



**GOBIERNO DE CHILE**  
**MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS**  
**DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS**

**DIRECCIÓN REGIONAL DE AGUAS – REGIÓN DEL MAULE**



## **CAPÍTULO 2. DIAGNÓSTICO DE OFERTA-DEMANDA HÍDRICA**

### **ANEXO 2.1. AGUAS SUBTERRÁNEAS**

---

**PLAN MAESTRO DE RECURSOS HÍDRICOS REGIÓN DEL MAULE**  
**Etapa 2. Diagnóstico de la situación actual.**

## ÍNDICE

	<b>página</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>8</b>
<b>2. FUENTES DOCUMENTALES</b>	<b>10</b>
<b>3. CONTEXTO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO DE LA REGIÓN VII DE MAULE</b>	<b>17</b>
<b>3.1. Fuentes documentales</b>	<b>17</b>
<b>3.2. Características geológicas y geomorfológicas</b>	<b>17</b>
<b>3.3. Características litológicas y permeabilidad de las formaciones</b>	<b>20</b>
<b>4. MAPA HIDROGEOLÓGICO</b>	<b>32</b>
<b>5. CARACTÉRISTICAS HIDROGEOLÓGICAS DE LA REGIÓN DE MAULE</b>	<b>41</b>
<b>5.1. Formaciones hidrogeológicas existentes</b>	<b>42</b>
5.1.1. Formaciones sedimentarias no consolidadas	42
5.1.2. Formaciones sedimentarias consolidadas	44
5.1.3. Formaciones metamórficas	46
5.1.4. Formaciones volcánicas y vulcano-sedimentarias	47
5.1.5. Formaciones ígneas	49
<b>5.2. Productividad de los Pozos. Zonificación</b>	<b>51</b>
<b>5.3. Acuíferos identificados y delimitados en la Región de Maule</b>	<b>56</b>
<b>6. ESTUDIO DE LOS ACUÍFEROS DE LA VII REGIÓN</b>	<b>59</b>
<b>6.1. Acuíferos en Costeras entre límite Norte y Mataquito. UPH 1</b>	<b>59</b>
6.1.1. Fuentes documentales	59
6.1.2. Características hidrogeológicas. Acuíferos	60
6.1.3. Características hidrodinámicas	64
6.1.4. Captaciones de agua subterránea. Explotaciones	64
6.1.5. Niveles de agua. Flujos subterráneos	65
6.1.6. Recarga subterránea. Balance hídrico	66
6.1.7. Reservas subterráneas	67
6.1.8. Modelización matemática	68
6.1.9. Calidad de las aguas subterráneas	68
6.1.10. Áreas de protección ecológica asociadas a descargas subterráneas	68
<b>6.2. Acuíferos en la Cuenca Alta del Mataquito. UPH 2</b>	<b>70</b>
6.2.1. Fuentes documentales	70
6.2.2. Características hidrogeológicas. Acuíferos	70
6.2.3. Características hidrodinámicas	78
6.2.4. Captaciones de agua subterránea. Explotaciones	78
6.2.5. Niveles de agua. Flujos subterráneos	80
6.2.6. Recarga subterránea. Balance hídrico	83
6.2.7. Reservas subterráneas	86
6.2.8. Modelización matemática	86
6.2.9. Calidad de las aguas subterráneas	88
6.2.10. Áreas de protección ecológica asociadas a descargas subterráneas	89
<b>6.3. Acuíferos en la Cuenca Baja del Mataquito. UPH 3</b>	<b>89</b>
6.3.1. Características hidrogeológicas. Acuíferos	89

6.3.2. Características hidrodinámicas	96
6.3.3. Captaciones de agua subterránea. Explotaciones	96
6.3.4. Recarga subterránea. Balance hídrico	100
6.3.5. Reservas subterráneas	103
6.3.6. Modelización matemática	104
6.3.7. Calidad de las aguas subterráneas	105
6.3.8. Áreas de protección ecológica asociadas a descargas subterráneas	106
<b>6.4. Acuíferos en Costeras Mataquito-Maule. UPH 4</b>	<b>107</b>
6.4.1. Características hidrogeológicas. Acuíferos	107
6.4.2. Características hidrodinámicas	112
6.4.3. Captaciones de agua subterránea. Explotaciones	112
6.4.4. Reservas subterráneas	116
6.4.5. Modelización matemática	116
6.4.6. Calidad de las aguas subterráneas	116
6.4.7. Áreas de protección ecológica asociadas a descargas subterráneas	117
<b>6.5. Acuíferos en la Cuenca Alta del Maule. UPH 5</b>	<b>118</b>
6.5.1. Características hidrogeológicas. Acuíferos	119
6.5.2. Características hidrodinámicas	125
6.5.3. Captaciones de agua subterránea. Explotaciones	126
6.5.4. Niveles de agua. Flujos subterráneos	126
6.5.5. Recarga subterránea. Balance hídrico	127
6.5.6. Reservas subterráneas	129
6.5.7. Modelización matemática	129
6.5.8. Calidad de las aguas subterráneas	129
6.5.9. Áreas de protección ecológica asociadas a descargas subterráneas	130
<b>6.6. Acuíferos en la Cuenca Media y Baja del Maule. UPH 6</b>	<b>131</b>
6.6.1. Características hidrogeológicas. Acuíferos	131
6.6.2. Características hidrodinámicas	141
6.6.3. Captaciones de agua subterránea. Explotaciones	142
6.6.4. Niveles de agua. Flujos subterráneos	144
6.6.5. Recarga subterránea. Balance hídrico	147
6.6.6. Reservas subterráneas	150
6.6.7. Modelización matemática	151
6.6.8. Calidad de las aguas subterráneas	151
6.6.9. Áreas de protección ecológica asociadas a descargas subterráneas	151
<b>6.7. Acuíferos en la Cuenca del Perquilauquén. UPH 7</b>	<b>152</b>
6.7.1. Características hidrogeológicas. Acuíferos	152
6.7.2. Características hidrodinámicas	158
6.7.3. Captaciones de agua subterránea. Explotaciones	159
6.7.4. Niveles de agua. Flujos subterráneos	161
6.7.5. Recarga subterránea. Balance hídrico	164
6.7.6. Reservas subterráneas	167
6.7.7. Modelización matemática	168

6.7.8. Calidad de las aguas subterráneas	168
6.7.9. Áreas de protección ecológica asociadas a descargas subterráneas	169
<b>6.8. Acuíferos en la Cuenca del Loncomilla. UPH 8</b>	<b>169</b>
6.8.1. Características hidrogeológicas. Acuíferos	169
6.8.2. Características hidrodinámicas	175
6.8.3. Captaciones de agua subterránea. Explotaciones	176
6.8.4. Niveles de agua. Flujos subterráneos	178
6.8.5. Recarga subterránea. Balance hídrico	180
6.8.6. Reservas subterráneas	183
6.8.7. Modelización matemática	184
6.8.8. Calidad de las aguas subterráneas	184
6.8.9. Áreas de protección ecológica asociadas a descargas subterráneas	184
<b>6.9. Acuíferos en Costeras entre río Maule y límite Sur. UPH 9</b>	<b>185</b>
6.9.1. Características hidrogeológicas. Acuíferos	185
6.9.2. Características hidrodinámicas	192
6.9.3. Captaciones de agua subterránea. Explotaciones	192
6.9.4. Niveles de agua. Flujos subterráneos	193
6.9.5. Recarga subterránea. Balance hídrico	194
6.9.6. Reservas subterráneas	196
6.9.7. Modelización matemática	197
6.9.8. Calidad de las aguas subterráneas	197
6.9.9. Áreas de protección ecológica asociadas a descargas subterráneas	197
<b>6.10. Síntesis del estudio de los acuíferos de la VII Región</b>	<b>198</b>
<b>7. RESUMEN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS REGIÓN VII DEL MAULE</b>	<b>211</b>

## ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 3.1. Mapa geológico de la Región del Maule	21
Mapa 4.1. Mapa hidrogeológico de la Región del Maule	33
Mapa 5.1. Productividad de pozos. Zonificación	52
Mapa 5.2. Mapa de acuíferos de la Región del Maule	57
Mapa 6.1. Mapa Hidrogeológico de la Costera entre límite Región y Mataquito	62
Mapa 6.2. Situación geográfica del acuífero A1 Jurásico-Triásico costero	63
Mapa 6.3. Mapa Hidrogeológico de la Cuenca Alta del Mataquito	74
Mapa 6.4. Situación geográfica de los acuíferos en la UPH 2	75
Mapa 6.5. Mapa Piezométrico de la Cuenca Alta del Mataquito	81
Mapa 6.6. Mallado de Modelo Teno-Lontué	87
Mapa 6.7. Mapa Hidrogeológico de la Cuenca Baja del Mataquito	93
Mapa 6.8. Situación geográfica de los acuíferos en la UPH3	94
Mapa 6.9. Mapa Piezométrico de la Cuenca Baja del Mataquito	99
Mapa 6.10. Mallado del Modelo Mataquito	105
Mapa 6.11. Mapa Hidrogeológico de la Costera entre ríos Mataquito y Maule	110

Mapa 6.12. Situación geográfica del acuífero A7 Depósitos sedimentarios franja costera	111
Mapa 6.13. Mapa Hidrogeológico de la Cuenca Alta del Maule	122
Mapa 6.14. Situación geográfica de los acuíferos en la UPH 5	124
Mapa 6.15. Mapa Hidrogeológico de la Cuenca Media y Baja del Maule	136
Mapa 6.16. Situación geográfica de los acuíferos en la UPH6	140
Mapa 6.17. Mapa Piezométrico de la Cuenca Media y Baja del Maule	145
Mapa 6.18. Mapa Hidrogeológico de la Cuenca del Perquilauquén (UPH 7)	155
Mapa 6.19. Situación geográfica de los acuíferos en la UPH 7	158
Mapa 6.20. Mapa Piezométrico de la Cuenca del Perquilauquén	162
Mapa 6.21. Mapa Hidrogeológico de la Cuenca del Loncomilla (UPH 8)	173
Mapa 6.22. Situación geográfica de los acuíferos en la UPH8	175
Mapa 6.23. Mapa Piezométrico de la Cuenca del Loncomilla	179
Mapa 6.24. Mapa Hidrogeológico de la Costera entre Maule y límite Sur	188
Mapa 6.25. Situación de los acuíferos en la UPH 9	191

## **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 3.1. Formaciones geológicas que afloran en la VII Región	22
Tabla 4.1. Formaciones hidrogeológicas que afloran en la VII Región Maule	35
Tabla 5.1. Extracciones de agua subterránea en la Región de Maule	54
Tabla 5.2. Acuíferos identificados en la Región de Maule	58
Tabla 6.1. Infiltración de agua subterránea en la Costera límite Región-Mataquito	66
Tabla 6.2. Caudales de extracción estimados en los acuíferos A3 y A4 de la Cuenca Alta del Mataquito	80
Tabla 6.3. Profundidad del nivel estático en los acuíferos A3 y A4	82
Tabla 6.4. Infiltración de agua subterránea en la Cuenca Alta del Mataquito	84
Tabla 6.5. Balance hídrico de los Acuíferos A3 y A4	85
Tabla 6.6. Reservas de agua subterránea en los acuíferos de la Cuenca Alta del Mataquito	86
Tabla 6.7. Pozos de monitoreo en la Cuenca Baja del Mataquito	88
Tabla 6.8. Caudales de extracción estimados en el acuífero A5. Cuenca Baja del Mataquito	97
Tabla 6.9. Profundidad del nivel estático en el acuífero A5	99
Tabla 6.10. Infiltración de agua subterránea en la Cuenca Baja del Mataquito	101
Tabla 6.11. Balance Hídrico del Acuíferos A5 Aluvial del Bajo Mataquito	102
Tabla 6.12. Balance Hídrico del Acuíferos A6 Jurásico y Triásico del Bajo Mataquito	103
Tabla 6.13. Reservas de agua subterránea en los acuíferos de la Cuenca Baja del Mataquito	104
Tabla 6.14. Pozos de monitoreo en la Cuenca Alta del Mataquito	106
Tabla 6.15. Infiltración de agua subterránea en la Costera Mataquito-Maule	114
Tabla 6.16. Balance Hídrico del Acuíferos A7 Depósitos sedimentarios franja costera	116
Tabla 6.17. Infiltración de agua subterránea en la Cuenca Alta del Maule	128
Tabla 6.18. Balance Hídrico Subterráneo de la UPH 5	129

Tabla 6.19. Parámetros elásticos de los acuíferos en la Cuenca Media y Baja del Maule	141
Tabla 6.20. Caudales de extracción estimados en la UPH 6, según uso	143
Tabla 6.21. Caudales de extracción estimados en la UPH 6, por acuífero	144
Tabla 6.22. Infiltración de agua subterránea en la Cuenca Media y Baja del Maule	147
Tabla 6.23. Balance Hídrico Subterráneo de la UPH 6	148
Tabla 6.24. Reservas de agua subterránea en los acuíferos de la Cuenca Media y Baja del Maule	150
Tabla 6.25. Parámetros hidrodinámicos de los acuíferos en la Cuenca del Perquilauquén	159
Tabla 6.26. Caudales de extracción estimados en la UPH 7, según su uso	161
Tabla 6.27. Caudales de extracción estimados en la UPH 7, por zonas	161
Tabla 6.28. Parámetros hidrológicos de la Cuenca del Perquilauquén	164
Tabla 6.29. Infiltración de agua subterránea en la UPH 7	165
Tabla 6.30. Balance Hídrico Subterráneo de la UPH 7	166
Tabla 6.31. Caudales de extracción estimados en la UPH 8, según uso	178
Tabla 6.32. Infiltración de agua subterránea en la UPH 8	181
Tabla 6.33. Balance Hídrico Subterráneo de la UPH 8	182
Tabla 6.34. Infiltración de agua subterránea en la UPH 9	194
Tabla 6.35. Balance Hídrico Subterráneo de la UPH 9	195
Tabla 6.36. Síntesis de los datos hidrogeológicos más relevantes de los acuíferos	199
Tabla 6.37. Explotación de acuíferos y calidad de sus aguas	203
Tabla 6.38. Situación aguas subterráneas en la Región VII Maule	205
Tabla 7.1. Situación de las aguas subterráneas en los acuíferos de la VII Región del Maule	
	211

### ÍNDICE DE FOTOS

Foto 6.1. Complejo de la Laguna Torca	69
Foto 6.2. Lago Vichuquén	69
Foto 6.3. Lagunas occidental y oriental de Teno	89
Foto 6.4. Desembocadura del río Mataquito	107
Foto 6.5. Humedal de Putú	117
Foto 6.6. Humedal de Cuchi	117
Foto 6.7. Laguna del Maule	130
Foto 6.8. Laguna de la Invernada	130
Foto 6.9. Laguna de Aguas Calientes	131
Foto 6.10. Laguna Dial	131
Foto 6.11. Lago Colbún (embalse) en el río Maule	152
Foto 6.12. Embalse Digua (río Castillo)	169
Foto 6.13. Embalse Bullileo	185
Foto 6.14. Laguna Archibueno	185
Foto 6.15. Laguna Reloca	197
Foto 6.16. Ciénaga de Name	197

## RELACIÓN DE ABREVIATURAS

- CNR:** Comisión Nacional de Riego  
**CAM:** Cuenca Alta del Maule  
**CMBM:** Cuenca Media y Baja del Maule  
**DAA:** Derechos de Aprovechamiento de Aguas  
**DGA:** Dirección General del Agua  
**Doc:** documento  
**IICA:** Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura  
**IGME:** Instituto Geológico y Minero de España  
**K:** Permeabilidad de los materiales (aguas subterráneas)  
**MGRM:** Mapa Geológico de la Región de Maule  
**MHRM:** Mapa Hidrogeológico de la Región de Maule  
**MOPU:** Ministerio de Obras Públicas  
**NP:** Nivel piezométrico (aguas subterráneas)  
**PMRHM:** Plan Maestro de los Recursos Hídricos de la Región del Maule  
**S:** Coeficiente de almacenamiento (aguas subterráneas)  
**SNGM:** Servicio Nacional de Geología y Minería  
**T:** Transmisividad de los acuíferos (aguas subterráneas)  
**UPH:** Unidad de Planificación Hídrica

## 1. INTRODUCCIÓN

Las aguas subterráneas se encuentran integradas en el conjunto de los recursos hídricos existentes en la Región del Maule, de tal modo que el balance de su recarga (infiltración), explotación artificial mediante las captaciones existentes y los afloramientos de agua a los ríos (descargas), está integrado dentro del balance global que se hace en cada una de las nueve UPH delimitadas en la Región.

Para la redacción del capítulo correspondiente a la situación en la que se encuentran las aguas subterráneas en la Región del Maule, se ha realizado un análisis detallado de las características hidrogeológicas e hidrodinámicas de las diferentes formaciones geológicas que afloran en la zona y de los acuíferos diferenciados en las cuencas de los ríos Maule y Mataquito, así como en las tres cuencas costeras de la Región. Las fuentes de información han sido los informes consultados (31), sobre estudios hidrogeológicos realizados en relación con las aguas subterráneas en el ámbito de las cuencas hidrológicas que configuran la Región VII Maule.

Para ello, se han tenido en cuenta, preferentemente, los datos más recientes tomados, medidos y elaborados, en los estudios ya realizados, así como aquellos otros que, aunque sean más antiguos, también pudiesen reflejar las características de los acuíferos, en cuanto a su evolución en el tiempo de la cantidad y calidad del agua subterránea almacenada en los mismos. Con este detenido análisis, se han obtenido datos, sobre los siguientes aspectos:

- Las características geológicas de las cuencas (extensión y geometría de las formaciones geológicas aflorantes en ellas).
- El contexto hidrogeológico de la Región, permeabilidad de las formaciones, sectores acuíferos diferenciados, posición de los niveles de agua que se encuentran en ellos (mapas de flujos y piezometría).
- Las características hidrogeológicas e hidrodinámicas de los acuíferos (permeabilidad, transmisividad, coeficiente de almacenamiento), áreas de recarga y descarga natural de los mismos, orientación de los flujos subterráneos. Posibles relaciones hidrodinámicas entre acuíferos contiguos entre sí.
- Las captaciones de agua autorizadas para la explotación de las aguas subterráneas, caudales de explotación otorgados, los usos a los que se destina el agua y las demandas de agua subterránea solicitadas. Estimación del grado de explotación de los acuíferos.
- Las características de obra de estas captaciones (pozos, sondeos, punteras, manantiales), como: la profundidad alcanzada en su construcción, litología de los materiales perforados, niveles estáticos y dinámicos medidos en ellos.

- La estimación de la recarga anual de agua en los acuíferos (volúmenes sustentables) y balances de la situación hídrica de los acuíferos, para un año hidrológico de tipo medio.
- En base a la geometría de los acuíferos y de la porosidad de los materiales que los conforman, se ha efectuado una estimación de los volúmenes de agua subterránea almacenados en ellos (reservas subterráneas).
- El análisis de las modelaciones matemáticas realizadas, del funcionamiento hidrogeológico e hidrodinámico de algunos de los acuíferos delimitados en las cuencas de la Región (río Mataquito y Maule).
- El análisis de la calidad química y bacteriológica, que en la actualidad presentan las aguas subterráneas, en base a las analíticas realizadas a las aguas tomadas de algunas de las captaciones de aguas subterráneas existentes en la Región.
- La identificación y localización de las áreas de protección ecológica asociada a las descargas naturales de las aguas subterráneas de los acuíferos

Todos estos datos referenciados, obtenidos de cada uno de los informes realizados hasta la fecha, han sido contrastados y analizados con detalle, al objeto de seleccionar y utilizar, para la interpretación hidrogeológica de la Región VII, aquellos datos que mejor representan en la actualidad las características hidrogeológicas e hidrodinámicas de los sectores acuíferos diferenciados en las 9 UPH de la Región.

La finalidad de ello, ha sido la de reflejar la situación hidrodinámica en la que actualmente se encuentran los diferentes acuíferos identificados y delimitados (explotación, balance hídrico, situación de los niveles piezométricos, disponibilidades de agua) y proyectar su evolución hacia el futuro, para satisfacer, con garantía, las demandas de agua subterránea que se les requieran.

Los datos seleccionados son expuestos en cuadros resumen, que reflejen la situación en la que se hallan las aguas subterráneas, en cada una de las nueve Unidades de Planificación Hidráulica que han sido utilizadas en el presente estudio, para la confección del PMRH de la Región de Maule.

Mediante el SIG, y a partir del Mapa Geológico Nacional de Chile, a escala 1:1.000.000, se ha elaborado un Mapa Geológico de la Región del Maule (Mapa 3.1), distinguiendo las formaciones geológicas aflorantes, en cuanto a su tipo de litología (sedimentaria, metamórfica, volcánica e intrusiva) y edad crono-estratigráfica que presentan. A partir de este mapa geológico, y teniendo en cuenta las características de permeabilidad de las diferentes formaciones geológicas aflorantes, así como de las características hidrogeológicas de los pozos inventariados y ubicados sobre ellas, se ha elaborado el Mapa Hidrogeológico de la Región del Maule (Mapa 4.1). La cartografía hidrogeológica de las formaciones se ha

realizado teniendo en cuenta el grado (muy alto, alto, medio, bajo, muy bajo) y tipo de permeabilidad que estas presentan (por porosidad intersticial y/o fracturación, fisuración); como leyenda, se incluye un cuadro detallado de las mismas.

En función del mapa hidrogeológico confeccionado, se ha podido observar la ubicación, geometría y características litológicas de otras potenciales formaciones acuíferas, que en la actualidad no son explotadas (ausencia de captaciones de agua subterránea en ellas), y que pudiesen serlo en un futuro, si las necesidades de agua, de algunas zonas de la Región VII, así lo requiriesen.

## 2. FUENTES DOCUMENTALES

Aunque algunas de ellas ya se comentaron en el informe correspondiente a la ETAPA 1. LEVANTAMIENTO, RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN, se ha preferido explicitar y comentar todas las fuentes consultadas y analizadas para que el presente documento sea autoexplicativo, en lo que se refiere a recursos hídricos subterráneos en la Región de Maule. El archivo documental empleado en el presente Plan identifica los estudios analizados mediante un código (RH015) para cada uno de ellos. En definitiva, las fuentes documentales utilizadas han sido las siguientes:

- **(RH015) Exploración de los recursos hídricos subterráneos. Región VII. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. 1999.** Incluye estudio hidrológico e hidrogeológico, demandas de agua y balance hídrico del total de los recursos hídricos, incluyendo los subterráneos, por cuencas y subcuencas; modelo de simulación del sistema del río Cauquenes; inventario y medidas del nivel piezométrico en 290 puntos de agua subterránea; parámetros elásticos en 8 puntos; datos de calidad del agua en 37 pozos de la Región; estudio geofísico en el río Cauquenes (perfils geofísicos). Presenta interés para el conocimiento de las cuencas de los ríos Maule, Mataquito y Cauquenes, aunque con datos del 1999, así como para conocer la geometría en profundidad del valle del río Cauquenes (perfils geofísicos). Presenta datos de 290 puntos de agua inventariados (no se dispone del shp de las captaciones). Considera 3 sectores acuíferos en la cuenca del río Maule.
- **(RH020) Diagnóstico de Recursos Hídricos de Secano Interior y Costero VI a VIII Región.** Comisión Nacional de Riego, 2003. Memoria con Anexos y Planos. Incluye estudio hidrogeológico, con buena descripción geológica, catastro de captaciones con coordenadas (10 tablas), parámetros elásticos de los acuíferos y calidad de las aguas superficiales y subterráneas. Presenta interés para zonas Costeras de la Cordillera de la Costa y parte del Valle Central. Contiene una buena descripción geológica de la zona de estudio y datos de inventario de pozos, con coordenadas. (No se dispone del shp de las captaciones)
- **(RH030) Bases Plan Director para la Gestión de los Recursos Hídricos en la cuenca del río Maule, Diagnóstico.** Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. MOPU-DGA, 2003.

Resumen Ejecutivo. Diagnóstico aguas subterráneas, Demandas de agua por sectores productivos, Cantidad de recursos hídricos, Calidad del agua, Balances cuenca río Maule. Mapa de isoprofundidades al nivel de agua en diferentes puntos del acuífero. Informe resumen, de interés para el balance RRHH en 2003 de la cuenca del Maule. Útil para analizar la evolución de las demandas de agua desde el 2003 a la actualidad.

- **(RH040) Asesoría para el complemento y actualización de la Modelación Hidrológica de la cuenca del río Maule.** Rohdos, Asesorías y Proyectos Ltda. MOPU-DGA, 2004. Se trata de un estudio para complementar y actualizar la información que es necesaria generar como información de entrada al modelo matemático de simulación hidrológica MAGIC, mediante la generación de las matrices de datos de entrada que permiten representar los sistemas de riego. Incluye un análisis de los riegos existentes y sus demandas de agua en la cuenca del río Maule.
- **(RH080) Plan Director para la Gestión de los Recursos Hídricos de la Cuenca del río Maule. Fase II: Actualización del Modelo de operación del sistema y formulación del Plan.** Luis Arrau del Canto. Consultores en Ingeniería Hidráulica y de Riegos. DGA. Dpto. de Estudios y Planificación. 2008. Incluye mapa con 25 sectores acuíferos, variación del volumen del sistema acuífero (balances: flujos de entrada y salida de agua), pruebas de infiltración, derechos de aguas subterráneas (catastro de aguas, Anexo 3-6), demanda de agua, factor de uso del agua subterránea, oferta de recursos hídricos (recursos subterráneos), calidad del agua, modelización analítica genérica e integrada de la cuenca (MAGIC), formulación del Plan Director. Resulta interesante para el conocimiento de la cuenca del río Maule. Define 25 sectores acuíferos, en la modelización integrada de la cuenca del Maule (modelo MAGIC), con datos del catastro de pozos, con derechos de agua concedidos. Se dispone de los archivos en formato shape del proyecto.
- **(RH060) Estudio e Implementación de Modelos Hidrogeológicos Acoplados a SIG, para el Manejo y Planificación, Cuenca del Maule, Mataquito e Itata.** GCF Ingenieros Limitada. CNR, 2006. Resumen Ejecutivo. El objeto del estudio es el revisar y mejorar la actual aplicación Interfaz SIG-MAGIC. Evaluación de la información faltante. Generar la información necesaria para el correcto funcionamiento. Calibrar y validar modelos complementarios. Sin interés para el estudio de las aguas subterráneas.
- **(RH070) Estimaciones de Demanda de Agua y Proyecciones Futuras. Zona II. Regiones V a XII y Región Metropolitana.** Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. MOPU-DGA, 2007. Memoria. Estimación de la demanda de agua en 2006 para diferentes usos (potable urbana y rural, agrícola, industrial, minera, turismo, acuícola, caudales ecológicos en cauces). Análisis del uso actual de los RRHH (determinación, entre otros, de la ETP y precipitación efectiva). Proyecciones de la demanda por sectores, a 10 y 25 años (2016 y 2031). Interés, para evaluación de la demanda y usos de agua en la Región VII, por cuencas y subcuencas: Costera entre límite regional-Mataquito, río Mataquito, Costera Mataquito-Maule, río Maule, Costera Maule-límite Región.

- **(RH090) Diagnóstico de Caudales Disponibles en Cuencas no controladas de Recuperación, Cuencas de Maule, Mataquitos y Rapel.** GCF Ingenieros Consultores Ltda. CNR, 2008. Memoria. Resumen Ejecutivo. Metodología para cuantificar los caudales en las zonas de recuperación mediante interfaz SIG-MAGIC. Datos de Acuíferos (geometría, geofísica, parámetros, gradientes, afloramientos de agua) y Pozos. Datos de acuíferos extraídos de otros informes previos realizados.
- **(RH100) Levantamiento de información Hidrogeológica para Modelización cuenca del río Maule.** GCF Ingenieros Limitada. MOPU-DGA, 2010. Memoria con Anexos y Planos: Catastro captaciones, Geología-Geomorfología (mapa), Geofísica, Caracterización de los acuíferos (extensión), Identificación de afloramientos, Demandas de agua, Derechos en trámite, Parámetros elásticos. Incluye mapa hidrogeológico de la cuenca del Maule; geofísica realizada (gravimetría) y perfiles geológicos dibujados en base a la misma; caracterización de 16 sectores acuíferos; balances de los mismos (recargas y descargas); inventario y medidas de NP de 200 captaciones; parámetros hidrogeológicos; modelo conceptual de los acuíferos y mallas para el modelo matemático a realizar. (No incluye la modelización matemática de acuíferos de la cuenca). Resulta interesante para el conocimiento de la hidrogeología global de la cuenca del río Maule, incluyendo información sobre la geometría del valle central de la cuenca, en base a la geofísica y perfiles geológicos realizados. Considera 16 sectores acuíferos dentro de la cuenca del Maule y recoge datos del inventario de 200 pozos. (No se dispone de los archivos en formato shape para el SIG)
- **(RH110) Plan Regional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021. MOPU, 2012. Memoria, Planos, Resumen Ejecutivo.** Define 6 sistemas acuíferos en la Región de Maule: 2 en la cuenca del Maule (Norte y Sur, con límite en el cauce del río) y 4 en la cuenca del Mataquito (río Mataquito, estero Curepto, río Teno y río Lontué). Incluye disponibilidades hídricas (recursos) por cuenca; diagnóstico de la demanda, plano con la delimitación de 7 Unidades Territoriales Homogéneas en la cuenca Maule; planificación de la gestión de los recursos hídricos de la Región VII y proyección de los recursos hídricos al año 2021.
- **(RH130) Estudio hidrogeológico cuenca del río Mataquito.** Aquaterra Ingenieros. 2012. Memoria, Planos, Anexos (Hidrología, Hidrogeología, Geofísica, Inventario Captaciones, Modelo de Recarga, SIG, Figuras) y Resumen Ejecutivo. Datos para la ejecución de un modelo matemático (MODFLOW), en los ríos Mataquito y Teno-Lontue: geometría del acuífero, en base a la geofísica (gravimetría) realizada, inventario de 201 pozos (fichas de pozos), datos de parámetros elásticos de acuíferos (permeabilidad, transmisividad, coeficiente de almacenamiento), niveles de agua, aforos de cursos de agua, estimación recarga, derechos de aguas subterráneas, límites del modelo. Definición de 2 unidades hidrogeológicas: acuífero Teno-Lontue (interconectados) y acuífero Mataquito. Aborda el estudio detallado hidrogeológico de la cuenca del Mataquito mediante



un modelo conceptual y matemático del flujo subterráneo en el acuífero aluvial. Proporciona datos interesantes para la hidrogeología global de la cuenca del río Mataquito, definiendo las unidades hidrogeológicas y la geometría del valle medio y bajo del río Mataquito, en base a la geofísica realizada (gravimetría). La explotación del acuífero Tenolontué, considerada en el escenario de calibración, incluyó las captaciones que tenían sus derechos constituidos entonces (2012), ascendiendo a 4,5 m<sup>3</sup>/s (cifra ponderada por los respectivos factores de uso). Si no se considera factores de uso, el caudal teóricamente explotable ascendería a 9,9 m<sup>3</sup>/s. Los resultados obtenidos por el modelo permitieron establecer una relación de tipo lineal entre caudal de explotación y el descenso del nivel estático. Interés, para la Geología e Hidrogeología global de la cuenca del río Mataquito. Definición de unidades hidrogeológicas y de la geometría del valle medio y bajo del río Mataquito, en base a la geofísica realizada (gravimetría). Modelización matemática del flujo subterráneo en el acuífero aluvial. Inventario de pozos. (Se dispone de los archivos en formato shape del estudio, incluida las de las 201 captaciones de agua subterránea inventariadas).

- **(RH135) Región del Maule y sus desafíos en la gestión del recurso.** MOPU-DGA, 2013. Láminas de presentación (tipo Power Point). Generalidades de la Región, por cuencas. Organismos de control y Proyectos en marcha. Informe divulgativo. Interés bajo.
- **(RH150) Evaluación de los recursos hídricos subterráneos. Sectores acuíferos Maule Medio Norte y Maule Medio Sur. Informe Técnico Nº 305. DARH - SDT Nº 362. 2014. Memoria y Anexos.** Se trata de un estudio basado en los valores de recarga utilizados en el estudio Balance Hídrico Preliminar Acuífero Río Maule SDT Nº 139 de 2011, realizado por la División de Estudios y Planificación de la DGA, y tiene por objeto determinar la disponibilidad de recursos subterráneos para satisfacer los derechos de usos existentes. Incluye la caracterización hidrogeológica del río Maule. Divide la cuenca del Maule en dos sectores, Maule Norte y Maule Sur. Estima la Recarga neta y evalúa la Demanda de recursos subterráneos, a partir de los otorgamientos concedidos (69 tablas excel, en Anexo), por sectores acuíferos. Determina la disponibilidad de agua. Presenta Mapa de isopiezas del valle central del río Maule. Determina para ambos sectores, Maule Medio Norte y Maule Medio Sur, la recarga neta en 15 m<sup>3</sup>/s (473 hm<sup>3</sup>/año) y 43 m<sup>3</sup>/s (1 356 hm<sup>3</sup>/año), respectivamente. La estimación de la demanda de recursos subterráneos se realizó en base a otorgamientos concedidos, que ascienden a 306 hm<sup>3</sup>/año en el Maule Medio Norte y 529 hm<sup>3</sup>/año en el Maule Medio Sur. El balance entre la recarga neta y la demanda comprometida arroja una disponibilidad de agua de 167 hm<sup>3</sup>/año en el Maule Medio Norte, y 827 hm<sup>3</sup>/año en el Maule Medio Sur. Como conclusión, el Estudio determina que existen recursos suficientes para atender las demandas de agua subterránea actuales e incluso para atender nuevos derechos, gracias al alto monto de recarga anual.
- **(EH030) Mejora y ampliación de Red de Aguas Subterráneas, Regiones VII a X.** Conic BF Ingenieros Civiles Consultores Ltda. MOPU-DGA, 2010. Memoria con Planos.

Buena Geología de los ríos Mataquito y Maule; definición de acuíferos (perfiles hidrogeológicos del río Mataquito); mapa con distribución de zonas permeables; medidas del NP en 2003, en 64 puntos de la cuenca del Maule, mapa de equipotenciales; propuestas de nueva Red; buena relación de informes anteriores realizados. Región VII Maule. De interés para conocimiento de geología, definición de acuíferos y evolución del NP en las cuencas del Mataquito y Maule. (De los puntos con medidas del NP no se dispone de las coordenadas).

- **(EH040) Análisis crítico de las Redes Hidrométricas, Regiones V a VII y Región Metropolitana.** KRAL Consultores Limitada. MOPU-DGA, 2013. Memoria. Propuesta de control del nivel piezométrico en cuenca del Maule (16 puntos en 16 sectores acuíferos) y C. Mataquito (6 puntos). Estimación de costes de las instalaciones. Situación en el Google Map de 4 puntos. Interés para analizar la idoneidad de la red de control piezométrico propuesta en las cuencas del Mataquito y Maule. (No se dispone de las coordenadas de los puntos propuestos, por lo que no se puede ver su situación dentro de las cuencas y acuíferos). Considera 16 sectores acuíferos en la cuenca del Maule.
- **(SAP010) Diagnóstico actual del Riego y Drenaje en Chile y su proyección. Diagnóstico del riego y drenaje en la VII Región.** Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. AC Ingenieros Consultores Ltda. CNR, 2003. Memoria con Anexos. Evaluación de RRHH subterráneos, en cuencas del Maule (17 sectores acuíferos), Mataquito y Costeras (4 zonas). Distribución de cuencas y subcuenca, distribución administrativa (poblaciones); clima (distritos agroclimáticos); suelos (geología y geomorfología); recursos hídricos (cuencas del Maule, Mataquito y Costeras); aguas subterráneas (formaciones acuíferas, situación NP, parámetros hidráulicos); aguas servidas, tratadas; calidad de las aguas subterráneas; riego y drenaje (cartera de proyectos de riego y drenaje). Interés para conocer el contexto hidrogeológico de cuencas del Maule, Mataquito y Costeras, y para analizar evolución de los RRHH entre 2003 y la actualidad, en la Región de Maule. Se contemplan 17 sectores acuíferos en la cuenca del río Maule y 4 zonas Costeras
- **(CA055) Estudio de Calidad de Aguas Subterráneas de Huasco y Mataquito.** GCF Ingenieros Limitada CNR, 2006. Memoria, Planos. Resumen Ejecutivo. Presentación en Power Point. Actividades potencialmente contaminantes, uso actual del suelo, identificación y análisis de potenciales contaminantes, análisis hidrogeológico, análisis agronómico, demandas de agua, alternativas productivas con aguas subterráneas, calidad de las aguas subterráneas. Modelamiento hidrogeológico de las cuencas Mataquito y Huasco mediante el Visual MODFLOW (mapa de equipotenciales y NP del acuífero aluvial). Análisis de escenarios de contaminación (modelación con el programa WHI Unsat Suite Plus). Interés para ver la calidad del agua del río Mataquito y la configuración hidrogeológica del mismo, en su sector central y valle bajo, a través del Visual MODFLOW (planos de discretización de celdas y resultados del trazado de equipotenciales del NP, son los datos que se incluyen de la modelización realizada).

- **(RH018) Estudio Hidrogeológico de Secano Interior y Costero. Regiones VI, VII y VIII.** GCF Ingenieros Limitada. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. IICA, 2002. Memoria. Selección de potenciales acuíferos, para explotar y utilizar en riegos de cultivos actualmente de secano, de las cuencas de ríos de Secano Interior y Costeros. Método para la estimación de la recarga. Prospecciones geofísicas (no disponibles), descripción hidrogeológica de cuencas y catastro de captaciones (disponible en documento RH020). Datos de acuíferos, en cuanto a Hidrología, Hidrogeología y Agronomía en las cuencas de los ríos: Mataquito, Curepto, Huenchullani, Cauquenes Belco, San Juan Huedque, Chanco
- **(RH120) Política Nacional para los Recursos Hídricos 2015.** Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2015. Memoria con Anexos. Datos de carácter nacional sobre: el estado de los RRHH en Chile, derechos de aprovechamientos de agua, disponibilidad de agua, huella hídrica, cambio climático, plan de inversiones. Usos de aguas subterráneas por Regiones (cuadro). Demanda-Oferta- Balance, actual y para 15 años, por Regiones (cuadro). Informe de tipo divulgativo. Interés reducido en lo que se refiere a las aguas subterráneas.
- **(DT005) Mapa Geológico de Chile a escala 1:1 000 000. Servicio Nacional de Geología y Minería, 2003. Mapa, en versión digital nº 4.** Cartografía geológica, a escala 1/1 000 000. Leyenda cronológica, con la litología de las formaciones cartografiadas (sedimentarias, volcánicas, ígneas y metamórficas). Versión digital, con los archivos en formato shape de las formaciones digitalizadas. Interés alto, para a partir de este mapa, y con la versión digital del mismo (shp), poder realizar el Mapa Geológico de la Región VII Maule y, a partir de este, el Mapa Hidrogeológico de la misma, en función de la permeabilidad que presentan las distintas formaciones geológicas aflorantes en Región.
- **(EH005) Catastro de Pozos de la Región.** MOPU-DGA, 2015. Departamento de Hidrología de la DGA, 1984. Cuadros. Datos de las captaciones de aguas subterráneas, con anotación de: sector, nº pozo, predio, propietario, constructor, metros perforados, caudal, nivel dinámico y estático, fecha de bombeo, uso del agua, análisis químicos, perfil estratigráfico. No hay datos de coordenadas. Datos antiguos y sin coordenadas para situar los puntos de agua registrados.
- **(RH180) Derechos concedidos en Aguas Superficiales y Subterráneas. Región VII. MOPU-DGA, 2015. Tablas Excel.** Derechos de agua concedidos para la explotación de aguas subterráneas en la Región de Maule. Caudales concedidos, en l/s, a 3 311 pozos. No hay datos sobre las características hidrogeológicas y explotación real de estas captaciones. Puntos con coordenadas UTM en 2 520 puntos, por lo que solamente estos son en los se ha podido realizar la capa SIG (shp) correspondiente. Interés para ver la ubicación de las captaciones (2 520 con coordenadas), pero no indica, ni las características de estas captaciones (tipo de obra, profundidad, diámetro, niveles de agua), ni tampoco la cantidad del agua subterránea que realmente se está explotando en las mismas, ya que los caudales

de explotación concedidos, en l/s, a los 3 311 captaciones de agua, si se explotasen de un modo continuado, de acuerdo al caudal de extracción concedido, darían un volumen de extracción de agua subterránea para el conjunto de la Región de 3 076 hm<sup>3</sup>/año, que no es el caso.

