma. La geometría de la unidad corresponde a capas subhorizontales que se acuñan al sur sobre los materiales paleozoicos. Se mencionan espesores para el cuaternario en torno a 30 metros de media si bien pueden ser muy variables.

En la documentación consultada se han encontrado datos referentes a captaciones de aguas subterráneas en el trabajo "Estudio Hidrológico e Hidrogeológico de cuencas costeras ESSBIO, VII Región", donde se recogen

datos del 2008 sobre 7 captaciones que sumaban un caudal total de explotación de 22 l/s.

La piezometría en la unidad detrítica presenta un esquema simple. Se trata de una superficie piezométrica con un gradiente suave hacia la línea de costa donde en las formaciones cuaternarias es casi superficial y los niveles terminan por conectar con la línea base del mar. No se dispone de datos de cotas de nivel de sondeos. A escala de cuenca cabe considerar dos niveles base de referencia, la línea de costa, y el río Carampangue. Este discurre sobre materiales paleozoicos en su mayor tramo, y para la infiltración reducida que se produce en estos materiales, la cota de base ha de ser la del río. Su cauce oscila entre los 600 m.s.n.m y la desembocadura en la costa.

De acuerdo a la piezometría estimada, las direcciones de flujo principales en el acuífero detrítico se orientan con un gradiente tendido en dirección S-N. La red de drenaje de carácter dendrítico del Campangue puede imponer direcciones E-W en los niveles del basamento paleozoico.

8.5.2. BALANCE HÍDRICO

Para los balances se han tomado en cuenta los valores obtenidos por cuenca en el "Estudio hidrológico e hidrogeológico de Cuencas Costeras Essbio, VII Región".

Al igual que en las otras cuencas costeras se ha considerado una infiltración del 10% para los materiales detríticos y del 3% para las formaciones paleozoicas. De esta manera se obtienen los siguientes datos:

Tabla 9. Balance cuenca 085

Cuenca 085	área km2	PP (mm)	ET (mm)	Escorrentía	Infiltración %	Infiltración mm.	Salidas Hm3/a	Balance	
Cuenca	1.262	1.600	600						
Paleozoico				970	3%	30			
Detrítico				900	10%	100			
		hm ³ /a	hm ³ /a	hm ³ /a		hm ³ /a	hm ³ /a	hm ³ /a	l/s
Paleozoico	1.208	1.932	725	1.171		36,23	0,00	36,23	1,149
Detrítico	54	87	33	49		5,43	0,69	4,74	150
TOTALES		2.019	757	1.220		41,66	0,69	40,97	1,299

Para el acuífero detrítico se tiene una escasa infiltración de 5,43 hm³ y para el paleozoico de 36,23 hm³. No se dispone de datos acerca de donde se centran las explotaciones, por lo que se han atribuido a la unidad detrítica. Estas ascienden a 0,69 hm³/año, lo que deja unos recursos actuales de 150 l/s. Dicha unidad puede recibir transferencias laterales del paleozoico cifradas en 1.148, 88 l/s. En dicho caso los recursos disponibles están muy por encima de la explotación y el régimen del acuífero es casi natural.

8.5.3. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA

Para los análisis disponibles en esta cuenca, se ha obtenido una clasificación de las aguas mayoritariamente bicarbonatadas sódicas en las zonas costeras y medias. El dato pertenece al "Estudio Hidrológico e Hidrogeológico de Cuencas Costeras ESSBIO, VII Región. Para zonas más interiores se obtienen facies bicarbonatada cálcica.

El análisis de cationes e iones muestra que éstos se mantienen con bajas variaciones en el área costera, con una tendencia a incrementar, desde Este a Oeste, particularmente en lo que se refiere a la concentración de cloruro, alcalinidad y conductividad. Hacia el interior de las cuencas costeras predominan aguas del tipo bicarbonatadas- cálcicas a sódicas. En este caso, donde existe una predominancia de materiales paleozoicos, cabría asimilar las aguas a estas facies.

8.6. CUENCA COSTERA CARAMPANGUE-LEBU (CÓDIGO DGA 086)

8.6.1. FORMACIONES PERMEABLES

El conjunto de la unidad detrítica de esta cuenca se distribuye en afloramientos limitados por fallas de direcciones NEE-SSW. Su anchura media es de 24 km en su parte más ancha al norte de la cuenca, y de 5 km en su parte más estrecha al sur. No existe un límite propio como acuífero para esta unidad dentro de la cuenca, ya que existe conexión hidráulica con las formaciones adyacentes de la cuenca del río Lebu y río Campangue.

En la documentación consultada del Ministerio de Obras Públicas se han encontrado datos referentes a 2 captaciones de aguas subterráneas con

derechos aprobados y otras 2 pendientes de aprobación (región) en la cuenca. El caudal total de las 4 suma 18 l/s.

A falta de datos piezométricos cabe hablar de la distribución de isopiezas a nivel conceptual. En esta cuenca el principal nivel de base lo constituye, por una parte, el nivel del mar tanto al norte como en el oeste, como los esteros presentes en la cuenca. Considerando la conexión de los cauces principales con el acuífero, y las cotas mayores y menores del río, tenemos niveles situados entre los 70 y 0 m.s.n.m. Existe un umbral hidrogeológico que corta la cuenca en dirección NW-SE coincidente con la vertiente de aguas superficiales que separa los cauces que vierten al norte y al sur. Igualmente existe otro umbral piezométrico en el límite sureste coincidente con el límite de cuenca del río Lebu. Dichos umbrales son parteaguas de sentidos de flujo pero no constituyen límites de acuífero al existir conexión hidráulica de un lado a otro.

Las direcciones de flujo, de acuerdo con el modelo piezométrico mencionado, se orientan al norte, en la zona costera norte, y al sur y oeste en el resto de la cuenca.

8.6.2. BALANCE HÍDRICO

Para los balances se han tomado en cuenta los valores obtenidos por cuenca en el "Estudio hidrológico e hidrogeológico de Cuencas Costeras Essbio, VII Región".

Al igual que en las otras cuencas costeras se ha considerado una infiltración del 10% para los materiales detríticos. De esta manera se obtienen los siguientes datos:

Tabla 10. Balance hídrico Cuenca 086

Cuenca 086	área km ²	PP (mm)	ET (mm)	Escorrentía	Infiltración %	Infiltración mm.	Salidas Hm ³ /a	Balance	
cuenca	624	1.200	550						
detrítico				585	10%	65,00			
		hm ³ /a	hm ³ /a	hm ³ /a		hm ³ /a	hm ³ /a	hm ³ /a	l/s
detrítico	624	748	343	365		40,56	0,03	40,53	1.285
TOTALES		748	343	365		40,56	0,03	40,53	1.285

Para el acuífero detrítico se obtiene unos recursos por infiltración de 40,56 hm³. Al no disponerse de datos concretos de piezometría que puedan

clarificar la relación acuífero-río en cuanto a aportaciones o drenajes entre uno y otro, se estima a priori un balance cero apoyándose en el régimen claramente estacional de los cauces. Los mismos serían cedentes al acuífero en épocas de crecida, mientras que drenarían recursos del acuífero en el estiaje.