- **(EH006) Análisis crítico de la Red de medición Aguas Subterráneas.** Alamos y Peralta Ing. Consultores. MOPU-DGA, 1987. Memoria, Anexos y Planos. Ámbito de 6 cuencas: Mataquito (con 3 subcuencas), Maule, Rapel, Costeras entre VI Región y Mataquito, Costeras entre Mataquito y Maule, Costeras entre Maule y VIII Región. Datos de medidas de niveles dinámicos y estáticos y gráficos de evolución, fichas de pozos (53) de medida y datos de calidad del agua. Planos con la localización de los puntos de la red de control. Datos antiguos de niveles estáticos/dinámicos y calidad del agua (1987). Fichas de 53 puntos de agua. Los puntos están con coordenadas geográficas, nomenclatura de CIREN. (No se dispone de los archivos en formato shape).
- **(EH050) Medidas del nivel piezométrico en 35 puntos de la Región de Maule. MOP-DGA, 1965 a 2015. Tablas Excel.** Medidas del NP en 35 puntos (con coordenadas UTM) de la Región de Maule, con diferentes períodos de medidas, que oscilan entre el año 1965 y 2015, según los puntos. Interés en aquellos puntos de agua en los que se dispone de datos recientes. (Al disponer de las coordenadas UTM, se ha podido utilizar los archivos en formato shape).
- **(DT052) Mapa Geológico de la Región de Maule.** Gobierno Regional del Maule. Unidad de Planificación y Desarrollo Regional, 2013. Mapa. Cartografía geológica, similar a la del Mapa Geológico 1:1 000 000 de Chile. En la Leyenda se destaca la edad de las formaciones pero no indica nada de su litología. Poco interés, pues para la elaboración del Mapa Hidrogeológico de la Región de Maule es preferible partir del Mapa Geológico 1:1 000 000 de Chile.
- **(RH105) Evaluación de los recursos hídricos subterráneos de la cuenca del río Cauquenes.** Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH). Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 2011.
- **(RH155) Estimación preliminar de las recargas de agua subterránea y determinación de los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común en las cuencas de las regiones del Maule, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos.** Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH). Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 2014
- **(RH185) Evaluación de la disponibilidad de los recursos hídricos subterráneos en el Sector Acuífero Teno-Lontué.** Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH). Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 2015.

- **(RH190) Evaluación de la disponibilidad de los recursos hídricos subterráneos en el Sector Acuífero Estero Belco y El Arenal.** Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH). Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 2015.
- **(VAR010) Atlas del Agua – Chile 2016.** Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 2016

### 3. CONTEXTO GEOLÓGICO Y GEOMORFOLÓGICO DE LA REGIÓN VII DE MAULE

#### 3.1. Fuentes documentales

Para la descripción geológica de la Región del Maule, se han tenido en cuenta los siguientes documentos:

- **(DT005) Mapa Geológico de Chile, a escala 1:1 000 000 (versión digital nº 4)** y su correspondiente Leyenda Geológica incluida en la Memoria del Mapa, publicado por el Servicio Nacional de Geología y Minería en 2003.
- **(EH030) Mejora y ampliación de Red de Aguas Subterráneas, Regiones VII a X,** realizado por el MOPU-DGA, en 2010.
- **(RH020) Diagnóstico de Recursos Hídricos de Secano Interior y Costero VI a VIII Región,** realizado por la CNR, en 2003.
- **(RH100) Levantamiento de información Hidrogeológica para Modelización cuenca del río Maule,** realizado por el MOPU en 2010.
- **(RH130) Estudio Hidrogeológico del Río Mataquito,** realizado por la DGA División de Estudios y Planificación en 2012.
- **(RH018) Estudio Hidrogeológico de Secano Interior y Costero. Regiones VI, VII y VIII,** realizado por el IICA en 2002

#### 3.2. Características geológicas y geomorfológicas

Desde el punto de vista geológico, las cuencas hidrológicas que constituyen la VII Región de Maule, están compuestas por rocas de distinto tipo y origen: sedimentario, volcánico, intrusivo y metamórfico, que abarcan edades comprendidas desde el Paleozoico (representado por materiales de carácter metamórfico, pizarras, esquistos, filitas y neises) al Cuaternario (representado por sedimentos detríticos, en su mayor parte asociados a la dinámica fluvial de los ríos que transitan por la Región, y depósitos recientes de piroclastos y estratos volcánicos, de carácter volcánico). Estas rocas, en general, se disponen en franjas subparalelas, de rumbo aproximado Norte-Sur, conformando la morfología de la región.

Desde el punto de vista **geomorfológico**, se distinguen en la Región cinco unidades características de toda la zona central del país: Cordillera de los Andes, Precordillera, Depresión Intermedia o Valle Central, Cordillera de la Costa y Planicies Litorales:

- La **Cordillera de Los Andes** está caracterizada por una extensa llanura de origen volcánico, desarrollada a una altura promedio de 2.500 msnm, que presenta una suave pendiente hacia el Oeste y frecuentemente que se encuentra disectada por cursos de agua de valles profundos y abruptos, producto de la erosión glacial cuaternaria. En la Región VII las cotas más elevadas de la Cordillera alcanzan los 4.075 msnm en el Volcán Peteroa, situado en el límite de la cuenca del río Mataquito con Argentina. La divisoria de la Cordillera entre Chile y Argentina, a lo largo del límite de la Región de Maule, se encuentra entre los 2.500 y 3.500 msnm.

Entre las formaciones geológicas más antiguas que afloran en esta unidad geomorfológica se encuentran: unas meta-areniscas y filitas del Paleozoico (DC4 del mapa geológico), que afloran en el límite este de la cuenca alta del río Lontué (cuenca del Mataquito); unas calizas, areniscas, conglomerados y brechas sedimentarias de edad jurásica (JK1m, Js1m y Js1c), que afloran en el extremo NE de la Región, junto a otra formación de areniscas y conglomerados del Cretácico Inferior (Kia1c); y unos reducidos afloramientos de rocas jurásicas (Js1m) y brechas de Trías (Tr1c), que afloran en la cuenca alta del río Guaiquivilo (cuenca del Maule). Todos estos afloramientos de rocas antiguas, que quedan como residuos del zócalo Paleozoico-Secundario en la Cordillera de los Andes, son de tamaño entre medio y reducido.

El resto de la Cordillera lo ocupa, en su mayor extensión, los afloramientos de rocas volcánicas, de edades que abarcan desde el Mioceno hasta el Cuaternario (Q3i, PI3t, PPI3 y M3i), y una formación volcano-sedimentaria del Oligoceno-Mioceno (OM2c). Existen también reducidas intrusiones de rocas ígneas producidas durante el Mioceno (Mg). Las rocas más antiguas de la Cordillera fueron atacadas por la erosión a lo largo del Periodo Secundario y Terciario y, posteriormente, cubiertas por grandes depósitos de lava, originados en episodios volcánicos de edades más recientes (final del Terciario y del Cuaternario). Entre los volcanes que destacan en la zona, se tiene el grupo de los Descabezados, Quizapu, San Pedro y Las Yeguas (doc. EH030).

- La **Precordillera** se presenta conformando un plano inclinado, con pendiente hacia el Oeste, a una altura que varía entre los 500 y 1.500 msnm, compuesto principalmente de rocas volcano-sedimentarias (OM2c) y volcánicas (M3i), de origen continental y edad terciaria (Oligoceno-Mioceno), sobre el cual predominan algunas cumbres de composición granítica o similar (Mg), intruidas durante el Mioceno. Producto de la fuerte denudación cuaternaria, este plano se encuentra profundamente disectado por valles de origen glacial, tributarios de aquellos de origen volcánico. En la cuenca del río Patagán (afluente del

Loncomilla), en el contacto del río con la Depresión Intermedia, se observan unos depósitos de remoción en masa (brechas con matriz arenolimosa) del Plioceno (PPI1r).

- La **Depresión Intermedia** es una fosa de origen tectónico, que está limitada en ambos costados por sistemas de fallas de rumbo aproximado Norte-Sur, y que ha sido rellenada durante el Cuaternario con el producto de la erosión glacial, fluvial, fluvio-glacial y eólica de las zonas altas que la rodean. El aspecto geomorfológico actual de esta depresión es el de un amplio valle, de unos 160 km de longitud en la dirección N-S y con una anchura que oscila entre los 20 a 30 km en el sector norte, hasta unos 65 km de ancho en la zona sur de la depresión. Se dispone en un plano levemente inclinado, entre las cotas de 500 a 150 msnm (por el sector sur), presentando una suave pendiente hacia el Oeste, que está disectado por los valles poco profundos y de origen fluvial, a través de los cuales se ha depositado la abundante sedimentación que ha llenado esta fosa tectónica.

La mayor parte de las formaciones geológicas que la conforman, están constituidas por una serie de materiales piroclásticos de origen volcánico (PI3t), de edad cuaternaria (Pleistoceno), sobre la que se han depositados los sedimentos fluviales y aluviales (formación Q1), de los ríos que cruzan la depresión Mataquito, Maule, Loncomilla, Perquilauquen, Cauquenes.

En la zona NO de la depresión, en lo que podría considerarse como el sector hidrológico medio de las cuencas de los ríos Mataquito y Maule, se observa una franja de rocas volcano-sedimentarias del Cretácico (Ki2c) y, en menor proporción, unas intrusiones graníticas, también del Cretácico (Kiag), alineadas en la dirección NE-SO, que con su mayor elevación topográfica (máxima de unos 300 msnm) actúan de estrechamiento de la Depresión Intermedia por este sector NO de la misma. La elevación topográfica que presentan los afloramientos de estas dos formaciones, en su contacto con la serie volcánica del Cuaternario (PI3t), han ocasionado la desviación del curso medio y bajo del río Claro (afluente del Maule), que se orienta por este sector en la dirección NE-SO, paralelo al contacto geológico de ambas formaciones.

- La **Cordillera de la Costa** se presenta como un macizo montañoso, cuya altura máxima no sobrepasa los 700 msnm y compuesto principalmente por rocas metamórficas (PzTr4, Pz4a, Pz4b) y graníticas (CPg), de edad paleozoica, del llamado basamento cristalino, que se alinean, de Norte a Sur, en una franja de unos 140 km de largo por entre 25 a 40 de ancho, según los sectores, dispuesta paralelamente al borde costero. En el sector oriental de la cordillera, se encuentran unos afloramientos de rocas sedimentarias del Jurásico (Ji1m) y del Triásico (Tr1m), así como afloramientos de rocas volcánicas (J3i) e intrusivas (Jig) del Jurásico. En el extremo suroccidental de la Cordillera, en la cuenca del río Reloca, se localiza un afloramiento de rocas sedimentarias del Cretácico (Ks1m), mientras que en la desembocadura del río Maule, un afloramiento de rocas intrusivas del Jurásico (Jig).

La Cordillera de la Costa presenta, en general, un relieve suave y ondulado, de lomajes bajos y formas amesetadas, que descienden suavemente hacia la costa, producto de la deformación tectónica (doc. EH030). La atraviesan los ríos Mataquito y Maule, en sus tramos de cuencas bajas. En el sector central de la cordillera nace el río Purapel, que discurre hacia el SO de la región, hasta confluir en el río Loncomilla por su margen izquierda; este, a su vez, es tributario del Maule, por su margen izquierda, antes de su paso por la Cordillera Costera.

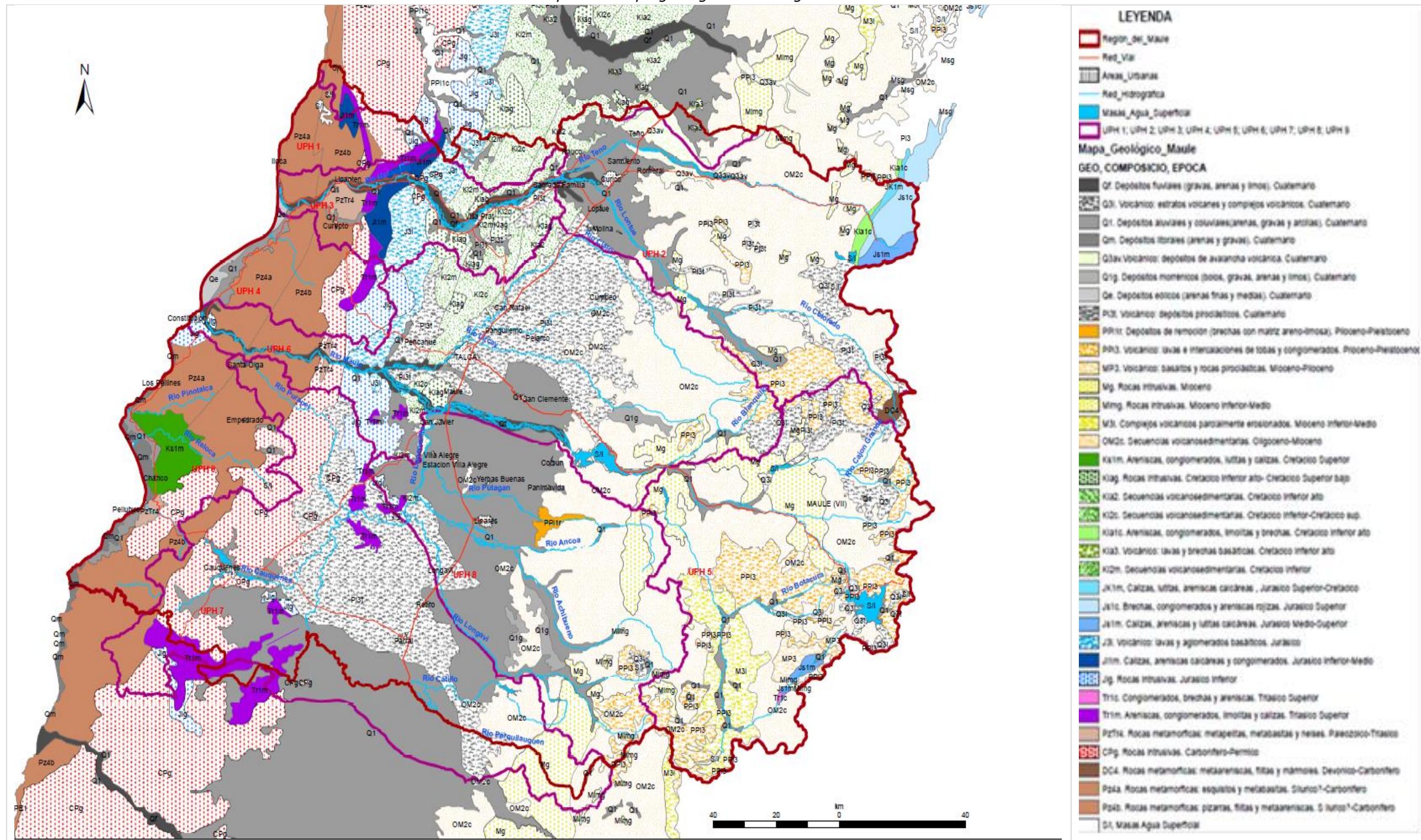
- Las **Planicies Litorales** se presentan como extensas zonas relativamente planas, con suave pendiente hacia el oeste, aunque no siempre están presentes, llenas de depósitos sedimentarios del Cuaternario (Q1, Qe y Qm). Se distribuyen en dos franjas costeras: una situada al Norte, entre las desembocaduras de los ríos Mataquito y Maule, que presenta unos 35 km de largo por entre 3 a 7 de ancho, según los sectores; y otras dos franjas, situadas hacia el Sur, desde la desembocadura del río Reloca hasta el límite sur de Región, que se disponen en dos franjas de 17 y 19 km de largo por unos 2 a 5 km de ancho. En el tramo de costa comprendido entre la desembocadura del río Maule, al Norte, y la del río Pinotalca, al Sur, de unos 29 km de longitud, la Cordillera Litoral hace de barrera con el mar, por lo que no se ha desarrollado ninguna planicie litoral en este sector.

### 3.3. Características litológicas y permeabilidad de las formaciones

Utilizando la cartografía geológica y leyenda del Mapa Geológico de Chile, a escala 1:1.000.000 (doc. DT005), se ha realizado, mediante el SIG, una selección de las formaciones geológicas que se encuentran aflorando en la Región de Maule. Como resultado, se ha obtenido la cartografía del “Mapa Geológico de la Región VII de Maule”, a escala 1:1.000.000, que se expone en el Mapa 3.1 y en el que se encuentran representadas 35 de las 148 formaciones litológicas diferenciadas en todo el país. En el mapa realizado, se mantiene el mismo código con el que se identifican las diferentes formaciones litológicas cartografiadas en el Mapa Geológico de Chile, aunque se ha modificado el color dado a las mismas.

En el mapa elaborado se destacan, con el mismo tono de color, las diferentes formaciones, según la edad de las mismas: gris para los cuaternarios, amarillento para los miocenos, beige para una formación sedimentaria del Plioceno (PPI1r), verde para los cretácicos, azul para los jurásicos, violeta para el Trías, marrón para los paleozoicos y rojo para las intrusiones graníticas del Paleozoico; aunque se les da diferente trama, según la litología que estas presentan: colores lisos y con diferente intensidad para las rocas sedimentarias (compactas o detríticas), tipo fluidal para las rocas volcánicas, punteados para las rocas volcanoesedimentarias y crucecitas para las intrusiones de carácter ígneo. De este modo se ha tratado de hacer más fácil la visualización de las diferentes formaciones geológicas que se cartografián en la Región, y la identificación de la relación estratigráfica y estructural existente entre las mismas:

*Mapa 3.1. Mapa geológico de la Región del Maule*



*Fuente: Elaboración propia a partir de las fuentes indicadas*

A continuación se resume la leyenda crono-estratigráfica obtenida del mapa:

**Tabla 3.1. Formaciones geológicas que afloran en la VII Región**

EDAD	CODI_GEO	LITOLOGÍA	EDAD
Cuaternario	<b>Qf</b>	Depósitos fluviales en cursos de ríos, terrazas y llanuras de inundación (gravas, arenas y limos)	Cuaternario (Pleistoceno-Holoceno)
	<b>Q3i</b>	Estratos volcánicos y complejos volcánicos (lavas basálticas, domos y depósitos piroclásticos)	Cuaternario (Pleistoceno-Holoceno)
	<b>Q1</b>	Depósitos aluviales y coluviales en la Depresión Central (arenas, gravas y arcillas)	Cuaternario (Pleistoceno-Holoceno)
	<b>Qm</b>	Depósitos litorales de playas actuales (arenas y gravas)	Cuaternario (Pleistoceno-Holoceno)
	<b>Q3va</b>	Depósitos de avalancha volcánica asociados a colapsos de edificios volcánicos	Cuaternario (Pleistoceno-Holoceno)
	<b>Q1g</b>	Depósitos morrénicos (bloque, matriz de limo-arcilla, gravas, arenas y arcillas)	Cuaternario (Pleistoceno-Holoceno)
	<b>Qe</b>	Depósitos eólicos (arenas finas y medias)	Cuaternario (Pleistoceno-Holoceno)
	<b>PI3t</b>	Depósitos piroclásticos asociados a calderas de colapso	Cuaternario (Pleistoceno)
	<b>PPI1r</b>	Depósitos de remoción en masa (brechas con matriz arenoso-limosa).	Plioceno-Pleistoceno
	<b>PPI3</b>	Lavas basálticas e intercalaciones de tobas y conglomerados	Plioceno-Pleistoceno
Terciario	<b>MP3</b>	Basaltos y rocas piroclásticas	Mioceno-Plioceno
	<b>Mg</b>	Rocas intrusivas (granodioritas, doritas y tonalitas)	Mioceno
	<b>Mimg</b>	Rocas intrusivas (granodioritas, monzogranitos y monzodioritas)	Mioceno Inferior-Medio
	<b>M3i</b>	Complejos volcánicos parcialmente erosionados y secuencias volcánicas (lavas, brechas, domos y rocas piroclásticas)	Mioceno Inferior-Medio
	<b>OM2c</b>	Secuencias volcanosedimentarias (lavas basálticas, rocas epiclásticas y piroclásticas)	Oligoceno-Mioceno
Cretácico	<b>Ks1m</b>	Areniscas, conglomerados, lutitas, calizas y sucesiones turbidíticas	Cretácico Superior

**Tabla 3.1. Formaciones geológicas que afloran en la VII Región**

EDAD	CODI_GEO	LITOLOGÍA	EDAD
	<b>Kiag</b>	Rocas intrusivas (dioritas, monzodioritas, granodioritas)	Cretácico Inferior alto-Superior bajo
	<b>Kia2</b>	Secuencias volcanosedimentarias (rocas piroclásticas y lavas andesíticas con intercalaciones sedimentarias lacustres)	Cretácico Inferior alto- Suoerior bajo
	<b>Ki2c</b>	Secuencias sedimentarias (conglomerados, areniscas, limolitas calcáreas y localmente calizas fosilíferas) y volcánicas (lavas andesíticas)	Cretácico Inferior-Cretácico Superior
	<b>Kia1c</b>	Areniscas, conglomerados, limolitas y brechas sedimentarias	Cretácico Inferior alto
	<b>Kia3</b>	Secuencias volcanosedimentarias (lavas, brechas basáltica, rocas piroclásticas y escasas intercalaciones sedimentarias)	Cretácico Inferior alto
	<b>Ki2m</b>	Secuencias volcanosedimentarias (lavas, tobas y brechas volcánicas y sedimentarias, areniscas y calizas fosilíferas)	Cretácico Inferior
Jurásico	<b>Jkim</b>	Calizas, lutitas, areniscas calcáreas	Jurásico Superior-Cretácico inferior
	<b>Js1c</b>	Brechas sedimentarias, conglomerados y areniscas rojizas, con intercalaciones de tobas y niveles evaporíticos	Jurásico Superior
	<b>Js1m</b>	Calizas, areniscas y lutitas calcáreas, con intercalaciones epiclásticas y niveles evaporíticos	Jurásico Medio_Superior
	<b>J3i</b>	Lavas y conglomerados basálticos, tobas riolíticas e intercalaciones de areniscas, calizas y conglomerados continentales	Jurásico
	<b>Ji1m</b>	Calizas, areniscas calcáreas y conglomerados, con intercalaciones vulcanoclásticas y lávicas	Jurásico Inferior-Medio
	<b>Jig</b>	Rocas intrusivas (dioritas, gabros, granodioritas y tonalitas)	Jurásico Inferior
Triásico	<b>Tr1c</b>	Conglomerados, brechas, areniscas, lutitas e intercalaciones calcáreas	Triásico Superior
	<b>Tr1m</b>	Areniscas, conglomerados, limolitas y calizas.	Triásico Superior
	<b>PzTr4</b>	Rocas metamórficas: metapelitas, metabasitas y neises	Paleozóico-Triásico
Paleozoico	<b>CPg</b>	Rocas intrusivas ácidas (granitos, granodioritas, dioritas y tonalitas)	Carbonífero-Pérmino
	<b>DC4</b>	Rocas metamórficas (metaareniscas, filitas y en menor proporción mármoles)	Silúrico-Carbonífero
	<b>Pz4a</b>	Rocas metamórficas (esquistos y metabasitas, con metamorfismo de alto gradiente)	Silúrico-Carbonífero

**Tabla 3.1. Formaciones geológicas que afloran en la VII Región**

EDAD	CODI_GEO	LITOLOGÍA	EDAD
	Pz4b	Rocas metamórficas (pizarras, filitas y metaareniscas, con metamorfismo de bajo gradiente)	Silúrico-Carbonífero
	S/I	Masa agua superficial	

El color que se le da en la tabla a las diferentes formaciones litológicas varía, en parte, de la trama y coloración que se le da a la cartografía, de estas mismas formaciones geológicas, en el MGRM. En el caso de la leyenda que aquí se incluye, el color dado a las rocas sedimentarias es similar al dado en el mapa, pero, sin embargo, se utiliza el color amarillo para las rocas volcánicas y vulcano-sedimentarias, y el rojo para las intrusiones ígneas, tal y como se indica a continuación:

Depósitos sedimentarios del Cuaternario
Depósitos de remoción en masa del Plioceno (Cuaternario)
Rocas sedimentarias del Cretácico
Rocas sedimentarias del Jurásico
Rocas sedimentarias del Triásico
Rocas metamórficas del Paleozoico
Rocas volcánicas
Secuencias vulcano-sedimentarias
Intrusiones de rocas ígneas

De este modo, de una forma rápida, se pueden distinguir fácilmente el tipo de litologías que se hallan en la Región (sedimentaria, metamórfica, volcánica e ígnea), y la edad geológica de las mismas, en el caso de las rocas sedimentarias. A continuación se describen, más extensamente, las características litológicas y de permeabilidad que presentan las diferentes formaciones geológicas que afloran en la Región del Maule, siguiendo un orden crono-estratigráfico de moderno a más antiguo:

- **Cuaternario**

- **Q3i.** Cuaternario. Formación volcánica, compuesta por estratovolcanes y complejos volcánicos: lavas basálticas a riolíticas, domos y depósitos piroclásticos andesítico-basálticos a dacíticos. Los afloramientos de esta formación en la Región VII, se localizan en cotas altas de la Cordillera de Los Andes. Es una formación volcánica reciente, que presenta en su conjunto una baja permeabilidad, originada por los procesos de alteración y de fisuración que pueden afectar a las rocas.
- **Q1.** Pleistoceno-Holoceno. Depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa; en menor proporción, fluvoglaciales, deltaicos y litorales. Sus mayores afloramientos, de

gran extensión, se concentran en el relleno de la Depresión Intermedia, en donde adquieren una importante potencia (hasta 900 m sobre el sustrato rocoso, interpretados mediante la gravimetría realizada), en los valles altos de los ríos que transitan por la Región y en las Planicies Costeras, en donde su potencia es menor. Es una formación sedimentaria que, debido a la naturaleza de sus materiales (arenas, gravas, arcillas y limos, entremezclados en diferente proporción según los puntos), presenta, por porosidad, una permeabilidad, en general, elevada. La estratificación en horizontes que, a veces, se halla en profundidad en esta formación, hace que su permeabilidad varíe de rango desde tipo medio a muy elevado, según los puntos en donde se perfore.

- **Qf.** Pleistoceno-Holoceno. Depósitos fluviales: gravas, arenas y limos del curso actual de los ríos mayores o de sus terrazas subactuales y llanuras de inundación. Se cartografián en los cursos de los ríos Mataquito y Maule, en los tramos intermedios de los mismos, y su potencia, en general, no debe superar los 20 m. Es una formación detrítica no consolidada que, por la naturaleza de sus materiales y la porosidad intergranular que contienen los mismos, presentan una elevada permeabilidad.
- **Qm.** Pleistoceno-Holoceno. Depósitos litorales, compuestos de arenas y gravas de playa actuales. Formación sedimentaria, de reducida potencia (no debe superar los 10 m) que se localiza en las planicies litorales, asociada a la dinámica marina. Por la naturaleza de sus materiales y la porosidad intersticial que estos contienen, presenta una alta permeabilidad.,
- **Q3va.** Cuaternario. Depósitos de avalancha volcánica, asociados a colapso parciales de edificios volcánicos. Su único afloramiento se halla situado al norte de la Región, en la cuenca media del río Mataquito, y atravesado por el curso del río Teno. Es una formación volcánica que, por la naturaleza de sus materiales, presenta una baja a media permeabilidad, originada por la alteración y fisuración local que presenta la roca, como lo pone de manifiesto la presencia de algunas captaciones de agua subterránea que hay perforadas en ella.
- **Q1g.** Pleistoceno-Holoceno. Depósitos morrénicos, fluvioglaciales y glaciacustres: diamictos de bloques y matriz de limo-arcilla, gravas, arenas y limos. En la Región VII se cartografián tres afloramientos en la Precordillera, en la cuenca del Maule: uno en la subcuenca del río Claro y los otros dos, en la subcuenca del Loncomilla. Es una formación detrítica no consolidada que debido a la composición de sus materiales, en los que predomina la fracción arcillosa, presenta una permeabilidad de grado medio-alto, por porosidad intersticial.
- **Qe.** Pleistoceno-Holoceno. Depósitos eólicos: arenas finas a medias con intercalaciones bioclásticas en dunas y barjanes, tanto activos como inactivos. El único afloramiento de este tipo de materiales que se localiza en la Región de Maule, se halla dispuesto en la

franja costera que se extiende, a lo largo de 35 km, entre la desembocadura de los ríos Maule y Mataquito.

- **PI3t.** Pleistoceno. Depósitos piroclásticos, principalmente riolíticos, asociados a calderas de colapso. Esta formación volcánica se extiende, principalmente, por la Depresión Intermedia, en donde se observan extensos afloramientos; localizándose también algunos afloramientos, de reducida extensión, por la zona de la Precordillera y de la Cordillera de Los Andes, en la cuenca alta del río Claro (cuenca del Maule). Tal y como se observa en el Mapa Geológico de la Región de Maule, esta formación volcánica es la que debe encontrarse, a lo largo del valle central de toda la Depresión Intermedia, subyacente a los depósitos detriticos sedimentarios de la formación Q1 (depósitos aluviales y coluviales). Por la naturaleza de los materiales que componen esta formación volcánica, parece presentar un grado de permeabilidad tipo medio-bajo, por fisuración y alteración de la roca, como lo demuestra el hecho de que son numerosas las captaciones de agua subterránea perforadas en ella.
- **PPI1r.** Plioceno-Pleistoceno. Depósitos de remoción en masa: brechas polimicticas con matriz arenoso-limo en proporción variable, de flujo o deslizamiento gravitacional. El único afloramiento localizado de esta formación en la Región de Maule se encuentra en la subcuenca del río Patagán (afluente del Loncomilla), en el contacto del río con la Depresión Intermedia. Por la naturaleza de los materiales que la componen, esta formación detritica, no consolidada, presenta una permeabilidad de grado medio, debido a la porosidad que se encuentra entre sus materiales.
- **PPI3.** Plioceno-Pleistoceno. Secuencias y centros volcánicos parcialmente erosionados: lavas principalmente basálticas con intercalaciones de tobas y conglomerados. Los afloramientos de esta formación volcánica se encuentran dispersos a lo largo de la Cordillera de Los Andes y algunos de ellos, en menor medida, por la unidad geomorfológica de la Precordillera. Por la naturaleza de sus materiales presenta, en su conjunto, una baja permeabilidad, aunque al nivel local, en puntos de mayor fisuración y alteración de la roca, su permeabilidad puede ser ligeramente mayor.

### • Terciario

- **MP3.** Mioceno-Plioceno. Basaltos de "Plateau" y rocas piroclásticas intermedias a ácidas. Sus dos afloramientos en la Región, de reducida extensión, se localizan en las cotas más altas de la Cordillera de Los Andes, en la cabecera del río Melado, afluente del Maule. Es una formación de baja permeabilidad, debida a la fisuración y alteración de las rocas volcánicas.
- **Mg.** Mioceno. Granodioritas, dioritas y tonalitas. Los numerosos afloramientos de esta formación ígnea se hallan dispersos a lo largo de la Cordillera de Los Andes y, en menor

medida, de la Precordillera. Dado el carácter compacto y duro de estas rocas graníticas, la permeabilidad de las mismas es muy baja, y sólo asociada a los sectores de mayor fisuración y alteración de la roca, en los tramos superiores de la misma.

- **Mimg.** Mioceno Inferior-Medio. Granodioritas, monzogranitos, monzodioritas, monzonitas y dioritas de biotita y hormblenda. Sus reducidos y escasos afloramientos en la Región, se localizan en la zona sur de la Cordillera de Los Andes, por las cabeceras de los ríos Melado y Longavi. Al igual que la anterior formación ígnea descrita, la permeabilidad de estas rocas es muy baja.
- **M3i.** Mioceno Inferior-Medio. Complejos volcánicos parcialmente erosionados y secuencias volcánicas: lavas, brechas, domos y rocas piroclásticas andesítico-basáltica a dacitas. Sus afloramientos se extienden en una franja alargada por el sector sur de la Cordillera de Los Andes, en la cuenca alta del río Melado (cuenca del Maule). Esta formación volcánica presenta una permeabilidad de grado bajo, asociada a los sectores de mayor fisuración y de alteración de las rocas.
- **OM2c.** Oligoceno-Mioceno. Secuencias volcano-sedimentarias: lavas basálticas a dacíticas, rocas epiclásicas y piroclásicas. Sus extensos y frecuentes afloramientos se extienden a lo largo y ancho de la Cordillera de Los Andes y de la Precordillera, ocupando la mayor parte de estas dos unidades geomorfológicas, dentro de la Región de Maule. Formación volcánica, con intercalaciones de niveles detríticos que, en su conjunto, presentan una baja permeabilidad, debida a la alteración y fisuración de la roca volcánica y a la porosidad intersticial de las intercalaciones sedimentarias. Son muy pocas las captaciones de agua subterráneas perforadas, e inventariadas, en estos materiales.

#### • Cretácico

- **Ks1m.** Cretácico Superior. Secuencias sedimentarias marinas de plataforma, litorales o transicionales: areniscas, conglomerados, lutitas, calizas extraclásicas y oolíticas, sucesiones turbidíticas. El único afloramiento localizado en la Región VII de esta formación rocosa, se encuentra en el borde suroccidental de la Cordillera de la Costa; es un afloramiento de unos 190 km<sup>2</sup> de extensión, que es cruzado por el curso del río costero Reloca. Por la naturaleza litológica de las materiales que componen esta formación sedimentaria consolidada, la permeabilidad de la misma es de grado medio-alto, debida a la fracturación, diaclasación y fenómenos de disolución que, también, pudiesen afectar a las rocas carbonatadas intercaladas.
- **Kiag.** Cretácico Inferior alto-Cretácico Superior bajo. Dioritas y monzodioritas de piroxeno y hormblenda, granodioritas, monzogranitos de horblemda y biotita. Los afloramientos de esta formación ígnea se disponen en una franja alargada, orientada de Norte a Sur, situada hacia la mitad norte de la Región, en las elevaciones topográficas que limitan a la Depresión Intermedia, por su flanco occidental. Por la naturaleza, compacta y dura de

estas rocas graníticas, la permeabilidad de las mismas es muy baja, y sólo asociada a los sectores de mayor fisuración y alteración de la roca, en los tramos superiores de sus afloramientos.

- **Kia2.** Cretácico Inferior alto-Cretácico Superior bajo. Secuencias sedimentarias y volcánicas: rocas epiclásticas, piroclásticas y lavas andesíticas y basálticas con intercalaciones lacustres, localmente marinas. Los reducidos afloramientos de esta formación, se disponen en una estrecha franja alargada, orientada de Norte a Sur, situada en las cuencas medias de los ríos Mataquito y Maule, por las elevaciones topográficas que limitan a la Depresión Intermedia, por su flanco occidental, en esta zona de la Región VII. Por la naturaleza de estas rocas volcánicas y de las intercalaciones sedimentarias observadas en ellas, la permeabilidad del conjunto de la formación es baja, debida a la alteración y fisuración de la roca volcánica y a la porosidad intersticial de las intercalaciones sedimentarias existentes en ella.
- **Ki2c.** Cretácico Inferior-Cretácico Superior. Secuencias sedimentarias y volcánicas continentales, con escasas intercalaciones marinas: brechas sedimentarias, y volcánicas, lavas andesíticas, ocoítas, conglomerados, areniscas, limolitas calcáreas lacustres con flora fósil; localmente calizas fosilíferas marinas en la base. Los afloramientos de esta formación se disponen en una franja alargada, de dirección Norte-Sur, que se extiende por el flanco occidental de la Depresión Intermedia, por las cuencas de los ríos Mataquito y Claro (afluente del Maule). Por la naturaleza de los materiales que conforman esta formación volcánica, con intercalaciones de niveles detríticos y calcáreos, su grado de permeabilidad se le puede considerar, en su conjunto, de tipo bajo-medio, originada por la alteración y fisuración de la roca volcánica, así como por la fracturación y fisuración de las rocas sedimentarias intercaladas.
- **Kia1c.** Cretácico Inferior alto (Aptiano-Cenomaniano). Secuencias sedimentarias continentales aluviales, fluviales y lacustres: areniscas, conglomerados, limolitas, calcilitas y brechas sedimentarias con intercalaciones de tobas volcánicas. El único y reducido afloramiento de esta formación, se halla en las cotas altas de la Cordillera de Los Andes, en el nacimiento del río Teno (cuenca del Mataquito). Por la naturaleza de las rocas que constituyen esta formación sedimentaria consolidada, la permeabilidad que presenta es de tipo medio, debida a la fracturación y fisuración que pudiese afectar a las rocas.
- **Kia3.** Cretácico Inferior alto. Secuencias y complejos volcánicos continentales: lavas y brechas basálticas a andesíticas, rocas piroclásticas andesíticas a riolíticas y escasas intercalaciones sedimentarias. En la zona de estudio, sólo se encuentra un reducido afloramiento de esta formación ubicado en el límite norte de la Región, en la subcuenca del río Teno (cuenca del Mataquito). En su conjunto, la permeabilidad de esta formación es baja, debido a los procesos de alteración que pueden afectar a la roca volcánica y a la porosidad de las intercalaciones sedimentarias.

- **Ki2m.** Cretácico Inferior. Secuencias volcánicas y sedimentarias: lavas andesíticas y basálticas, tobas y brechas volcánicas y sedimentarias, areniscas y calizas fosilíferas. Los afloramientos de esta formación se disponen en una franja alargada, paralela a la de los afloramientos de la formación Ki2c, descrita anteriormente, de similar composición litológica, que se extiende por el flanco occidental de la Depresión Intermedia, por las subcuencas bajas de los ríos Mataquito y Maule. Por la naturaleza de los materiales que constituyen esta formación volcánica, con intercalaciones de niveles detriticos y calcáreos, su grado de permeabilidad se le puede considerar, en su conjunto, de tipo bajo-medio, originada por la alteración y fisuración de la roca volcánica, así como por la fracturación y fisuración de las rocas sedimentarias intercaladas.

#### • Jurásico

- **JKim.** Jurásico Superior-Cretácico Inferior. Secuencias sedimentarias marinas litorales o plataformas: calizas, lutitas, areniscas calcáreas, areniscas y coquinas. En la zona de estudio sólo se localiza un reducido afloramiento situado en el nacimiento del río Teno, en cotas altas de la Cordillera de Los Andes. Esta formación sedimentaria consolidada, presenta una permeabilidad de grado medio-alto, debido a la fisuración y diaclasación de las rocas.

- **Js1c.** Jurásico Superior. Secuencias sedimentarias continentales y transicionales, en parte lacustres: brechas sedimentarias, conglomerados y areniscas rojas, con intercalaciones de tobas y niveles evaporíticos. Solo se localiza un afloramiento de esta formación sedimentaria, dispuesto en una franja alargada, en la dirección NE-SO, paralela a la del afloramiento de la anterior formación descrita, JK1m, ubicado en la cabecera del río Teno (cuenca del Mataquito), en la divisoria de la Cordillera de Los Andes. Por la naturaleza litológica de los materiales que constituyen esta formación sedimentaria consolidada, es de esperar que su permeabilidad sea de grado medio-bajo, debido a la fisuración y diaclasación de las rocas

- **Js1m.** Jurásico Medio-Superior. Secuencias sedimentarias marinas litorales: calizas, areniscas, lutitas calcáreas, en parte bituminosas, con intercalaciones epiclásticas y niveles evapopríticos superiores. El único afloramiento en la Región VII de esta formación sedimentaria, se localiza al sur de la formación jurásica anteriormente descrita, Js1c, en la cabecera del río Teno, en la Cordillera de Los Andes. La naturaleza litológica de los materiales que constituyen esta formación sedimentaria, consolidada, hacen suponer que su permeabilidad sea de grado medio, debido a la fisuración y diaclasación de las rocas.

- **J3i.** Jurásico. Secuencias volcánicas continentales y marinas: lavas y conglomerados basálticos a andesíticos, tobas riolíticas con intercalaciones de areniscas, calizas marinas y conglomerados continentales. Es una formación de origen volcánico, que se dispone en un solo afloramiento, de forma alargada en la dirección N-S, paralelo a la Cordillera de la

Costa, en su flanco oriental, por las cuencas bajas de los ríos Mataquito y Maule, cuyos cauces atraviesan tangencialmente su afloramiento. Por la naturaleza de los materiales volcánicos, en su gran parte, que componen esta formación, así como por los sedimentarios, que también se encuentran intercalados en ella, en su conjunto debe presentar una permeabilidad de grado bajo, aunque localmente pudiera alcanzar el grado medio en algunos sectores de su afloramiento; la alteración y fisuración de la rocas es la causa de esta permeabilidad. Han sido localizadas algunas captaciones de agua subterránea en esta formación.

- **Ji1m.** Jurásico Inferior-Medio. Secuencias sedimentarias marinas litorales o de plataforma: calizas, areniscas calcáreas, lutitas, conglomerados y areniscas con intercalaciones volcanoclásticas y lávicas (basaltos almohadillados). Los dos afloramientos de esta formación sedimentaria se encuentran adosados a las rocas triásicas y paleozoicas en el flanco oriental de la Cordillera de la Costa, en la cuenca baja del río Mataquito. El mayor de los dos afloramientos, de una extensión de unos 170 km<sup>2</sup>, se encuentra dispuesto en una franja alargada, en la dirección NE-SO, de unos 35 de largo por una media de unos 5 km de ancho, y es atravesado por el curso del río Mataquito a la altura de la población de Hualañe. Esta formación sedimentaria consolidada, por la litología de los materiales que la componen, debe presentar un permeabilidad de grado medio-alto, como consecuencia de los fenómenos de disolución que puede afectar a las rocas carbonatadas, así como los de fisuración y diaclasación que suele afectar a este tipo de rocas. Sólo se tiene constancia de una captación de agua que la explota.
- **Jig.** Jurásico Inferior. Dioritas, gabros y monzodioritas, dioritas cuarcíferas y granodioritas y tonalitas de hornablenda y biotita. Estas intrusiones ígneas se disponen en una franja alargada, en la dirección N-S, que se extiende paralela al flanco oriental del Cordillera de la Costa, por las cuencas bajas de los ríos Mataquito y Maule, siendo atravesada por el curso bajo de este último río. Ante el carácter compacto y duro de estas rocas graníticas, la permeabilidad de las mismas es muy baja, y sólo asociada a los sectores de mayor fisuración y alteración de la roca, en los tramos superiores de ella.

#### • **Triásico**

- **Tr1c.** Triásico Superior. Secuencias sedimentarias continentales aluviales, fluviales y lacustres, en parte transicionales: conglomerados, brechas, areniscas, lutitas e intercalaciones calcáreas. El único y muy reducido afloramiento de esta formación se localiza en la cuenca alta del río Guaiquivilo (cuenca del Maule). Por la naturaleza de sus materiales, presenta una permeabilidad de grado medio, como consecuencia de la fisuración que puede afectar a las rocas.
- **Trim.** Triásico superior. Secuencias sedimentarias marinas y transicionales: areniscas, conglomerados, limolitas y calizas. Los afloramientos de esta formación sedimentaria consolidada, en la Región VII, se encuentran situados en el flanco oriental de la Cordillera

de la Costa, localizados en tres grupos: el de mayor extensión, situado al Norte, se dispone en la base de la formación jurásica J1m, anteriormente descrita, en la cuenca baja del río Maule; los otros dos, se hallan ubicados hacia el sur de la Región, también en la cuenca baja del Maule. La composición litológica de esta formación triásica, le hace presentar una permeabilidad de grado medio-alto, como consecuencia de la fisuración y, en algunos casos (las calizas), los fenómenos de disolución que pueden afectar a las rocas. En el caso del afloramiento norte, se contabilizan algunas captaciones de agua perforadas en él.

#### • **Paleozoico-Triásico**

- **PzTr4.** Paleozoico-Triásico. Metapelitas, metacherts, metabasitas y, en menor proporción, neises y rocas ultramáficas con protolitos, de edades Devónico al Triásico y metamorfismo del Pérmico al Jurásico. En la zona de estudio se localizan dos afloramientos de esta formación metamórfica, ubicados: uno, de forma redondeada y mayor tamaño, en la cuenca baja del río Mataquito, en la intersección de este con la Cordillera de la Costa; el otro, de menor tamaño, se halla algo más al Sur, y atravesado por el curso del río Maule. Es una formación que presenta muy baja permeabilidad en su conjunto, y sólo reducidos niveles más permeables asociados a los puntos de mayor meteorización y fracturación de estas rocas metamórficas.

#### • **Paleozoico**

- **CPg.** Carbonífero-Pérmico. Granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas, de hornablenda y biotitita, localmente de moscovita. Esta formación ígnea se distribuye en una franja alargada en la dirección Norte-Sur, en el flanco oriental de la Cordillera de la Costa, a lo largo de toda la Región de Maule. Dada la naturaleza compacta y dura de estas rocas graníticas, la permeabilidad que presentan las mismas es muy baja, y sólo asociada a los sectores de mayor fisuración y alteración de la roca, que normalmente se localizan en los tramos superiores de sus afloramientos.

- **DC4.** Devónico-Carbonífero. Meta-arenitas, filitas y, en menor proporción, mármoles, cherts, metabasaltos y metaconglomerados; metaturbiditas con facies de "melamge". De esta formación metamórfica solamente se observa un afloramiento, de reducido tamaño, en la Cordillera de Los Andes, en la cabecera del río Colorado, tributario del Lontue (cuenca del Mataquito). La permeabilidad de esta formación metamórfica es muy baja, y sólo se pueden localizar reducidos sectores acuíferos asociados a las zonas de mayor alteración de las rocas, y a aquellos puntos en los que se pudiese concentrar una mayor fracturación.

- **PZ4a.** Silúrico-Carbonífero. Esquistos moscovíticos y metabasitas, metacherts y serpentinas, con metamorfismo de alto gradiente, del Carbonífero temprano. Es una formación que constituye el núcleo central de la Cordillera de la Costa, y se dispone en

una amplia banda, de unos 100 km de longitud por 13 km de ancho, que recorre, de Norte a Sur, toda la Región VII, paralela a la costa pacífica. La permeabilidad de los materiales metamórficos que componen esta formación, por su naturaleza, presentan muy baja permeabilidad, y solamente se pueden localizar algunos sectores acuíferos asociados a las zonas de mayor alteración de las rocas, y a aquellos puntos en los que se concentra una mayor fracturación.

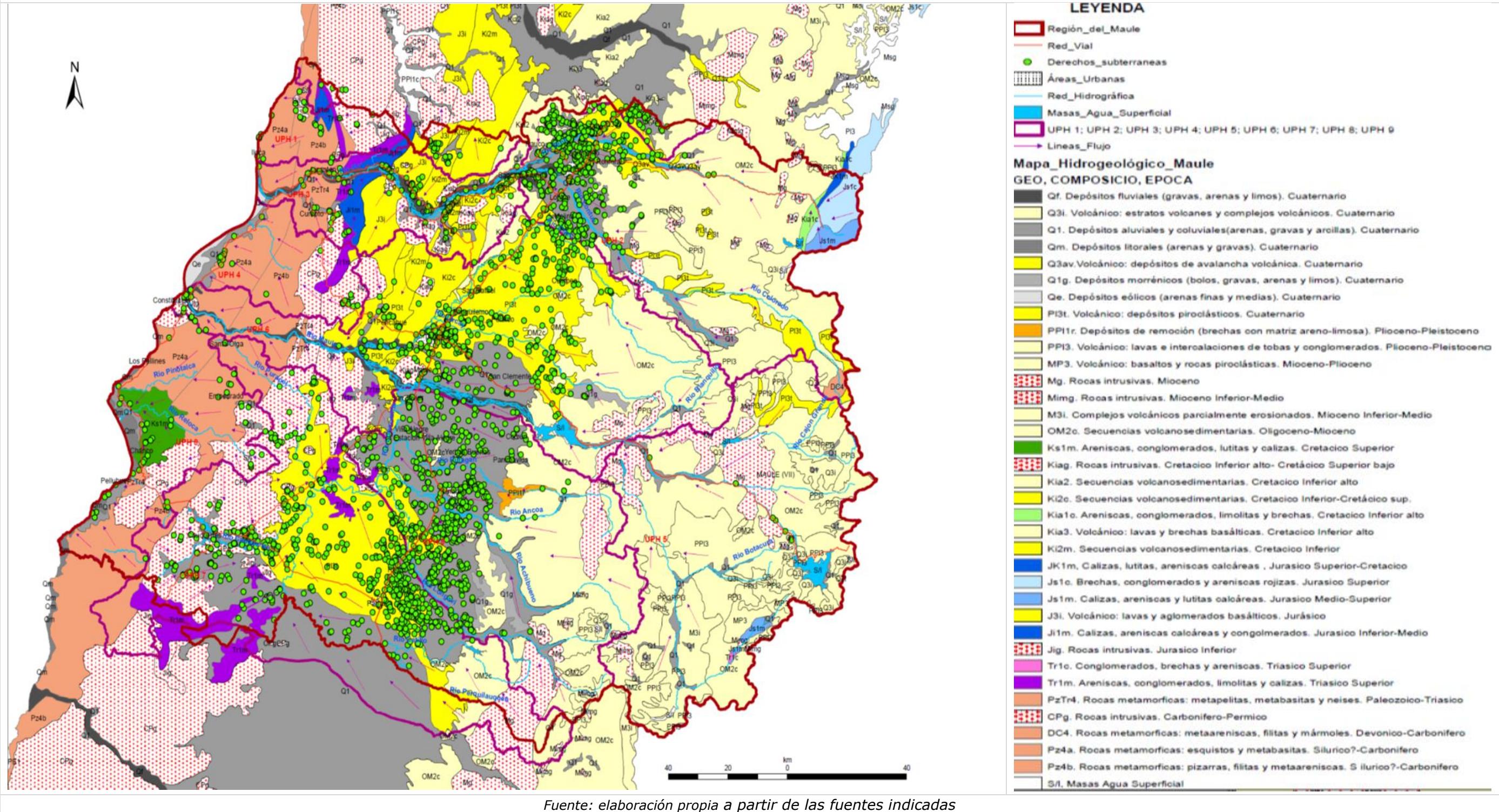
- **Pz4b.** Silúrico-Carbonífero. Pizarras, filitas y meta-arenitas con metamorfismo de bajo gradiente, del Carbonífero temprano. Esta formación que, junto a la anteriormente descrita, constituye el núcleo central de la Cordillera de la Costa, se dispone también en una amplia banda, paralela a la anterior, de unos 100 km de longitud y mayor amplitud (unos 17 km de ancho). La permeabilidad de los materiales metamórficos que la componen, presentan también muy baja permeabilidad, y solamente se pueden localizar algunos sectores acuíferos asociados a las zonas de mayor alteración de las rocas, y a aquellos puntos en los que se concentra una mayor fracturación. Se observan algunas captaciones de agua subterráneas asociadas a estas dos formaciones metamórficas.

#### 4. MAPA HIDROGEOLÓGICO

A partir del Mapa Geológico de la Región de Maule confeccionado para este estudio (Mapa 3.1), y teniendo en cuenta las características de permeabilidad de las diferentes formaciones geológicas que afloran en la región, así como las características hidrogeológicas de los pozos inventariados y ubicados sobre ellas, se ha elaborado el Mapa Hidrogeológico de la Región de Maule (MHRM), que se adjunta a continuación (Mapa 4.1).

En este mapa, además de las distintas formaciones hidrogeológicas que se hallan en la Región de Maule, también se han representado las captaciones de agua subterránea que tienen derechos de explotación concedidos, y la dirección y sentido de las líneas del flujo que, en función de la interpretación hidrogeológica que se ha realizado de la Región, se supone que pueden reproducir el movimiento del agua subterránea en las formaciones acuíferas, así como en aquellas otras que, aunque tienen baja a muy baja permeabilidad (materiales metamórficos paleozoicos, rocas volcánicas, vulcano-sedimentarias e ígneas), también se generan flujos de agua, pero de carácter generalmente más somero.

Mapa 4.1. Mapa hidrogeológico de la Región del Maule





La cartografía hidrogeológica de las formaciones sedimentarias y metamórficas se ha realizado teniendo en cuenta la naturaleza de su litología, su edad estratigráfica y el grado de permeabilidad que presentan: muy alto ( $K > 100$  m/día), alto ( $K 100-10$  m/día), medio ( $K 10-1$  m/día), bajo ( $K 1-10^{-2}$  m/día), muy bajo ( $K < 10^{-2}$  m/día), de acuerdo a la clasificación que hace el IGME (A. Iglesias y Villanueva, 1984) que presentan; de tal modo que, para las formaciones cronoestratigráficas de una misma edad (del Cuaternario, Cretácico, Jurásico, Triásico o Paleozoico), la tonalidad del color indica su edad (gris para los cuaternarios, beige para una formación del Plioceno, verde para los cretácicos, azul para los jurásicos, violeta para los triásicos y marrón para los paleozoicos) mientras que la intensidad del mismo, refleja su grado de permeabilidad (cuanto más intenso sea el color, la formación es más permeable).

En cuanto a las formaciones volcánicas y vulcan-sedimentarias, independientemente de la edad en las que fueron erupcionadas, se les aplica a todos los afloramientos el mismo color amarillo, de tono más intenso cuando estas presentan una mayor permeabilidad. Para las rocas intrusivas, de carácter ígneo, todos sus afloramientos, independientemente de la edad en las que fueron intruidas, se presentan todos en el mismo color rojo.

De este modo, de una forma rápida, en el mapa se pueden distinguir fácilmente los tipos de litologías que se hallan en la Región (sedimentaria, metamórfica, volcánica e ígnea), la edad geológica de las mismas y el grado de permeabilidad que presentan.

A continuación, se incluye una tabla resumen con las características litológicas, edad, grado y tipo de permeabilidad (por porosidad intersticial y/o fisuración, fracturación, fenómenos de disolución) que, por la naturaleza litológica de las rocas y las características hidrogeológicas de los pozos perforados en ellas, presentan las distintas formaciones que afloran en la Región del Maule:

**Tabla 4.1. Formaciones hidrogeológicas que afloran en la VII Región Maule**

EDAD	CODI_GEO	LITOLOGÍA	EDAD	TIPO FORMACIÓN - PERMEABILIDAD (k)	TIPO DE ACUIFERO
Cuaternario	<b>Qf</b>	Depósitos fluviales en cursos de ríos, terrazas y llanuras de inundación (gravas, arenas y limos)	Cuaternario (Pleistoceno-Holoceno)	Formación detrítica no consolidada; K muy alta, por porosidad	Acuíferos extensos, con productividad elevada
	<b>Q3i</b>	Estratos volcánicos y complejos volcánicos (lavas basálticas, domos y depósitos piroclásticos)	Cuaternario (Pleistoceno-Holoceno)	Formación volcánica; K baja, por alteración y fisuración	Acuíferos muy locales, asociados a zonas de alteración y fracturación de la roca, con productividad muy baja
	<b>Q1</b>	Depósitos aluviales y coluviales en la Depresión Central (arenas, gravas y arcillas)	Cuaternario (Pleistoceno-Holoceno)	Formación detrítica no consolidada; K alta, por porosidad	Acuíferos extensos, con productividad elevada
	<b>Qm</b>	Depósitos litorales de playas actuales (arenas y gravas)	Cuaternario (Pleistoceno-Holoceno)	Formación detrítica no consolidada; K alta, por porosidad	Acuíferos sectoriales con productividad media
	<b>Q3va</b>	Depósitos de avalancha volcánica asociados a colapsos de edificios volcánicos	Cuaternario (Pleistoceno-Holoceno)	Formación volcánica; K baja-media, por alteración y fisuración	Acuíferos locales, asociados a zonas de alteración y fracturación de la roca, con productividad baja
	<b>Q1g</b>	Depósitos morrénicos (bloque, matriz de limo-arcilla, gravas, arenas y arcillas)	Cuaternario (Pleistoceno-Holoceno)	Formación detrítica no consolidada; K media-alta, por porosidad	Acuíferos sectoriales con productividad media
	<b>Qe</b>	Depósitos eólicos (arenas finas y medias)	Cuaternario (Pleistoceno-Holoceno)	Formación detrítica no consolidada; K media, por porosidad	Acuíferos sectoriales con productividad baja
	<b>PI3t</b>	Depósitos piroclásticos asociados a calderas de colapso	Cuaternario (Pleistoceno)	Formación volcánica; K media-baja, por alteración y fisuración	Acuíferos locales, asociados a zonas de alteración y fracturación de la roca, con productividad baja

**Tabla 4.1. Formaciones hidrogeológicas que afloran en la VII Región Maule**

EDAD	CODI_GEO	LITOLOGÍA	EDAD	TIPO FORMACIÓN - PERMEABILIDAD (k)	TIPO DE ACUIFERO
Terciario	PPI1r	Depósitos de remoción en masa (brechas con matriz arenolimosa).	Plioceno-Pleistoceno	Formación detrítica no consolidada; K media-baja, porosidad y fisuración	Acuífero sectorial, con productividad muy baja
	PPI3	Lavas basálticas e intercalaciones de tobas y conglomerados	Plioceno-Pleistoceno	Formación volcánica; K baja, por alteración y fisuración de la roca	Acuíferos muy locales, asociados a zonas de alteración y fracturación de la roca, con productividad muy baja
	MP3	Basaltos y rocas piroclásticas	Mioceno-Plioceno	Formación volcánica; K baja, por alteración y fisuración de la roca	Acuíferos muy locales, asociados a zonas de alteración y fracturación, con productividad muy baja
	Mg	Rocas intrusivas (granodioritas, doritas y tonalitas)	Mioceno	Formación ígnea; K muy baja, por fisuración y alteración de la roca en sus tramos superiores	Acuíferos muy locales, asociados a zonas de alteración y fracturación, con productividad muy baja
	Mimg	Rocas intrusivas (granodioritas, monzogranitos y monzodioritas)	Mioceno Inferior-Medio	Formación ígnea; K muy baja, por fisuración y alteración de la roca en sus tramos superiores	Acuíferos muy locales, asociados a zonas de alteración y fracturación, con productividad muy baja
	M3i	Complejos volcánicos parcialmente erosionados y secuencias volcánicas (lavas, brechas, domos y rocas piroclásticas)	Mioceno Inferior-Medio	Formación volcánica; K baja, por alteración y fisuración de la roca	Acuíferos muy locales, asociados a zonas de alteración y fracturación, con productividad muy baja
	OM2c	Secuencias volcanosedimentarias (lavas basálticas, rocas epiclásticas y piroclásticas)	Oligoceno-Mioceno	Formación volcánica con intercalaciones de niveles detríticos; K baja, por alteración de la roca volcánica y porosidad de las intercalaciones sedimentarias	Reducidos niveles acuíferos, aislados, de muy baja productividad

**Tabla 4.1. Formaciones hidrogeológicas que afloran en la VII Región Maule**

EDAD	CODI_GEO	LITOLOGÍA	EDAD	TIPO FORMACIÓN - PERMEABILIDAD (k)	TIPO DE ACUIFERO
Cretáceo	Ks1m	Areniscas, conglomerados, lutitas, calizas y sucesiones turbidíticas	Cretácico Superior	Formación consolidada, fisurada; K media-alta	Acuíferos sectoriales, con productividad moderada
	Kiag	Rocas intrusivas (dioritas, monzodioritas, granodioritas)	Cretácico Inferior alto-Superior bajo	Formación ígnea; K muy baja, por fisuración y alteración de la roca en sus tramos superiores	Acuíferos muy locales, asociados a zonas de alteración y fracturación, con productividad muy baja
	Kia2	Secuencias volcanosedimentarias (rocas piroclásticas y lavas andesíticas con intercalaciones sedimentarias lacustres)	Cretácico Inferior alto- Superior bajo	Formación volcánica con intercalaciones de niveles detríticos; K baja, por alteración de la roca volcánica y porosidad de las intercalaciones sedimentarias	Reducidos niveles acuíferos, aislados, de muy baja productividad
	Ki2c	Secuencias sedimentarias (conglomerados, areniscas, limolitas calcáreas y localmente calizas fosilíferas) y volcánicas (lavas andesíticas)	Cretácico Inferior-Cretácico Superior	Formación volcánica con intercalaciones de rocas sedimentarias consolidadas; K baja-media, por alteración y fisuración de la roca volcánica, y por la fracturación y/o fisuración de las rocas sedimentarias	Acuíferos locales, asociados a zonas de alteración y fracturación de la roca, con productividad baja
	Kia1c	Areniscas, conglomerados, limolitas y brechas sedimentarias	Cretácico Inferior alto	Formación consolidada, fisurada; K media	Acuíferos con productividad baja
	Kia3	Secuencias vulcan-sedimentarias (lavas, brechas basáltica, rocas piroclásticas y escasas intercalaciones sedimentarias)	Cretácico Inferior alto	Formación volcánica con intercalaciones de niveles detríticos; K baja, por alteración de la roca volcánica y porosidad de las intercalaciones sedimentarias	Reducidos niveles acuíferos, aislados, de muy baja productividad

**Tabla 4.1. Formaciones hidrogeológicas que afloran en la VII Región Maule**

EDAD	CODI_GEO	LITOLOGÍA	EDAD	TIPO FORMACIÓN - PERMEABILIDAD (k)	TIPO DE ACUIFERO
Jurásico	Ki2m	Secuencias vulcano-sedimentarias (lavas, tobas y brechas volcánicas y sedimentarias, areniscas y calizas fosilíferas)	Cretácico Inferior	Formación volcánica con intercalaciones de rocas sedimentarias consolidadas; K baja-media, por alteración y fisuración de la roca volcánica, y por la fracturación y/o fisuración de las rocas sedimentarias	Acuíferos locales, asociados a zonas de alteración y fracturación de la roca, con productividad baja
	Jkim	Calizas, lutitas, areniscas calcáreas	Jurásico Superior-Cretácico inferior	Formación consolidada, fisurada; K media-alta	Acuífero reducido con productividad moderada
	Js1c	Brechas sedimentarias, conglomerados y areniscas rojizas, con intercalaciones de tobas y niveles evaporíticos	Jurásico Superior	Formación consolidada, fisurada; K media-baja	Acuífero reducido con productividad baja
	Js1m	Calizas, areniscas y lutitas calcáreas, con intercalaciones epiclásticas y niveles evaporíticos	Jurásico Medio Superior	Formación consolidada, fisurada; K media	Acuíferos local, con productividad baja
	J3i	Lavas y conglomerados basálticos, tobas riolíticas e intercalaciones de areniscas, calizas y conglomerados continentales	Jurásico	Formación volcánica; K baja-media, por alteración y fisuración de la roca	Acuíferos muy locales, asociados a zonas de alteración y fracturación, con productividad muy baja
	Ji1m	Calizas, areniscas calcáreas y conglomerados, con intercalaciones vulcano-clásticas y lávicas	Jurásico Inferior-Medio	Formación consolidada, fisurada; K media-alta	Acuíferos con productividad moderada
	Jig	Rocas intrusivas (dioritas, gabros, granodioritas y tonalitas)	Jurásico Inferior	Formación ígnea; K muy baja, por fisuración y alteración de la roca en sus tramos superiores	Acuíferos muy locales, asociados a zonas de alteración y fracturación, con productividad muy baja

**Tabla 4.1. Formaciones hidrogeológicas que afloran en la VII Región Maule**

EDAD	CODI_GEO	LITOLOGÍA	EDAD	TIPO FORMACIÓN - PERMEABILIDAD (k)	TIPO DE ACUIFERO
Triásico	Tr1c	Conglomerados, brechas, areniscas, lutitas e intercalaciones calcáreas	Triásico Superior	Formación consolidada, fisurada; K media	Acuíferos con productividad baja
	Tr1m	Areniscas, conglomerados, limolitas y calizas	Triásico Superior	Formación consolidada, fisurada; K media-alta	Acuíferos con productividad moderada
	PzTr4	Rocas metamórficas: metapelitas, metabasitas y neises	Paleozoico-Triásico	Formación metamórfica; K muy baja, por fisuración y alteración de la roca	Acuíferos muy locales, asociados a zonas de alteración y fracturación, con productividad muy baja
Paleozoico	CPg	Rocas intrusivas ácidas (granitos, granodioritas, dioritas y tonalitas)	Carbonífero-Pérmico	Formación ígnea; K muy baja, por fisuración y alteración de la roca en sus tramos superiores	Acuíferos muy locales, asociados a zonas de alteración y fracturación, con productividad muy baja
	DC4	Rocas metamórficas (metaareniscas, filitas y en menor proporción mármoles)	Silúrico-Carbonífero	Formación metamórfica; K muy baja, por fisuración y alteración de la roca	Acuíferos muy locales, asociados a zonas de alteración y fracturación, con productividad muy baja
	Pz4a	Rocas metamórficas (esquistos y metabasitas, con metamorfismo de alto gradiente)	Silúrico-Carbonífero	Formación metamórfica; K muy baja, por fisuración y alteración de la roca	Acuíferos muy locales discontinuos, asociados a zonas de alteración, con productividad baja
	Pz4b	Rocas metamórficas (pizarras, filitas y meta-areniscas, con metamorfismo de bajo gradiente)	Silúrico-Carbonífero	Formación metamórfica; K muy baja, por fisuración y alteración de la roca	Acuíferos muy locales discontinuos, asociados a zonas de alteración, con productividad baja
	S/I	Formación sin identificar			

Depósitos sedimentarios del Cuaternario, con K muy alta

Rocas sedimentarias del Cretácico, con K media

	Depósitos sedimentarios del Cuaternario, con K alta		Rocas sedimentarias del Jurásico, con K media-alta
	Depósitos sedimentarios del Cuaternario, con K media-alta		Rocas sedimentarias del Jurásico, con K media
	Depósitos sedimentarios del Cuaternario, con K media-alta		Rocas sedimentarias del Jurásico, con K media-baja
Orange	Depósitos del Plioceno (Cuaternario), con K media	Magenta	Rocas sedimentarias del Triásico, con K media-alta
Yellow	Rocas volcánicas con K baja-media	Pink	Rocas sedimentarias del Triásico, con K media
Light Yellow	Rocas volcánicas con K baja	Light Orange	Rocas metamórficas del Paleozoico, con K muy baja
Green	Rocas sedimentarias del Cretácico, con K media-alta	Red	Intrusiones de rocas ígneas, con K muy baja

Como resumen de la Región, se puede decir que todas las formaciones sedimentarias, del Cuaternario, Cretácico, Jurásico y Triásico, en mayor o menor grado, son permeables y capaces de constituir acuíferos de mayor o menor importancia hidrogeológica, según sea la extensión y ubicación de sus afloramientos; mientras que las rocas metamórficas del Paleozoico, junto con las rocas volcánicas, volcano-sedimentarias e ígneas, tienen un comportamiento hidrogeológico muy poco permeable, y sólo se localizan en ellas reducidos niveles acuíferos, de poca importancia hidrogeológica dentro de la Región, que solamente sirven pueden atender pequeñas y muy focalizadas demandas de agua.

A la vista de la distribución espacial que presentan todas esta formaciones en el mapa hidrogeológico de la Región del Maule, se puede apreciar que aproximadamente el 30% de la misma está ocupado por materiales de carácter permeable, principalmente a lo largo de la Depresión Intermedia, mientras que el resto lo ocupan formaciones litológicas de baja y muy baja permeabilidad.

En el siguiente apartado, se realiza una descripción más extensa de las características hidrogeológicas y tipos de acuíferos que presentan las diferentes formaciones geológicas existentes en la Región, distribuidas por grupos de afinidad litológica.

## 5. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DE LA REGIÓN DE MAULE

Para la descripción hidrogeológica de la Región, se han tenido en cuenta los siguientes documentos:

- (RH035) *Mapa Geológico de Chile*, a escala 1:1 000 000 (versión digital nº 4) y su correspondiente Leyenda Geológica incluida en la Memoria del Mapa, publicado por el Servicio Nacional de Geología y Minería en 2003.
- (EH030) *Mejora y ampliación de Red de Aguas Subterráneas, Regiones VII a X*, realizado por el MOPU-DGA, en 2010.
- (EH090) *Diagnóstico de Caudales Disponibles en Cuencas no controladas de Recuperación, Cuencas de Maule, Mataquitos y Rapel*, realizado por la CNR, en 2008
- (RH020) *Diagnóstico de Recursos Hídricos de Secano Interior y Costero VI a VIII Región*, realizado por la CNR, en 2003.
- (RH100) *Levantamiento de información Hidrogeológica para Modelización cuenca del río Maule*, realizado por el MOPU en 2010.
- (RH130) *Estudio Hidrogeológico del Río Mataquito*, realizado por la DGA División de Estudios y Planificación en 2012.
- (RH150) *Evaluación de los recursos hídricos subterráneos. Sectores acuíferos Maule Medio Norte y Maule Medio Sur*, realizado por la DGA en 2014.
- (SAP010) Diagnóstico actual del Riego y Drenaje en Chile y su proyección. Diagnóstico del riego y drenaje en la VII Región, realizado por la CNR en 2003.
- (RH180) *Derechos concedidos en Aguas Superficiales y Subterráneas. Región VII*. MOPU-DGA, 2015.

- (RH018) *Estudio Hidrogeológico de Secano Interior y Costero. Regiones VI, VII y VIII,* realizado por el IICA en 2002.

## 5.1. Formaciones hidrogeológicas existentes

### 5.1.1. Formaciones sedimentarias no consolidadas

- **Qf:** Depósitos fluviales cuaternarios, de arenas, gravas y limos (en color gris muy oscuro en el MHRM), asociados al curso actual de los ríos Mataquito y Maule, de sus terrazas subactuales y llanuras de inundación; su potencia no debe superar los 50 m de espesor sobre las materiales más antiguos subyacentes. Es una formación detrítica no consolidada que, por la naturaleza de sus materiales y la porosidad intergranular que contiene los mismos, presentan una elevada permeabilidad. Constituyen acuíferos de carácter libre, hidrodinámicamente relacionados con la escorrentía superficial del cauce del río que transita sobre los afloramientos, de tal modo que se pueden localizar, a lo largo de los cursos de agua, tramos perdedores (en los que el agua superficial puede recargar al acuífero aluvial) y otros ganadores (en los que las aguas del acuífero aluvial se desaguan o afloran al cauce), hecho que es más razonable que ocurra hacia los tramos topográficos más bajos de los cursos fluviales, y en las épocas estivales, cuando la escorrentía superficial por el río disminuye. En el MHRM se observan numerosas captaciones de agua perforadas en esta formación sedimentaria.
- **Q1:** Depósitos detríticos aluviales, coluviales y de remoción en masa, del Cuaternario (cartografiados en color gris oscuro en el MHRH), de gran extensión, que se concentran en el relleno de la Depresión Intermedia, en donde adquieren una importante potencia (mas de 300 m), en los valles altos de los ríos que transitan por la Región y en las Planicies Costeras, en donde su potencia es menor. Es una formación compuesta de materiales sedimentarios porosos, constituidos por arenas, gravas, arcillas y limos, entremezclados en diferentes proporciones y formando horizontes de espesores variables, que se presentan en forma alternante en el sentido vertical de su potencia. Esto ocasiona que la permeabilidad de la formación sea variable de unos puntos a otros, con rangos de tipo medio a muy alto, en función de la proporción mayor o menor de sedimentos arcillosos que se encuentren localmente en ellos, al perforarse.

Por sus buenas condiciones de permeabilidad, constituyen los acuíferos de mayor interés hidrogeológico para la explotación de las aguas subterráneas, que se encuentran en la Región de Maule. Su comportamiento hidrodinámico es el de un acuífero en estado libre (su límite superior de saturación está sometido a la presión atmosférica), que está en contacto con los cursos de agua superficial que circulan sobre sus afloramientos, de tal modo, que la infiltración y recarga del agua subterránea que se origina en el acuífero proviene, en su mayor parte, del agua de lluvia que se recoge directamente sobre la superficie de los afloramientos, de la infiltración de parte de las aguas superficiales que circulan por los ríos y cauces que atraviesan sus afloramientos (cuando el nivel piezométrico en el acuífero se halla a cota más baja que la del cauce del río, en su tránsito sobre él), y por la percolación del

agua de riego y del agua de los canales, que se emplean en el regadío de los cultivos existentes sobre su superficie. Las descargas del acuífero se producen, de manera natural, hacia los cauces de los ríos, cuando la cota del nivel piezométrico (NP) del acuífero aluvial es similar a la cota topográfica del cauce del río y, de modo artificial, por la explotación de agua subterránea en los pozos que explotan el acuífero. En el mapa hidrogeológico se pueden visualizar las líneas en las que se orienta el flujo del agua subterránea, en aquellos afloramientos acuíferos que son más importantes por su extensión.

Normalmente, como consecuencia de estas explotaciones artificiales de agua subterránea, el NP del acuífero suele oscilar de invierno a verano, bajando en el estiaje, cuando la recarga es menor y las explotaciones mayores, y asciende en invierno, con los períodos lluviosos, cuando se incrementa la infiltración y disminuyen las necesidades de agua de los cultivos. Son muy numerosas las captaciones de agua subterránea que se sitúan sobre este acuífero cuaternario, tal y como se aprecia en el MHRM.

La potencia de la formación es variable de unos afloramientos a otros y, a su vez, dentro de los mismos, dependiendo de la extensión superficial que alcancen los sedimentos y del grado de incisión que se haya originado en la geomorfología de los valles de los ríos, a lo largo del Cuaternario, de tal modo, que se han llegado a contabilizar (mediante investigaciones geofísicas) potencias de pocos metros hasta máximos de 300/400 m, en el relleno de depósitos detriticos aluviales y coluviales que llenan la Depresión Intermedia. Su potencia es bastante menor en aquellos otros afloramientos, de este mismo tipo de sedimentos cuaternarios, que se encuentran en otros puntos de la Región (ver cartografía del MHRM), como es el caso de las franjas costeras.

- **Qm.** Depósitos litorales del Cuaternario, compuestos de arenas y gravas de playa. Formación sedimentaria no consolidada, de reducida potencia (no debe superar los 20 m) que se localiza en las planicies litorales, en contacto con el mar, principalmente en la mitad sur de la franja costera de la Región. Por la porosidad intersticial de los materiales que contiene, esta formación presenta una alta permeabilidad, lo que la capacita para constituir acuíferos de carácter libre. Sin embargo, el hecho de estar en contacto con el mar, y la reducida recarga subterránea que alimenta a estos acuíferos, hace que, ante cualquier extracción de agua un poco grande que se pudiera producir, se occasionen problemas de intrusión marina. Se observan algunos pozos captando agua de este acuífero en la UPH 9 (Costera entre Maule y límite Sur).
- **Q1g.** Depósitos morrénicos, fluvoglaciales y glaciacustres, constituidos por bloques, gravas, arenas y matriz limo-arcillosa, que presenta una permeabilidad de grado medio-alto, por porosidad intersticial. Esta circunstancia hace que se puedan localizar en sus afloramientos, generalmente de reducida extensión y dispuestos por la zona de la Precordillera, pequeños niveles acuíferos, de carácter libre y muy poca importancia hidrogeológica, dispuestos sobre la base impermeable de las rocas volcánicas.

- **Qe.** Depósitos eólicos cuaternarios, constituidos por arenas de grano fino a medio con intercalaciones bioclásticas, dispuestos en dunas en la franja costera que se extiende a lo largo de 35 km entre la desembocadura de los ríos Maule y Mataquito. Formación detrítica no consolidada, que presenta una permeabilidad de tipo medio, por porosidad, y puede constituir acuíferos de carácter libre. Al igual que la formación Qm, por su posición espacial en contacto con el mar, lo más probable es que las captaciones que pudiesen extraer agua subterránea de ella, provocarían procesos de intrusión marina en la misma.
- **PPI1r.** Depósitos de remoción en masa del Plioceno-Pleistoceno, compuestos por brechas polimicticas con matriz arenoso-limo en proporción variable, producidos por deslizamiento gravitacional. Es una formación detrítica no consolidada, que presenta una permeabilidad de grado medio-bajo, lo que hace que pueda constituir un acuífero de tipo libre, aunque de baja a moderada productividad de agua subterránea. El único afloramiento observado de esta formación en la Región de Maule se encuentra en la subcuenca del río Patagán (afluente del Loncomilla), en el contacto del río con la Depresión Intermedia; en él se observa una captación de agua subterránea.

### 5.1.2. Formaciones sedimentarias consolidadas

- **Ks1m.** Secuencias sedimentarias del Cretácico Superior, compuestas por areniscas, conglomerados, lutitas, calizas oolíticas y sucesiones turbidíticas. Esta formación sedimentaria consolidada, presenta una permeabilidad de grado medio-alto, debida a la fracturación, diaclasación y fenómenos de disolución (posible carstificación) que pudiesen afectar, también, a las rocas carbonatadas existentes. El único afloramiento cartografiado de esta formación permeable en la Región VII se encuentra en el borde suroccidental de la Cordillera de la Costa, ocupando una superficie de 238 km<sup>2</sup> de extensión, y constituyendo un acuífero de carácter libre, que es explotado artificialmente mediante una serie de captaciones de agua subterránea que han sido perforadas en él. Su descarga natural, se debe ocasionar hacia el cauce del río costero Reloca, a su paso por la mitad norte de este afloramiento de materiales permeables.
- La formación **Kia1c**, compuesta por secuencias sedimentarias continentales (areniscas, conglomerados, limolitas, calcilutitas y brechas sedimentarias con intercalaciones de tobas volcánicas), del Cretácico Inferior, junto con la **JKim**, constituida por secuencias sedimentarias marinas litorales (calizas, lutitas, areniscas calcáreas, areniscas y coquinas), del Cretácico Inferior-Jurásico Superior, la **Js1c**, compuesta por secuencias sedimentarias continentales y transicionales (brechas sedimentarias, conglomerados y areniscas rojas, con intercalaciones de tobas y niveles evaporíticos), del Jurásico Superior, y la **Js1m**, compuesta por secuencias sedimentarias marinas litorales (calizas, areniscas, lutitas calcáreas, en parte bituminosas, con intercalaciones epiclásticas y niveles evapopríticos superiores) del Jurásico Medio-Superior, constituyen un conjunto de afloramientos de rocas sedimentarias consolidadas, con rangos de permeabilidad que van desde el bajo al alto, según las naturaleza litológica de los materiales que contienen (calizas, lutitas, areniscas calcáreas, areniscas, conglomerados, lutitas y brechas sedimentarias), debido a la fisuración y

diclasación de las rocas y, en algunos puntos, a los procesos de disolución que pudiese afectar a la caliza. El afloramiento de este conjunto de formaciones sedimentarias rocosas, se encuentra ubicado en las cotas altas de la Cordillera de Los Andes, en el nacimiento del río Teno (cuenca del Mataquito), ocupando una banda alargada en la dirección N-S, que en su conjunto tiene una extensión de unos 390 km<sup>2</sup> (40 km de largo por una media de unos 10 km de ancho); parte de la cual se extiende por la Región VI, situada al Norte (en unos 15 km de longitud).