Respecto a los retornos de riego, se han contabilizado en el Registro del Ministerio de Obras Públicas unos recursos actuales otorgados de 1.501 l/s. Asumiendo un valor medio de retornos del 20%, se tendrían 300,2 l/s.

Así pues, el total de recursos subterráneos sería de 1.570,49 l/s.

En resumen, y teniendo en cuenta los rangos de valores obtenidos, se considera el acuífero detrítico cercano a su régimen natural, drenando los excedentes anuales al mar y al río en épocas de estiaje.

8.6.3. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA

No se dispone de datos en bibliografía sobre análisis previos existentes en esta cuenca. Por analogía con las cuencas colindantes donde se presentan además las mismas litologías, las aguas deben de ser bicarbonatadas sódicas.

Siguiendo con las analogías con otras cuencas, el análisis de cationes e iones muestra que éstos se mantienen con bajas variaciones en el área costera, con una tendencia a incrementar, desde Este a Oeste, particularmente en lo que se refiere a la concentración de cloruro, alcalinidad y conductividad.

Hacia el interior de las cuencas costeras predominan aguas del tipo bicarbonatadas- cálcicas a sódicas. Las diferencias en la composición aniónica están dadas por la concentración relativa de cloruro; y en la composición catiónica por las concentraciones de sodio y calcio.

En el área de estudio, las aguas tienen un pH entre 6,2 y 7,3 por lo que satisfacen los requerimientos potables y de riego.

8.7. CUENCA COSTERA RÍO LEBU (CÓDIGO DGA 087)

8.7.1. FORMACIONES PERMEABLES

El conjunto de la unidad detrítica de esta cuenca se distribuye en una franja costera entre los límites norte y sur de la cuenca, limitando al este con las formaciones de filitas, pizarras y metaareniscas del Silúrico-Carbonífero y un afloramiento reducido del cretácico formado por areniscas, conglomerados y calizas. Su anchura media es de 49.36 km en su parte más ancha al sur de la cuenca, y de 26,8 km en su parte más estrecha al norte de la misma. No existe un límite propio como acuífero para esta unidad dentro de la cuenca, ya que se extiende tanto al norte como al sur a cuencas adyacentes.

En la documentación consultada no se han encontrado datos referentes a captaciones de aguas subterráneas en la cuenca.

A falta de datos piezométricos cabe hablar de la distribución de isopiezas a nivel conceptual. En esta cuenca el principal nivel de base lo constituye, por una parte, el nivel del mar en su parte más occidental, y en el resto de la cuenca es el río Lebu y de forma secundaria sus afluentes principales los que condicionan la distribución de isopiezas. Considerando la conexión de los cauces principales con el acuífero, y las cotas mayores y menores del río, tenemos niveles situados entre los 110 y 0 m.s.n.m. Al discurrir este río en dirección norte-sur en su primer tramo, la cuenca del mismo queda aislada de la línea de costa por las elevaciones topográficas que la separan de la cuenca del Carampangue, por lo que esto debe dar lugar a un umbral piezométrico en la misma dirección norte-sur. Al oeste, y ya dentro de la cuenca del Carampangue, las líneas de flujo serían perpendiculares a la costa.

En la zona sur-oeste de la cuenca, el río Lebu gira y se abre hacia el mar, dando lugar a un cambio en la orientación de las isopiezas que se disponen progresivamente paralelas a la línea de costa.

Tal y como se ha recogido en el mapa correspondiente de la cuenca, las direcciones de flujo en la parte norte de la cuenca se orientan hacia el sur. En el borde con el zócalo paleozoico se dan flujos con dirección hacia el oeste por el drenaje de dicho zócalo, y en la zona sur- oeste, cercana a la desembocadura del río, la direcciones son oeste igualmente.

8.7.2. BALANCE HÍDRICO

Para los balances se han tomado en cuenta los valores obtenidos por cuenca en el "Estudio hidrológico e hidrogeológico de Cuencas Costeras Essbio, VII Región" adjuntos.

Al igual que en las otras cuencas costeras se ha considerado una infiltración del 10% para los materiales detríticos y del 3% para las formaciones paleozoicas. De esta manera se obtienen los siguientes datos:

Tabla 11. Balance hídrico Cuenca 087

Cuenca 087	área km ²	PP (mm)	ET (mm)	Escorrentía	Infiltración %	Infiltración mm.	Salidas Hm ³ /año	Balance	
Cuenca	853	2.000	600						
Paleozoico				1.358	3%	42			
Detrítico				1.260	10%	140			
		hm ³ /a	hm ³ /a	hm ³ /a		hm ³ /a	hm ³ /a	hm ³ /a	l/s
Paleozoico	327	654	196	444		13,73	0	13,73	436
Detrítico	526	1.052	316	663		73,66	0	73,66	2.336
TOTALES		1.706	512	1.107		87,40	0	87,40	2.771

Para el acuífero detrítico se obtiene unos recursos por infiltración de 73,66 hm³. Los caudales infiltrados en el paleozoico se consideran cedidos lateralmente a las formaciones detríticas, con lo que cabría sumar 13,73 hm³, resultando un total de 87,40 hm³/año.

Al no disponerse de datos concretos de piezometría que puedan clarificar la relación acuífero-río en cuanto a aportaciones o drenajes entre uno y otro, se estima a priori un balance cero apoyándose en el régimen claramente estacional de los cauces. Los mismos serían cedentes al acuífero en épocas de crecida, mientras que drenarían recursos del acuífero en el estiaje.

Igualmente, en esta cuenca no se dispone de datos de riego que permitan estimar los retornos al acuífero.

En resumen, y teniendo en cuenta los rangos de valores obtenidos, se considera el acuífero detrítico en régimen natural, drenando los excedentes anuales al mar y al río en épocas de estiaje.

8.7.3. CARACTERIZACIÓN HIDROQUIMICA

De acuerdo a análisis previos existentes en esta cuenca las aguas son Bicarbonatadas sódicas. El dato pertenece al "Estudio Hidrológico e Hidrogeológico de Cuencas Costeras ESSBIO, VII Región.

El análisis de cationes e iones muestra que éstos se mantienen con bajas variaciones en el área costera, con una tendencia a incrementar, desde Este a Oeste, particularmente en lo que se refiere a la concentración de cloruro, alcalinidad y conductividad. Hacia el interior de las cuencas costeras predominan aguas del tipo bicarbonatadas- cálcicas a sódicas. Las diferencias en la composición aniónica están dadas por la concentración relativa de cloruro; y en la composición catiónica por las concentraciones de sodio y calcio. En el área de estudio, las aguas tienen un pH entre 6,2 y 7,3 por lo que satisfacen los requerimientos potables y de riego.

8.8. CUENCA COSTERA RÍO LEBU Y PAICAVÍ (CÓDIGO DGA 088)

8.8.1. FORMACIONES PERMEABLES

El conjunto de la unidad detrítica descrita anteriormente se distribuye en una franja costera entre los límites norte y sur de la cuenca, limitando al este con las formaciones de filitas, pizarras y metaareniscas del Silúrico-Carbonífero. Su anchura mínima es de 8,8 km al sur y de 27,1 km al norte de la cuenca. No existe un límite propio como acuífero para esta Unidad permeable dentro de la cuenca, ya que se extiende tanto al norte como al sur a cuencas adyacentes.