Este afloramiento de rocas sedimentarias secundarias, debe constituir un solo conjunto acuífero, con permeabilidad variable de unos sectores a otros, según los materiales que lo componen. En su estado hidrodinámico se le puede considerar como un acuífero libre, por lo que la **recarga** natural de agua en él se produce por la infiltración del agua de lluvia y nival que se origina sobre sus propios afloramientos; al estar ubicado en la divisoria hidrológica de la cuenca pacífica-atlántica (divisoria territorial entre Chile y Argentina), los aportes a través de cursos de agua superficiales no existen. Las **descargas** subterráneas del mismo se deben ocasionar hacia el cauce del río Teno, a lo largo de su recorrido por el afloramiento, y especialmente a su salida del mismo, en el punto en el que este conjunto de materiales permeables se pone en contacto con las formaciones volcánicas de baja permeabilidad, que conforman su cierre impermeable (ver líneas de flujo marcadas en el MHRM).

Por la posición topográfica de este conjunto acuífero cretácico-jurásico, en la cabecera del río Teno, con respecto a su cauce, se puede interpretar que este puede actuar como embalse regulador de las aguas superficiales que circulan por el cauce, en este tramo. La infiltración de agua en el acuífero, en los periodos en los que esta se precipita, y su tránsito por la formación acuífera, debe ocasionar un cierto decalaje en su descarga natural posterior hacia el cauce, en los periodos estacionales en los que no se producen precipitaciones; esta circunstancia puede hacer que se mantenga una circulación permanente de agua superficial por este tramo alto del cauce del río Teno.

- **Ji1m.** Secuencias sedimentarias marinas litorales, del Jurásico Inferior-Medio, compuestas por calizas, areniscas calcáreas, lutitas, conglomerados y areniscas con intercalaciones vulcano-clásticas y lávicas (basaltos almohadillados). Formación sedimentaria consolidada, presenta una permeabilidad de grado medio-alto, como consecuencia de los fenómenos de disolución que pueden afectar a las rocas carbonatadas, así como por los de fisuración y diclasación que también afectan a este tipo de rocas. Constituyen acuíferos de comportamiento hidrodinámico libre, de tal modo que su recarga subterránea se establece por la infiltración del agua de lluvia que se recoge directamente sobre sus propios afloramientos; y su descarga natural se ocasiona hacia los cursos de agua que pudieran contactar con estos afloramientos.

Los dos afloramientos de esta formación sedimentaria se encuentran adosados a las rocas triásicas y paleozoicas en el flanco oriental de la Cordillera de la Costa, en la cuenca baja del río Mataquito. El mayor de los dos afloramientos, de una extensión de unos 301 km<sup>2</sup>, se encuentra dispuesto en una franja alargada, en la dirección NE-SO, de unos 35 km de largo

por una media de unos 5 km de ancho, y es atravesado por el curso del río Mataquito a la altura de la población de Hualañe. Por la posición topográfica de este afloramiento acuífero jurásico, con respecto al cauce del río Mataquito, se debe estar originando la descarga natural de las aguas subterráneas infiltradas, hacia el cauce del río, en el tramo de unos 8 km en los que el río Mataquito circula sobre el afloramiento carbonatado; en la orientación y dirección de las líneas de flujo dibujadas en el mapa hidrogeológico, se indica esta descarga subterránea. Por su naturaleza litológica, puede constituir un acuífero de moderada productividad de aguas subterráneas.

- **Tr1c.** Secuencias sedimentarias continentales constituidas por conglomerados, brechas, areniscas, lutitas e intercalaciones calcáreas, del Triásico Superior. Por la naturaleza de sus materiales sedimentarios consolidados, presenta una permeabilidad de grado medio, lo que le permite constituir un acuífero, aunque de ningún interés productivo en el contexto de la Región, ante el reducido tamaño que presenta el único afloramiento de esta formación localizado en la cuenca alta del río Guaiquivilo (cuenca del Maule).
- **Trim.** Secuencias sedimentarias marinas y transicionales del Triásico superior, constituidas por areniscas, conglomerados, limolitas y calizas. Esta formación sedimentaria consolidada, presenta una permeabilidad de grado medio-alto, como consecuencia de la fisuración y, en algunos casos (en las calizas), por los fenómenos de disolución que pueden afectar a las rocas, lo que permite constituir acuíferos en estado hidrodinámico libre, de moderada productividad hídrica.

Los afloramientos de esta formación sedimentaria consolidada se encuentran situados en el flanco oriental de la Cordillera de la Costa, localizados en tres grupos: el de mayor extensión, situado al Norte, se dispone en la base de la formación jurásica, **Ji1m**, en la cuenca baja del río Mataquito. Al estar en contacto geológico con esta formación, es razonable pensar que ambas, la **Trim** y **Ji1m**, deben constituir un mismo acuífero, de carácter hidrodinámico libre, que ya ha sido descrito anteriormente, y con su descarga natural subterránea hacia el cauce del río Mataquito, en su paso por el conjunto del afloramiento (unos 14 km de recorrido en su conjunto).

Los otros dos afloramientos triásicos, se hallan ubicados hacia el sur de la Región, en la cuenca baja del río Maule. La reducida extensión de los mismos, aunque su permeabilidad es buena, hace que su interés hidrogeológico sea reducido, como posible suministrador de aguas subterráneas.

### 5.1.3. Formaciones metamórficas

Todas las formaciones metamórficas, del Paleozoico, representadas en la Región de Maule: **PzTr4** (constituida por metapelitas, metacherts, metabasitas y, en menor proporción, neises y rocas ultramáficas), **DC4** (representada por meta-arenitas, filitas y, en menor proporción, mármoles, cherts, matabasaltos y metaconglomerados), **PZ4a** (con esquistos moscovíticos y metabasitas, matacherts y serpentinas, con metamorfismo de alto gradiente) y **Pz4b**

(compuesta de pizarras, filitas y meta-arenitas, con metamorfismo de bajo gradiente), presentan muy baja permeabilidad en su conjunto, y solamente se pueden hallar reducidos niveles más permeables, asociados a los puntos de mayor meteorización y/o fracturación de las rocas, concentrados en algunos sectores más superficiales, que pueden presentar un cierto interés hidrogeológico como fuente de suministro de aguas subterráneas.

Sólo en estos casos aislados y más someros, y en los que se den unas condiciones de mayor permeabilidad, como las indicadas anteriormente, se pueden explotar pequeños niveles acuíferos, que permiten extraer una reducida cantidad de agua subterránea para atender problemas puntuales de suministro de agua. Generalmente, el drenaje de estos reducidos sectores acuíferos localizados en la extensa formación metamórfica que aflora en buena parte de la Región VII (en aproximadamente el 20% de su superficie), son manantiales de escaso caudal y muy variable estacionalmente, al depender de acuíferos superficiales, de reducida extensión y potencia, y que, por consiguiente, están muy afectados por los períodos de infiltración, a partir de la lluvia que cae sobre sus afloramientos, y de sequía, al tener muy limitada su capacidad de almacenamiento y regulación.

Los afloramientos de las formaciones paleozoicas **PzTr4, Pz4a y Pz4b**, constituyen el núcleo central de la Cordillera de la Costa, disponiéndose en una amplia banda, de unos 100 km de longitud por 30 a 16 km de ancho, según los sectores, que recorre, de Norte a Sur, toda la Región VII, paralela a la costa pacífica. En este tipo de materiales de muy baja permeabilidad, la superficie libre o límite superior de saturación del acuífero somero reproduce, suavizándola ligeramente, la topografía del terreno. Ello tiene como consecuencia la superposición aproximada entre las divisorias topográficas y las “piezométricas”, de tal modo que las subcuencas hidrográficas, de cierta importancia, guardan una sensible correspondencia con las que se podrían denominar “subcuencas hidrogeológicas”. Por ello, en el mapa hidrogeológico, se han trazado las líneas del flujo subterráneo descendiendo desde las cotas altas del afloramiento hacia las cotas más bajas del mismo. En algunos puntos de este extenso afloramiento metamórfico se hallan inventariadas y registradas algunas captaciones de agua subterráneas que, en su mayor parte, deben ser manantiales (ver MHRM).

El afloramiento de la formación **DC4**, de reducida extensión, se sitúa en la Cordillera de Los Andes, en la cabecera del río Colorado, tributario del Lontue (cuenca del Mataquito).

#### 5.1.4. Formaciones volcánicas y vulcano-sedimentarias

En el conjunto de formaciones volcánicas erupcionadas desde el Jurásico hasta el Cuaternario, que ocupan la mayor parte de la Región de Maule, desde la Cordillera de los Andes hasta la Depresión Intermedia, desde el punto de vista de su comportamiento hidrogeológico, se distinguen dos grupos, independiente de su edad de erupción: el de las rocas volcánicas o vulcano-sedimentarias que presentan una baja a media permeabilidad, como lo demuestra el hecho de que hay captaciones de agua subterránea perforadas en ellas (ver MHRM), y las de baja permeabilidad, que son la mayoría, y en las que no aparece ninguna captación de agua registrada.

Según se puede observar en el mapa hidrogeológico elaborado, las formaciones volcánicas y volcano-sedimentarias con explotación de aguas subterráneas, se sitúan por la zona de la Depresión Intermedia, mientras que aquellas en las que no aparece ninguna captación se encuentran por la zona de la Precordillera y de la Cordillera de Los Andes.

A continuación se describen estos dos grupos de rocas, desde el punto de vista de su comportamiento hidrogeológico, independientemente de que sean formaciones sólo de carácter volcánico o que, también, hayan sido constituidas por la alternancia de períodos volcánicos con episodios sedimentarios intercalados, originados en los momentos de paralización temporal de la actividad volcánica:

- En el grupo de las que presentan una **baja a media permeabilidad** se encuentran las formaciones volcánicas del Cuaternario, **Q3va** (depósitos de avalancha volcánica asociados a colapsos parciales de edificios volcánicos); **PI3t** (depósitos piroclásticos asociados a calderas de colapso); las vulcano-sedimentarias del Cretácico; **Ki2c** (secuencias sedimentarias y volcánicas, constituidas por brechas sedimentarias y volcánicas, lavas andesíticas, conglomerados, areniscas, limolitas calcáreas y localmente calizas fosilíferas); **Ki2m** (secuencias volcánicas y sedimentarias de lavas andesíticas y basálticas, tobas y brechas volcánicas, areniscas y calizas fosilíferas); y la volcánica del Jurásico, **J3i** (secuencias volcánicas continentales y marinas: lavas y conglomerados basálticos a andesíticos, tobas riolíticas con intercalaciones de areniscas, calizas marinas y conglomerados continentales).

Estas formaciones se encuentran aflorando a lo largo de la Depresión Intermedia, y de todas ellas, las que ocupan una mayor superficie (unos 3.320 km<sup>2</sup> de extensión) son los depósitos piroclásticos de la formación **PI3t**. Por el tipo de material volcánico que la constituye, esta formación presenta una mayor permeabilidad, originada por la porosidad de los materiales piroclásticos, así como por la fisuración y fracturación que también les afecta, que le hace constituir un acuífero con moderada a alta productividad de agua subterránea y con interés hidrogeológico en la Región del Maule, tal y como lo demuestra el hecho de que es una formación explotada por numerosas captaciones de agua subterránea, según se aprecia en el MHRM.

Hidrodinámicamente, es un acuífero que funciona en su conjunto en estado libre (su límite superior de saturación está sometido a la presión atmosférica), recargado por la infiltración de una parte de la lluvia registrada sobre los afloramientos, por la percolación del agua de los riegos y canales que se encuentran sobre sus afloramientos y, en algunos casos, por la recarga subterránea que se debe establecer desde el acuífero sedimentario Q1, con el que en algunas zonas se encuentra en contacto. La descarga de sus aguas subterráneas almacenadas, se debe producir, de manera natural, hacia los cauces de los ríos que atraviesan sus afloramientos (Mataquito, Claro, Maule, Longavi, Perquilauquén) y, de modo artificial, por los bombeos de las numerosas captaciones que hay perforadas en la misma.

En el caso de la formación volcánica **Q3va**, que es atravesada por el cauce de río Teno, su descarga natural, de producirse en la actualidad, se debe estar haciendo hacia este cauce. En esta formación también hay numerosas captaciones registradas, que la explotan artificialmente.

- El grupo de las formaciones volcánicas y vulcan-sedimentarias que presentan una **baja permeabilidad** lo componen: **Q3i**, compuesta por estratovolcanes y complejos volcánicos (lavas basálticas a riolíticas, domos y depósitos piroclásticos), del Cuaternario; **PP13**, constituida por secuencias y centros volcánicos de lavas principalmente basálticas con intercalaciones de tobas y conglomerados, del Cuaternario; **MP3**, representada por basaltos de "plateau" y rocas piroclásticas, del Mioceno; **M3i**, compuestos por complejos volcánicos parcialmente erosionados y secuencias volcánicas de lavas, brechas, domos y rocas piroclásticas, del Mioceno Inferior; **OM2c**, constituida por secuencias volcano-sedimentarias (lavas basálticas a dacíticas, rocas epiclásticas y piroclásticas) con intercalaciones de niveles detríticos sedimentarios; **Kia2**, representada por secuencias sedimentarias y volcánicas de rocas epiclásticas, piroclásticas y lavas andesíticas y basálticas, con intercalaciones lacustres y localmente marina, del Cretácico Superior; **Kia3**, constituida por secuencias y complejos volcánicos continentales de lavas y brechas basálticas, rocas piroclásticas y escasas intercalaciones sedimentarias, del Cretácico Inferior.

Todas estas formaciones volcánicas y vulcan-sedimentarias, que en su mayor parte se distribuyen por la Cordillera y Precordillera de Los Andes, tienen una porosidad primaria muy reducida, por lo que, en el conjunto de sus afloramientos presentan una baja permeabilidad. Sin embargo, a nivel local, en puntos de mayor fisuración y alteración de la roca volcánica, así como, en algunos casos, por la porosidad intersticial que pudieran tener las intercalaciones sedimentarias que se encuentran en las series vulcan-sedimentarias, su permeabilidad puede ser ligeramente mayor. En consecuencia, en estos limitados sectores dentro del conjunto de los afloramientos volcánicos, se pueden localizar reducidos niveles acuíferos, de muy baja productividad, pero que pueden atender puntuales necesidades de agua. Concretamente en la formación **OM2c**, se han registrado algunas captaciones de agua subterránea, tal y como puede verse en el MHRM.

### 5.1.5. Formaciones ígneas

Las rocas eruptivas de carácter ígneo (destacadas en rojo en el MHRM), también han sido intruidas en la Región del Maule en diferentes épocas geológicas, desde el Paleozoico hasta el Terciario. Sus afloramientos se concentran principalmente en una franja alargada que se sitúa en el flanco oriental de la Cordillera de la Costa, así como en otros afloramientos, más dispersos, localizados en la Precordillera y Cordillera de los Andes.

El comportamiento hidrogeológico de estas rocas ígneas es de muy baja permeabilidad en su conjunto, ya que por su naturaleza, muy dura y compacta, solo presentan reducidos niveles acuíferos asociados a los tramos superiores, fracturados y diaclasados, de los macizos graníticos, y a los niveles de alteración y meteorización de la roca (regolito o lehm), que ha

generado una cobertura de sedimentos suprayaciendo a la misma, depositados preferentemente en las depresiones topográficas que se originan en la superficie de sus afloramientos.

La **estructura hidrogeológica** de los macizos graníticos es la clásica de los medios fisurados que, descrita de techo a muro, es la siguiente:

- La parte más superficial es la formada por la zona de alteración de la roca, asimilable a un medio poroso homogéneo e isótropo, de mayor o menor continuidad lateral y más o menos baja permeabilidad, en función del grado de alterabilidad de la roca y de la intensidad de los procesos de desmantelamiento que haya sufrido. Su espesor suele ser de unos pocos de metros.
- Bajo la zona de meteorización, se encuentra una franja alterada y descomprimida, en la que la roca conserva su cohesión, pero está afectada por las redes de fracturación y diaclasado. Esta zona suele presentar continuidad lateral en todo el dominio que se considere y se comporta, en líneas generales, como un medio fisurado más o menos homogéneo y anisótropo de baja permeabilidad. Cuando en esta zona fracturada y diaclasada, se superponen fracturas de mayor rango, se pueden formar discontinuidades más o menos aisladas que actúan como vías preferentes de circulación y descarga de la circulación subterránea, en unos casos, o como barreras que dificultan el flujo, en otros.
- Por debajo de la franja anterior, se encuentra la zona de roca sana con fracturas de mayor alcance, que se comporta como un medio heterogéneo y anisótropo de muy baja permeabilidad (en general, la conductividad hidráulica de la red de fracturación disminuye con la profundidad hasta un límite determinado por la plasticidad de la roca y la rugosidad de las paredes de las fracturas).

El **funcionamiento hidrodinámico** de este medio fisurado puede resumirse en los siguientes rasgos más significativos:

- En conjunto, funciona como un acuífero sustancialmente libre, es decir, con su límite superior de saturación sometido a la presión atmosférica, recargado por la infiltración de una parte de la lluvia caída sobre sus afloramientos. La mayor parte del agua infiltrada se incorpora al flujo de circulación somera -la que tiene lugar en la zona de alteración más la franja alterada/descomprimida-, mientras que una fracción muy minoritaria -menor del 1% de la infiltración total-, penetra hacia la zona no alterada del macizo granítico, alimentando a los sistemas de flujo profundo asociados a las zonas de fracturación más permeables.
- La superficie libre o límite superior de saturación del acuífero somero (zona de alteración y de mayor fisuración y diaclasación de la roca) reproduce, suavizándola ligeramente, la topografía del terreno. Ello tiene como consecuencia la superposición aproximada entre las divisorias topográficas y las piezométricas, de tal modo que las subcuencas hidrográficas, de cierta importancia, guardan una sensible correspondencia con las que se podrían

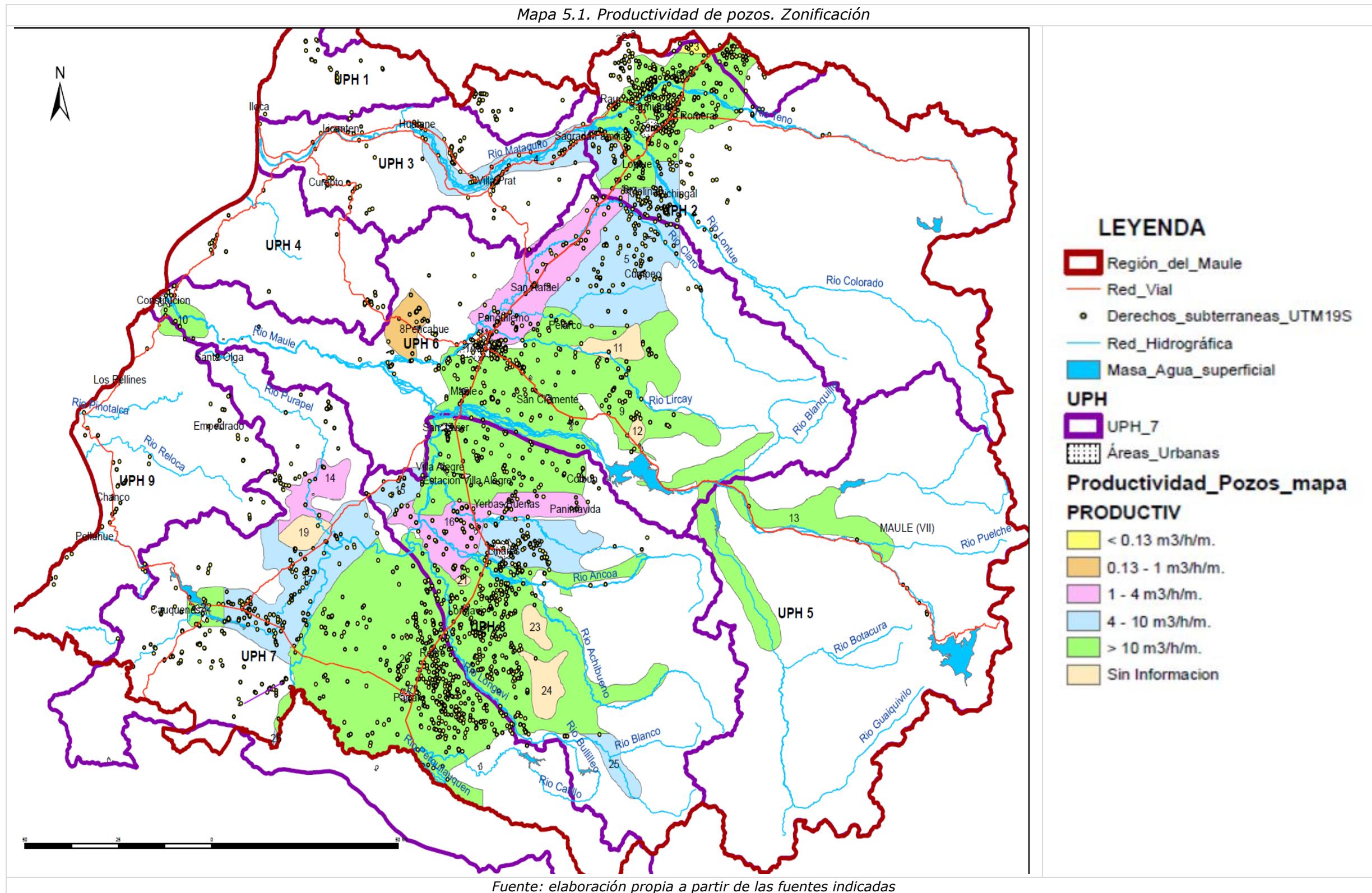
denominar "subcuencas hidrogeológicas". En el mapa hidrogeológico se marcan, en algunos sectores, la dirección y sentido que tienen los flujos subterráneos que se generan en estos macizos graníticos.

En el extenso afloramiento de rocas graníticas que se extiende a lo largo del flanco oriental de la Cordillera de la Costa, tal y como se puede observar en el MHRM, se han inventariado y registrado algunas captaciones de aguas subterráneas, que son utilizadas para atender necesidades de agua locales. Deben ser pozos de poca profundidad, de los que se obtienen reducidos caudales de agua, normalmente muy afectados en su productividad por los períodos lluviosos y secos que se producen en la Región.

## **5.2. Productividad de los Pozos. Zonificación**

En base a los datos de caudal obtenidos del Catastro de Pozos, sobre los Derechos de Explotación Concedidos por la DGA, al 2015, para la explotación de aguas subterráneas en la Región de Maule (doc. RH180), y teniendo en cuenta, mediante el SIG, la ubicación de los mismos en el conjunto de la Región, se ha podido realizar el Mapa de Productividad de Pozos (Mapa 5.1).

En función del número de pozos que se localizan en las diferentes zonas de la Región, y del caudal de explotación concedido a los mismos, se ha podido establecer una zonificación de la productividad de aguas subterráneas que se produce en las 9 UPH delimitadas en la Región de Maule, estableciéndose 5 zonas, con caudales de extracción que oscilan entre menos de 0,3 y más de 10 m<sup>3</sup>/h/m. Su distribución espacial puede contemplarse en el mapa adjunto:



Las zonas de mayor productividad se extienden a lo largo y ancho de la Depresión Intermedia, coincidiendo con los afloramientos de las formaciones más permeables descritas en el anterior apartado, sedimentarias (Q1, Qf) y volcánicas (PI3t, Q3va), y que, por consiguiente, constituyen los acuíferos de mayor productividad hídrica que se encuentran en la Región, para la explotación de aguas subterráneas.

Se aprecian también algunas zonas productivas en el flanco occidental de la Cordillera de la Costa y en el aluvial del curso alto del río Maule a su paso por la Precordillera. En el resto de la Precordillera y en la Cordillera de Los Andes, se observan un número mínimo de captaciones de agua subterránea, motivado por el hecho de que la permeabilidad de las formaciones geológicas que afloran en estas dos regiones geomorfológicas es muy baja, además de que ante la baja presencia de población y las reducidas necesidades de agua que requieren para su desarrollo, no han motivado la ejecución de obras de captación de agua subterránea.

El número de captaciones de agua subterránea registradas en el catastro de Derechos de Aprovechamiento de Aguas asciende a 3.311, de las que en sólo 2.514 de ellas se ha podido contar con sus coordenadas geográficas (UTM), para fijar su posición. Estas son las captaciones que se han podido reflejar en el Mapa de Productividad de Pozos (**iError! No se encuentra el origen de la referencia.**). De estas 2.514, 82, aunque están dentro de la demarcación de la Región del Maule, quedan fuera de los dominios de las UPH diferenciadas en la Región, para la Planificación Hidráulica de la misma y, por consiguiente, no están contabilizadas en la valoración que se hace en el presente informe sobre las extracciones de agua subterráneas que se ocasionan en las UPH. En definitiva, los caudales contabilizados como derechos de aprovechamiento en las 9 UPH se corresponden con 2.433 captaciones de agua subterránea.

El volumen de extracción de los caudales de agua subterráneas concedidos a las 3.293 captaciones autorizadas en la Región de Maule, al mes de julio de 2015, asciende a 1.785,38 hm<sup>3</sup>/año, al considerar que del caudal concedido, en litros por segundo (l/s), se pudiera extraer este, si el concesionario quisiera, permanentemente a lo largo de todo el año hidrológico, ya que en la concesión otorgada no figura ningún régimen de explotación. Por consiguiente, este volumen autorizado sería el máximo a extraer de aguas subterráneas de los acuíferos de la Región, aunque en la actualidad no se llega a extraer en su totalidad. Por lo general, los caudales concedidos están por encima del volumen de agua que realmente necesita el concesionario para satisfacer sus necesidades de agua, bien sea para la agricultura, industria y abastecimiento.

El volumen de extracción de las 2.433 captaciones que tienen coordenadas y están ubicadas dentro de las demarcaciones de las 9 UPH, que son las que se han utilizado en el estudio, al realizar los balances de las mismas, es de **1.305,22 hm<sup>3</sup>/año**.

La distribución de los caudales concedidos, por cuencas hidrológicas y Unidad de Planificación Hídrica (UPH), se reflejan en la Tabla 5.1:

**Tabla 5.1. Extracciones de agua subterránea en la Región de Maule**

UPH			SUBCUENCA			CUENCA			DERECHOS APROVECHAMIENTO AGUAS SUBTERRÁNEAS			
COD.	Nombre	Superficie (km <sup>2</sup> )	Código	Nombre	Superficie (km <sup>2</sup> )	Código	Nombre	Superficie (km <sup>2</sup> )	Total captaciones registradas		Captaciones con coordenadas UTM	
									Nº	Caudal Cuenca (hm <sup>3</sup> /año)	Nº	Caudal UPH (hm <sup>3</sup> /año)
1	Costeras entre límite Región y río Mataquito	609,2	0700	Lago Vichuquen	609,2	070	Costeras entre límite Región y río Mataquito	609,2	18	1,54	33	1,68
2	Cuenca Alta del Mataquito	4.669,3	0710	Río Teno	1.884,7	071	Río Mataquito	6.351,8	1.110	630,94	531	365,8
3			0711	Río Lontue	2.784,6						152	22,14
4	Costeras Mataquito-Maule	1.084,7	0720	Río Huenchullami	750,1	072	Costeras Mataquito-Maule	1.084,7	22	1,82	35	5,48
5	Cuenca Alta del Maule	4.998,1	0721	Costeras entre río Huenchullami y río Maule	334,6						8	0,68
6			0730	Río Maule Alto (hasta antes de junta río Melado)	2.703,4	073	Río Maule	21.040,6	2.058	1.135,16	464	258,86
	Cuenca Media y Baja del Maule	5.664,3	0731	Río Melado	2.294,7							
			0732	Maule Medio	943,2							
			0737	Río Claro	3.064,7							
			0736	Río Maule entre río Loncomilla y río Claro	340,6							
			0738	Maule Bajo	1.315,8							

**Tabla 5.1. Extracciones de agua subterránea en la Región de Maule**

UPH			SUBCUENCA			CUENCA			DERECHOS APROVECHAMIENTO AGUAS SUBTERRÁNEAS				
COD.	Nombre	Superficie (km <sup>2</sup> )	Código	Nombre	Superficie (km <sup>2</sup> )	Código	Nombre	Superficie (km <sup>2</sup> )	Total captaciones registradas		Captaciones con coordenadas UTM		
									Nº	Caudal Cuenca (hm <sup>3</sup> /año)	Nº	Caudal UPH (hm <sup>3</sup> /año)	
7	Cuenca Perquilauquén	5.988,1	0733	Perquilauquén Alto	4.163,1	074	Costeras entre río Maule y límite Región	1.934,8	85	15,92	50	5,96	
			0734	Perquilauquén Bajo	1.825,0								
8	Cuenca del Loncomilla	4.390,1	0735	Río Loncomilla	4.390,1						546	269,23	
9	Costeras entre río Maule y límite Región	1.934,8	0740	Costeras entre Quebrada honda y río Reloca	508,0	074	Costeras entre río Maule y límite Región	1.934,8	85	15,92	50	5,96	
			0741	Río Reloca	632,6								
			0742	Costeras entre río Reloca y río Curanilauhe	88,7								
			0743	Río Curanilauhe	196,7								
			0744	Costeras entre río Curanilauhe y límite Región	508,8								
<b>TOTAL REGIÓN MAULE</b>		<b>31.021,1</b>			<b>31.021,1</b>				<b>31.021,1</b>	<b>3.293</b>	<b>1.785,38</b>	<b>2.433</b>	<b>1.305,22</b>



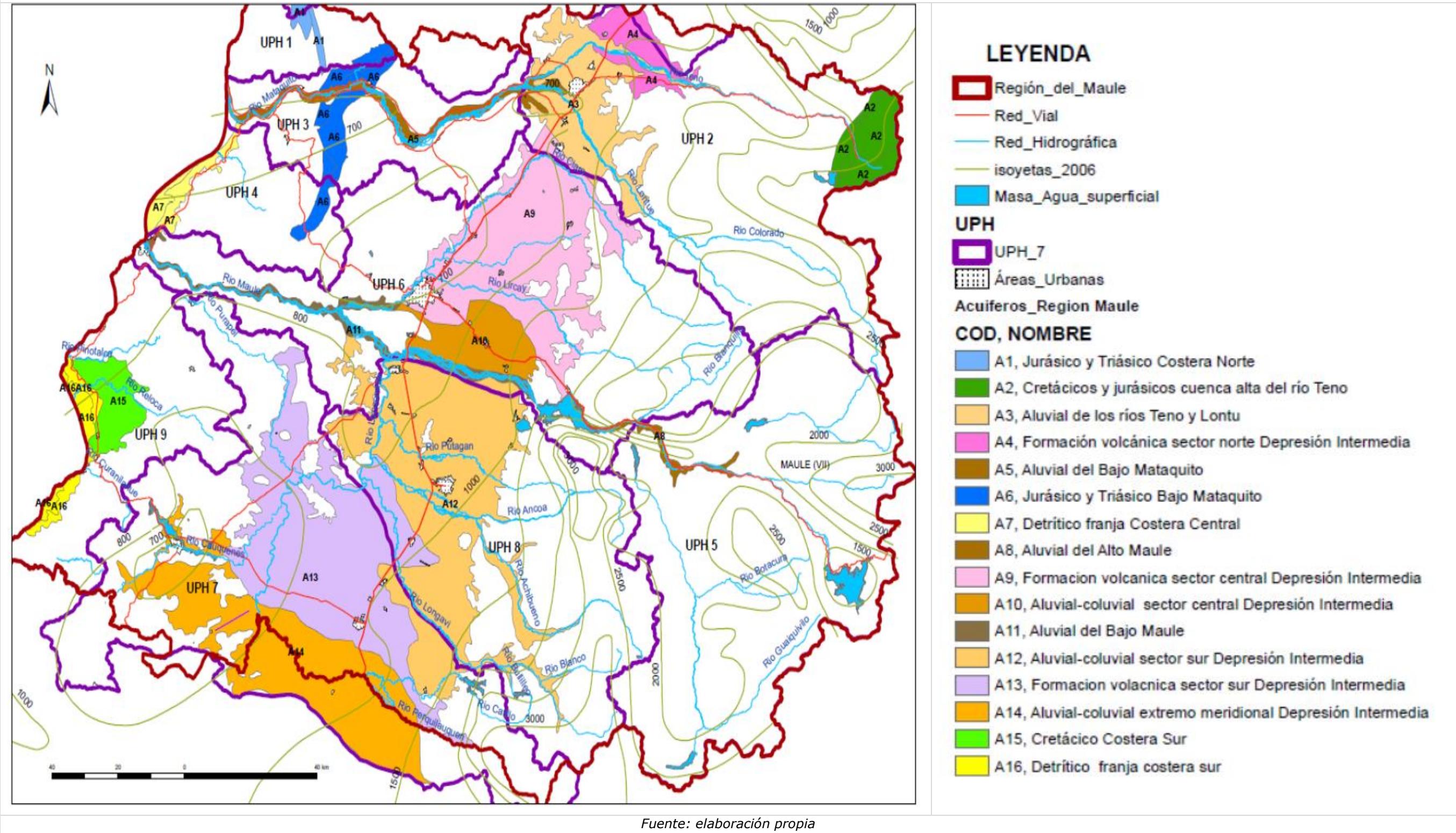
A la vista de los resultados anotados en la Tabla 5.1, se aprecia una diferencia entre el volumen de extracciones que se contabiliza en la columna correspondiente a las “cuencas” ( $1.785,38 \text{ hm}^3/\text{año}$ ), con respecto a la anotada en la columna de las “UPH” ( $1.305,22 \text{ hm}^3/\text{año}$ ), ello es debido a los siguientes motivos:

- En la cuenca están contabilizadas todas las captaciones con derechos de aprovechamiento, mientras que en las UPH sólo se contabilizan las aquellas de las que se dispone de coordenadas geográficas, que son las que se han podido situar en el SIG, al tratar de ubicarlas en la correspondiente UPH.
- También hay que tener en cuenta que en el volumen por cuencas, se suman los caudales de las 82 captaciones que quedan al norte de las UPH 1 y 2, fuera de sus límites, aunque contabilizadas en el volumen total de la Región.

### **5.3. Acuíferos identificados y delimitados en la Región de Maule**

Mediante el análisis e interpretación del mapa hidrogeológico realizado de la Región de Maule, de las características hidrogeológicas de las diferentes formaciones que afloran en ella y de la productividad de los pozos perforados en las mismas, se han podido delimitar hasta 16 acuíferos diferentes en toda la Región, que se resumen en la tabla adjunta (Tabla 5.2), y cuya disposición geográfica se visualiza en el Mapa de Acuíferos (Mapa 5.2).

Mapa 5.2. Mapa de acuíferos de la Región del Maule



**Tabla 5.2. Acuíferos identificados en la Región de Maule**

UPH	ACUÍ-FERO	NOMBRE	EXTENSIÓN (km <sup>2</sup> )	LITOLOGIA	EDAD
1	A1	Jurásico y Triásico costera norte	75,48	Calizas, areniscas y conglomerados (Ji1m, Tr1m)	Jurásico-Triásico
2	A2	Cretácicos y jurásicos cuenca alta del río Teno	389,67	Calizas, areniscas, conglomerados, lutitas calcáreas (Kia1c, JK1m, Js1c, Js1m)	Cretácico-Jurásico
	A3	Aluvial de los ríos Teno y Lontué	684,94	Arenas, gravas, arcillas y limos (Q1)	Cuaternario
	A4	Formación volcánica sector norte Depresión Intermedia	244,17	Depósitos de avalancha volcánica (Q3av)	Cuaternario
3	A5	Aluvial del Bajo Mataquito	225,32	Depósitos fluviales de arenas, gravas, bolos y arcillas (Qf)	Cuaternario
	A6	Jurásico y Triásico Bajo Mataquito	300,86	Calizas, areniscas y conglomerados (Ji1m, Tr1m)	Jurásico-Triásico
4	A7	Detritico franja costera central	141,71	Arenas, gravas, arcillas y depósitos eólicos (Q, Qe)	Cuaternario
5	A8	Aluvial del Alto Maule	78,59	Arenas, gravas, arcillas y limos (Q1)	Cuaternario
6	A9	Formación volcánica sector central Depresión Intermedia	1.444,36	Depósitos piroclásticos asociados a calderas de colapso (PI3t)	Cuaternario
	A10	Aluvial-coluvial sector central Depresión Intermedia	353,19	Arenas, gravas, arcillas y limos (Q1)	Cuaternario
	A11	Aluvial del Bajo Maule	239,79	Depósitos fluviales de arenas, gravas, bolos y arcillas (Qf)	Cuaternario
7	A12	Aluvial-coluvial sector sur Depresión Intermedia	2.066,75	Arenas, gravas, arcillas y limos (Q1)	Cuaternario
8	A13	Formación volcánica sector sur Depresión Intermedia	1.874,91	Depósitos piroclásticos asociados a calderas de colapso (PI3t)	Cuaternario
	A14	Aluvial-coluvial extremo meridional Depresión Intermedia	1.370,97	Arenas, gravas, arcillas y limos (Q1)	Cuaternario
9	A15	Cretácico costera sur	238,45	Areniscas, conglomerados, lutitas, calizas y sucesiones turbiditicas (Ks1m)	Cretácico

**Tabla 5.2. Acuíferos identificados en la Región de Maule**

UPH	ACUÍ-FERO	NOMBRE	EXTENSIÓN (km <sup>2</sup> )	LITOLOGIA	EDAD
	A16	Detritico franja costera sur	165,35	Arenas, gravas, arcillas (Q1) y depósitos litorales (arenas y gravas) (Qm)	Cuaternario
<b>TOTAL ACUÍFEROS REGIÓN DE MAULE</b>		<b>9.894,50</b>			

La extensión de los afloramientos de las formaciones acuíferas asciende a 9.895 km<sup>2</sup>, dentro de la superficie global de la Región de Maule, que es de 31.021 km<sup>2</sup>, lo que supone un 31% de materiales permeables dentro del conjunto de la Región.

La productividad de agua subterránea de estos 16 acuíferos es variable de unos a otros, en función de la naturaleza, más o menos permeable, que cada litología presenta, de la extensión superficial de sus afloramientos y de la potencia que tienen los mismos.

En los siguientes apartados se van a describir las características hidrogeológicas e hidrodinámicas de los 16 acuíferos, teniendo en cuenta su ubicación dentro de las 9 Unidades de Planificación Hídrica que se han delimitado en la Región de Maule.

## 6. ESTUDIO DE LOS ACUÍFEROS DE LA VII REGIÓN

### 6.1. Acuíferos en Costeras entre Límite Norte y Mataquito. UPH 1

#### 6.1.1. Fuentes documentales

Para la descripción hidrogeológica de la Costera entre Límite Norte y Mataquito, se han consultado los siguientes documentos:

- (RH020) *Diagnóstico de Recursos Hídricos de Secano Interior y Costero VI a VIII Región*, realizado por la CNR en 2003.
- (RH070) *Estimaciones de Demanda de Agua y proyecciones futuras. Zona II. Regiones V a XII y Región Metropolitana*, realizado por el MOPU-DGA en 2007.
- (SAP010) *Diagnóstico actual del Riego y Drenaje en Chile y su proyección. Diagnóstico del riego y drenaje en la VII Región*, realizado por la CNR, 2003.
- (RH018) *Estudio Hidrogeológico de Secano Interior y Costero. Regiones VI, VII y VIII*, realizado por el IICA en 2002.
- (RH180) *Derechos concedidos en Aguas Superficiales y Subterráneas. Región VII*. MOPU-DGA, 2015.
- (EH050) *Medidas del nivel piezométrico en 35 puntos de la Región de Maule*. MOPU-DGA, 1965 a 2015.
- (RHH180) *Relación de captaciones utilizadas como Agua Potable Rural* (tabla Excel).

## 6.1.2. Características hidrogeológicas. Acuíferos

### 6.1.2.1. Hidrogeología

La cuenca costera que se enmarca entre el límite norte de la Región VII y la cuenca del Mataquito, ocupa una extensión de 609,2 km<sup>2</sup> (el 1,9 % del total de la superficie de la Región), drena mayoritariamente hacia la subcuenca del Lago Vichuquén mientras que una superficie menor, lo hace directamente hacia el océano.

Las formaciones hidrogeológicas que afloran en esta cuenca costera, ya descritas en el capítulo anterior, y representadas en el Mapa 4.1, son las siguientes:

- **Q1.** Depósitos detríticos aluviales del Cuaternario, constituidos por arenas, gravas, arcillas y limos, que se cartografián en un pequeño afloramiento asociado al valle alto del río Vichuquén. Aunque la permeabilidad de estos materiales es elevada, la reducida extensión de su afloramiento y la escasa potencia del mismo, le hace que no se considere en la cuenca como un acuífero de interés en cuanto a su productividad. Sin embargo, aunque no están representados en la cartografía del mapa Mapa 6.1, en el valle del río Vichuquén y en el entorno de su lago se encuentran depósitos detríticos cuaternarios, de alteración y deposición de las rocas de la cuenca, que deben constituir un acuífero permeable, de baja producción hídrica, ante su reducida potencia (no debe superar los 5-10 m), que es el que explotan algunas de las captaciones de agua, con derechos de aprovechamiento concedidos, en la cuenca (16).

*Hacia aguas abajo, en la última parte del estero Vichuquén, aunque existen rellenos que pudieran alcanzar del orden de 30 m de espesor, pozos profundos tienen una producción del orden de 5 l/s, mientras que algunos drenes producen alrededor de 3 l/s, estando todas estas captaciones destinadas al abastecimiento de agua potable de localidades del sector (doc. SAP010).*

- **Ji1m.** Secuencias sedimentarias marinas del Jurásico Inferior-Medio, compuestas por calizas, areniscas calcáreas, lutitas, conglomerados y areniscas con intercalaciones vulcano-clásticas y lávicas (basaltos almohadillados). Se observan dos afloramientos de esta formación, uno en la cabecera de la cuenca y otro hacia el sector medio de la misma, próximo al emplazamiento del lago Vichuquén, separados ambos por la intrusión granítica del Paleozoico (CPg) que ocupa la zona oriental de la cuenca. Esta formación presenta una permeabilidad de grado medio-alto, debida a la fisuración, diaclasación y, en algunos puntos, procesos de disolución que afectan a los materiales carbonatados, por lo que pueden constituir acuíferos de cierto interés hidrogeológico.

El afloramiento del Jurásico ubicado en la cabecera de cuenca forma parte del acuífero A6, que se describirá al hablar de la UPH 3, ya que la mayor parte del conjunto de este acuífero se drena hacia la cuenca baja del río Mataquito. Sólo se describen aquí las características hidrogeológicas e hidrodinámicas del acuífero **A1**.

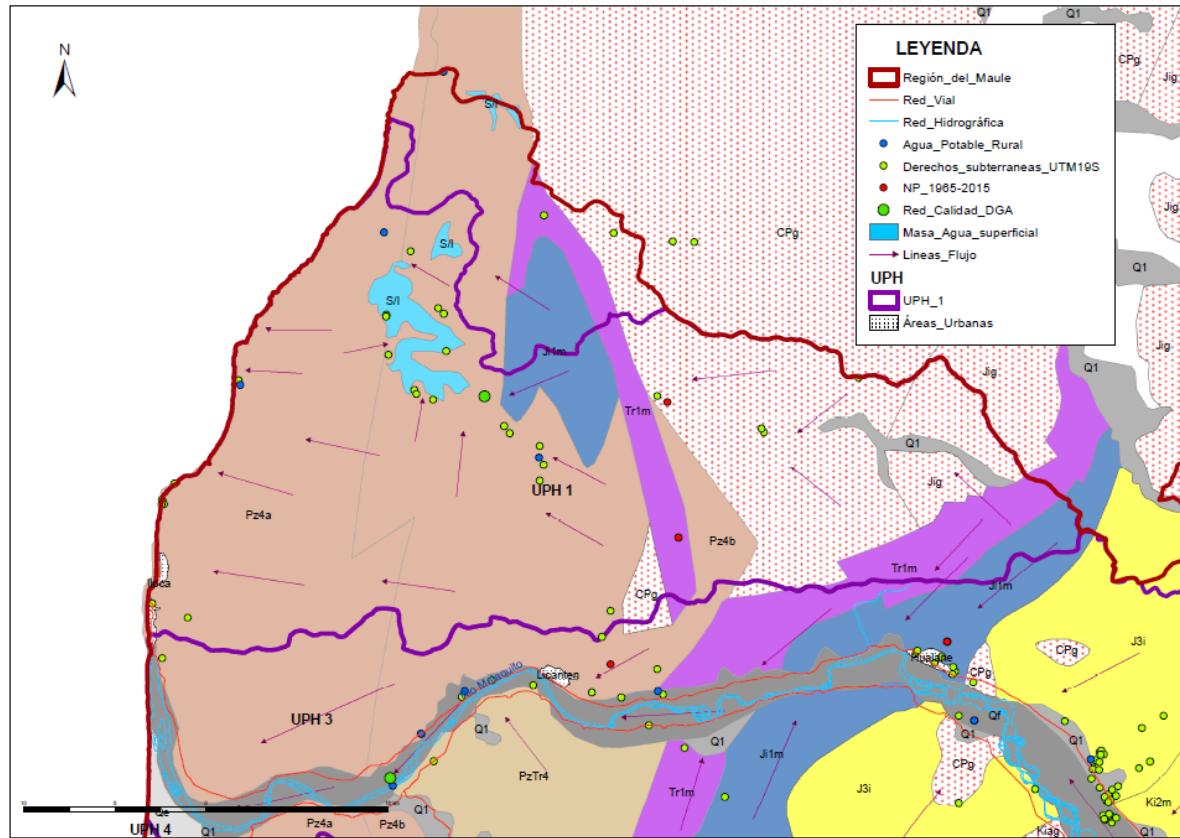
- **Trim.** Secuencias sedimentarias marinas y transicionales del Triásico superior, constituidas por areniscas, conglomerados, limolitas y calizas. Su afloramientos se encuentran en la misma posición geográfica que la de la anterior formación jurásica (Ji1m) descrita, con la que mantienen contacto litológico, formando parte de la misma estructura geológica. Al igual que esta, presenta una permeabilidad de grado medio-alto, por la que se considera que ambas formaciones geológicas forman parte del mismo acuífero **A1**.
- **CPg.** Rocas eruptivas de carácter ígneo, de muy baja permeabilidad en su conjunto, y que solo presentan reducidos niveles acuíferos asociados a los tramos superiores, fracturados y diaclasados, del macizo granítico, y a los niveles de alteración y meteorización de la roca (regolito) que se hayan recubriendo a la misma en los sectores de topografía más amortiguada, donde es más fácil que se deposite y concentren los sedimentos de alteración de la roca, en potencias que no deben alcanzar los 10 m. El afloramiento de esta formación se localiza en la zona alta de la cuenca costera, y en él se ubican 4 de los pozos inventariados en la cuenca.
- **Pz4a** y **Pzab.** Formaciones metamórficas del Paleozoico, compuestas por esquistos moscovíticos, metabasitas, pizarras, filitas y meta-arenitas, que ocupan la mayor parte de la superficie de la cuenca costera (las dos terceras partes). Esta formación presenta muy baja permeabilidad en su conjunto, localizándose solamente reducidos niveles acuíferos más permeables asociados a los puntos de mayor meteorización y/o fracturación de las rocas, concentrados en algunos sectores más superficiales de sus afloramientos, que pueden presentar un cierto interés hidrogeológico como fuente de suministro de aguas subterráneas, para atender necesidades muy puntuales de abastecimiento. De hecho, se han inventariado algunas captaciones de agua en esta formación, con poco caudal de extracción: 28 pozos, de los que 16 se hallan en el entorno del lago Vichuquén y en su valle, posiblemente drenando también los depósitos detríticos (no cartografiados en el mapa) que se hallan sobre la formación metamórfica de base.

En el Mapa Hidrogeológico de la Costera entre límite Región y Mataquito (Mapa 6.1) se representa la cartografía de las formaciones litológicas relatadas y la posición que tienen, sobre ellas, las captaciones con derechos de explotación de aguas subterráneas, concedidos por la DGA, aquellas de las que se ha dispuesto de sus coordenadas geográficas UTM (33). Se sitúan también las captaciones que, con derechos concedidos, se emplean en abastecimiento rural (3) y 2 pozos en los que se han tomado algunas medidas del NP, en el periodo comprendido desde el año 1965 al 2015.

Así mismo, se indica la dirección y sentido que pueden tener los flujos subterráneos de agua que, de manera muy somera, se pueden generar sobre las formaciones litológicas de la cuenca. En este tipo de materiales, de baja permeabilidad, la superficie del nivel de agua del acuífero somero, que se genera en las zonas de alteración y de mayor fisuración y diaclasación de la roca, reproduce, suavizándola ligeramente, la topografía del terreno; ello

tiene como consecuencia la superposición, aproximada, entre las divisorias topográficas y las piezométricas.

*Mapa 6.1. Mapa Hidrogeológico de la Costera entre límite Región y Mataquito*



La leyenda de las formaciones geológicas que afloran en la cuenca Costera puede verse en el MHRM (Mapa 4.1), incluida anteriormente en este informe.

### 6.1.2.2. Acuíferos

De las formaciones geológicas que afloran en la cuenca costera, las únicas que presentan, por su permeabilidad -de tipo medio ( $K$  de 1 a 10 m/d) y que puntualmente llegan a alcanzar el alto ( $k$  de 10 a 100 m/d)- unas buenas características hidrogeológicas como para constituir un acuífero de interés productivo, es el afloramiento del Jurásico y Triásico que ocupa una extensión de 75 km<sup>2</sup> hacia la zona central de la cuenca.

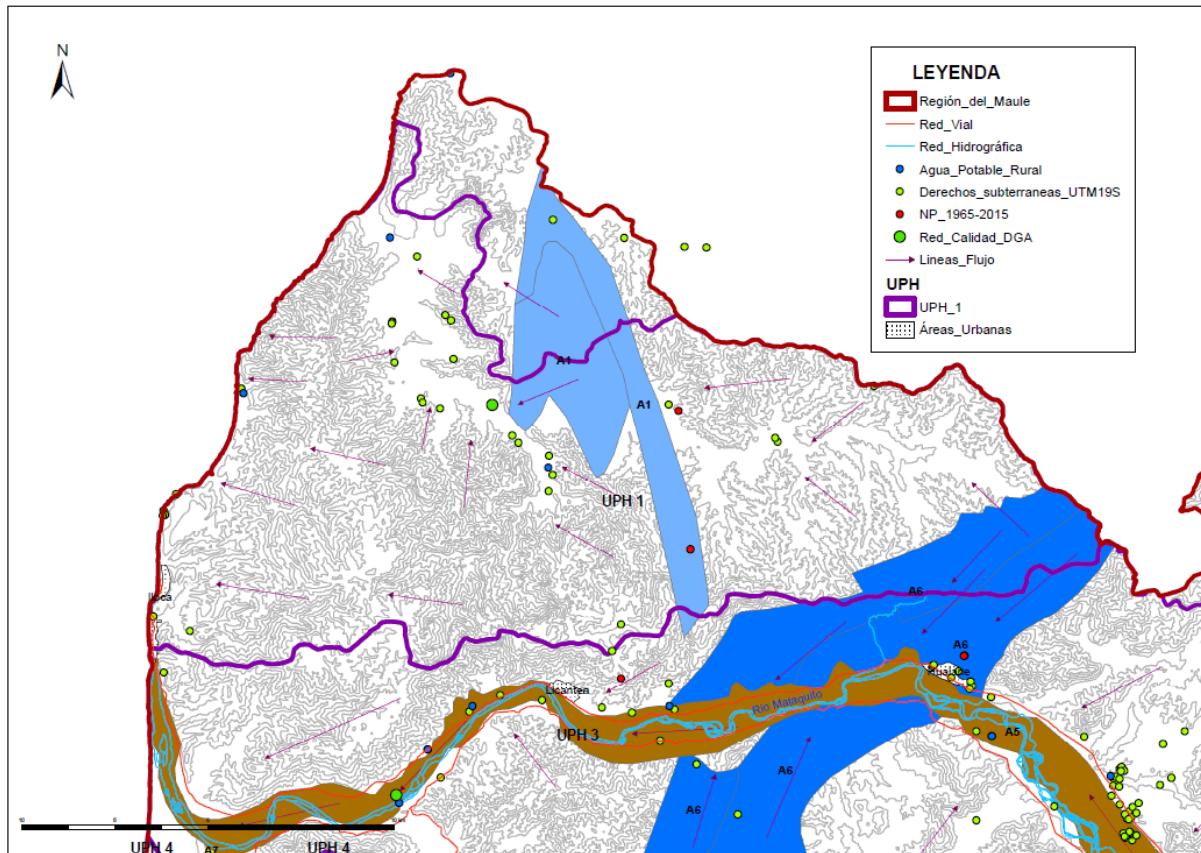
Ambas formaciones constituyen el acuífero **A1 Jurásico y Triásico costero**, en el que, debido a la fisuración y diaclasación que afecta a las rocas, este presenta un comportamiento hidrodinámico libre, de tal modo, que la recarga subterránea del mismo se establece por la infiltración de parte del agua de lluvia que se recoge directamente sobre sus



propios afloramientos y, su descarga natural, se ocasiona hacia los cursos de agua que pudieran contactar con estos afloramientos, como es el caso del cauce-valle del río Vichuquén, que lo traviesa por su borde meridional. En el extremo norte del afloramiento acuífero, en materiales del Triásico, se halla uno de los pozos inventariados en la cuenca.

En el Mapa 6.2 puede verse la ubicación del acuífero A1 dentro del ámbito hidrográfico de la cuenca costera:

Mapa 6.2. Situación geográfica del acuífero A1 Jurásico-Triásico costero



El afloramiento del acuífero A6 Jurásico y Triásico Bajo Mataquito, puesto que en su mayor parte se extiende por la UPH 3, será descrito en ese subcapítulo. Dentro de esta UPH 1, por su ubicación geológica en cabecera de cuenca, presenta menos interés. El agua subterránea recargada en este afloramiento, en su mayor parte, se debe drenar, junto al resto del acuífero, hacia el Sur, al cauce del río Mataquito, que cruza el conjunto del afloramiento.

### 6.1.3. Características hidrodinámicas

En la documentación consultada no se ha localizado ningún dato sobre posibles ensayos de bombeo realizados en algunas de las captaciones de agua perforadas, lo que no permite que se pueda dar algún valor, controlado, de la transmisividad ( $T$ ) y coeficiente de almacenamiento ( $S$ ) de los reducidos acuíferos explotados en esta cuenca costera. No obstante, teniendo en cuenta la apreciación cualitativa de la permeabilidad ( $K$ ) que presentan las rocas metamórficas, se puede considerar que la  $T$  de estas no debe ser mayor de  $10 \text{ m}^2/\text{día}$  (que es la correspondiente a una formación de muy baja permeabilidad). Por su parte, el  $S$ , debe ser del orden de  $10^{-2}$ , que es el correspondiente a acuíferos en estado libre.

En cuanto al **acuífero A1**, que está constituido por rocas de permeabilidad tipo medio-alto (calizas, areniscas, conglomerados, arenas calcáreas), la  $T$  que pudiera tener podría estar comprendida entre  $100$  a  $1.000 \text{ m}^2/\text{día}$ , en los sectores de mayor carstificación de las calizas. El coeficiente de almacenamiento ( $S$ ) debe ser del orden de  $10^{-2}$ , al ser un acuífero en estado libre.

### 6.1.4. Captaciones de agua subterránea. Explotaciones

La referencia disponible sobre el número de captaciones existentes en la Costera límite Región-Mataquito, es la proporcionada por la DGA, en cuanto a los derechos de aprovechamiento de aguas solicitados y concedidos en esta zona. El número de ellos, de los que se ha dispuesto de las coordenadas geográficas de su ubicación, asciende a 33, con la siguiente distribución por formaciones geológicas: 12 en materiales metamórficos del Paleozoico; 16 en el valle y entorno del lago Vichuquén, perforados en el relleno de sedimentos detríticos que recubre a los materiales metamórficos del zócalo y que también han podido penetrar en el mismo; 4 en granitos; y 1 más en el acuífero A1, aunque ubicado al norte del límite de la cuenca costera.

Se desconoce el tipo de captación que son (pozos, punteras, norias), pues la base de datos de la DGA no la indica, aunque se supone que en su mayor parte deben ser pozos, de diámetro mayor y poca profundidad.

Los caudales de extracción concedidos, oscilan entre los  $0,017 \text{ l/s}$  de un pozo situado en la comuna de Vichuquén, a los  $6,7 \text{ l/s}$  de otro pozo ubicado en la comuna de Hualañé.

El volumen total de extracción de agua subterránea concedido por la DGA a las 33 captaciones asciende a  $53,27 \text{ l/s}$ , que, de extraerse todo de manera continuada, daría un volumen anual de explotación de  **$1,68 \text{ hm}^3/\text{año}$** . Este sería un máximo de extracción, ya que es difícil suponer que todo el caudal concedido a una captación, en  $\text{l/s}$ , se esté explotando de modo continuo durante todo el año hidrológico. Al no disponer de un mejor dato sobre el volumen realmente explotado, se estima que el volumen máximo de extracción

de aguas subterráneas en la cuenca costera sería del orden de 1,68 hm<sup>3</sup>/año. Tampoco se sabe el destino del agua, aunque dado que esta zona tiene un cierto desarrollo turístico, lo más probable es que se utilice, en su mayor parte, para el consumo doméstico; se tiene referencia que 3 de las captaciones son utilizadas en abastecimiento rural, según consta en la *Relación de captaciones utilizadas como Agua Potable Rural* (tabla Excel).

#### 6.1.5. Niveles de agua. Flujos subterráneos

Solamente se ha dispuesto de los datos del nivel piezométrico (NP) medido en dos pozos de la cuenca Costera, situados hacia el interior de la misma, como puede verse en el mapa hidrogeológico: el pozo “AP Comalle”, en el que en el periodo de medidas de 1969 a 1971, el NP se sitúa entre los 1 a 2 m de profundidad; y el pozo “Vigna Santa Julia”, en el que, en el mismo periodo, el NP se situaba entre los 3 a 4 m de profundidad.

Pero, teniendo en cuenta la experiencia comprobada en otros estudios, sobre el comportamiento hidrogeológico que presentan las formaciones, de baja permeabilidad, que prácticamente cubren toda la superficie de la cuenca costera (salvo los 75 km<sup>2</sup> del acuífero A1), se puede considerar que el NP, en los sectores en los que este se halle, debe encontrarse unos pocos de metros (máximo una decena) por debajo de la cota topográfica del terreno en el que se ubique la captación. Por ello, este puede variar desde una cota de muy pocos metros sobre el nivel del mar, en los puntos de captación costeros, hasta una cota de más o menos 450 msnm, en los puntos ubicados en las cotas de mayor altitud registradas dentro de la cuenca costera, concretamente en los afloramientos de roca granítica que se encuentran en esta zona alta de la cuenca.

Los flujos subterráneos que pudiesen establecerse por los sectores superficiales de la masa metamórfica y granítica, deberán ir descendiendo, más o menos paralelamente a la superficie topográfica del terreno y a pocos metros de profundidad de la misma, desde las cotas altas hacia las bajas de sus afloramientos. En el mapa hidrogeológico Mapa 6.1 se puede observar la dirección y sentido de los flujos subterráneos marcados, teniendo en cuenta este criterio hidrodinámico.

En el caso del acuífero **A1**, constituido por rocas de mayor permeabilidad, en la cota más alta de su afloramiento, por donde se produce la mayor parte de la recarga subterránea del mismo, a partir de parte de la precipitación que se recibe sobre el afloramiento, el NP debe encontrarse profundo, probablemente a una cota ligeramente mayor que la de su posible punto de drenaje, que es el cauce del río Vichuquén, a su paso por el afloramiento del acuífero. La cota de este punto de descarga se sitúa sobre los 20 msnm, desde la cual, el NP va ascendiendo levemente hacia la zona central de su afloramiento, situado en la cota topográfica de 150 msnm. En el mapa hidrogeológico se indica la dirección de los flujos subterráneos que se generan en el acuífero.

## 6.1.6. Recarga subterránea. Balance hídrico

### 6.1.6.1. Recarga subterránea

Para la estimación de la recarga subterránea que se debe producir anualmente, como media, en las formaciones hidrogeológicas de la Cuenca Costera entre límite Norte y Mataquito, se ha partido de la **precipitación media anual** registrada en la zona que, según el mapa de isoyetas consultado en el doc. RH155 *Estimación preliminar de las Recargas de Agua Subterránea y Determinación de los Sectores Acuíferos de Aprovechamiento Común en las Cuencas de las Regiones del Maule, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos*, realizado por la DGA en 2014, se sitúa en valores de **700 mm**.

Partiendo de los valores de precipitación registrados en la cuenca, y mediante la aplicación, en su día, de modelos hidrológicos, en el capítulo 2 del presente diagnóstico, se indica que la **aportación total** en la cuenca (recursos hídricos totales) es de **118,69 hm<sup>3</sup>/año**.

Por los datos bibliográficos consultados, la infiltración del agua de precipitación en medios de baja a muy baja permeabilidad, puede oscilar entre el 8 a 20 % de la Pm, en medios graníticos<sup>1</sup>; este mismo porcentaje podría aplicarse a los materiales metamórficos. Para las formaciones de media a alta permeabilidad, como sería el caso del afloramiento de 75 km<sup>2</sup> que cubre el acuífero **A1 Jurásico-Triásico costero**, este porcentaje se elevaría hasta un 30-40 % de Pm (según experiencias de estudios hidrogeológicos realizados en formaciones de este tipo de litologías<sup>2</sup>). De acuerdo con estos porcentajes, y tratando de ser conservadores, la infiltración de agua subterránea en la cuenca costera, sería:

**Tabla 6.1. Infiltración de agua subterránea en la Costera límite Región-Mataquito**

Zonas	Área (km <sup>2</sup> )	Precipitación media (mm)	Infiltración (%)	Infiltración media (hm <sup>3</sup> /año)
Acuífero A1	75,48	700	30	15,85
Resto Cuenca	534	700	8	29,90
<b>TOTAL</b>	<b>609</b>			<b>45,75</b>

Si a la aportación total estimada (escorrentía total), se le deduce la infiltración subterránea originada en las formaciones hidrogeológicas, la escorrentía superficial directa, sería:  $118,69 - 45,75 = 72,94 \text{ hm}^3/\text{año}$ . Esta escorrentía se recoge como agua superficial en los cauces que se encajan en la cuenca costera, y buena parte de ella acaba por retenerse en el Lago Vichuquén; otra parte va directamente al océano.

<sup>1</sup> Modelo Transformación Precipitación-Aportación de Témez, aplicado a macizos graníticos del Macizo Hespérico en España, ENRESA 1977.

<sup>2</sup> Aplicación del Modelo APLIS (metodología para la determinación y zonación espacial de la recarga en acuíferos carbonáticos), Grupo de Hidrogeología de la Universidad de Málaga, España.

Dada la poca capacidad de almacenamiento de los “acuíferos” someros que se hallan en los sectores de fracturación, fisuración y meteorización de las rocas metamórficas y graníticas, el agua infiltrada en estos acuíferos, después de cortos recorridos y tiempos de residencia limitados, vuelve a salir, a lo largo del año hidrológico, hacia los cauces de ríos y arroyos, para incorporarse a la circulación de agua superficial que se produce en ellos.

El único acuífero en el que las aguas subterráneas se almacenan y circulan una mayor distancia por el interior de la roca permeable, es el **A1 Jurásico-Triásico costero**, en el que, los 15,85 hm<sup>3</sup>/año estimados de su recarga anual, deben embalsarse y retenerse durante un mayor tiempo en las rocas fisuradas y diaclasadas, hasta acabar drenándose, de manera natural, por el sector topográfico más bajo de su afloramiento, que viene a coincidir con el paso del cauce-valle del Vichuquén por el extremo meridional del acuífero. Estos serían los recursos hídricos subterráneos que anualmente, como media, se renuevan en el acuífero.

#### 6.1.6.2. Balance hídrico

Si se compara la cifra de las explotaciones máximas de aguas subterráneas que se pudiesen estar extrayendo de la cuenca costera, de 1,68 hm<sup>3</sup>/año, con la de los recursos hídricos que anualmente se recargan en la misma, de 45,75 hm<sup>3</sup>/año, es evidente que el balance es muy positivo, en 44,07 hm<sup>3</sup>/año. No obstante, hay que resaltar que, en la práctica, la mayor parte del agua infiltrada y recargada en los acuíferos someros, generados en y sobre la base de las formaciones de baja permeabilidad (rocas metamórficas y graníticas), es nuevamente drenada al medio exterior, para incorporarse a la circulación superficial que se genera en la cuenca. Solamente los recursos hídricos infiltrados en el acuífero A1 pueden estar un mayor tiempo embalsados como aguas subterráneas, e ir teniendo un drenaje exterior más diferido en el tiempo. Todas estas aguas son retenidas en los varios esteros (Huiñe, Baquil, Tabunco) que se hallan en la cuenca costera, en especial en el Lago Vichuquén, circulando posteriormente y lentamente hasta el océano.

#### 6.1.7. Reservas subterráneas

El único acuífero en el que pueden encontrar reservas de aguas subterráneas almacenadas es el **A1 Jurásico-Triásico costero**, en toda la geometría (superficie y profundidad) del afloramiento calizo-areniscoso que geológicamente y estructuralmente se encuentre por debajo de la cota de descarga del acuífero al cauce-valle del Vichuquén, que se encuentra sobre los 20 msnm de cota topográfica.

Se desconoce la profundidad de esta estructura geológica pero, estimándose que al menos hubiese 100 m de acuífero saturado de agua por debajo del punto de su descarga natural, las reservas de agua estimadas podrían ser del orden de:  $75 \text{ km}^2 \times 100 \text{ m} \times 10^{-2} (\text{S}) = 75 \text{ hm}^3$ . El único modo que habría para extraer parte de estas reservas sería mediante la

implantación y perforación de sondeos en el sector bajo del acuífero, en el valle de Vichuquén.

#### 6.1.8. Modelización matemática

Ante la poca importancia hidrogeológica que presentan las formaciones geológicas que afloran en la Costera límite Región-Mataquito, en la que sólo se destaca el acuífero **A1**, de moderada productividad hídrica, no se ha planteado, hasta el momento, la necesidad de realizar ninguna modelación matemática de este acuífero.

#### 6.1.9. Calidad de las aguas subterráneas

No se ha dispuesto de ningún dato analítico con el que valorar la calidad química del agua subterránea que circula por los reducidos sectores acuíferos que se pudiesen encontrar en las formaciones metamórficas y graníticas, de baja permeabilidad, que afloran en la demarcación hidrográfica de la cuenca costera, pero, ante la naturaleza geoquímica de los materiales por los que transita el agua y el corto tiempo de residencia en el que se mantiene el agua subterráneamente en el “acuífero”, es de suponer que esta presenta una baja concentración en sales. Así mismo, el hecho de ser áreas con poca densidad de población, hace considerar que la calidad bacteriológica del agua también deba ser buena. Datos de otras zonas costeras similares, indican una concentración de sólidos disueltos en este tipo de materiales del orden de 650 mg/l, en aguas que son utilizadas para el consumo doméstico (doc. SAP010).

En cuanto al agua del **acuífero A1**, su calidad química también debe ser buena pues, en este caso, al transitar el agua por rocas duras fisuradas, la disolución de sales es aún menor.

Por lo que se indica en el documento SAP010, solamente algunas captaciones ubicadas en los arenales costeros, contienen aguas salinizadas por el mar y con contenidos de amonios y metales muy altos.

#### 6.1.10. Áreas de protección ecológica asociadas a descargas subterráneas

El área de protección ecológica que se halla en esta cuenca costera es el Complejo de la Laguna Torca, que es una Reserva Natural situada al norte del Lago Vichuquén, cuya foto se adjunta:



Foto 6.1. Complejo de la Laguna Torca

El agua retenida en esta laguna procede de la escorrentía superficial directa que se origina por los cauces de arroyos que vierten en su vaso, así como por los aportes subterráneos diferidos que, desde los acuíferos someros que se hallan en los materiales metamórficos, también drenan hacia estos cauces menores.

Así mismo, se considera como humedal de interés ambiental, incluido en la relación de Humedales a preservar en la Región del Maule (shp de humedales), el Lago de Vichuquén, que como ya se ha indicado anteriormente, las aguas embalsadas proceden tanto de las aguas superficiales directas que se originan en su cuenca de alimentación, como de las subterráneas, con mayor o menor tiempo de residencia en los acuíferos, que también se drenan en ella.



Foto 6.2. Lago Vichuquén

## 6.2. Acuíferos en la Cuenca Alta del Mataquito. UPH 2

### 6.2.1. Fuentes documentales

Para la descripción hidrogeológica de la Cuenca Alta del Mataquito, se han consultado los siguientes documentos:

- (RH015) *Exploración de los Recursos Hídricos Subterráneos. Región VII*, realizada por la DGA en 1999.
- (RH070) *Estimaciones de Demanda de Agua y proyecciones futuras. Zona II. Regiones V a XII y Región Metropolitana*, realizado por el MOPU-DGA en 2007.
- (RH090) *Diagnóstico de Caudales Disponibles en Cuencas no controladas de Recuperación, Cuencas de Maule, Mataquitos y Rapel*, realizado por la CNR en 2008.
- (RH110) *Plan Nacional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021*, realizado por el MOPU en 2012.
- (RH130) *Estudio Hidrogeológico del Río Mataquito*, realizado por la DGA División de Estudios y Planificación en 2012.
- (CA055) *Estudio de Calidad de Aguas Subterráneas de Huasco y Mataquito*, realizado por la CNR en 2006.
- (EH040) *Análisis crítico de las Redes Hidrométricas, Regiones V a VII y Región Metropolitana*, realizado por el MOPU-DGA, en 2013.
- (EH090) *Diagnóstico de Caudales Disponibles en Cuencas no controladas de Recuperación, Cuencas de Maule, Mataquitos y Rapel*, realizado por la CNR, en 2008.
- (SAP010) *Diagnóstico actual del Riego y Drenaje en Chile y su proyección. Diagnóstico del riego y drenaje en la VII Región*, realizado por la CNR, 2003.
- (RH185) *Evaluación de la disponibilidad de los recursos hídricos subterráneos en el Sector Acuífero Teno-Lontué*. Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH). Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 2015.
- (RH155) *Estimación preliminar de las Recargas de Agua Subterránea y Determinación de los Sectores Acuíferos de Aprovechamiento Común en las Cuencas de las Regiones del Maule, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos*, realizado por la DGA (Informe Técnico SDT Nº 322) en 2014
- (RH180) *Derechos concedidos en Aguas Superficiales y Subterráneas. Región VII*. MOPU-DGA, 2015.
- (EH050) *Medidas del nivel piezométrico en 35 puntos de la Región de Maule*. MOPU-DGA, 1965 a 2015.
- (RHH180) *Relación de captaciones utilizadas como Agua Potable Rural* (tabla Excel).

### 6.2.2. Características hidrogeológicas. Acuíferos

#### 6.2.2.1. Hidrogeología

La Cuenca Alta del Mataquito se enmarca en la zona NE de la Región de Maule, ocupando una extensión de 4.699,3 km<sup>2</sup> (el 15% del total de la superficie de la Región), y drena hacia

los cauces de los ríos Teno y Lontué, hasta la confluencia de ambos, en donde a partir de ella comienza a circular el cauce del río Mataquito, propiamente dicho, hasta su desembocadura en el océano Pacífico.

Las formaciones hidrogeológicas que afloran en esta cuenca alta son las siguientes:

- **Q1:** Depósitos detríticos aluviales del Cuaternario, constituidos por arenas, gravas, arcillas y limos, que se cartografián en el valle central de la Depresión Intermedia, en un extenso afloramiento, de 685 km<sup>2</sup> (el 14,6 % del total de la demarcación hidrográfica de la Cuenca Alta del Mataquito), asociado a los cauces de los ríos Teno y Lontué, en su tramo bajo, y especialmente en la zona de su confluencia, donde se ubica la ciudad de Curico.

La potencia de esta formación, sobre su sustrato rocoso, es variable de unos sectores a otros, según ha demostrado la **geofísica gravimétrica** realizada en esta formación (ver doc. RH130), así como sobre la formación colindante, de depósitos de avalancha volcánica (Q3va), que se sitúa al norte del afloramiento de los depósitos detríticos cuaternarios. El resultado de la interpretación de los 12 perfiles gravimétricos realizados en el conjunto de las dos formaciones geológicas, con un total de 139 estaciones de medidas, separadas entre sí unos 2 km, indica una potencia del conjunto de estos depósitos, hasta alcanzar su sustrato rocoso, de hasta 450 m. Esta máxima potencia se mide en dos subcuencas, separadas por un alto del basamento que se produce a la latitud del cerro Condell, en la parte este de la ciudad de Curico. Aunque la profundidad hasta el basamento rocoso pueda llegar hasta este máximo interpretado, en realidad, la potencia del tramo (unidad) superior, de mayor importancia hidrogeológica por su mayor grado de permeabilidad, varía según los sectores entre los 50 a un máximo de 200 m de potencia, de acuerdo a la interpretación hidrogeológica que se ha realizado de la zona en 5 perfiles estratigráficos realizados con los resultados obtenidos de la geofísica gravimétrica y el apoyo de las columnas estratigráficas de 64 sondeos perforados en la misma (doc. RH130).

- **Q3va.** Formación volcánica del Cuaternario, constituida por depósitos de avalancha volcánica asociados a colapsos parciales de edificios volcánicos, que aflora al norte de la cuenca, en una superficie de 244 km<sup>2</sup> (el 5,2% de la cuenca), y es atravesada por el cauce del río Teno. La potencia de estos depósitos de avalancha volcánica sobre su sustrato rocoso, de acuerdo con la interpretación de la geofísica gravimétrica realizada sobre ella, es del orden de los 1.000 m, de los que sólo 130 serían más permeables (ver perfil B-B' del doc. RH130). Por su estructura intergranular, con abundante fracción arcillosa, presenta una permeabilidad de baja a media, lo que le permite constituir un acuífero, de menor productividad, en contacto hidrodinámico con los depósitos detríticos de la formación Q1, anteriormente descrita.
- El conjunto de las formaciones volcánicas y vulcano-sedimentarias, que presentan una baja permeabilidad en la cuenca Alta del Mataquito, lo componen: **Q3i**, constituida por estratovolcanes y complejos volcánicos de lavas basálticas, domos y depósitos

piroclásticos, del Cuaternario; **PPI3**, constituida por secuencias y centros volcánicos de lavas basálticas con intercalaciones de tobas y conglomerados, también del Cuaternario; y **OM2c**, constituida por secuencias volcano-sedimentarias de lavas, rocas epiclásticas y piroclásticas, con intercalaciones de niveles detríticos sedimentarios, de edad terciaria. Todas estas formaciones afloran en la Precordillera y Cordillera de Los Andes, ocupando la mayor parte de la Cuenca Alta del Mataquito, en unos 3.350 km<sup>2</sup> (el 71% del total de cuenca).

Ante la porosidad primaria, muy reducida, que se encuentra en el conjunto de sus afloramientos, estos materiales presentan una baja permeabilidad; aunque al nivel local, en puntos de mayor fisuración y alteración de la roca volcánica, así como, en algunos casos, por la porosidad intersticial que pudieran tener las intercalaciones sedimentarias que se encuentran en las series vulcano-sedimentarias, su permeabilidad puede ser ligeramente mayor. En consecuencia, en estos limitados sectores, dentro del conjunto de los afloramientos volcánicos y volcano-sedimentarios, se pueden localizar reducidos niveles acuíferos, de muy baja productividad, pero que pueden atender necesidades puntuales de agua. Concretamente en la formación volcano-sedimentaria **OM2c**, se han registrado algunas captaciones de agua subterránea, tal y como puede verse en el Mapa Hidrogeológico Mapa 4.1.

- Las cuatro formaciones sedimentarias, que abarcan desde el Cretácico Inferior hasta el Jurásico Medio: la **Kia1c**, compuesta de areniscas, conglomerados, limolitas, calcilutitas y brechas sedimentarias con intercalaciones de tobas volcánicas, junto con la **JKim**, constituida por calizas, lutitas, areniscas calcáreas y arenisca, la **Js1c**, compuesta por brechas sedimentarias, conglomerados y areniscas rojas, con intercalaciones de tobas y niveles evaporíticos, y la **Js1m**, representada por calizas, areniscas calcáreas y conglomerados con intercalaciones volcanoclásticas y lávicas, constituyen un conjunto de afloramientos de rocas sedimentarias consolidadas, con rangos de permeabilidad que van desde el bajo al alto, según las naturaleza litológica de los materiales que contienen. El afloramiento de este conjunto de formaciones sedimentarias rocosas, se encuentra ubicado en las cotas altas de la Cordillera de Los Andes, en el nacimiento del río Teno, ocupando una banda alargada en la dirección N-S que, en su conjunto, tiene una extensión de 389 km<sup>2</sup> (el 8,3 % de la cuenca). Constituye una estructura monocinal buzando hacia el Oeste, de tal modo que los materiales más antiguos del conjunto cretácico-jurásico, la formación Js1m, afloran en el límite este de la divisoria hidrográfica de la Cuenca Alta del Mataquito.
- **CPg.** Rocas eruptivas de carácter ígneo, que se localizan en varios afloramientos dispersos por la geografía de la Precordilera y en la Cordillera de Los Andes. Esta formación rocosa, muy dura, presenta muy baja permeabilidad en su conjunto, y sólo en los reducidos niveles de alteración y fisuración de la roca, que se suelen originar en los tramos superiores de los macizos graníticos, se pueden localizar reducidos niveles acuíferos, de muy baja productividad hídrica. Su interés hidrogeológico es mínimo.