En el trabajo "Estudio Hidrológico e Hidrogeológico de cuencas costeras ESSBIO, VII Región", se recogen datos del 2008 sobre 7 captaciones que sumaban un caudal total de explotación de 51 l/s.

Como derechos constituidos no hay ninguna captación de aguas subterráneas, únicamente se tramitan 3 expedientes con un total de 15 l/s solicitados y 0 l/s otorgados.

Respecto a captaciones de aguas superficiales hay un total de 80 solicitudes, de las cuales 65 fueron denegadas, 10 otorgadas y el resto fueron desistidas.

De forma general, y atendiendo a un modelo conceptual, la distribución de isopiezas corresponde a una superficie piezométrica muy superficial, en la cual se pueden establecer algunas cotas de referencia. Por un lado se consideran las cotas próximas a la superficie en el contacto con el basamento paleozoico al este del acuífero (entre los 20 y 350 m.s.n.m. como rango medio). Otra cota de referencia la fija la lámina de agua del lago de Lanalhue, el cual entra en contacto con el detrítico en su parte occidental. Esta cota corresponde a un valor de 20 m.s.n.m. Por último, y al no existir casi explotaciones en el acuífero, y en concreto en la zona de la costa, el nivel en esa zona alcanzaría los 0 m.s.n.m.

De acuerdo a la piezometría estimada, las direcciones de flujo se orientan con un gradiente tendido en dirección NE-SW girando en la zona cercana en la costa a W-E.

8.8.2. BALANCE HÍDRICO

Para los balances se han tomado en cuenta los valores obtenidos por cuenca en el "Estudio hidrológico e hidrogeológico de Cuencas Costeras Essbio, VIII Región". Al igual que en las otras cuencas costeras se ha considerado una infiltración del 10% para los materiales detríticos y del 3% para las formaciones paleozoicas. De esta manera se obtienen los siguientes datos:

Tabla 12. Balance hídrico. Cuenca 088

Cuenca 088	área km ²	PP (mm)	ET (mm)	Escorrentía	Infiltración %	Infiltración mm.	Salidas hm ³ /año	Balance	
Cuenca	1.691	2.000	600						
Paleozoico				1.358	0	42			
Detrítico				1.260	0	140			
		hm ³ /a	hm ³ /a	hm ³ /a		hm ³ /a	hm ³ /a	hm ³ /a	l/s
Paleozoico	931	1.862	558	1.264		39,09	0,00	39,09	1.240
Detrítico	760	1.520	456	957		106,37	1,60	104,77	3.322
TOTALES		3.381	1.014	2.221		145,46	1,60	143,86	4.562

Para el acuífero detrítico se obtiene unos recursos por infiltración de 106,37 hm³. Los caudales infiltrados en el paleozoico se consideran cedidos lateralmente a las formaciones detríticas, con lo que cabría sumar 39,09 hm³, resultando un total de 145,46 hm³/año. Detrayendo las explotaciones subterráneas de 1,6 hm³/año, se obtiene un valor de 143,86 hm³/año o 4.561,85 l/s.

Al no disponerse de datos concretos de piezometría que puedan clarificar la relación acuífero-río en cuanto a aportaciones o drenajes entre uno y otro, se estima a priori un balance cero apoyándose en el régimen claramente estacional de los cauces. Los mismos serían cedentes al acuífero en épocas de crecida, mientras que drenarían recursos del acuífero en el estiaje.

Igualmente, en este caso no se dispone de datos de riego que permitan estimar los retornos al acuífero.

En resumen, y teniendo en cuenta las escasas explotaciones subterráneas existentes, se considera el acuífero detrítico casi en régimen natural, drenando los excedentes anuales al mar.

8.8.3. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA

De acuerdo a análisis previos existentes en esta cuenca las aguas son Bicarbonatadas sódicas. El dato pertenece al "Estudio Hidrológico e Hidrogeológico de Cuencas Costeras ESSBIO, VII Región.

El análisis de cationes e iones muestra que éstos se mantienen con bajas variaciones en el área costera, con una tendencia a incrementar, desde Este a Oeste, particularmente en lo que se refiere a la concentración de cloruro, alcalinidad y conductividad.

Hacia el interior de las cuencas costeras predominan aguas del tipo bicarbonatadas- cálcicas a sódicas. Las diferencias en la composición aniónica están dadas por la concentración relativa de cloruro; y en la composición catiónica por las concentraciones de sodio y calcio.

En el área de estudio, las aguas tienen un pH entre 6,2 y 7,3 por lo que satisfacen los requerimientos potables y de riego.

8.9. CUENCA COSTERA ENTRE RÍO PAICAVÍ Y LÍMITE REGIONAL SUR (CÓDIGO DGA 089)

8.9.1. FORMACIONES PERMEABLES

El acuífero de esta cuenca se dispone a lo largo de la franja litoral de norte a sur con una anchura variable entre los 9,1 y 14,6 km. de ancho y 53 km. de largo. Al oeste conecta con la línea de costa y al este limita con la

formación paleozoica que actúa de base impermeable. Respecto a sus límites norte y sur se pueden considerar abiertos al prolongarse la formación cuaternaria a cuencas adyacentes. La superficie total de la formación cuaternaria en esta área es de 309 km².

Los espesores medios que se citan para esta formación son de 30 metros. No se dispone de datos de sondajes y pozos que hayan permitido valorar la distribución de espesores de la formación acuífera con mayor detalle. Su geometría se corresponde con las formaciones cuaternarias y pliocenas que por el este se acuñan perdiendo espesor desde la línea de costa hasta el contacto con el paleozoico alineado en un eje norte-sur. En algunas ocasiones, y de forma puntual para los cauces de mayor entidad, dichas formaciones cuaternarias se prolongan en los valles fluviales sobre el basamento conformando acuíferos locales formados por los depósitos aluviales.

Se han recopilado los datos existentes en bibliografía y en los registros pertenecientes a la base de datos del Centro de Información de Recursos Hídricos del Ministerio de Obras Públicas. En total, y en concreto en estos últimos registros, se han detectado 24 captaciones de aguas subterráneas, de las cuales 13 corresponden a concesiones aprobadas. El volumen total otorgado de acuerdo con estos datos es de 1,24 hm³/año, aunque hay que considerar su extracción discontinua.