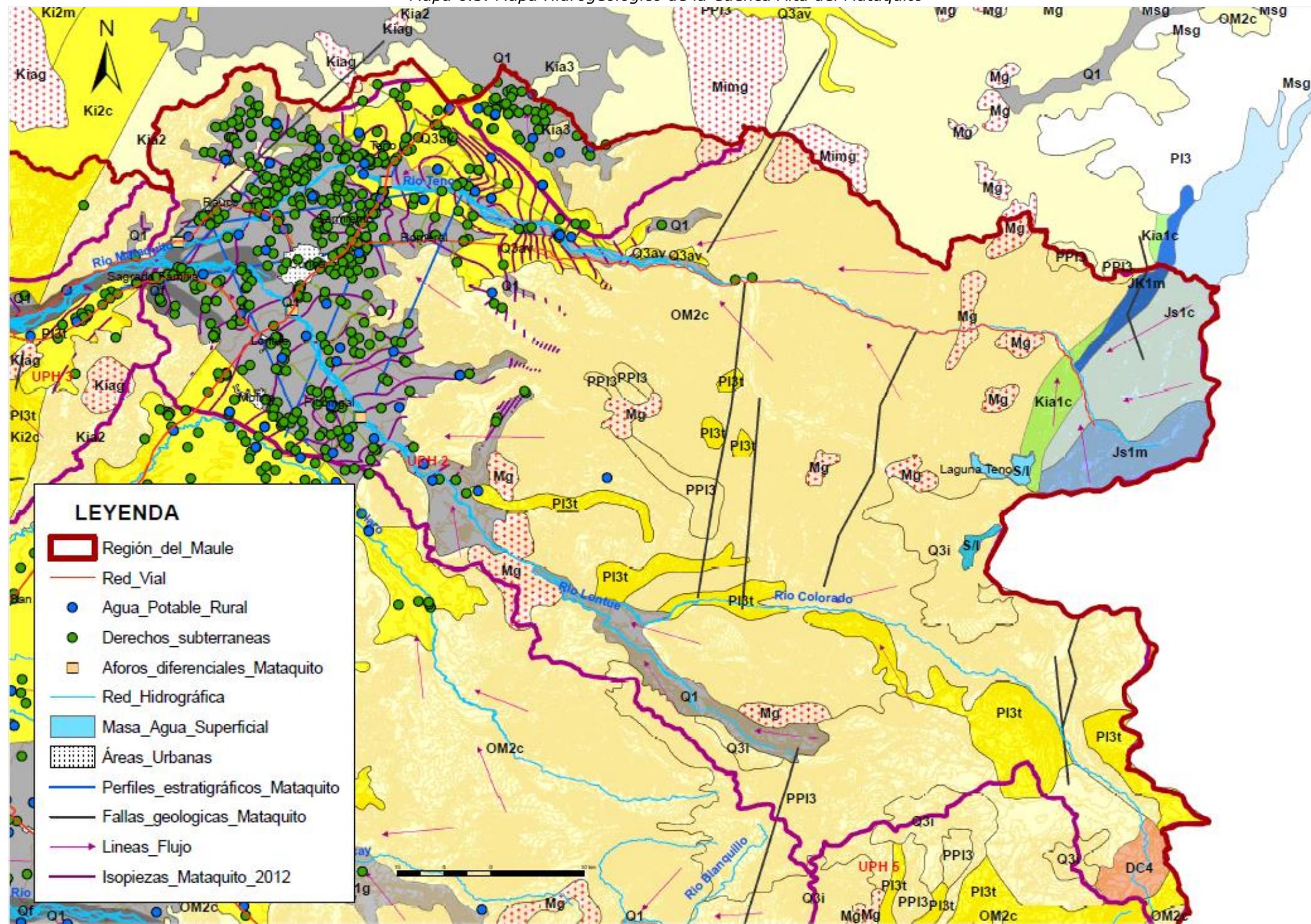
- **DC4.** Formación paleozoica, constituida por meta-arenitas, filitas y, en menor proporción, mármoles, cherts, matabasaltos y metaconglomerados), que se cartografián en un reducido afloramiento (unos 30 km<sup>2</sup> de extensión) situado en la Cordillera de Los Andes, en la cabecera del río Colorado, tributario del Lontué. Es una formación con muy baja permeabilidad en su conjunto.

En el Mapa Hidrogeológico de la Cuenca Alta del Mataquito que se adjunta a continuación, se representa la cartografía de las formaciones litológicas descritas y la posición que tienen, sobre ellas, las captaciones con derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, concedidos por la DGA, en esta cuenca, aquellas de las que se ha dispuesto de sus coordenadas geográficas (UTM). Se sitúan también las captaciones que, con derechos de explotación concedidos, se emplean en abastecimiento rural (44).

Así mismo, se indica la dirección y sentido que pueden tener los flujos subterráneos de agua que se originan dentro del conjunto de la cuenca, la distribución de las isopiezas (isolíneas de los puntos de agua que tienen el mismo NP, referido al nivel del mar) en los sectores en los que se encuentran los medios acuíferos y la orientación de los perfiles estratigráficos, trazados e interpretados en el documento RH130, en el ámbito espacial de estos acuíferos. También se sitúan los puntos en los que se han efectuado, en el año 2012, aforos diferenciales en los cauces de los ríos Teno y Lontué, a efectos de detectar surgencias de agua del acuífero al río (afloramientos de agua subterránea).

La leyenda de las formaciones geológicas que afloran en la Cuenca Alta del Mataquito puede verse en el MHRM (Mapa 4.1), incluida anteriormente en este informe.

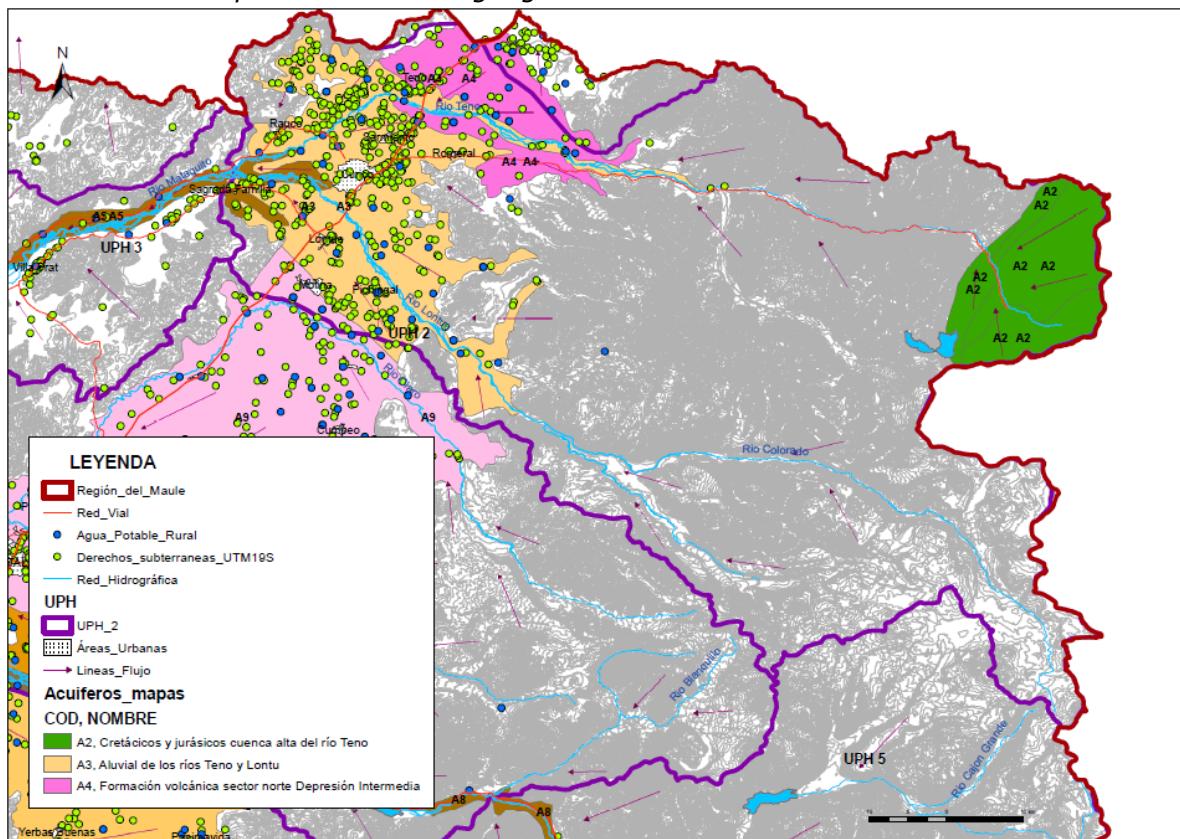
*Mapa 6.3. Mapa Hidrogeológico de la Cuenca Alta del Mataquito*



### 6.2.2.2. Acuíferos

En el Mapa 6.4 puede verse la ubicación de los acuíferos identificados y delimitados en la Cuenca Alta del Mataquito (UPH 2):

*Mapa 6.4. Situación geográfica de los acuíferos en la UPH 2*



#### • A2 Cretácicos y jurásicos cuenca alta del río Teno

Las formaciones sedimentarias consolidadas Kia1c, JK1m, Js1c y Js1m del Mapa Hidrogeológico, que afloran en la cuenca alta del Mataquito, en la zona en la que nace el río Teno, ocupan una banda alargada, en la dirección N-S, de 389,67 km<sup>2</sup> de extensión, con una potencia aparente, en su conjunto, de 9.500 m (se desconoce la potencia real, al no disponer del buzamiento de los afloramientos). Constituyen un solo conjunto acuífero, con permeabilidad variable de unos sectores a otros, de baja a alta, según la naturaleza de los materiales que lo componen (calizas, areniscas, conglomerados, areniscas calcáreas, lutitas, brechas sedimentarias). En su estado hidrodinámico, se le puede considerar como un acuífero libre, por lo que la **recarga** natural de agua en él se produce por la infiltración

de parte del agua de lluvia y nival que se origina sobre sus propios afloramientos; al estar ubicado en la divisoria hidrológica de la cuenca pacífica-atlántica los aportes a través de cursos de agua superficiales no existen.

Las **descargas** subterráneas del acuífero se deben ocasionar hacia el cauce del río Teno, a lo largo de su recorrido por el afloramiento, y especialmente a su salida del mismo, en el punto en el que este conjunto de materiales permeables se pone en contacto con las formaciones volcánicas, de baja permeabilidad, que conforman su cierre impermeable (ver líneas de flujo marcadas en el Mapa 6.4). El cauce del río, en el tramo ultimo de 6 km de su tránsito por el afloramiento calizo-areniscoso, se encaja en una falla de dirección NO-SE, que también debe facilitar la descarga subterránea del acuífero.

Ante la posición topográfica del conjunto acuífero cretácico-jurásico, en la cabecera del río Teno, con respecto al encajamiento de su cauce, se puede interpretar que este acuífero puede actuar como embalse regulador de las aguas superficiales que circulan por el cauce del Teno, en este tramo del curso alto del río. La infiltración de agua en el acuífero, en los periodos en los que esta se precipita, y su tránsito por la formación acuífera, debe ocasionar un cierto decalaje en su descarga natural, posterior, hacia el cauce, en los periodos estacionales en los que no se producen precipitaciones; esta circunstancia puede hacer que se mantenga una circulación permanente de agua superficial por el tramo del cauce alto del río Teno. La estación de aforo “R. Teno bajo Q. Infiernillo”, ubicada 12 km aguas abajo de la salida del afloramiento acuífero, debe medir estos caudales subterráneos durante los períodos de estiaje.

#### • A3 Aluvial de los ríos Teno y Lontue

Acuífero que ocupa la zona central de la Depresión Intermedia, en la Cuenca Alta del Mataquito, en una superficie de 685 km<sup>2</sup> de extensión, está constituido por una formación detrítica aluvial, compuesta de materiales sedimentarios con una elevada porosidad intersticial (formación Q1), constituidos por arenas, gravas, arcillas y limos, entremezclados en diferentes proporciones y formando horizontes de espesores variables, que se presentan en forma alternante en el sentido vertical de su potencia. Esto ocasiona que la permeabilidad de la formación sea variable de unos puntos a otros, con rangos de tipo medio a muy elevado, en función de la proporción mayor o menor de sedimentos arcillosos que se encuentren localmente en ellos, al perforarse. La potencia de la unidad superior del acuífero aluvial, de mayor permeabilidad y, por consiguiente, productividad hídrica, oscila entre los 50 a 200 m de espesor, según los sectores, sobre la base más arcillosa y de menor productividad del acuífero; su sustrato rocoso, de muy baja permeabilidad, de acuerdo con la geofísica gravimétrica realizada en la zona se puede encontrar hasta los 450 m de profundidad, en el sector de Curico (doc. RH130).

Por sus buenas condiciones de permeabilidad, constituye el acuífero de mayor interés hidrogeológico, para la explotación de las aguas subterráneas, que se encuentra en la UPH

2. Su comportamiento hidrodinámico es el de un acuífero en estado libre, que está en contacto con los cursos de agua superficial que circulan sobre sus afloramientos, de tal modo, que la infiltración y **recarga** del agua subterránea que se origina en él proviene del agua de lluvia que se recoge directamente sobre sus afloramientos, de la infiltración de parte de las aguas superficiales que circulan por los ríos y cauces que atraviesan estos afloramientos (cuando el nivel piezométrico en el acuífero se halla a cota más baja que la del cauce del río, en su tránsito sobre él), por la percolación del agua de riego y de las pérdidas de los canales que se emplean en el regadío de los cultivos existentes sobre su superficie y por los aportes laterales, superficiales y subterráneos, que se producen desde la formación volcano-sedimentaria OM2c, que hace de límite, de baja permeabilidad, del acuífero detrítico cuaternario, por su flanco oriental.

Las **descargas** del acuífero se producen, de manera natural, hacia los cauces de los ríos, cuando la cota del nivel piezométrico (NP) del acuífero aluvial coincide con la cota topográfica del cauce del río –esto ocurre, como se ha comprobado mediante la realización de aforos diferenciales, en el año 2012, en los cauce bajos de los ríos Teno y Lontué– y, de modo artificial, por la explotación de agua subterránea en los pozos que explotan directamente el acuífero que, según el catastro de Derechos de Aprovechamiento de Aguas concedidos por la DGA, ascienden a 449 captaciones, del total de 531 que hay registradas con coordenadas geográficas (UTM) en la UPH 2.

#### • A4 Formación volcánica sector norte de Depresión Intermedia

La formación volcánica cuaternaria (Q3av), constituida por depósitos de avalancha volcánica asociados a colapsos parciales de edificios volcánicos, ocupa una superficie de 244 km<sup>2</sup> de extensión, es atravesada por el cauce del río Teno y está en contacto geológico discordante, a ambos lados de su afloramiento, con los materiales aluviales detríticos que conforman el acuífero A3, anteriormente descrito. Aunque la permeabilidad de esta formación volcánica, debido a la mayor proporción arcillosa que contiene, es menor que la de los depósitos detríticos aluviales del acuífero A3, hidrodinámicamente se considera que están en contacto, constituyendo un sólo acuífero, con dos sectores bien delimitados de diferente permeabilidad. De hecho, en la modelización matemática realizada en el año 2012 del acuífero de los ríos Teno y Lontué, se les trata de manera conjunta (doc. RH130). A efectos de destacar su diferente litología y grado de permeabilidad, en el presente estudio, se les ha separado para su mejor descripción.

La potencia máxima, más o menos permeable de estos depósitos de avalancha volcánica, es del orden de unos 130 m, y en ella se hayan perforadas 70 captaciones de agua, con derechos de explotación concedidos, que son menos productivas que las situadas sobre el acuífero detrítico aluvial A3.

### 6.2.3. Características hidrodinámicas

Los parámetros hidrodinámicos (parámetros elásticos) del **conjunto acuífero A3 y A4** fueron obtenidos, en el año 2012, como datos de partida para la ejecución de la modelización matemática efectuada del acuífero. Con el análisis de las pruebas de gasto constante y variable, realizadas en 173 pozos distribuidos por la superficie del conjunto acuífero, y con los ensayos de bombeo efectuados en 50 de estas mismas captaciones, se determinó que la permeabilidad del acuífero podía variar entre un rango de  $< 1,1 \cdot 10^{-4}$  a  $> 1,13 \cdot 10^{-3}$  m/s (equivalentes a  $< 9,5$  a  $> 97,6$  m/día) (doc.RH130), lo que se corresponde con un conjunto de materiales porosos muy heterogéneos, que presentan una permeabilidad cualitativa entre media a muy alta. De acuerdo a esta permeabilidad, la transmisividad del acuífero (permeabilidad por la potencia saturada del mismo) puede ser del orden de 100 a 1.000 m<sup>2</sup>/día, lo que denota la heterogeneidad del conjunto acuífero.

Para el **coeficiente de almacenamiento**, el estudio RH130, utiliza valores estimados en base a referencias de estudios anteriores desarrollados en la zona y al *cálculo estimado en 3 de pruebas de bombeo realizadas puntualmente en los recintos de agua potable de Lontué, Teno y Molina, lo que da un rango de valores oscilantes entre 0,15 y 0,25*, que corresponde a un acuífero en estado hidrodinámico libre.

Del **acuífero carbonatado-areniscoso del Cretácico-Jurásico A2** no se dispone de ningún dato, pero si se tienen en cuenta experiencias de otros estudios desarrollados en este tipo de litologías, se puede considerar que la permeabilidad del conjunto acuífero debe variar entre baja a alta (de 0,01 a 100 m/día), lo que equivaldría a una Transmisividad de entre 10 a 1.000 m<sup>2</sup>/día, en aquellos sectores en los que los afloramientos calizos se encuentren más carstificados. El coeficiente de almacenamiento, al ser un acuífero libre, debe ser del orden de 0,01.

Del **resto de formaciones** aflorantes en la Cuenca Alta del Mataquito, tampoco se dispone de datos cuantitativos, pero se considera que la permeabilidad de las mismas varía entre baja a muy baja.

### 6.2.4. Captaciones de agua subterránea. Explotaciones

La referencia disponible sobre el **número de captaciones existentes en la Cuenca Alta del Mataquito**, es la proporcionada por la DGA, en cuanto a los derechos de explotación solicitados y concedidos en esta zona. El número de ellos, de los que se ha dispuesto de las coordenadas geográficas de su ubicación, asciende a 531, con la siguiente distribución por formaciones geológicas: 449 en los depósitos detríticos cuaternarios del acuífero A3; 70 en la formación volcánica del acuífero A4; y 12 en el resto de la cuenca, en materiales volcán-sedimentarios. De estas captaciones, en 44 de ellas se tiene constancia (según se ha visto en la tabla Excel *Captaciones utilizadas como Agua Potable Rural*), de que son utilizadas en

el abastecimiento doméstico. La ubicación de todas estas captaciones se presenta en el Mapa Hidrogeológico (Mapa 6.3).

Se desconocen los tipos de captaciones que son, pues la base de datos de Derechos Concedidos de la DGA no lo indica, aunque se supone que en su mayor parte deben ser pozos y sondeos de variable profundidad; y, así mismo, se desconoce también el uso que se le da al agua extraída.

La **profundidad de obra** de estas captaciones tampoco se indica en la relación de la DGA, por lo que el único dato de que se ha dispuesto procede de la red de 187 puntos con medidas del NP, que se utilizaron en el 2012 para la calibración del modelo matemático del acuífero A3 y A4 (doc. RH130). Según esta relación, las profundidades de obra de estas 187 captaciones, en su mayoría sondeos, oscila entre 9 y 102 m.

Los **caudales de extracción concedidos** a las 531 captaciones, oscilan entre los 0,03 l/s de un pozo situado en la comuna de Curico, a los 468 l/s de otro pozo ubicado en la comuna de Molina. Lo normal es que los caudales concedidos no excedan de los 100 l/s, según se desprende de la siguiente distribución por tramos de explotación: hay 236 pozos con un caudal inferior a los 10 l/s, 164 con caudal concedido entre 10 a 30 l/s, 83 con 30 a 60 l/s, 39 con 60 a 100 l/s, 8 con un caudal entre 100 a 120 l/s y sólo uno con 468 l/s.

El volumen total de extracción de agua subterránea concedido por la DGA a las 531 captaciones asciende a 11.600 l/s que, de extraerse todo él de manera continuada, daría un volumen anual de explotación de **365,8 hm<sup>3</sup>/año**. Este sería un volumen máximo de extracción, ya que es difícil suponer que todo el caudal concedido a una captación, en l/s, se esté explotando de modo continuo. Por otro lado, a este volumen de concesiones, habría que sumarle los caudales de aquellas otras captaciones de agua que, al no disponer de sus coordenadas geográficas, no han sido consideradas ni evaluadas en este cálculo de caudales concedidos; se desconoce el número de estas captaciones.

Con el objeto de ajustar esta cifra de extracciones concedidas a la que en realidad se está explotando de los **acuíferos A3 y A4**, se han utilizado dos factores, extraídos de estudios anteriormente realizados en la zona:

- El “factor de uso”, representativo de la eficiencia del uso del recurso, que corrige el volumen de agua en realidad explotado, y que fue aplicado para la calibración del modelo matemático realizado en el año 2012 a los datos de aprovechamientos concedidos en estos dos acuíferos (doc. RH130):

USOS	FACTORES
Agua Potable	0,75
Riego	0,20

Industrial	0,30
Doméstico	0,75
Otros	0,40

- Puesto que en la relación de derechos concedidos por la DGA, no se indica el uso que se le da al agua extraída de cada uno de los pozos autorizados, se han utilizado para ello los datos incluidos en el *Estudio de Calidad de Aguas Subterráneas de Huasco y Mataquito*, realizado por la CNR en 2006 (doc. CA055); datos que también fueron empleados para la calibración del modelo matemático del acuífero en el 2012. En la Tabla 6.2 se incluye una columna con la “distribución por uso” del caudal extraído de estos dos acuíferos.

**Tabla 6.2. Caudales de extracción estimados en los acuíferos A3 y A4 de la Cuenca Alta del Mataquito**

Uso del agua	Distribución por uso (%)	Estimación del caudal otorgado (hm <sup>3</sup> /año)	Factor de uso	Explotación corregida según el factor de uso (hm <sup>3</sup> /año)
Agua Potable	32	117,05	0,75	87,79
Industrial	8	29,26	0,30	8,78
Riego	57	208,50	0,20	41,70
Sin Información	3	10,97	0,40	4,38
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>365,80</b>		<b>142,65</b>

Aplicando el porcentaje de la “distribución por uso” a los 365,80 hm<sup>3</sup>/año de derechos concedidos, que se han evaluado anteriormente, y la reducción por el “factor de uso” que se aplica en cada caso, se obtiene al final una cifra de **142,65 hm<sup>3</sup>/año** como explotación más real de agua subterránea de los acuíferos A3 y A4, lo que equivale al 39% de los caudales concedidos por la DGA. En la tabla anterior se ha calculado el caudal de explotación corregido para los diferentes usos. En el balance hídrico del modelo, ya calibrado, la cifra de extracciones de los pozos es de 390.650 m<sup>3</sup>/día, equivalentes a 142,58 hm<sup>3</sup>/año (doc. RH130), cifra similar a la calculada aquí.

Se tiene referencia de que 44 de las captaciones autorizadas son utilizadas en abastecimiento rural, según consta en la *Relación de captaciones utilizadas como Agua Potable Rural* (tabla Excel), suministrada como documentación previa del actual estudio.

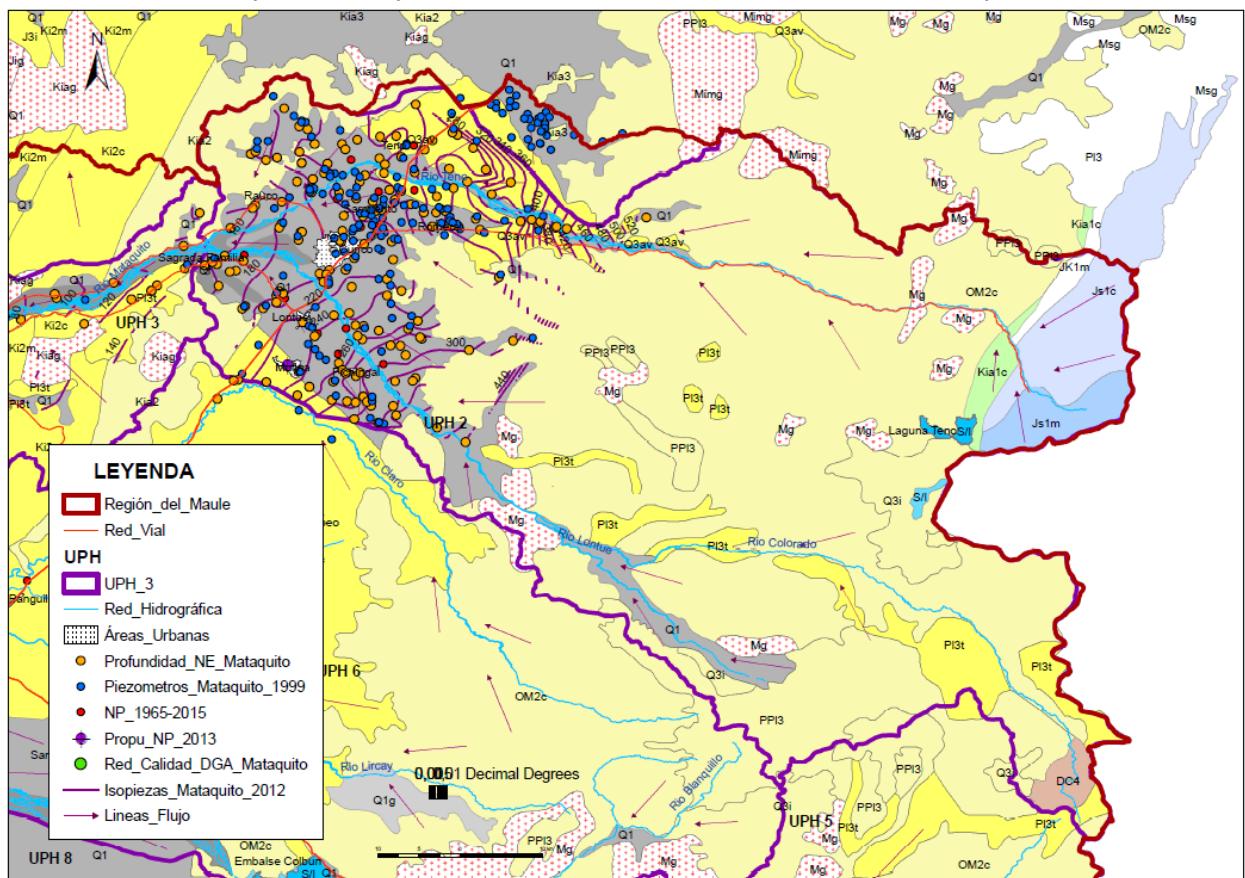
En el resto de las formaciones geológicas que afloran en la demarcación hidrográfica de la Cuenca Alta del Mataquito, el número de captaciones con derechos de explotación autorizados es de 12, de las que su volumen de extracción no es significativo, ante la baja permeabilidad que presentan los materiales explotan.

### 6.2.5. Niveles de agua. Flujos subterráneos

En el Mapa Piezométrico adjunto (Mapa 6.5) se pueden visualizar las líneas en las que se orienta el flujo del agua subterránea en el conjunto de la Cuenca Alta del Mataquito. En él se

han trazado las trayectorias del flujo subterráneo, tanto en las formaciones de mayor permeabilidad que se encuentran en la cuenca -acuíferos A2, A3 y A4-, como en aquellas otras formaciones, de baja a muy baja permeabilidad, en las que también, aunque sea de modo somero y discontinuo, se originan reducidos flujos subterráneos, paralelos al descenso topográfico del terreno, que van buscando su salida (drenaje) hacia los cursos de los ríos que atraviesan y se encajan en estas formaciones de baja permeabilidad.

*Mapa 6.5. Mapa Piezométrico de la Cuenca Alta del Mataquito*



En el caso de los acuíferos A3 (aluvial de los ríos Teno y Lontue) y A4 (depósitos de avalancha volcánica), que han sido conjuntamente modelizados matemáticamente, en los meses de agosto y septiembre de 2012, se efectuaron medidas directas del NP en 187 de los pozos y sondeos existentes en sus dominios hidrogeológicos. La profundidad medida hasta el nivel estático se resume en la Tabla 2.8, según diferentes rangos de profundidad. Estos niveles, fueron la base de calibración del modelo matemático realizado.

**Tabla 6.3. Profundidad del nivel estático en los acuíferos A3 y A4**

Rango Profundidad Nivel Estático (m)	Cantidad de Pozos	Pozos sobre total (%)
0-5	38	18,9
5-10	53	26,4
10-25	59	29,4
25-50	41	20,4
>50	10	4,9
<b>TOTAL</b>	<b>201</b>	<b>100,0</b>

Tabla obtenida del doc.RH130. Estudio Hidrogeológico del Río Mataquito, DGA 2012

Con el resultado de estas medidas fueron trazadas las **isopiezas** (isofreáticas o equipotenciales), con equidistancia de 20 m, que se representan en el Mapa anterior (Mapa 6.5) y que se distribuyen más o menos paralelamente a la superficie topográfica del terreno y relativamente tangenciales a los cursos de agua de los ríos Teno y Lontué, desde la cota de 600 msnm a la de 150 msnm, en el sector topográfico más bajo del acuífero, a la salida de la demarcación hidrográfica de la Cuenca Alta del Mataquito. El gradiente hidráulico estimado para esta superficie piezométrica es del orden de 0,8%.

La presencia del nivel freático del acuífero muy próximo con la cota topográfica de los cauces de los ríos Teno y Lontué, en determinados tramos de los mismos, hizo prever la posibilidad de que se estuviese descargando el agua subterránea del acuífero a estos tramos ganadores de los ríos, lo que motivó la ejecución de dos campaña de aforos diferenciales en sus cauces, entre los puntos indicados en el Mapa anterior. Los resultados de estos aforos, llegaron a determinar la presencia de **afloramientos de agua subterráneas** (descargas naturales del acuífero) a lo largo de los tramos aforados, en cantidades evaluadas en: 434.600 m<sup>3</sup>/día (158,63 hm<sup>3</sup>/año) en el tramo bajo del río Teno y de 335.770 m<sup>3</sup>/día (122,53 hm<sup>3</sup>/año) en el tramo aforado del río Lontué, (doc. RH130), lo que equivale a una suma total de 770.370 m<sup>3</sup>/día (281,18 hm<sup>3</sup>/año).

La **evolución en el tiempo** del nivel piezométrico, a lo largo de un periodo amplio de medidas, se ha podido analizar con los datos del nivel de agua tomados en diferentes fechas, entre el periodo 1965-2015, en los puntos que se destacan en el Mapa 6.5 en color rojo. De los 13 puntos marcados, sólo en uno, el "AP. Teno" (código 07106014-4), se dispone de un mayor periodo de observación, de 1969 a 1989, en el cual se aprecia que el NP sólo varía muy ligeramente entre periodos estacionales, pero se mantiene más o menos constante interanualmente, a lo largo del periodo controlado.

En el estudio doc. EH040 *Análisis crítico de las Redes Hidrométricas, Regiones V a VII y Región Metropolitana*, realizado por el MOPU-DGA en 2013, se propone el control del nivel de agua en el "Pozo Molina", ubicado en el núcleo urbano de esta población, e hidrogeológicamente situado al norte del acuífero volcánico A9 (que se describe, más

adelante, en la UPH 6) y muy próximo al contacto con acuífero aluvial A3, de la Cuenca Alta del Mataquito.

## 6.2.6. Recarga subterránea. Balance hídrico

### 6.2.6.1. Recarga subterránea

Para determinar el volumen de recursos hídricos que anualmente se recargan en el conjunto de los **acuíferos A3 y A4**, en el doc. RH130 *Estudio Hidrogeológico del Río Mataquito*, DGA 2012, se aplicó un modelo de simulación hidrológica simplificado, en el que se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros: la infiltración a partir de la precipitación que se registra sobre los propios afloramientos, la percolación del agua utilizada en los riegos establecidos sobre los mismos, la infiltración de las pérdidas de agua de los canales que circulan sobre los afloramientos (llamada “recarga areal” en el balance), la infiltración de parte del agua superficial que transita por los ríos que atraviesan estos afloramientos (desde el río Teno), y los aportes laterales que superficialmente, mayoritariamente, y subterráneamente, se producen desde las formaciones, de baja permeabilidad, que flanquean al acuífero por su flanco oriental (la Precordillera).

De acuerdo con los resultados de la modelización hidrológica realizada para el año 2012, un año hidrológicamente más seco de lo normal, para los 929 km<sup>2</sup> de extensión de afloramiento de los **acuíferos A3 y A4**, se estima una recarga areal de 691.230 m<sup>3</sup>/día (8 m<sup>3</sup>/s), equivalentes a 252,30 hm<sup>3</sup>/año, lo que supone un coeficiente de infiltración de 0,027 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>. El resto de la recarga del acuífero procede de aportes laterales, superficiales y subterráneos, desde áreas externas al acuífero, como serían las formaciones volcánico-sedimentaria de la Precordillera, que hacen de límite de baja permeabilidad del acuífero detrítico cuaternario por su flanco oriental, cifradas en 207,37 hm<sup>3</sup>/año y de aportes superficiales del río Teno, estimados en 22,97 hm<sup>3</sup>/año. En su conjunto, la recarga anual del acuífero A3 y A4 se cifra en 1.322.307 m<sup>3</sup>/día (15,3 m<sup>3</sup>/s) equivalentes a **482,64 hm<sup>3</sup>/año**, según se expresa en la modelización matemática del acuífero realizada en 2012 (cuadros 9.1 y 9.2. del doc. RH130).

Para el **resto de las formaciones hidrogeológicas de la Cuenca Alta del Mataquito** (3.740 km<sup>2</sup> de extensión, una vez deducidos los 929 km<sup>2</sup> del acuífero A3 y A4), los datos de recarga se van a estimar a partir del valor de la **precipitación media anual** que se produce en la Cuenca Alta del Mataquito, obtenido de las cifras contrastadas de dos informes: en el doc. RH130, se da un valor de 1.909 mm, con 50% de probabilidad de excedencia, en la estación pluviométrica de Upoco, ubicada en la zona de la Precordillera, que ha sido la utilizada para contrastar los caudales medios mensuales en cuencas no controladas; y del mapa de isoyetas (Balance Hídrico de Chile, DGA 1987) del doc. RH155 *Estimación preliminar de las Recargas de Agua Subterránea y Determinación de los Sectores Acuíferos de Aprovechamiento Común en las Cuencas de las Regiones del Maule, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos*, realizado por la DGA en 2014, en el que la superficie de la

Precordillera y de la Cordillera de Los Andes, en la demarcación hidrográfica de la Cuenca Alta del Mataquito, se sitúa entre los 1.500 a 2.500 mm de precipitación. Por ello, el aplicar un valor de precipitación media a esta zona de la cuenca alta de 2.000 mm/año parece razonable.

Partiendo de los valores de precipitación registrados en la cuenca, y mediante la aplicación, en su día, de modelos hidrológicos, en el capítulo 2 del presente informe, se indica que la **aportación total** en la cuenca (recursos hídricos totales) es de **4.619,15 hm<sup>3</sup>/año**.

Por los datos bibliográficos consultados, la infiltración del agua de precipitación en medios de baja a muy baja permeabilidad, puede oscilar entre el 8 a 20 % de la Pm, como podría ser en el caso de las formaciones volcano-sedimentarias que ocupan la mayor parte de la cuenca. Para las formaciones de media a alta permeabilidad, del afloramiento, de 389 km<sup>2</sup> de extensión, del acuífero **A2 Cretácicos y jurásicos cuenca alta del río Teno**, este porcentaje se podría elevar hasta un 30-40% de Pm (según experiencias de estudios hidrogeológicos realizados en formaciones de este tipo de litologías). De acuerdo con estos porcentajes, la infiltración de agua subterránea en el resto de la Cuenca Alta del Mataquito, se podría estimar en:

**Tabla 6.4. Infiltración de agua subterránea en la Cuenca Alta del Mataquito**

Zonas	Área (km <sup>2</sup> )	Precipitación media (mm)	Infiltración (%)	Infiltración media (hm <sup>3</sup> /año)
Acuífero A2	389,67	2.000	30	233,80
Resto Cuenca	3.350,33	2.000	8	536,00
<b>TOTAL</b>	<b>3.740,00</b>			<b>769,80</b>

Si a la aportación total estimada (escorrentía total), se le deduce la infiltración subterránea originada en las formaciones hidrogeológicas, la escorrentía superficial directa, sería:  $4.619,15 - 769,80 = 3.849,35 \text{ hm}^3/\text{año}$ . Esta escorrentía se recoge como agua superficial en los cauces que se encajan en la cuenca alta del Mataquito, así como en la Laguna de Teno y otra, ubicadas en la subcuenca alta del río Teno. Concretamente, la Laguna de Teno, se halla adosada al borde sur del afloramiento del acuífero A2, en donde puede que se recojan parte de las aguas subterráneas que se infiltran y drenan de este acuífero.

Dada la poca capacidad de almacenamiento de los “acuíferos” someros que se hallan en los sectores de fracturación, fisuración y meteorización de las rocas volcánicas y volcano-sedimentarias, el agua infiltrada en estos acuíferos, después de cortos recorridos y tiempos de residencia limitados, vuelve a salir, a lo largo del año hidrológico, hacia los cauces de ríos y arroyos, para incorporarse a la circulación de agua superficial que se produce en ellos.

El único acuífero en el que las aguas subterráneas se almacenan y circulan una mayor distancia por el interior de la roca permeable, es el **A2 Cretácicos y jurásicos cuenca alta del río Teno**, en el que, los 233,80 hm<sup>3</sup>/año estimados de su recarga anual, deben embalsarse y retenerse durante un mayor tiempo en las rocas fisuradas y diaclasadas, hasta acabar drenándose, de manera natural, por el sector topográfico más bajo de su afloramiento, que viene a coincidir con el paso del cauce del río Teno, al encajarse por la zona central del acuífero. En definitiva, este afloramiento de materiales permeables debe actuar como embalse subterráneo regulador de los 233,80 hm<sup>3</sup> que anualmente, como media de los recursos hídricos subterráneos se renuevan en el acuífero.

#### 6.2.6.2. Balance hídrico

Dando por buenos los datos del balance hídrico calculados y calibrados en el “*Modelo Matemático de los ríos Teno y Lontue*” (doc. RH130), realizado para el conjunto del **acuífero A3 y A4**, los resultados de contrastar las entradas al acuífero, con las salidas del mismo, serían:

ENTRADAS				SALIDAS			
Componente	Q (m <sup>3</sup> /d)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (hm <sup>3</sup> /año)	Componente	Q (m <sup>3</sup> /d)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (hm <sup>3</sup> /año)
Flujo Subterráneo	108.247	1,25	39,51	Descarga Pozos	390.650	4,52	142,59
Recarga Areal	691.230	8,00	252,30	Afloramientos Río	770.370	8,92	281,19
Recarga Río	459.900	5,32	167,86	Flujo Subterráneo	98.354	1,14	35,90
Aporte Lontué	62.930	0,73	22,97	Salida Mataquito	62.930	0,73	22,97
<b>Total</b>	<b>1.322.307</b>	<b>15,30</b>	<b>482,64</b>	<b>Total</b>	<b>1.322.304</b>	<b>15,30</b>	<b>482,64</b>

Tabla obtenida de los cuadros 9.1 y 9.2 del doc.RH130

Si se comparan las extracciones de agua por los pozos (142,59 hm<sup>3</sup>/año), con la recarga total, natural, que se produce en el acuífero (482,64 hm<sup>3</sup>/año), el resultado es claramente positivo, lo que pone de manifiesto que las extracciones artificiales de agua en el acuífero podrían incrementarse aún más, sin afectar a las reservas subterráneas del acuífero. La evidencia de que el NP no ha variado a lo largo del tiempo, así como la permanencia de los afloramientos de agua subterránea que se producen en la actualidad del acuífero, son una consecuencia de esta situación hidrodinámica.

Para el **resto de la superficie de la Cuenca Alta del Mataquito** (3.740 km<sup>2</sup> de extensión, una vez deducidos los 929 km<sup>2</sup> del acuífero A3 y A4), el balance de su cuenca, al no tener prácticamente ninguna explotación artificial en ella, sería el de considerar que la recarga subterránea total media estimada, de 769,80 hm<sup>3</sup>/año, se traduciría como salidas, en su mayor parte, a los cauces superficiales de la cuenca, y como subterráneas, en una cifra

evaluada en 108.247 m<sup>3</sup>/día (39,51 hm<sup>3</sup>/año) como aportes subterráneos laterales desde la formación volcano-sedimentaria hacia el acuífero A3 y A4, tal y como se contemplaba en la calibración del modelo matemático realizado de este acuífero.