De acuerdo a algunos usos estimados en la cuenca, correspondientes a un 85% de riego, un 12 % de abastecimiento y un 3% industrial, se obtienen los siguientes caudales:

Tabla 13. Estimación del uso del agua en la cuenca 089

Uso	Riego	Abastecimiento	Industrial	Total
% Estimado	85%	12%	3%	100%
hm ³ /año Q Otorgado	1,05	0,15	0,04	1,24
hm ³ /año real	0,19	0,10	0,04	0,33

De forma general, y atendiendo a un modelo conceptual, la distribución de isopiezas corresponde a una superficie con cotas próximas a la superficie en el contacto con el basamento paleozoico al este del acuífero (entre 8 y 150 m.s.n.m. como rango medio). Desde aquí hacia la línea de costa, la superficie piezométrica, condicionada localmente por cauces y relieves topográficos, se extiende en un gradiente muy tendido con isopiezas de

tendencia paralela a dicha línea de costa, donde alcanzan el nivel de los cero m.s.n.m. Considerando algunas cotas de referencia absoluta de niveles se puede establecer un gradiente estimado, como son las cotas de contacto del detrítico con el paleozoico y el contacto con el nivel de base del Lago Lleulleu, el cual entra en contacto con el acuífero cuaternario en su parte occidental (20 m.s.n.m.). Para estas cotas y el nivel cero de la línea de costa, se obtienen gradientes del orden de 0,003, coherentes con los valores mencionados anteriormente.

Como en todo el acuífero costero, el esquema de flujo viene condicionado por la línea de costa, el relieve topográfico y los cauces existentes. De forma general, cabe considerar un flujo E-W desde las zonas de mayor alimentación hacia el mar. En detalle, esta dirección E-W es condicionada por la topografía local y la relación acuífero-río de los cauces superficiales.

8.9.2. BALANCE HÍDRICO

De acuerdo a los trabajos previos, en este sector las precipitaciones anuales varían entre 1600 hasta 3000 mm. La evapotranspiración se mantiene en todo el sector bordeando los 600 mm/año.

Para poder determinar la recarga por lluvia o por escorrentía total se consideraron los datos meteorológicos y balances hídricos realizados en los trabajos de IPLA (1983) y REG (1985), y de las isolíneas de precipitación y evapotranspiración resultantes del balance hídrico de Chile (DGA, 1975). Los resultados se han recogido del estudio "ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO DE CUENCAS COSTERAS ESSBIO, VIII REGIÓN". Se estima que de la escorrentía total un 10% es capaz de infiltrarse.

Respecto a la infiltración, se ha considerado una tasa del 10% tal y como se establece en los trabajos anteriores para el acuífero detrítico. La tasa de infiltración en materiales paleozoicos se ha estimado en un 3 % basándose en valores comúnmente aceptados en este tipo de formaciones.

De esta manera el balance resultante sería el siguiente:

Tabla 14. Balance hídrico en la cuenca 089

Cuenca 089	área km ²	PP (mm)	ET (mm)	Escorrentía	Infiltración %	Infiltración mm.	Salidas hm ³ /a	Balance	
Cuenca	1.358	1.800	600						
Paleozoico				1.164	0	36			
Detrítico				1.080	0	120			
		hm ³ /a	hm ³ /a	hm ³ /a		hm ³ /a	hm ³ /a	hm ³ /a	l/s
Paleozoico	1.049	1.888	629	1.221		37,77	0,00	37,77	1.198
Detrítico	309	556	185	334		37,08	0,33	36,75	1.165
TOTALES		2.445	815	1.555		74,85	0,33	74,52	2.363

Se obtiene una disponibilidad de 1.165,33 l/s para el acuífero detrítico por infiltración. A partir de este valor cabe considerar las entradas laterales al acuífero desde el basamento paleozoico, los retornos de riego y las entradas –salidas por comunicación con los cauces.

Considerando que los caudales infiltrados en el paleozoico, tanto en la zona alterada superficial como en formaciones fracturadas, terminan por drenar hacia el contacto con los materiales detríticos, cabe añadir los 1.197,60 l/s a los recursos del acuífero detrítico por entradas laterales.

A esto cabría añadir las entradas por retornos de riego (20% de las dotaciones). Las concesiones superficiales computadas suman 6.222,11 l/s, de los cuales, de acuerdo a los factores de equivalencia considerados, un 0,18 de ese caudal se considera de utilización real, es decir, 1.119,9 l/s. Los retornos de riego para esas dotaciones sumarían una entrada al acuífero de 224 l/s.

Respecto a la cesión o aportación de cauces, se puede estimar, a falta de datos más concretos, un balance cero dado el funcionamiento fuertemente estacional de los mismos.

Respecto a las salidas por explotaciones, como se ha computado anteriormente, en base a los datos existentes se estiman en 1,24 hm³/año las explotaciones concedidas y en 0,33 hm³ los caudales reales.

Así pues, teniendo en cuenta lo anterior, se obtendrían unos recursos totales del acuífero detrítico de 2.586,94 l/s.

8.9.3. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA

No se disponen de datos analíticos para el agua subterránea de esta cuenca. De acuerdo a la bibliografía consultada, y teniendo en cuenta la similitud de litologías entre esta cuenca y la correspondiente a la 088 (Costera entre Río Lebu y Paicaví), donde sí se disponen datos, las aguas serían Bicarbonatada Sódicas.

9. MODELO NUMÉRICO DEL ACUÍFERO DE NILAHUE (VI REGIÓN)

Una vez desarrollado el modelo conceptual del acuífero, se ha llevado a cabo un modelo numérico que permite la simulación del acuífero según la situación actual, y según unos escenarios futuros propuestos por la Inspección Fiscal, los cuales no se presentan en este informe al no haber sido consensuados, y que serán presentados en el informe final.

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

El modelo se ha realizado considerando una única capa acuífera, formada por el volumen entre el basamento y la superficie topográfica, determinada mediante la extrapolación entre los perfiles geológicos trazados en apartados anteriores.

Los parámetros elásticos introducidos han sido la permeabilidad y el coeficiente de almacenamiento.

El modelo se ejecutó en régimen estacionario, con fecha de inicio el 1 de Julio de 2013 y finalizando el 31 de Julio de 2013.

El modelo resultó convergente, no detectándose por tanto problemas de conectividad entre celdas.

La calibración se realizó partiendo de los datos de permeabilidad recopilados y ajustando estos a los niveles piezométricos observados durante la campaña de Julio de 2013, obteniéndose un ajuste con un error RMS del 5,1%.

9.1. RESULTADOS OBTENIDOS

Como segunda fase de la modelación numérica, se simularon una serie de escenarios con la finalidad de tener un conocimiento del comportamiento del acuífero en determinadas situaciones.

Dichos escenarios estuvieron orientados hacia el conocimiento de la sustentabilidad del acuífero a futuro, teniendo en cuenta los derechos constituidos, derechos en trámite, así como el conocer las posibilidades de incremento de la demanda.

Los escenarios simulados fueron los siguientes:

1. Situación actual. Simulación en régimen estacionario de las condiciones según la fecha de realización del estudio.
2. Sustentabilidad a futuro (50 años) según criterios DAHR, teniendo en cuenta los derechos constituidos.
3. Situación de régimen natural (50 años).
4. Sustentabilidad a futuro (50 años) según criterios DAHR, teniendo en cuenta las captaciones catastradas.

9.2. ESCENARIO 1. SITUACIÓN ACTUAL

El balance obtenido para el periodo modelado (julio 2013) tras la ejecución y calibración del modelo es el siguiente:

Tabla 15. Balance hídrico modelizado. Acuífero Nilahue

Entradas		Salidas	
Concepto	Q (l/s)	Concepto	Q (l/s)
Recarga directa lluvia	73,88	Bombeos	1.214,26
Laterales	1.819,27	Subterráneas	121,73
Infiltración Estero Nilahue	251,87	Afloramientos	808,76
Total entradas	2.145,02	Total salidas	2.144,75

Hay un total de entradas en el sistema de 2.145 l/s, procedentes principalmente de entradas laterales. No obstante la principal salida del sistema es por bombeos.

9.3. ESCENARIO 2. SUSTENTABILIDAD FUTURA CON DERECHOS OTORGADOS

9.3.1. DESCRIPCIÓN Y SUPUESTOS

Este escenario corresponde a una simulación en régimen transiente, para un periodo de 50 años, durante el cual se ha variado la recarga por precipitación directa en el acuífero, suponiendo una serie de precipitación

futura idéntica a la de registros históricos, y teniendo en cuenta el coeficiente de infiltración obtenido en el capítulo de balance hídrico.

Asimismo, las condiciones de explotación introducidas corresponden a los derechos otorgados en el acuífero y a los derechos en trámite, y se ha ido ajustando este input hasta que se cumplieran los siguientes criterios¹:

- Descensos sostenibles en el tiempo a nivel de acuífero
- No afección al sistema superficial
- No afección a más del 5% de la demanda
- No afección a más del 5% de las captaciones

9.3.2. RESULTADOS OBTENIDOS

Como resultado de la simulación de este escenario, y teniendo en cuenta los supuestos mencionados en el apartado anterior, se ha determinado que, según la distribución de las captaciones con derechos otorgados existentes, y el caudal otorgado (2400 l/s), el acuífero estaría fuertemente sobreexplotado, en el cual los niveles serían descendentes en todo el acuífero, y la afección al sistema superficial sería de en torno al 70%, muy por encima del límite máximo definido en los criterios anteriormente expuestos.

La principal entrada del balance hídrico de este supuesto sería procedente de la infiltración del río y de la variación de almacenamiento (agotamiento del volumen embalsado)

En el caso de explotar el 50% de los derechos otorgados (1200 l/s), los niveles permanecerían más o menos estables, pero la afección al sistema superficial seguiría siendo fuerte, en torno al 60%, ya que el río se convertiría en la principal fuente de recarga.

¹ Estos criterios atienden al estudio "Evaluación de la Explotación Sustentable de los acuíferos de la VI Región". Para el caso de afección al sistema superficial se ha calculado el grado de interacción (recursos inducidos sobre fuentes superficiales comparados con una situación de régimen natural) y se considera que incumple el criterio, es decir, el sistema superficial se considera afectado, 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.

El balance hídrico ya no dependería de la variación del almacenamiento, es decir, el acuífero no estaría sobreexplotado en términos generales, pero la afección al sistema superficial seguiría siendo fuerte.

Es a partir del 5% de los derechos constituidos cuando la afección al sistema superficial comienza a bajar del 10%, y se cumpliría con todos los criterios de sustentabilidad a largo plazo.

9.4. ESCENARIO 3. REGIMEN NATURAL

9.4.1. DESCRIPCIÓN Y SUPUESTOS

Este escenario corresponde a una simulación en régimen transiente, para un periodo de 50 años, durante el cual se ha variado la recarga por precipitación directa en el acuífero, suponiendo una serie de precipitación futura idéntica a la de registros históricos, y teniendo en cuenta el coeficiente de infiltración obtenido en el capítulo de balance hídrico.

En este caso no se han considerado explotaciones por bombeos, de forma que se pueda conocer el funcionamiento del sistema en régimen natural, y así tener una idea del balance hídrico global.

9.4.2. RESULTADOS

El balance hídrico este escenario resulta en un incremento en el volumen almacenado en el acuífero, además de un incremento en los afloramientos hacia el sistema superficial.

Al final del periodo (50 años), el balance resultaría de la siguiente forma:

Tabla 16. Balance hídrico en régimen natural. Acuífero Nilahue

Salidas l/s		Entradas l/s	
Almacenamiento	4,31	Almacenamiento	0,30
Salidas subterráneas	114,77	Entradas laterales	267,68
Afloramientos río	554,23	Infiltración río	229,59
		Recarga lluvia	175,92
	673,31		673,49

9.5. ESCENARIO 4. SUSTENTABILIDAD FUTURA CON CATASTRO REALIZADO

9.5.1. DESCRIPCIÓN Y SUPUESTOS

Este escenario corresponde a una simulación en régimen transiente, para un periodo de 50 años, durante el cual se ha variado la recarga por precipitación directa en el acuífero, suponiendo una serie de precipitación futura idéntica a la de registros históricos, y teniendo en cuenta el coeficiente de infiltración obtenido en el capítulo de balance hídrico.

Los bombeos considerados han sido los obtenidos durante el catastro de terreno, modificados según la calibración realizada en régimen estacionario.

9.5.2. RESULTADOS

Este escenario es reflejo de la situación actual basada en una interpolación de la recarga futura, teniendo en cuenta la explotación actual del acuífero.

Como resultado, se obtiene que atendiendo a la explotación actual (1200 l/s), los niveles se mantendrían en equilibrio, pero se produciría una fuerte afección al sistema superficial, de en torno al 60% del Q85. Caso muy similar al ocurrido con los derechos constituidos al 50% pero con diferente ubicación de las captaciones.

Si aplicamos un coeficiente del 0,3 para la explotación cuantificada, en términos de balance hídrico el sistema es excedente, pero la afección al sistema superficial sigue siendo superior al 10%, por lo que las extracciones deberían bajar al 15-20% de la explotación actual para que no exista dicha afección.

10. MODELO NUMÉRICO DEL ACUÍFERO DE TALCAHUANO (VIII REGIÓN)

Al igual que para el anterior, una vez desarrollado el modelo conceptual del acuífero, se ha llevado a cabo un modelo numérico que permita la simulación del acuífero según la situación actual, y según unos escenarios futuros propuestos por la Inspección Fiscal, los cuales no se presentan en este informe al no haber sido consensuados, y que serán presentados en el informe final.

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

El modelo se ha realizado considerando una única capa acuífera, formada por el volumen entre el basamento y la superficie topográfica, determinada mediante la extrapolación entre los perfiles geológicos trazados en apartados anteriores.

Los parámetros elásticos introducidos han sido la permeabilidad y el coeficiente de almacenamiento.

El modelo ha sido ejecutado en régimen estacionario, con fecha de inicio el 1 de Agosto de 2013 y finalizado el 31 de Agosto de 2013.

El modelo resulta convergente, no detectándose por tanto problemas de conectividad entre celdas.

El modelo se ha calibrado partiendo de los datos de permeabilidad recopilados y ajustando estos a los niveles piezométricos observados durante la campaña de Agosto de 2013, obteniéndose un ajuste con un error RMS del 2,14%.

10.1. RESULTADOS OBTENIDOS

Como segunda fase de la modelación numérica, se han simulado una serie de escenarios con la finalidad de tener un conocimiento de lo que pasaría en determinadas situaciones.

Dichos escenarios están enfocados hacia el conocimiento de la sustentabilidad del acuífero a futuro, teniendo en cuenta los derechos constituidos y posibilidades de incremento de la demanda, así como el crecimiento de la demanda en nuevas zonas.