#### 6.2.7. Reservas subterráneas

Para el caso de los **Acuíferos A3** (aluvial de los ríos Teno y Lontue) y **A4** (depósitos de avalancha volcánica), las reservas de agua de su conjunto se estiman sólo para la unidad hidrológica superior, que es la más productiva y de mayor permeabilidad, tal y como se ha indicado y justificado anteriormente, lo que presenta una potencia variable, según los sectores, de entre 50 a 200 m; se aplica una media de 125 m para el conjunto de los 929 km<sup>2</sup> de su superficie. El NP se encuentra entre los 0 a 50 m de profundidad, por lo que se estima una media de 25 m hasta el agua, en toda su superficie de afloramiento. El S obtenido con la calibración del modelo matemático oscila entre 0,15 y 0,25. Aplicando valores medios, se obtienen unas reservas subterráneas, susceptibles de explotación de **18.580 hm<sup>3</sup>**.

Para el **Acuífero A2** (calizas, areniscas, conglomerados y lutitas) se estima una potencia mínima saturada de agua, en los 389 km<sup>2</sup> de su afloramiento, de 100 m. El S, al considerarse un acuífero libre, se supone que es del orden de 10<sup>-2</sup>, con lo que se le calculan unas reservas subterráneas de unos **389 hm<sup>3</sup>**.

En la Tabla 6.6 se resume el volumen de aguas subterráneas almacenadas en los acuíferos de la Cuenca Alta del Mataquito, que totalizan unos **18.969 hm<sup>3</sup>**.

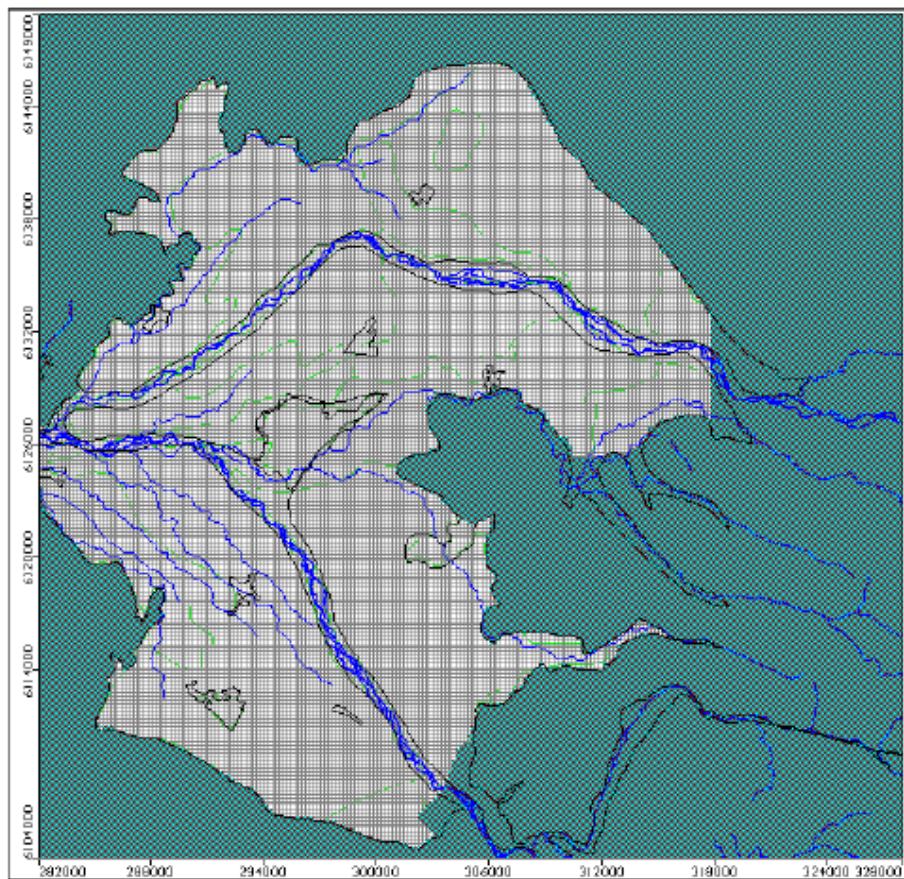
**Tabla 6.6. Reservas de agua subterránea en los acuíferos de la Cuenca Alta del Mataquito**

Acuíferos	Área (km <sup>2</sup> )	Potencia de acuífero con buena permeabilidad (m)	Profundidad del NP (m)	Potencia saturada de agua (m)	Coeficiente de almacenamiento (S)	Reservas de agua subterránea (hm <sup>3</sup> )
A3 y A4	929	de 50 a 200	de 0 a 50	100	entre 0,15 y 0,25	18.580
A2	389			100	0,02	389
<b>TOTAL</b>	<b>1.318</b>					<b>18.969</b>

#### 6.2.8. Modelización matemática

En el año 2012, fue planteado y realizado un Modelo Matemático del Acuífero de Teno-Lontué, mediante el programa Visual MODFLOW, en el ámbito geográfico que se refleja en el Mapa 6.6, obtenido del doc. RH130.

*Mapa 6.6. Mallado de Modelo Teno-Lontué*



*Imagen obtenida del doc. RH130 Estudio Hidrogeológico del Río Mataquito, DGA 2012*

Los datos hidrogeológicos e hidrodinámicos empleados en la calibración y resultados obtenidos de la modelización, han sido los utilizados en la valoración del balance realizado, en el presente capítulo, con respecto a los acuíferos A3 y A4 (Tabla 6.5).

Según se relata en el doc. RH130, *con el modelo ya calibrado, se evaluó la dinámica de la cuenca bajo 2 posibles escenarios, que representan condiciones alternativas en su operación, respecto a condiciones de recarga hidrológica por un lado, y a la demanda efectiva sobre el estrato acuífero por otro, Específicamente, dichos escenarios son:*

- **Escenario 1:** Aumento de las recargas de 85% a 50% de probabilidad de excedencia.
- **Escenario 2:** Incorporación de todas las captaciones catastradas, con y sin derechos asociados (y recarga de 85%).
- **Escenario 3:** Variación de Factores de Uso de Pozos de Bombeo.

*Una vez operado el modelo con los escenarios anteriores, se obtuvieron resultados de curvas equipotenciales y balances hídricos, que se pueden ver en el citado documento RH130.*

## 6.2.9. Calidad de las aguas subterráneas

La calidad del agua subterránea en la totalidad de la Cuenca del Mataquito se ha estudiado en el doc. CA055 *Estudio de Calidad de Aguas Subterráneas de Huasco y Mataquito*, realizado por la CNR en 2006. En él se analizan 10 muestras de agua tomadas en pozos distribuidos entre la Cuenca Baja del Mataquito (M-1 a M-4 del acuífero A5 Aluvial del Bajo Mataquito) y la Cuenca Alta del Mataquito (M-5 a M-10 del acuífero A3 Aluvial de los ríos Teno y Lontué). En la Tabla 6.7, se relacionan los pozos muestreados y la ubicación geográfica de los mismos.

<b>Tabla 6.7. Pozos de monitoreo en la Cuenca Baja del Mataquito</b>				
<b>Nº</b>	<b>Nº Catastro</b>	<b>UTM_X Este</b>	<b>UTM_Y Norte</b>	<b>Ubicación</b>
M-1	110	221480	6121305	Estadio municipal de Lora
M-2	434	244037	6126638	Estadio municipal de Hualañé
M-3	120	257619	6113890	APR La Huerta. Calla La Parroquia
M-4	345	279400	6124900	Reserva Cora Nº 1. La Primavera. Noria 1

Fuente: Tabla 5-2 del doc. CA055

Las aguas, fueron analizadas, según la Norma 133, en los siguientes parámetros: Alcalinidad total, Bicarbonatos, Calcio, Carbonatos, Conductividad Eléctrica, DBO5, DQO, Dureza total, Magnesio, Nitritos, Nitratos, Potasio, RAS, Sólidos Disueltos Totales, Sodio, Índice Fenol y Fosforo Total.

Los resultados de la analítica, salvo en la M-1, situada en la Cuenca Baja del Mataquito (UPH 3), que dio unos contenidos altos en Aluminio, Hierro y Manganeso, es buena. Estos elementos metálicos están presentes en las aguas subterráneas asociados a la actividad volcánica de la región.

En cuanto al resto de los elementos, los contenidos están por debajo de los límites permitidos, salvo algunos casos aislados de contenidos algo altos de Nitritos, asociados a una leve contaminación orgánica, atribuida a fuentes puntuales y locales.

En otro de los documentos consultados, RH015. *Exploración de los Recursos Hídricos subterráneos. Región VII*, realizado por la DGA en 1999, se incluyen datos de las analíticas efectuadas a 37 muestras de agua subterránea, tomadas a pozos de la Región de Maule. Entre ellas, se encuentran 16 analíticas de pozos ubicados en esta UPH 2, en las comunas de Curico, Molina, Teno, y Lontué.

Los resultados de los análisis efectuados a los elementos, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Nitratos, Plomo, Selenio, Sulfatos, Zinc, pH y Sólidos Totales disueltos, fueron buenos. Los elementos metálicos están todos por debajo del límite de detección, los Nitratos no pasan de

los 4 mg/l y los Sólidos Totales Disueltos se mueven en valores de 160 a 368 mg/l, que son aguas de baja salinidad.

### **6.2.10. Áreas de protección ecológica asociadas a descargas subterráneas**

En la Cuenca Alta del Mataquito, se considera como humedal de interés ambiental, incluido en la relación de Humedales en la Región del Maule (shp de humedales), las Lagunas de Teno, localizadas en la cabecera del río Teno, de origen glacial, y situadas a los pies del volcán El Planchón. La laguna oriental se encuentra enclavada en el borde meridional del afloramiento del acuífero cretácico-jurásico A2, delimitado en esta cuenca, por lo que se probable que parte de las aguas que se recogen en la laguna, además de las del deshielo, provenga de la descarga de aguas subterráneas de este acuífero.



Foto 6.3. Lagunas occidental y oriental de Teno

Del borde norte de la laguna oriental parte un arroyo, que va a confluir con el cauce alto del río Teno, formando parte del nacimiento del río.

### **6.3. Acuíferos en la Cuenca Baja del Mataquito. UPH 3**

Para la descripción hidrogeológica de la Cuenca Baja del Mataquito, se han consultado los mismos documentos empleados para la Cuenca Alta del Mataquito, que ya han sido relacionados anteriormente.

#### **6.3.1. Características hidrogeológicas. Acuíferos**

##### **6.3.1.1. Hidrogeología**

La Cuenca Baja del Mataquito se enmarca en la zona NO de la Región de Maule, ocupando una extensión de 1.682,5 km<sup>2</sup> (el 5,4% del total de la superficie de la Región), y es drenada

por el río Mataquito, en su tramo bajo, a lo largo de un recorrido de unos 85 km, después de la confluencia de los ríos Teno-Lontué y hasta su desembocadura en el océano Pacífico.

Las formaciones hidrogeológicas que afloran en esta cuenca baja son las siguientes:

- **Qf:** Depósitos fluviales cuaternarios, de arenas, gravas y limos, asociados al curso actual del río Mataquito, de sus terrazas subactuales y llanura de inundación, que cubren una superficie de 225 km<sup>2</sup> (el 13,4% del total de la demarcación de la cuenca baja del Mataquito), extendiéndose a lo largo de 85 km del cauce del río. La potencia de estos depósitos sobre el sustrato rocoso oscila entre los 16 a 100 m, según los sectores (mayor hacia el eje central del valle), de acuerdo con los datos obtenidos de la geofísica gravimétrica llevada a cabo sobre su superficie, mediante 2 perfiles con 12 estaciones de medida, trazados, uno a la altura de Hualañe y el otro en Lora (ver situación en el Mapa 2.11), ejecutados en el año 2012 (doc. RH130. *Estudio Hidrogeológico del río Mataquito*). Dada la elevada productividad de esta formación sedimentaria fluvial, se la considera como el acuífero **A5** en la UPH 3.
- **Q1:** Depósitos detríticos aluviales cuaternarios, constituidos por arenas, gravas, arcillas y limos, que se cartografián en reducidos afloramientos asociados a los bordes de la llanura de inundación del río Mataquito, así como a los cursos menores de otros cauces que confluyen en el Mataquito. De estos, el de mayor entidad es el valle del río Curepto, en el que también se realizó 1 perfil gravimétrico, con 6 estaciones de medida (ver Mapa 6.7), que ha registrado una potencia de esta formación aluvial, sobre el sustrato rocoso, de entre 59 a 90 m. Este sector acuífero, de carácter libre y permeabilidad tipo medio-alto, constituido por los sedimentos detríticos aluviales del valle de Curepto, permite la extracción de aguas subterráneas en él, tal y como lo demuestran las 5 captaciones con derechos de aprovechamiento, autorizadas por la DGA en esta zona.
- **Qe.** Depósitos eólicos cuaternarios, constituidos por arenas de grano fino a medio con intercalaciones bioclásticas, dispuestos en dunas en la franja costera que se forma en la desembocadura del río Mataquito. Esta formación detrítica, no consolidada, presenta una permeabilidad de tipo medio, y puede constituir un reducido acuífero de carácter libre, en el que lo más probable es que sus aguas subterráneas presenten cierto riesgo de contaminación salina al estar contacto con el océano.
- Formaciones volcánicas y volcano-sedimentarias de baja a media permeabilidad: **PI3t**, depósitos piroclásticos asociados a calderas de colapso, del Pleistoceno; **Kia2**, representada por secuencias sedimentarias y volcánicas de rocas epiclásticas, piroclásticas y lavas andesíticas, con intercalaciones sedimentarias lacustres y localmente marinas, del Cretácico Superior; **Ki2c**, secuencias sedimentarias y volcánicas, constituidas por brechas sedimentarias y volcánicas, lavas andesíticas, conglomerados, areniscas, limolitas calcáreas y localmente calizas fosilíferas, del Cretácico Medio; **Ki2m**, secuencias volcánicas y sedimentarias de lavas andesíticas y basálticas, tobas y brechas volcánicas, areniscas y

calizas fosilíferas, del Cretácico Inferior; y **J3i**, secuencias volcánicas continentales y marinas, compuestas de lavas y aglomerados basálticos, tobas riolíticas con intercalaciones de areniscas, calizas marinas y conglomerados continentales, del Jurásico.

El conjunto de estas formaciones, que ocupan una buena parte de la Cuenca Baja del Mataquito, unos 600 km<sup>2</sup> (el 35,6% de la demarcación de la cuenca), presentan, por la porosidad intergranular de los sedimentos a veces intercalados, y por la fracturación y fisuración de las rocas volcánicas, una permeabilidad de tipo bajo a medio, que permite, en algunos sectores, localizar reducidos niveles acuíferos, de carácter somero y con baja productividad, explotados, en ocasiones, para atender necesidades puntuales de agua; como lo demuestra el hecho de que sobre su extensa superficie de afloramientos se han inventariado 68 captaciones de agua con derechos de aprovechamiento concedidos por la DGA.

- **Ji1m.** Secuencias sedimentarias del Jurásico Inferior-Medio, compuestas por calizas, areniscas calcáreas, lutitas, conglomerados y areniscas, con intercalaciones volcánicas de basaltos almohadillados, que se hayan dispuestas en un afloramiento, de unos 200 km<sup>2</sup> de extensión, adosado al flanco oriental de la Cordillera de la Costa, y alargado en la dirección N-S; parte del mismo se introduce en la UPH 1, situada al Norte, en unos 5,5 km de longitud. Este afloramiento jurásico está en contacto geológico con la formación, de igual naturaleza litológica, del Triásico Superior. Presenta una permeabilidad de grado medio-alto, debida a la fisuración, diaclasación y, en algunos puntos, procesos de disolución que afectan a los materiales carbonatados, por lo que, junto a la formación triásica, subyacente, constituye el acuífero **A6**, de cierto interés hidrogeológico en la Cuenca Baja del Mataquito.
- **Trim.** Secuencias sedimentarias consolidadas del Triásico superior, constituidas por areniscas, conglomerados, limolitas y calizas. Su afloramiento se encuentran en la misma posición geográfica que la de la anterior formación jurásica (Ji1m), con la que mantienen contacto litológico, formando parte de la misma estructura geológica que, en su conjunto, totaliza una superficie de 301 km<sup>2</sup> (el 17,9% de la demarcación de la cuenca); parte de su afloramiento se larga hacia el Norte y Sur, en unos 7 y 14 km, dentro de las demarcaciones de la UPH 1 y UPH 4, respectivamente. Al igual que la formación jurásica suprayacente, presenta una permeabilidad de grado medio-alto, por lo que se considera que ambas formaciones geológicas forman parte del mismo acuífero **A6**.
- **CPg y Kiag.** Son rocas eruptivas de carácter ígneo, muy duras y compactas, que presentan una permeabilidad muy baja en su conjunto, solamente incrementada en reducidos niveles acuíferos asociados a los tramos superiores, fracturados y diaclasados, de los macizos graníticos, y a los niveles de alteración y meteorización de la roca (regolito), que se hayan recubriendo a la misma en los sectores de topografía más amortiguada. Los afloramientos de las formaciones graníticas se encuentra dispersos por la cuenca baja de la Mataquito, ocupando una superficie total, aproximada, de unos 300 km<sup>2</sup>

(el 17,8% de la demarcación de la cuenca), siendo los de mayor extensión los dos correspondientes a las intrusiones del Paleozoico (CPg), que se localizan adosados al flanco oriental de la Cordillera de la Costa. Sobre sus afloramientos, se ubican 10 captaciones con derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas.

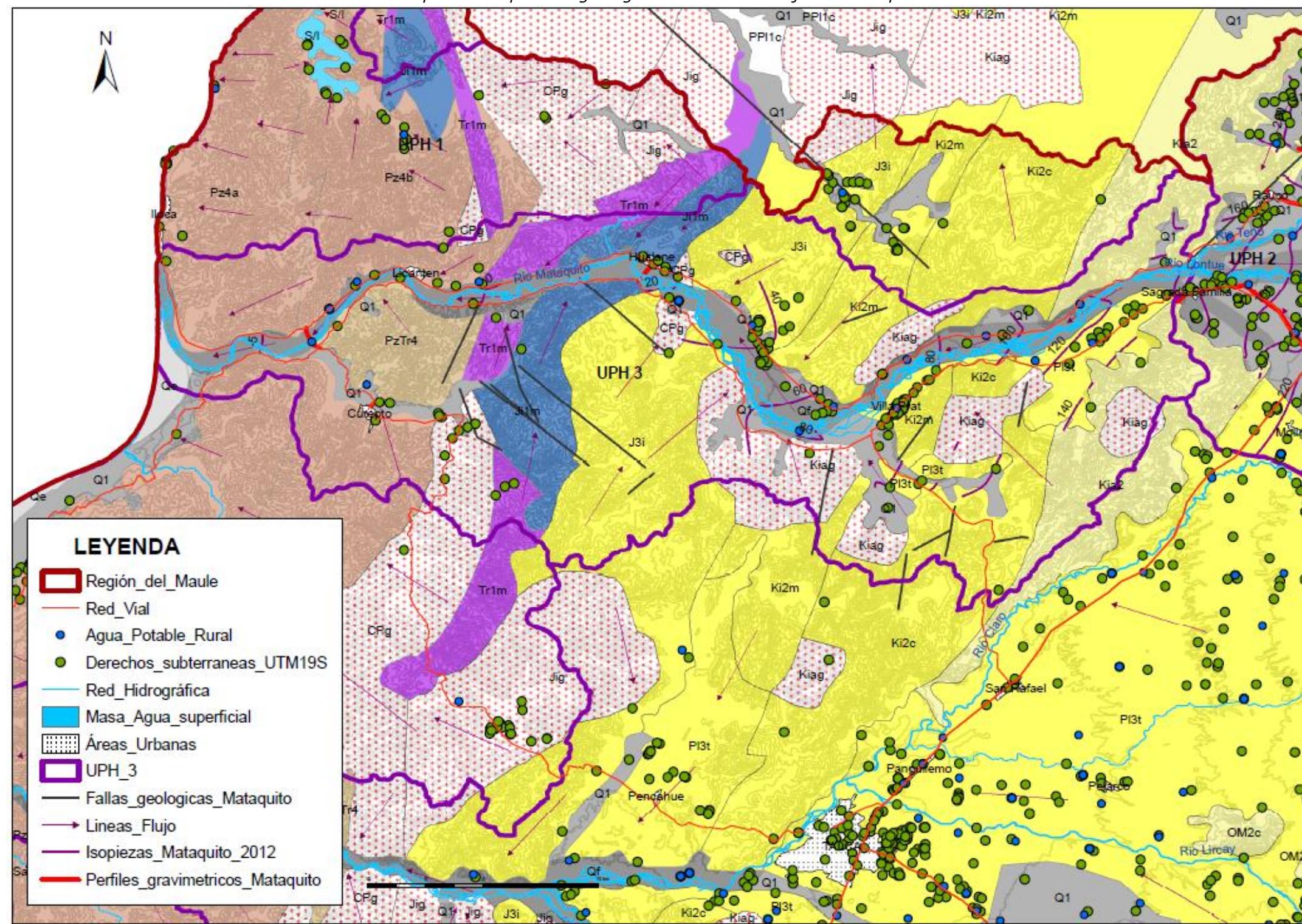
- **PzTr4, Pz4a y Pzab.** Son formaciones metamórficas del Paleozoico, compuestas por esquistos moscovíticos, metabasitas, pizarras, filitas, meta-arenitas y neises, que constituyen el núcleo central de la Cordillera de la Costa, en una banda alargada de unos 250 km<sup>2</sup> de extensión (el 14,8% de la demarcación de la cuenca). Esta formación presenta muy baja permeabilidad en su conjunto, localizándose solamente reducidos niveles acuíferos, más permeables, asociados a los puntos de mayor meteorización y/o fracturación de las rocas, concentrados en algunos sectores superficiales de sus afloramientos, que pueden presentar un cierto interés hidrogeológico, como fuente de suministro de aguas subterráneas para atender necesidades muy puntuales de abastecimiento. De hecho, se han inventariado 6 captaciones de agua en estas formaciones, con derechos de aprovechamiento otorgados.

En el Mapa Hidrogeológico de la Cuenca Baja del Mataquito (Mapa 6.7) se representa la cartografía de las formaciones litológicas descritas y la posición que tienen, sobre ellas, las captaciones con derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, concedidos por la DGA, en esta cuenca, aquellas de las que se ha dispuesto de sus coordenadas geográficas (152). Se sitúan también las captaciones que, con derechos de explotación concedidos, se emplean en abastecimiento rural (15).

Así mismo, se indica la dirección y sentido que pueden tener los flujos de agua subterráneos que se originan dentro del conjunto de la cuenca, la distribución de las isopiezas trazadas en el acuífero aluvial y la situación de los 3 perfiles gravimétricos realizados en el año 2012 (doc. RH130).

La leyenda de las formaciones geológicas que afloran en la Cuenca Baja del Mataquito puede verse en el MHRM (Mapa 4.1), incluida anteriormente en el presente informe.

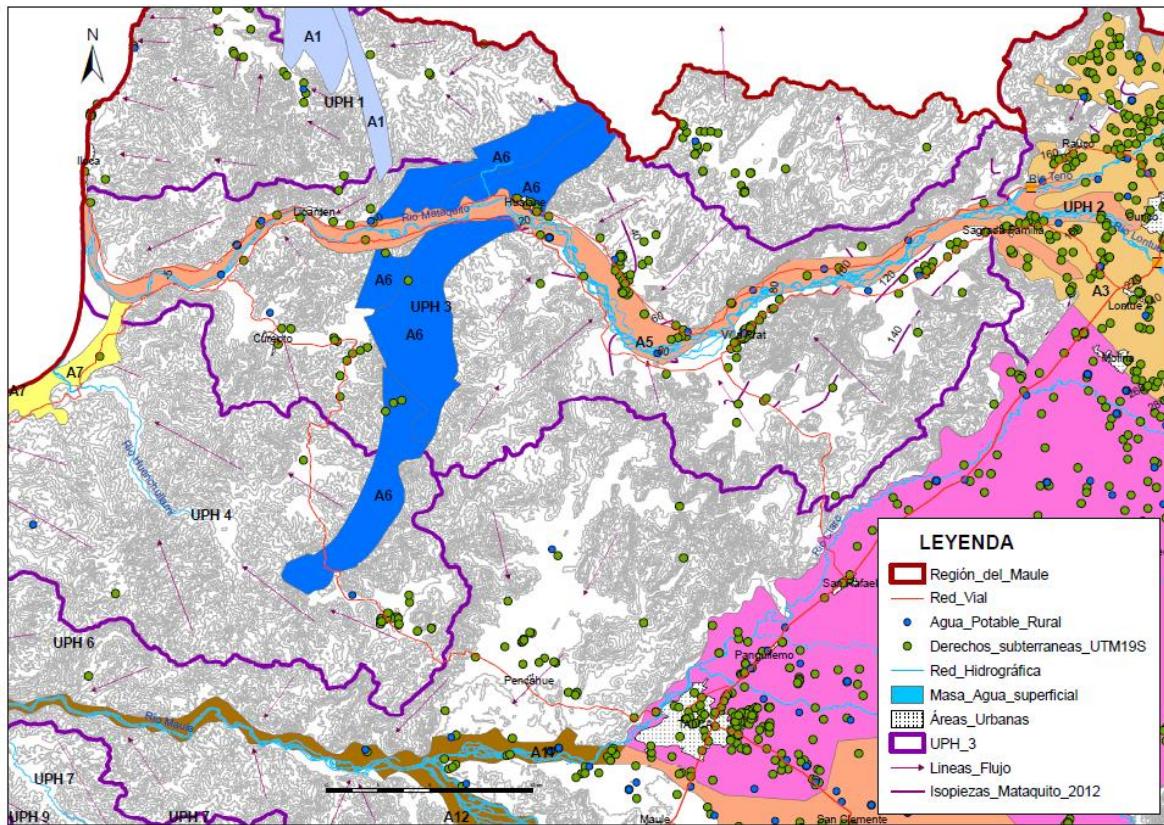
Mapa 6.7. Mapa Hidrogeológico de la Cuenca Baja del Mataquito



### 6.3.1.2. Acuíferos

En el Mapa 6.8 se refleja la ubicación de los acuíferos identificados y delimitados en la Cuenca Baja del Mataquito (UPH 3):

*Mapa 6.8. Situación geográfica de los acuíferos en la UPH3*



#### • A5. Aluvial del Bajo Mataquito

Este acuífero, que ocupa el valle central del río Mataquito, en su Cuenca Baja, en una superficie de 225 km<sup>2</sup> de extensión (se adentra una pequeña porción en la Cuenca Alta del Mataquito) y está constituido por una formación detrítica aluvial, compuesta de materiales sedimentarios con una alta porosidad intersticial (formación Qf del mapa hidrogeológico), constituida por arenas, gravas, arcillas y limos, entremezclados en diferentes proporciones y formando horizontes de espesores variables, lo que ocasiona que la permeabilidad de la formación sea variable de unos puntos a otros, con rangos de tipo bajo a muy elevado, en función de la proporción mayor o menor de sedimentos arcillosos que se encuentren localmente en ellos, al perforarse verticalmente. La potencia del acuífero aluvial sobre el

sustrato rocoso oscila entre los 16 a 100 m, según los puntos (mayor hacia el eje central del valle), de acuerdo al estudio geofísico (gravimetría) realizada en la zona (doc. RH130).

Por sus buenas condiciones de permeabilidad, constituye el acuífero de mayor interés hidrogeológico para la explotación de las aguas subterráneas, que se encuentra en la Cuenca Baja del Mataquito. Su comportamiento hidrodinámico es el de un acuífero en estado libre, que está en contacto con el cauce superficial del río, de tal modo que la mayor parte de su **recarga** subterránea proviene de la infiltración del agua superficial que transita por el río, cuando el nivel piezométrico en el acuífero se halla a cota más baja que la del cauce, de parte del agua de lluvia que se recoge directamente sobre sus afloramientos, por la percolación del agua de riego de los cultivos implantados en su valle, así como, subterráneamente, desde el acuífero aluvial de los ríos Teno y Lontué, situado en la Cuenca Alta del Mataquito. Se considera, también, a la vista de la interpretación hidrogeológica que se hace en el presente informe, que el acuífero aluvial debe recibir aportes subterráneos laterales desde el acuífero **A6** (conjunto calizo-areniscoso del Jurásico-Triásico), en el tramo de valle en el que el río recorre el afloramiento (11,5 km).

Las **descargas** del acuífero se producen, de manera natural, al río, en algunos sectores del valle y en determinadas épocas de la año, cuando el nivel freático de la acuífero se encuentra a muy poca profundidad y próximo a la cota del lecho del río; subterráneamente, hacia el océano Pacífico, en su contacto costero, en la zona de la desembocadura del río; y, de modo artificial, por las extracciones de agua subterránea de los pozos que lo explotan directamente, 51 según el catastro de DAA concedidos por la DGA.

#### • **A6. Jurásico y Triásico del Bajo Mataquito**

Este acuífero, que se ubica en el flanco oriental de la Cordillera de la Costa, ocupa una superficie total de 301 km<sup>2</sup>, compuesta por los afloramientos de las formaciones Ji1m y Tr1m, del Jurásico-Triásico, constituidas por calizas, areniscas, conglomerados, areniscas calcáreas y lutitas, que presentan una permeabilidad cualitativa de grado medio-alto. La parte central de su afloramiento, en una distancia de 11,5 km, es atravesado por el curso del río Mataquito, a la altura de la población de Hualañe. Se desconoce la potencia real del conjunto de la formación acuífera, al no disponer del buzamiento de la misma, pero la potencia aparente media, de la totalidad del afloramiento, es del orden de los 5.800 m.

Debido al contacto directo del acuífero calizo-areniscoso con la atmósfera, y a la fisuración y diaclasación que afecta a las rocas, este presenta un comportamiento hidrodinámico libre, de tal modo, que la **recarga** subterránea del acuífero se establece por la infiltración de parte del agua de lluvia que se recoge directamente sobre sus propios afloramientos. Y su **descarga** natural se origina hacia el valle del río Mataquito, a lo largo del tramo de 11,5 km en que atraviesa el afloramiento, por el sector topográfico más bajo del mismo. La

explotación artificial se produce con los bombeos de las 12 captaciones de agua, con derechos de aprovechamiento concedidos, que hay instaladas en él.

### 6.3.2. Características hidrodinámicas

Los parámetros hidrodinámicos del **acuífero A5** fueron obtenidos, en el año 2012, como datos de partida para la ejecución de la modelización matemática efectuada del acuífero (doc.RH130). Con el análisis de las pruebas de gasto, constante y variable, realizadas en 12 pozos distribuidos por la superficie del acuífero, y con los ensayos de bombeo efectuados en algunas de ellas, se determinó que la permeabilidad del acuífero varía entre un rango de  $1 \times 10^{-6}$  a  $1,6 \times 10^{-3}$  m/s (equivalentes a 0,08 a 138,2 m/día), lo que se corresponde con un conjunto de materiales porosos muy heterogéneos, que presentan una permeabilidad cualitativa entre baja a muy alta. De acuerdo a esta permeabilidad, la transmisividad del acuífero (permeabilidad por la potencia saturada del mismo) puede ser del orden de 10 a 1.000 m<sup>2</sup>/día.

Del **coeficiente de almacenamiento**, el mismo documento no estima ningún valor concreto en este acuífero aluvial, pero, por los valores obtenidos en el acuífero de Tenolontué, este puede ser del orden de 0,15, que corresponde a un acuífero en estado hidrodinámico libre.

Del **acuífero carbonatado-areniscoso A6**, no se dispone de ningún dato; pero si se tienen en cuenta experiencias de otros estudios desarrollados en este tipo de litologías, se puede considerar que la permeabilidad del conjunto acuífero debe variar entre baja a alta (de 0,01 a 100 m/día), lo que equivaldría a una T de entre 10 a 1.000 m<sup>2</sup>/día, en aquellos sectores en los que los afloramientos calizos se encuentren más carstificados. El coeficiente de almacenamiento, al ser un acuífero libre, debe ser del orden de 0,01.

Del resto de formaciones aflorantes en la Cuenca Baja del Mataquito, tampoco se dispone de datos cuantitativos, pero se considera que la permeabilidad de las mismas varía entre baja a muy baja (entre 1 y menos de 0,01 m/día).

### 6.3.3. Captaciones de agua subterránea. Explotaciones

La referencia disponible sobre el **número de captaciones existentes en la Cuenca Baja del Mataquito** es la proporcionada por la DGA, en cuanto a los derechos de aprovechamiento de aguas (DAA) solicitados y concedidos en esta zona. El número de ellos, de los que se ha dispuesto de las coordenadas geográficas de su ubicación, asciende a 152, con la siguiente distribución por formaciones hidrogeológicas: 51 en los depósitos detríticos cuaternarios del acuífero A5; 12 en el acuífero carbonatado-areniscoso del Jurásico-Triásico A6; 68 en las formaciones volcánicas y volcano-sedimentarias; 6 en materiales aluviales cuaternarios del valle del río Curepto; 10 en granitos; y 6 en formaciones metamórficas del

Paleozoico. De estas captaciones, en 15 de ellas se tiene constancia (según se ha visto en la tabla Excel *Captaciones utilizadas como Agua Potable Rural*), de que son utilizadas en el abastecimiento doméstico. La ubicación de todas estas captaciones se presenta en el Mapa Hidrogeológico (Mapa 6.7).

Se desconoce el tipo de captación de que se trata (pozos, sondeos, punteras, norias), pues la base de datos de Derechos Concedidos de la DGA no lo indica, aunque se supone que en su mayor parte deben ser pozos y sondeos de variable profundidad; y, así mismo, se desconoce también el uso que se le da al agua subterránea extraída de ellas.

La **profundidad de obra** de las captaciones tampoco se indica en la relación de la DGA, por lo que el único dato de que se ha dispuesto procede de la red de 14 puntos con medidas del NP, que se utilizaron en el 2012 para la calibración del modelo matemático del **acuífero A5** (doc. RH130). Según esta relación, las profundidades de obra de estas 14 captaciones, oscila entre 8 y 127 m.

Los **caudales de extracción concedidos** por la DGA a las 152 captaciones, oscilan entre los 0,10 y 88 l/s, lo que contabiliza un volumen anual total de explotación para la UPH 3 (Cuenca Baja del Mataquito) de 702 l/s que, de extraerse todo él de manera continuada, daría un volumen anual de explotación de 22,14 hm<sup>3</sup>/año. De ellos, 13,07 hm<sup>3</sup>/año se explotan del acuífero A5 y 0,97 hm<sup>3</sup>/año del acuífero A6.

En el caso del **acuífero A5 Aluvial del Bajo Mataquito**, el más explotado en la cuenca, el caudal de extracción concedido a las 51 captaciones que lo explotan oscila entre 0,14 y 88 l/s, lo que totaliza un volumen de 414,48 l/s que, en el supuesto de un bombeo continuado del mismo, contabilizarían 13,07 hm<sup>3</sup>/año.

Con el objeto de ajustar esta cifra de extracciones concedidas, a la que en realidad se está explotando del acuífero, se utiliza el mismo "factor de uso" que ya se aplicó para las concesiones de la Cuenca Alta del Mataquito. Y teniendo en cuenta la "distribución por uso" que se le da al agua total explotada, en el doc. CA055, quedaría un volumen de agua subterránea, más real, extraído del acuífero A5 de **5,09 hm<sup>3</sup>/año** (un 38,94% menos del volumen concedido), tal y como se calcula en la Tabla 6.7Tabla 6.8:

**Tabla 6.8. Caudales de extracción estimados en el acuífero A5. Cuenca Baja del Mataquito**

Uso del agua	Distribución por uso sobre los 13,07 hm <sup>3</sup> /año concedidos (%)	Estimación del caudal otorgado (hm <sup>3</sup> /año)	Factor de uso	Explotación corregida según el factor de uso (hm <sup>3</sup> /año)
Agua Potable	32,0	4,19	0,75	3,14
Industrial	8,0	1,04	0,3	0,31
Riego	57,0	7,45	0,2	1,49
Sin Información	3,0	0,39	0,4	0,15

<b>TOTAL</b>	<b>100,0</b>	<b>13,07</b>		<b>5,09</b>
--------------	--------------	--------------	--	-------------

En el balance hídrico del Modelo del Acuífero de Mataquito, ya calibrado, la cifra de extracciones de los pozos es de 19.802 m<sup>3</sup>/d, equivalentes a 7,22 hm<sup>3</sup>/año (doc. RH130), cifra ligeramente superior a la aquí estimada.

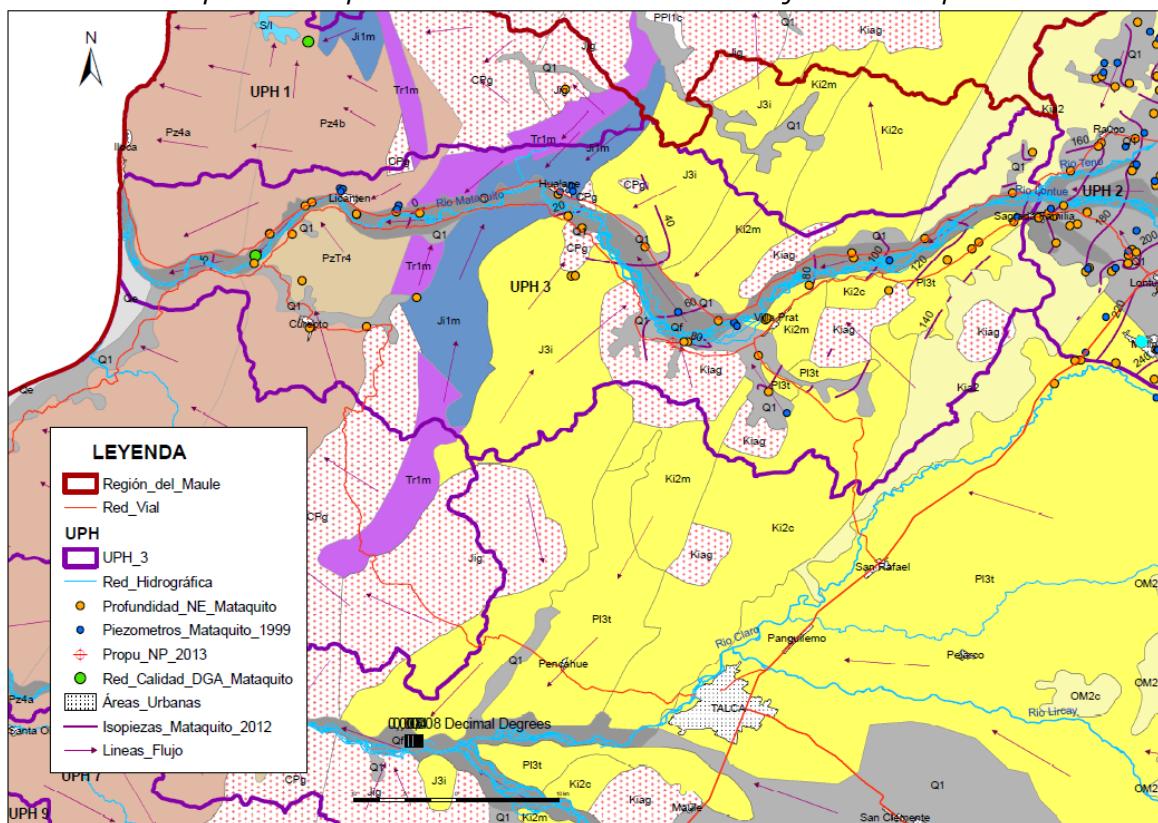
Se tiene referencia de que 15 de las captaciones autorizadas son utilizadas en abastecimiento rural, según consta en la *Relación de captaciones utilizadas como Agua Potable Rural* (tabla Excel), suministrada como documentación previa del actual estudio.