Los escenarios simulados fueron los siguientes:

1. Situación actual. Simulación en régimen estacionario de las condiciones según la fecha de realización del estudio.
2. Sustentabilidad a futuro (50 años) según criterios DAHR incrementando la demanda.
3. Sustentabilidad a futuro (50 años) según criterios DAHR incrementando demanda y creando nuevas zonas de explotación industrial.
4. Sustentabilidad a futuro (50 años) según criterios DAHR incrementando demanda y creando nuevas zonas de explotación industrial y abastecimiento.

10.2. ESCENARIO 1. SITUACIÓN ACTUAL

El primer escenario simulado corresponde a la situación actual, en el cual se ha realizado la calibración.

10.2.1. BALANCE HÍDRICO

El balance obtenido para el periodo modelado (agosto 2013) tras la ejecución y calibración del modelo es el siguiente:

Tabla 17. Balance hídrico modelizado. Acuífero Talcahuano

Entradas		Salidas	
Concepto	Q (l/s)	Concepto	Q (l/s)
Recarga directa lluvia	23,87	Bombeos	1,88
Laterales	7,12	Subterráneas al mar	33,22
Infiltración ríos	39,91	Afloramientos	36,84
Subterráneas (Andalién)	1,03		
Total entradas	71,94	Total salidas	71,94

Hay un total de entradas en el sistema de 71,94 l/s, procedentes principalmente de la recarga de lluvia e infiltración por ríos. Las salidas por afloramientos y descarga al mar son indicativos de que el sistema se

encuentra en régimen natural, ya que éstas salidas son del orden de magnitud a las entradas por infiltración de lluvia y de percolación de ríos.

10.3. ESCENARIO 2. SUSTENTABILIDAD FUTURA CON INCREMENTO DE LA DEMANDA

10.3.1. DESCRIPCIÓN Y SUPUESTOS

Este escenario corresponde a una simulación en régimen transiente, para un periodo de 50 años, durante el cual se ha variado la recarga por precipitación directa en el acuífero, suponiendo una serie de precipitación futura idéntica a la de registros históricos, y teniendo en cuenta el coeficiente de infiltración obtenido en el capítulo de balance hídrico.

Asimismo, las condiciones de explotación introducidas corresponden a los derechos otorgados en el acuífero, y se ha ido incrementando el volumen de explotación hasta que se incumpliera alguno de estos criterios (DAHR)²:

- Afección al sistema superficial
- Afección al 5% de la demanda
- Afección al 5% de las captaciones

10.3.2. RESULTADOS OBTENIDOS

Como resultado de la simulación de este escenario, y teniendo en cuenta los supuestos mencionados en el apartado anterior, se ha determinado que, según la distribución de las captaciones con derechos otorgados existentes, se podría explotar el acuífero de forma sostenible sin que ello conlleve ni una afección al sistema superficial, ni a la demanda global, ni tampoco se vería afectada ninguna captación.

² Estos criterios atienden al estudio "Evaluación de la Explotación Sustentable de los acuíferos de la VI Región". Para el caso de afección al sistema superficial se ha calculado el grado de interacción (recursos inducidos sobre fuentes superficiales comparados con una situación de régimen natural) y se considera que incumple el criterio, es decir, el sistema superficial se considera afectado, 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.

El límite máximo, a partir del cual se produciría una afección a una captación (lo que supondría una afección al 5.56% de las captaciones al haber un total de 18), dejando ésta colgada, sería de una explotación de más de 556 l/s con la distribución actual de pozos con derechos constituidos. Este caudal correspondería a un 550% del volumen otorgado.

Asimismo, en este caso, la afección al río Andalién sería del 5% $Q_{\text{Flujo pasante}}$ 85%, y del 0,02% para el río Biobío suponiendo una extracción del 1000% de los derechos constituidos, por lo que el sistema superficial no entraría en riesgo en el escenario simulado.

10.4. ESCENARIO 3. SUSTENTABILIDAD FUTURA CON INCREMENTO DE LA DEMANDA, Y CREACIÓN DE UNA NUEVA ZONA INDUSTRIAL

10.4.1. DESCRIPCIÓN Y SUPUESTOS

Este escenario, tiene por objetivo conocer si se puede ampliar las zonas de explotación del acuífero, bajo el supuesto de la creación de un nuevo foco de demanda industrial.

El escenario considera las condiciones de explotación límites obtenidas en el anterior (explotación de derechos otorgados al 550%, equivalentes a 556 l/s), a lo que se han añadido 3 captaciones en un sector industrial, cuya explotación se ha ido modificando hasta observar que se incumpliera alguno de los criterios expuestos en el escenario anterior.

Los supuestos (recarga, coeficiente de almacenamiento, etc.) sobre los que se ha partido son idénticos a los expuestos anteriormente. La única modificación es la creación de una nueva zona de explotación

10.4.2. RESULTADOS OBTENIDOS

Como resultado de la simulación de este escenario, se ha determinado que, teniendo en cuenta una explotación del 550% de los derechos constituidos (556 l/s), se podría crear una nueva zona de explotación con tres captaciones de 50 l/s cada una, lo que supondría una explotación total en el acuífero de 706 l/s.

En este escenario no habría afección al sistema superficial, ni quedaría ninguna captación colgada y la demanda abastecida supondría un 99,26 % de la demanda impuesta.

Si se incrementa ligeramente el caudal en la nueva zona, se vería afectada la demanda abastecida del acuífero, quedando ésta en un 92%.

10.5. ESCENARIO 4. SUSTENTABILIDAD FUTURA CON INCREMENTO DE LA DEMANDA, CREACIÓN DE UNA NUEVA ZONA INDUSTRIAL Y OTRA ZONA URBANA

10.5.1. DESCRIPCIÓN Y SUPUESTOS

Este escenario, tiene el objetivo conocer si se pueden ampliar las zonas de explotación del acuífero, bajo el supuesto de la creación de un nuevo foco de demanda industrial, y otro de abastecimiento urbano, en la ciudad de Tome.

El escenario considera las condiciones de explotación límites obtenidas en el anterior (explotación de derechos otorgados al 550%, equivalentes a 556 l/s), zona de abastecimiento industrial (3 captaciones de 50 l/s), añadiendo otras tres captaciones en otro sector del acuífero, concretamente en la zona de Tome.

Al igual que para el anterior, se ha ido incrementando la explotación en estas tres captaciones hasta conocer el límite de explotación sin que se incumpla ninguno de los criterios expuestos con anterioridad.

Los supuestos (recarga, coeficiente de almacenamiento, etc.) sobre los que se ha partido son idénticos a los expuestos anteriormente. La única modificación es la creación de una nueva zona de explotación.

10.5.2. RESULTADOS OBTENIDOS

Como resultado de la simulación de este escenario, se ha determinado que, teniendo en cuenta una explotación del 550% de los derechos constituidos (556 l/s), se podría crear una nueva zona de explotación con tres captaciones de 50 l/s cada una, y otra zona en Tome, con 3 captaciones de 7 l/s cada una, lo que supondría una explotación total en el acuífero de 727 l/s.

En este escenario no habría afección al sistema superficial, solo quedaría una captación colgada, lo que supondría un 4,17 %, y la demanda abastecida supondría un 98,35 % de la demanda impuesta.

Asimismo el sistema superficial tendría una afección máxima en el río Andalién del 3,8%.

11. PROPUESTA DE RED DE MONITOREO DE PIEZOMETRÍA Y CALIDAD

Como parte de los objetivos del estudio, se propuso finalmente una red de monitoreo de piezometría y de calidad que permita a futuro contar con antecedentes para retroalimentar los modelos desarrollados.

11.1. ACUÍFERO NILAHUE

El acuífero de Nilahue es el que posee mayor riesgo de sobreexplotación, motivo por el cual se recomienda el diseño y construcción de una red de piezometría principalmente, y de forma secundaria de calidad, ya que esta no parece estar en riesgo.

En el acuífero existen numerosas captaciones que podrían ser utilizadas como parte de la red de monitoreo, no obstante, a continuación se presenta una distribución de la que podría ser una red de monitoreo de piezometría y calidad.

La distribución propuesta está basada en la consecución de una red de monitoreo que permita el seguimiento piezométrico y de calidad en todo el acuífero de una forma regular.

En las zonas propuestas hay pozos existentes, no obstante para la creación de la red se necesitará, o bien la obtención de un permiso por parte de los propietarios de las captaciones, o bien de la creación de nuevos sondajes.

Se recomienda la medición del nivel freático y del registro de la calidad química de parámetros in situ (conductividad, pH y temperatura) con periodicidad mensual, y de un control menos preciso del contenido en nitratos y metales pesados.

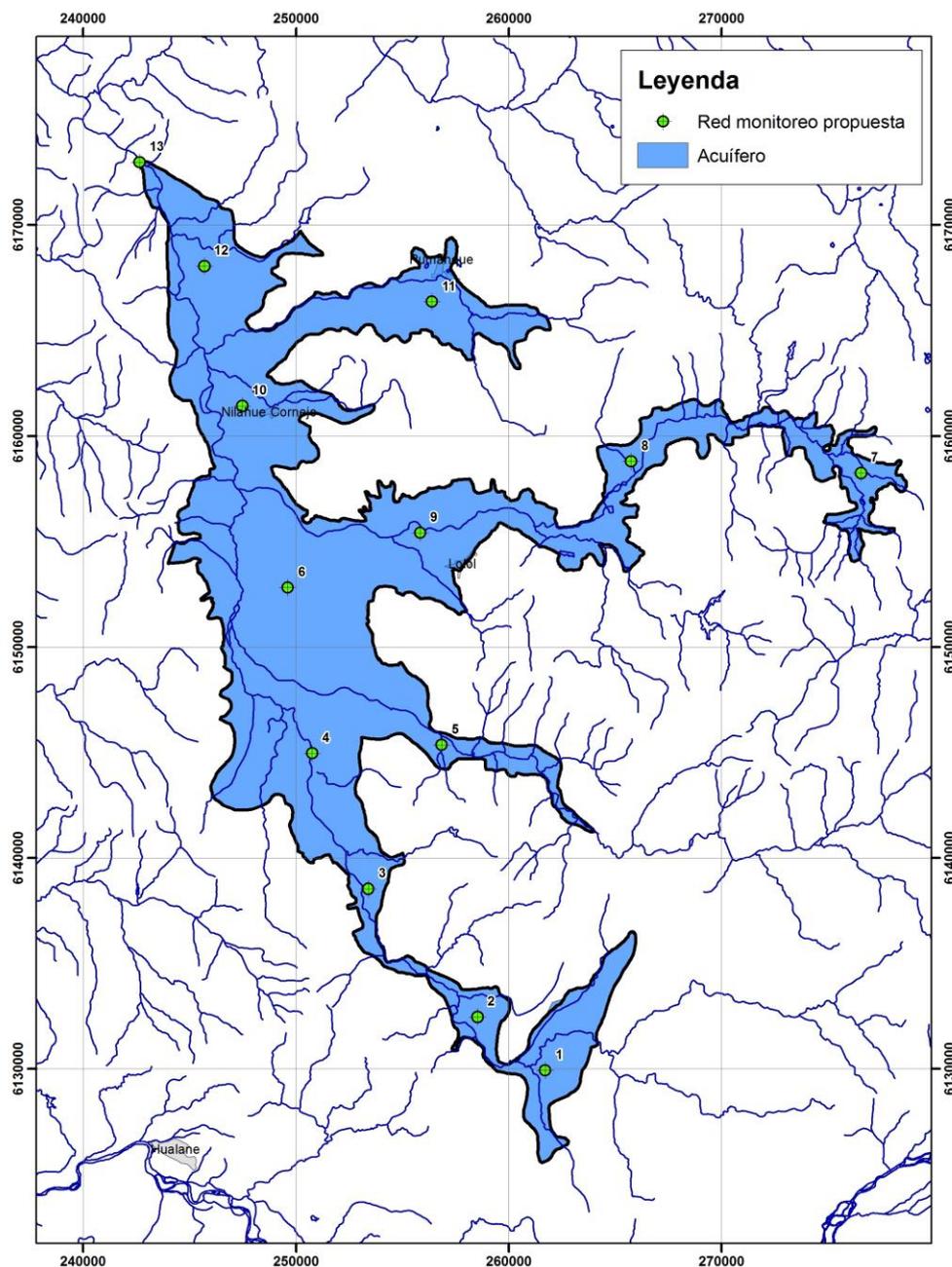


Figura 4. Propuesta de red de monitoreo en el acuífero Nilahue

11.2. ACUÍFERO DE TALCAHUANO

En el acuífero de Talcahuano no hay riesgo aparente de sobreexplotación, no obstante si se debería controlar la intrusión salina.

La distribución propuesta está basada en la consecución de una red de monitoreo que permita el seguimiento piezométrico y de calidad en todo el acuífero de una forma regular.

En las zonas propuestas no hay pozos existentes, por lo que se requiere de la ejecución de nuevos sondajes, salvo en los puntos 1 y 2, en los cuales se requeriría de la obtención de un permiso por parte de los propietarios de las captaciones (puntos 1 y 2).

Se recomienda la medición del nivel freático y del registro de la calidad química de parámetros in situ (conductividad, pH y temperatura) con periodicidad mensual, y de un control menos preciso del contenido en nitratos y metales pesados.

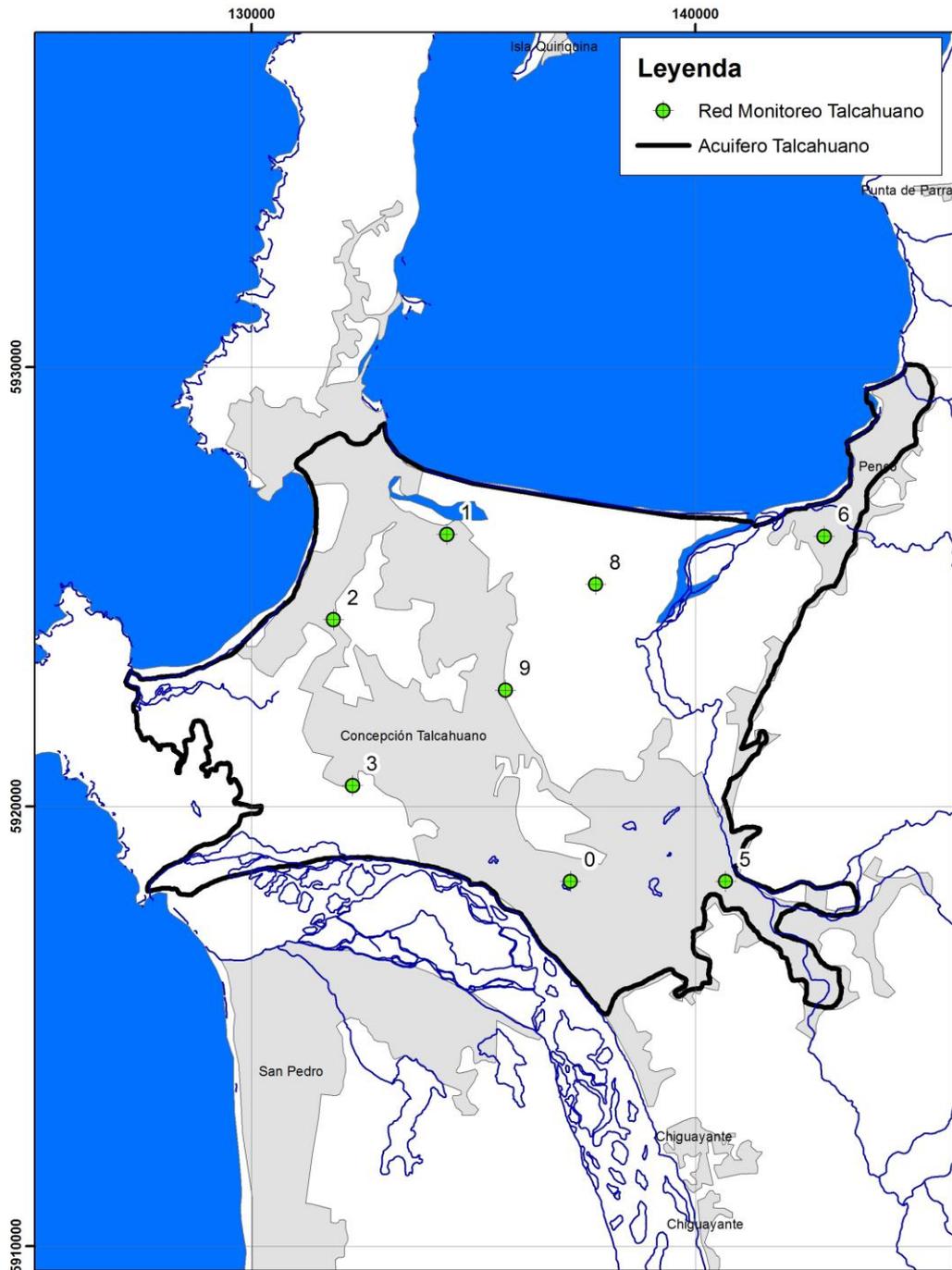


Figura 5. Propuesta de red de monitoreo en el acuífero Talcahuano

11.3. RESTO DE CUENCAS COSTERAS VIII REGIÓN

En el resto de las 7 cuencas la red propuesta consiste en 2 puntos de control de niveles y 1 punto de calidad por cada cuenca, a ubicar en el acuífero detrítico.

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente estudio ha generado un incremento significativo en el conocimiento hidrogeológico de los acuíferos de Nilahue y Talcahuano desde el punto de vista de su geometría, disponibilidad hídrica, calidad química, uso del agua y comportamiento hidrogeológico del sistema.

Respecto al resto de cuencas, el estudio ha supuesto también una mejora en el conocimiento hidrogeológico, de una forma más somera que los anteriores, pero que igualmente proporciona una idea del comportamiento de los acuíferos, sus balances hídricos e información disponible.

Los principales resultados obtenidos han sido los siguientes:

- Definición geométrica de acuíferos (antecedentes y geofísica)
- Disponibilidad hídrica de los acuíferos y cuencas aportantes (balance hídrico)
- Caracterización de la calidad química (muestreo de calidad)
- Determinación del uso del agua (catastro)
- Definición de las equipotenciales y flujos de agua subterránea (campaña de piezometría)
- Simulación del comportamiento hidrogeológico y simulación de escenarios (modelos numéricos)

Asimismo, en el presente estudio, a los efectos de ofrecer una herramienta de gestión lo más funcional posible para las labores propias de la Dirección General de Aguas, el balance hídrico realizado se ha sectorizado por cuencas aportantes, las que a su vez dependen de la aportación al sistema acuífero, pudiendo de esta forma conocer la recarga de cada subcuenca dentro del conjunto y cómo afectaría tanto a la cuenca como al acuífero la incorporación de nuevas extracciones en la zona de estudio.

El acuífero de Nilahue, atendiendo a los derechos constituidos, se considera sobreexplotado ya que la recarga evaluada en el sistema es inferior al caudal otorgado. No obstante, la explotación actual que se hace del mismo le permite estar en equilibrio, aunque con una afección al sistema superficial.

Los escenarios simulados en el acuífero Nilahue determinan que los derechos otorgados debieran ser del 50% para que no se produzcan

descensos generalizados en el acuífero para un periodo de 50 años. No obstante, bajo este escenario, la afección al sistema superficial sería fuerte, ya que la infiltración del río es una de las principales fuentes de recarga del acuífero.

Por otro lado, se recomienda revisar el criterio de afección al sistema superficial en el acuífero Nilahue, ya que este resulta muy limitante respecto a los recursos disponibles del acuífero, empleando por ejemplo otro límite distinto al 10% del caudal medio anual con 85% de probabilidad de excedencia.

Respecto al acuífero de Talcahuano, se puede concluir que tiene un comportamiento similar al de régimen natural, con un volumen de derechos otorgados sostenibles, que incluso se podrían incrementar en un 550%, además de poder crear nuevas zonas de explotación de pequeña entidad.

Asimismo, el acuífero de Talcahuano es de menor entidad que el de Nilahue, además de poder presentar riesgo de intrusión salina en caso de querer incrementar la demanda en la zona. Motivo por el cual se recomienda realizar un seguimiento de esta variable de forma más o menos continuada.

Cabe destacar que los escenarios simulados no resultan muy fiables puesto que los modelos han sido calibrados en régimen estacionario, y los escenarios simulados en transiente, además de que determinados supuestos pueden resultar poco confiables por tratarse de estimaciones.

Se recomienda obtener un registro continuo de los niveles en los acuíferos (medidas mensuales o cada dos meses) en distintos puntos de los acuíferos, además de una cuantificación de las explotaciones a nivel mensual para su posterior calibración en régimen transiente.

Asimismo, para el mejor ajuste y fiabilidad del modelo se recomienda la obtención de una topografía a escala 1:5.000 y una campaña de medición topográfica de precisión en los puntos de nivel observados.