En consecuencia con el factor de uso, si se aplica este al volumen de explotación concedido al resto de las captaciones que hay en la UPH 3 (22,14 – 13,07 = 9,07 hm<sup>3</sup>/año), el volumen de agua realmente extraído debe ser de: 9,07 x 38,94% de reducción = **3,53 hm<sup>3</sup>/año**. De este volumen, en las 12 captaciones con derechos de explotación que hay concedidas en el **acuífero A6 Jurásico y Triásico del Bajo Mataquito**, se contabilizan unas extracciones de 0,97 hm<sup>3</sup>/año.

#### **6.3.3.1. Niveles de agua. Flujos subterráneos**

En el Mapa Piezométrico (Mapa 6.9) se pueden visualizar las líneas en las que se orienta el flujo del agua subterránea en el conjunto de la Cuenca Baja del Mataquito. En él se han trazado las trayectorias del flujo subterráneo, tanto en las formaciones de mayor permeabilidad que se encuentran en la cuenca –acuíferos A5 y A6–, como en aquellas otras formaciones, de baja a muy baja permeabilidad, en las que también, aunque sea de modo somero y discontinuo, se originan reducidos flujos subterráneos, paralelos al descenso topográfico del terreno, que van buscando su salida (drenaje) hacia el valle del río Mataquito o directamente al océano Pacífico, que hace de límite final de la cuenca.

Mapa 6.9. Mapa Piezométrico de la Cuenca Baja del Mataquito



En el caso del **acuífero A5** (Aluvial del Bajo Mataquito), en los meses de agosto y septiembre de 2012, se efectuaron medidas directas del NP en 14 de los pozos y sondajes existentes en sus dominios hidrogeológicos. La profundidad medida hasta el nivel estático se resume en la Tabla 6.9, según diferentes rangos de profundidad. Estos niveles, fueron la base de calibración del modelo matemático realizado.

Tabla 6.9. Profundidad del nivel estático en el acuífero A5

Rango Profundidad Nivel Estático ( m )	Cantidad de pozos	Pozos sobre el total (%)
0-5	8	57,15
5-10	0	0,00
10-25	3	21,43
25-50	2	14,28
>50	1	7,14
<b>TOTAL</b>	<b>14</b>	<b>100,00</b>

Tabla obtenida del doc.RH130. Estudio Hidrogeológico del Río Mataquito, DGA 2012

Con el resultado de estas medidas del NP, fueron trazadas las **isopiezas**, con equidistancia de 20 m, que se presentan en el Mapa 6.9, distribuidas más o menos paralelas a la

superficie topográfica del terreno y relativamente tangenciales al cauce del río Mataquito, desde la cota de 140 msnm, al inicio del límite de la cuenca baja, hasta la de -5 msnm, a una distancia de 8 km del océano, en las proximidades de la comunidad El Guapi (14 km aguas abajo de la población de Licanten), en el sector topográfico más bajo del acuífero. El gradiente hidráulico estimado para esta superficie piezométrica a lo largo de los 85 km de recorrido del río es del orden de 1,7‰.

La presencia del nivel freático del acuífero muy próximo con la cota topográfica del cauce del río Mataquito, en 3 tramos del mismo (uno situado al inicio del límite de cuenca y, los otros dos, a unos 5 km aguas arriba de la población de Licanten, en las proximidades del contacto del cauce del río con el afloramiento de un domo granítico que se encuentra en este lugar), llegó a determinar la existencia de **afloramientos de agua subterráneas** (descargas naturales del acuífero), en cantidades evaluadas en 507.640 m<sup>3</sup>/día en la calibración del modelo matemático del acuífero realizado (doc. RH130), lo que equivale a un volumen de 185,28 hm<sup>3</sup>/año.

La **evolución en el tiempo** del nivel piezométrico, a lo largo de un periodo amplio de medidas, se ha podido analizar con los datos del nivel de agua tomados en 4 puntos de control distribuidos a lo largo del acuífero. En las medidas del NP registradas entre los años 1969 a 1989, sólo se aprecia una ligera oscilación entre periodos estacionales, pero se mantiene más o menos constante interanualmente, a lo largo del periodo controlado.

En el estudio doc. EH040 *Análisis crítico de las Redes Hidrométricas, Regiones V a VII y Región Metropolitana*, realizado por el MOPU-DGA en 2013, se propone el control del nivel de agua en el “Pozo Huaquén”, ubicado en el acuífero aluvial del río Mataquito, al norte de la población de Huaquén, en la comuna de Curepto, en un tramo en el que cauce del río circula sobre un afloramiento de rocas graníticas.

### 6.3.4. Recarga subterránea. Balance hídrico

#### 6.3.4.1. Recarga subterránea

Para determinar el volumen de recursos hídricos que anualmente se recargan en el **acuífero A5 Aluvial del Bajo Mataquito**, en el doc. RH130 se aplicó un modelo de simulación hidrológica simplificado, en el que se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros: la infiltración a partir de la precipitación que se registra sobre los propios afloramientos detríticos del valle del río, la percolación del agua utilizada en los riegos y canales establecidos sobre los mismos -“recarga areal” en el balance-, la infiltración de parte del agua superficial que transita por el cauce (“recarga río”) y los aportes laterales que, subterráneamente, le llegan desde el acuífero aluvial de los ríos Teno-Lontué, ubicado aguas arriba, en la Cuenca Alta del Mataquito.

De acuerdo con los resultados de la modelización hidrológica realizada para el año 2012, un año hidrológicamente más seco de lo normal, para los 225 km<sup>2</sup> de extensión de afloramiento del acuífero A5, en la modelización matemática del acuífero realizada, se le estima, en el cuadro 9.3 del doc. RH130, una recarga areal de 186.640 m<sup>3</sup>/día (2,2 m<sup>3</sup>/s), equivalentes a 33,35 hm<sup>3</sup>/año, lo que supone un coeficiente de infiltración, fundamentalmente a partir de la precipitación, de 0,009 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>. El resto de la recarga del acuífero procede de parte del agua superficial que circula por el cauce del río, estimada en 91,04 hm<sup>3</sup>/año y de los aportes laterales, subterráneos, que se producen del acuífero A3, desde la Cuenca Alta del Mataquito, estimados en 33,35 hm<sup>3</sup>/año. En su conjunto, la **recarga** anual del **acuífero A5** se cifra en **192,52 hm<sup>3</sup>/año**.

Para el **resto de las formaciones hidrogeológicas de la Cuenca Baja del Mataquito** (1.457 km<sup>2</sup> de extensión, una vez deducidos los 225 km<sup>2</sup> del acuífero A5), la estimación de la recarga subterránea que se debe producir anualmente, como media, en las formaciones hidrogeológicas de la cuenca, se ha partido de la **precipitación media anual** registrada en la zona que, según el mapa de isoyetas consultado en el doc. RH155 *Estimación preliminar de las Recargas de Agua Subterránea y Determinación de los Sectores Acuíferos de Aprovechamiento Común en las Cuencas de las Regiones del Maule, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos*, realizado por la DGA en 2014, se sitúa entre valores de **700 mm**.

Partiendo de los valores de precipitación registrados en la cuenca, y mediante la aplicación, en su día, de modelos hidrológicos, en el capítulo 2 del presente informe se indica que la **aportación total** en cuenca (recursos hídricos totales) es de **910,73 hm<sup>3</sup>/año**.

Por los datos bibliográficos consultados, la infiltración del agua de precipitación, en medios de baja a muy baja permeabilidad, puede oscilar entre el 8 y el 20% de Pm, como podría ser en el caso de las formaciones volcano-sedimentarias, metamórficas e intrusivas, que ocupan la mayor parte de la cuenca (1.156 km<sup>2</sup>). Para las formaciones de media a alta permeabilidad, como sería el caso del afloramiento, de 301 km<sup>2</sup> de extensión, del **acuífero A6** (calizas, areniscas, conglomerados), este porcentaje se elevaría hasta un 30-40 % de Pm. De acuerdo con estos porcentajes, y tratando de ser conservador, la infiltración de agua subterránea en el resto de la Cuenca Baja del Mataquito, se podría estimar en:

Tabla 6.10. Infiltración de agua subterránea en la Cuenca Baja del Mataquito				
Zonas	Área (km <sup>2</sup> )	Precipitación media (mm)	Infiltración (%)	Infiltración media (hm <sup>3</sup> /año)
Acuífero A6	301	700	30	63,21
Resto Cuenca	1.156	700	10	80,92
<b>TOTAL</b>	<b>1.457</b>			<b>144,13</b>

Si a la aportación total estimada (escorrentía total), se le deduce la infiltración subterránea originada en las formaciones hidrogeológicas, la escorrentía superficial directa, sería: 910,73

- 144,13 = 766,60 hm<sup>3</sup>/año. Esta escorrentía se recoge como agua superficial en el cauce del río Mataquito.

Dada la poca capacidad de almacenamiento de los “acuíferos” someros que se hallan en los sectores de fracturación, fisuración y meteorización de las rocas volcano-sedimentarias, metamórficas e intrusivas, el agua infiltrada en estos reducidos acuíferos, después de cortos recorridos y tiempos de residencia limitados, vuelve a salir, a lo largo del año hidrológico, hacia los cauces de ríos y arroyos, para incorporarse a la circulación del agua superficial que se produce en ellos.

El único acuífero en el que las aguas subterráneas se almacenan y circulan una mayor distancia por el interior de la roca permeable, es el **A6 Jurásico y Triásico del Bajo Mataquito**, en el que, los **63,21 hm<sup>3</sup>/año** estimados de su recarga anual, deben almacenarse y retenerse durante un mayor tiempo en las rocas fisuradas y diaclasadas, hasta acabar drenándose, de manera natural, por el sector topográfico más bajo de su afloramiento, que viene a coincidir con el paso del cauce del río Mataquito, en una distancia de 11,5 km. Este afloramiento de materiales permeables, debe actuar como embalse subterráneo regulador de los 63,21 hm<sup>3</sup> que anualmente, como media de los recursos hídricos subterráneos, se renuevan en el acuífero. La explotación artificial del mismo es muy reducida, y limitada a los bombeos de las 12 captaciones de agua, con derechos concedidos, que hay instaladas en él, que asciende a 0,97 hm<sup>3</sup>/año.

#### 6.3.4.2. Balance hídrico

Dando por buenos los datos del balance hídrico calculados y calibrados en el “*Modelo Matemático de los ríos Teno y Lontue*” (doc. RH130), realizado para el **acuífero A5 Aluvial del Bajo Mataquito**, los resultados de contrastar las entradas al acuífero, con las salidas del mismo, serían:

**Tabla 6.11. Balance Hídrico del Acuífero A5 Aluvial del Bajo Mataquito**

ENTRADAS				SALIDAS			
Componente	Q (m <sup>3</sup> /d)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (hm <sup>3</sup> /año)	Componente	Q (m <sup>3</sup> /d)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q (hm <sup>3</sup> /año)
Flujo Subterráneo	91.371	1,1	33,35	Descarga Pozos	19.802	0,2	7,23
Recarga Areal	186.640	2,2	68,12	Afloramientos Río	507.640	5,9	185,29
Recarga Río	249.430	2,9	91,04				
<b>Total</b>	<b>527.441</b>	<b>6,1</b>	<b>192,52</b>	<b>Total</b>	<b>527.442</b>	<b>6,1</b>	<b>192,52</b>

Tabla obtenida de los cuadros 9.3 del doc.RH130

Si se comparan las extracciones de agua por los pozos (7,93 hm<sup>3</sup>/año), con la recarga total, natural, que se produce en el acuífero (192,52 hm<sup>3</sup>/año), el resultado es claramente positivo, lo que pone de manifiesto que las extracciones artificiales de agua en el acuífero

podrían incrementarse aún más, sin afectar a las reservas subterráneas del mismo. La evidencia de que el NP no ha variado a lo largo del tiempo, así como la permanencia de los afloramientos de agua subterránea que se producen en la actualidad del acuífero, son una consecuencia de esta situación hidrodinámica.

Las **salidas subterráneas** del acuífero aluvial A5 al océano Pacífico, en el año 2012, no debían estar produciéndose, como lo demuestra el hecho de que a una distancia de 8 km del océano, la cota del NP se encontraba a -5 msnm. En el balance, calibrado, del modelo matemático, no se valoran estas posibles salidas subterráneas al mar.

Para el **acuífero A6 Jurásico y Triásico del Bajo Mataquito**, de 301 km<sup>2</sup> de extensión, el balance de su afloramiento, sería el siguiente:

Tabla 6.12. Balance Hídrico del Acuíferos A6 Jurásico y Triásico del Bajo Mataquito			
ENTRADAS		SALIDAS	
Componente	Q (hm <sup>3</sup> /año)	Componente	Q (hm <sup>3</sup> /año)
Recarga Areal	63,21	Descarga Pozos	0,97
		Descargas subterráneas al río Mataquito	62,24
<b>Total</b>	<b>63,21</b>	<b>Total</b>	<b>63,21</b>

Las salidas subterráneas del acuífero (62,24 hm<sup>3</sup>/año), aunque no se visualizan en la superficie del aluvial del río Mataquito, estas, si como se interpreta hidrogeológicamente, se recargan y almacenan en el acuífero calizo-areniscoso A5, no tienen otra salida que la de descargarse subterráneamente en el valle aluvial del río, situado a la cota topográfica más baja de su afloramiento.

Para el **resto de la superficie de la Cuenca Alta del Mataquito** (1.156 km<sup>2</sup> de extensión, una vez deducidos los 225 km<sup>2</sup> del acuífero A5, más los 301 km<sup>2</sup> del acuífero A6), el balance de su cuenca, al tener una reducida extracción de agua subterránea artificialmente en ella (2,56 hm<sup>3</sup>/año, deducida a partir de las concesiones otorgadas), que al contrastarla con la recarga subterránea total media estimada, de 80,92 hm<sup>3</sup>/año (ver Tabla 6.10), da un volumen elevado de salidas, 78,36 hm<sup>3</sup>/año, que se concentran de modo superficial en el cauce del río Mataquito.

### 6.3.5. Reservas subterráneas

En el **acuífero A5** (aluvial del bajo Mataquito), las reservas de agua subterránea se estiman considerando una potencia media del acuífero saturada de agua de 52 m, obtenida a partir de los 2 perfiles gravimétricos realizados en 2012 (en el P12, la profundidad media hasta el sustrato rocoso es de 50 m y en el P14, de 75 m, con lo que la media del conjunto se podría considerar que es del orden de 62 m) y de las medidas hasta el nivel freático del acuífero

tomadas en 40 puntos (sin fecha conocida, en la que el NP se mide entre los 2 a 18 m de profundidad, siendo por tanto la media de 10 m). Con esta potencia media saturada de agua, para los 225 km<sup>2</sup> de superficie del acuífero y aplicando un coeficiente de almacenamiento de 0,15 (el valor menor utilizado en el modelo, para su calibración), las reservas de agua totales almacenadas en el acuífero A5 ascenderían a 1.755 hm<sup>3</sup>.

Para el **acuífero A6** (calizas, areniscas, conglomerados y lutitas) se estima una potencia mínima saturada de agua, en los 301 km<sup>2</sup> de su afloramiento, de 100 m. El S, al considerarse un acuífero libre, se supone que es del orden de 10<sup>-2</sup>, con lo que se le estiman unas reservas subterráneas de unos **301 hm<sup>3</sup>**.

En la Tabla 6.13 se resume el volumen de aguas subterráneas almacenadas en los acuíferos de la Cuenca Baja del Mataquito, que totalizan unos **2.056 hm<sup>3</sup>**.

**Tabla 6.13. Reservas de agua subterránea en los acuíferos de la Cuenca Baja del Mataquito**

Acuífero	Área (km <sup>2</sup> )	Potencia de acuífero con buena permeabilidad (m)	Profundidad media del NP (m)	Potencia saturada de agua (m)	Coeficiente de almacenamiento (S)	Reservas de agua subterránea (hm <sup>3</sup> )
<b>A5</b>	225	62	10	52	0,15	1.755
<b>A6</b>	301			100	0,01	301
<b>TOTAL</b>	<b>526</b>					<b>2.056</b>

### 6.3.6. Modelización matemática

En el año 2012, fue planteado y realizado un Modelo Matemático del Acuífero del Mataquito, mediante el programa Visual MODFLOW, en el ámbito geográfico que se refleja en el Mapa 6.10, obtenido del doc. RH130.

Mapa 6.10. Mallado del Modelo Mataquito

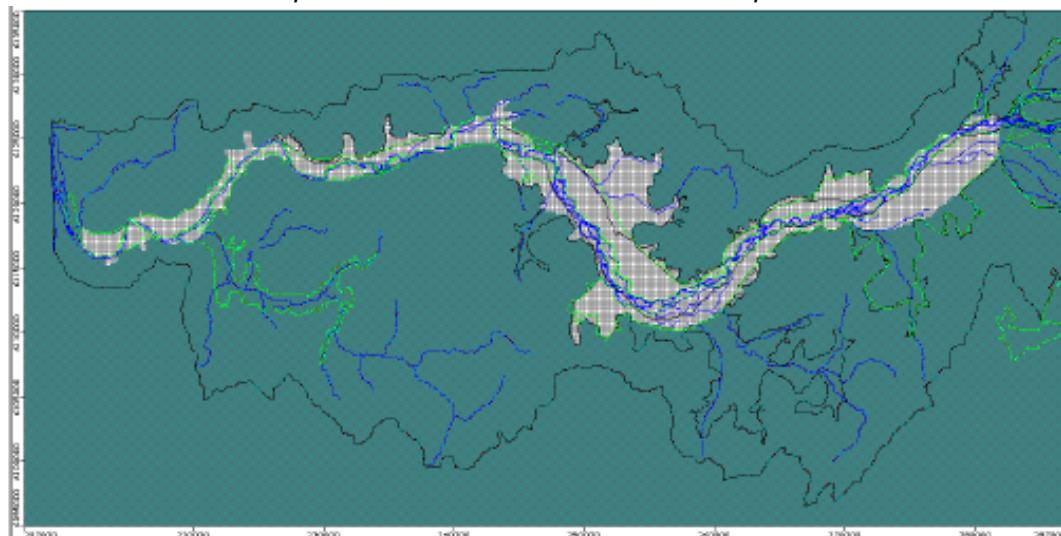


Imagen obtenida del doc. RH130 Estudio Hidrogeológico del Río Mataquito, DGA

Los resultados del modelo ya han sido incluidos anteriormente, en la Tabla 6.12. Según se relata en el doc. RH130, con el modelo ya calibrado, se evaluó la dinámica de la cuenca bajo 2 posibles escenarios, que representan condiciones alternativas en su operación, respecto a condiciones de recarga hidrológica por un lado, y a la demanda efectiva sobre el estrato acuífero por otro, Específicamente, dichos escenarios son:

- **Escenario 1:** Aumento de las recargas de 85% a 50% de probabilidad de excedencia.
- **Escenario 2:** Incorporación de todas las captaciones catastradas, con y sin derechos asociados (y recarga de 85%).
- **Escenario 3:** Variación de Factores de Uso de Pozos de Bombeo.

Una vez operado el modelo con los escenarios anteriores, se obtuvieron resultados de curvas equipotenciales y balances hídricos, que se pueden ver en el citado documento RH130.

### 6.3.7. Calidad de las aguas subterráneas

La calidad del agua subterránea en la totalidad de la Cuenca del Mataquito se ha estudiado en el doc. CA055 *Estudio de Calidad de Aguas Subterráneas de Huasco y Mataquito*, realizado por la CNR en 2006. En él se analizan 10 muestras de agua tomadas en pozos distribuidos entre la Cuenca Baja del Mataquito (M-1 a M-4 del acuífero A5 Aluvial del Bajo Mataquito) y la Cuenca Alta del Mataquito (M-5 a M-10 del acuífero A3 Aluvial de los ríos Teno y Lontué). En la tabla siguiente tomada del documento se relacionan los pozos muestreados y la ubicación geográfica de los mismos; se carece de sus coordenadas geográficas, al objeto de representar su ubicación exacta en los mapas.

**Tabla 6.14. Pozos de monitoreo en la Cuenca Alta del Mataquito**

Nº	Nº Catastro	UTM_X Este	UTM_Y Norte	Ubicación
M-5	376	287360	6121902	Parc .60. Parcelación Juan XXIII
M-6	352	297416	6111825	Fundo Huertos Santa Cecilia Quecheregua
M-7	18	290550	6129650	DOSSAL Hnos. Sector Mercedes Carolina
M-8	362	296503	6137603	Fundo El Foso de Teno. Noria 1
M-9	477	304050	6130202	Huerto Ampurdan Berenguer
M-10	155	302406	6138202	Fundo Las Casas de Teno. Pozo 1

Fuente: Tabla 5-2 del doc. CA055

Las aguas, fueron analizadas, según la Norma 133, en los siguientes parámetros: Alcalinidad total, Bicarbonatos, Calcio, Carbonatos, Conductividad Eléctrica, DBO5, DQO, Dureza total, Magnesio, Nitritos, Nitratos, Potasio, RAS, Sólidos Disueltos Totales, Sodio, Índice Fenol y Fosforo Total.

Los resultados de la analítica, salvo en la M-1, tomada en esta Cuenca Baja del Mataquito, que dio unos contenidos altos en Aluminio, Hierro y Manganeso, es buena. Estos elementos metálicos están presentes en las aguas subterráneas asociados a la actividad volcánica de la región.

En cuanto al resto de los elementos, los contenidos están por debajo de los límites permitidos, salvo algunos casos aislados de contenidos algo altos de Nitritos, asociados a una leve contaminación orgánica, atribuida a fuentes puntuales y locales.

En otro de los documentos consultados, RH015. Exploración de los Recursos Hídricos subterráneos. Región VII, realizado por la DGA en 1999, se incluyen datos de las analíticas efectuadas a 37 muestras de agua subterránea, tomadas a pozos de la Región de Maule. Entre ellas, se encuentran 3 analíticas de pozos ubicados en esta UPH 3, en Rauco, Licantén y Hualañe.

Los resultados de los análisis efectuados a los elementos, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Nitratos, Plomo, Selenio, Sulfatos, Zinc, pH y Sólidos Totales disueltos, fueron buenos. Los elementos metálicos están todos por debajo del límite de detección, los Nitratos no pasan de los 1 mg/l y los Sólidos Totales Disueltos son del orden de 260 mg/l, correspondientes a aguas de baja salinidad.

### 6.3.8. Áreas de protección ecológica asociadas a descargas subterráneas

En la Cuenca Baja del Mataquito se considera como humedal de interés ambiental, incluido en la relación de Humedales en la Región del Maule (shp de humedales), la desembocadura

del Río Mataquito que, ante la duna costera con la que se encuentra en esta zona, sus aguas se remasan, constituyen un humedal. Su alimentación, además de por las aguas superficiales que transporta el río, también puede ser, ante la configuración hidrogeológica en la que se encuentra, una zona de afloramiento y descarga de las aguas subterráneas del acuífero aluvial A5.



Foto 6.4. Desembocadura del río Mataquito

#### 6.4. Acuíferos en Costeras Mataquito-Maule. UPH 4

Para la descripción hidrogeológica de la Costera entre Mataquito y Maule (UPH 4), se han consultado los siguientes documentos:

- (RH020) *Diagnóstico de Recursos Hídricos de Secano Interior y Costero VI a VIII Región*, realizado por la CNR en 2003.
- (RH070) *Estimaciones de Demanda de Agua y proyecciones futuras. Zona II. Regiones V a XII y Región Metropolitana*, realizado por el MOPU-DGA en 2007
- (SAP010) *Diagnóstico actual del Riego y Drenaje en Chile y su proyección. Diagnóstico del riego y drenaje en la VII Región*, realizado por la CNR, 2003.
- (RH018) *Estudio Hidrogeológico de Secano Interior y Costero. Regiones VI, VII y VIII*, realizado por el IICA en 2002.
- (RH180) *Derechos concedidos en Aguas Superficiales y Subterráneas. Región VII*. MOPU-DGA, 2015.
- (RHH180) *Relación de captaciones utilizadas como Agua Potable Rural* (tabla Excel).

##### 6.4.1. Características hidrogeológicas. Acuíferos

###### 6.4.1.1. Hidrogeología

Esta cuenca costera, que se enmarca entre los límites hidrográficos de la cuenca baja del río Mataquito, al Norte, y el de la cuenca baja del río Maule, al Sur, ocupa una extensión de 1.084,7 km<sup>2</sup> (el 3,5% del total de la superficie de la Región VII). Su superficie hidrográfica

drena, en sus dos terceras partes, al cauce del río Huenchullami, mientras que el resto lo hace directamente hacia el océano, por el sector costero de Putú-Junquillar.

Las formaciones hidrogeológicas que afloran en esta cuenca costera son las siguientes:

- **Q1.** Depósitos detríticos aluviales cuaternarios, constituidos por arenas, gravas, arcillas y limos, que se cartografián en la franja costera, en una longitud de 26,5 km y un ancho variable entre 900 a 3.000 m, según los puntos, apoyados sobre el borde del flanco occidental de la Cordillera de la Costa, que hace de sustrato rocoso de los mismos. La potencia de esta formación se determinó mediante la investigación geofísica (TEM) que se realizó en el año 2002 doc. RH018. Estudio *Hidrogeológico de Secano Interior y Costero. Regiones VI, VII y VIII*, realizado por el IICA, en el que, según los sectores, esta varía entre los 15 a 50 m de sedimentos detríticos permeables. Ante la buena permeabilidad de estos materiales, entre media a alta, según los puntos, esta formación constituiría parte del delimitado y denominado acuífero A7, dentro de la Región de Maule.

A lo largo del cauce del río Huenchullami, y preferentemente en los últimos 10 km de su recorrido, antes de desembocar en el océano, se encuentran también este tipo de depósitos sedimentarios aluviales, pero que, ante su reducida extensión y poca potencia, no aparecen cartografiados en el mapa hidrogeológico de la cuenca costera (Mapa 6.11). Tienen un relativo interés como acuífero, ante su baja productividad, por la poca capacidad de almacenamiento que estos depósitos aluviales presentan.

- **Qe.** Depósitos eólicos cuaternarios, constituidos por arenas de grano fino a medio con intercalaciones bioclásticas, dispuestos en dunas en la franja costera, de 1 a 2 km de ancho, que se forma entre los depósitos aluviales Q1 y el océano. Esta formación detrítica, no consolidada, presenta una permeabilidad de tipo medio, por lo que al estar en contacto geológico con la formación aluvial, se la considera que puede formar parte del mismo acuífero A7, definido en esta zona. En la desembocadura del río Huenchullami, las dunas llegan a constituir una barrera a la circulación del río, provocando el ensanchamiento del cauce en su desembocadura y zonas de inundación (doc. RH018)
- **Trim.** Secuencias sedimentarias marinas y transicionales del Triásico superior, constituidas por areniscas, conglomerados, limolitas y calizas. Su afloramiento, de unos 42 km<sup>2</sup> de extensión (el 3,8% de la superficie de la cuenca Costera), se encuentran situado en la cabecera de cuenca, rodeado de intrusiones graníticas. Esta formación permeable forma parte del acuífero A6, descrito anteriormente al hablar de la UPH 3, ya que, ante la naturaleza de muy baja permeabilidad de las rocas graníticas que lo bordean, los materiales areniscosos y carbonatados del Triás deben drenarse, subterráneamente, hacia la cuenca baja del río Mataquito.
- **CPg.** Rocas eruptivas de carácter ígneo, de muy baja permeabilidad en su conjunto, y que solo presentan reducidos niveles acuíferos asociados a los tramos superiores, fracturados y

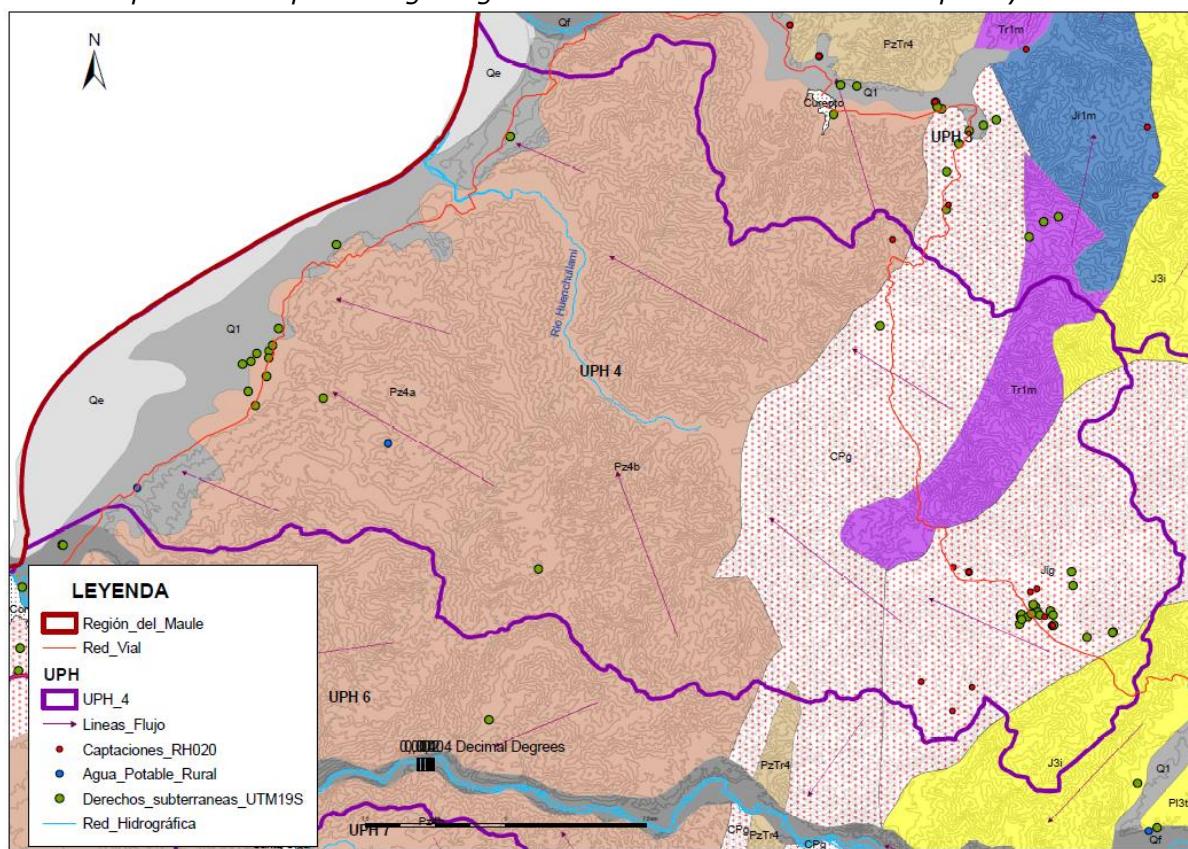
diclasados, del macizo granítico, y a los niveles de alteración y meteorización de la roca (regolito) que recubren a la misma en los sectores más deprimidos topográficamente de su afloramiento, en una potencia sobre la roca compacta que no debe superar los 20 m de espesor. El afloramiento de esta formación, de unos 280 km<sup>2</sup> de extensión (el 25,8% de la cuenca costera), se encuentra en la zona topográficamente alta de la cuenca, y en él se localizan 27 pozos inventariados (20 con derechos de aprovechamiento otorgados y 10 inventariados en el doc. RH020, de los que 3 están en el listado de los pozos autorizados).

- **Pz4a** y **Pzab**. Formaciones metamórficas del Paleozoico, compuestas por esquistos moscovíticos, metabasitas, pizarras, filitas y meta-arenitas, que ocupan la mayor parte de la superficie de la cuenca costera, en unos 622 km<sup>2</sup> (el 57,3% de la superficie de la Costera). Esta formación presenta muy baja permeabilidad en su conjunto, localizándose solamente reducidos niveles acuíferos más permeables asociados a los puntos de mayor meteorización y/o fracturación de las rocas. Se han inventariado algunas captaciones de agua en esta formación, con poco caudal de extracción: 12 pozos, de los que 10 tienen derechos de aprovechamiento otorgados y 1 de ellos se emplea en abastecimiento rural.

En el Mapa Hidrogeológico de la Costera entre ríos Mataquito y Maule (Mapa 6.1) se representa la cartografía de las formaciones litológicas relatadas y la posición que tienen, sobre ellas, las captaciones con derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, concedidos por la DGA, aquellas de las que se ha dispuesto de sus coordenadas geográficas UTM (35). Se sitúan también las captaciones que se emplean en abastecimiento rural (2) y 10 pozos/sondeos que fueron inventariados por la CNR en el año 2003 (doc. RH020), de los que 2 de ellos tienen derechos de explotación concedidos.

Así mismo, se indica la dirección y sentido que pueden tener los flujos subterráneos de agua que, de manera muy somera, se pueden generar sobre las formaciones litológicas de la cuenca. En este tipo de materiales, de baja permeabilidad, la superficie del nivel de agua del acuífero somero, que se genera en las zonas de alteración y de mayor fisuración y diaclasación de las rocas metamórficas y graníticas, reproduce, suavizándola ligeramente, la topografía del terreno.

*Mapa 6.11. Mapa Hidrogeológico de la Costera entre ríos Mataquito y Maule*



La leyenda de las formaciones geológicas que afloran en la cuenca Costera puede verse en el MHRM (Mapa 4.1), incluida anteriormente en el presente informe.

#### 6.4.1.2. Acuíferos

De las formaciones geológicas que cartografián en esta cuenca costera, las únicas que presentan, por su permeabilidad, de tipo medio-alto, unas buenas características hidrogeológicas como para constituir un acuífero de interés productivo, es el afloramiento de los materiales detríticos aluviales (Q1) y eólicos (Qe) cuaternarios, que se encuentran depositados en la franja costera ocupando una superficie de 141,71 km<sup>2</sup> (el 13% de la superficie de la cuenca costera). De acuerdo a la geofísica realizada en el año 2002, (doc. RH018), su potencia sobre el sustrato rocoso, que lo constituyen las formaciones metamórficas del Paleozoico, varía entre los 15 a 50 m de espesor, según los sectores.

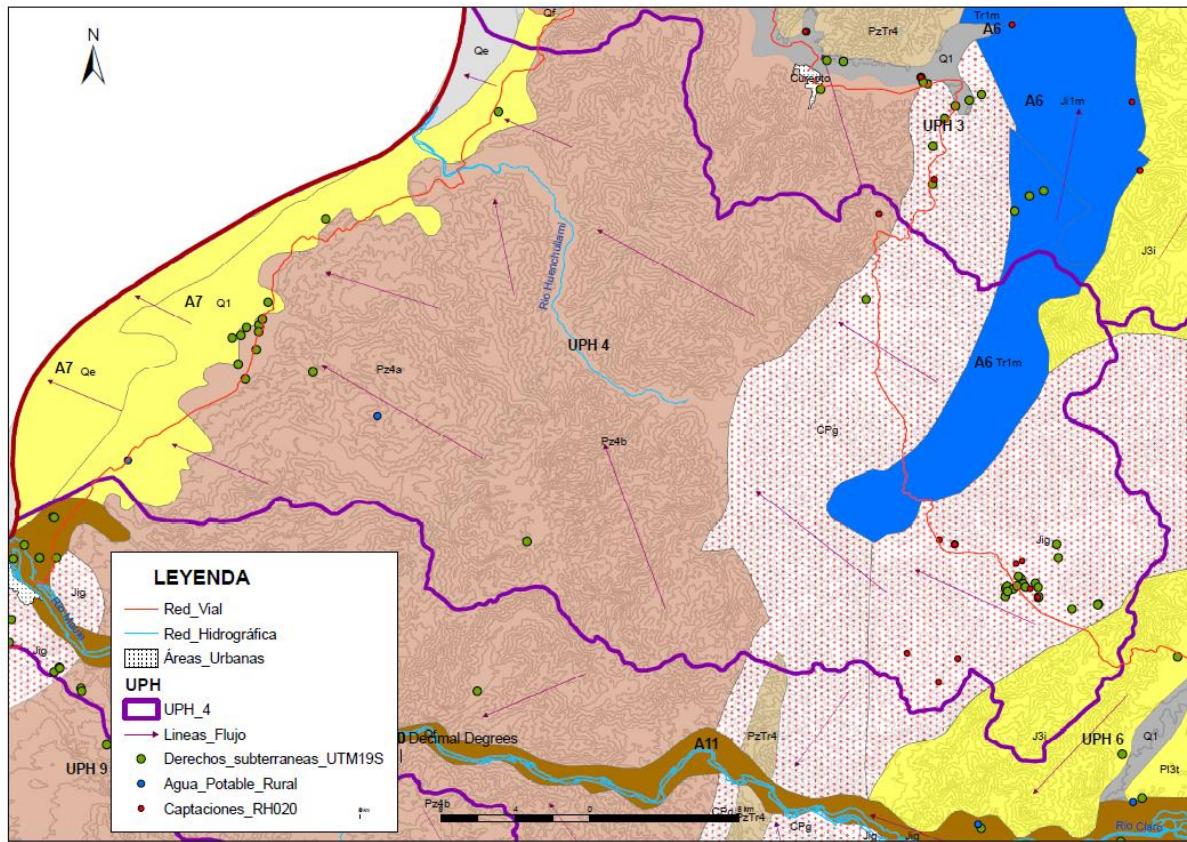
Ambas formaciones constituyen el acuífero **A7 Depósitos sedimentarios franja costera**, en el que, debido a la porosidad intergranular de los materiales sedimentarios, este se presenta en estado libre, de tal modo que la **recarga** subterránea del mismo se establece por la infiltración de parte del agua de lluvia que se recoge directamente sobre sus propios

afloramientos, además de por los aportes superficiales, en su mayor parte, y subterráneos, que se originan desde las formaciones metamórficas paleozoicas, que lo limitan por su borde oriental. Su **descarga** natural, se ocasiona directamente al océano, con el que está en contacto por su límite occidental; además, de manera artificial, por los 6 pozos que lo explotan, con derechos de aprovechamiento otorgados.

Al encontrarse este acuífero en contacto hidrodinámico directo con el mar, hay que vigilar que su explotación no se vea afectada por problemas de salinidad, ante un posible avance de la intrusión salina en él, si se creasen, con las extracciones de agua subterráneas, conos de depresión acentuados, por debajo de la cota del mar.

En el Mapa 6.12, se observa la ubicación del **acuífero A7** dentro del ámbito hidrográfico de esta cuenca costera:

*Mapa 6.12. Situación geográfica del acuífero A7 Depósitos sedimentarios franja costera*



El afloramiento del sector meridional del acuífero A6 Jurásico y Triásico Bajo Mataquito, puesto que en su mayor parte se extiende por la UPH 3 (Cuenca Baja del río Mataquito), y a cuyo cauce del río se drena, ya se ha descrito en el anterior subcapítulo.

#### 6.4.2. Características hidrodinámicas

En la documentación consultada no se localizado ningún dato sobre posibles ensayos de bombeo realizados en algunas de las captaciones de agua perforadas, lo que no permite que se pueda dar algún valor, controlado, de la transmisividad ( $T$ ) y coeficiente de almacenamiento ( $S$ ) de los reducidos acuíferos explotados en esta cuenca costera. No obstante, teniendo en cuenta la apreciación cualitativa de la permeabilidad ( $K$ ) que presentan las rocas metamórficas y las intrusivas, se puede considerar que la  $T$  de estas no debe ser mayor de  $10 \text{ m}^2/\text{día}$  (que es la correspondiente a una formación de muy baja permeabilidad). Por su parte, el  $S$ , debe ser del orden de  $10^{-2}$ , que es el correspondiente a acuíferos en estado libre.

En cuanto al **acuífero A7**, que está constituido por sedimentos detriticos no consolidados, con permeabilidad tipo medio-alto (gravas, arenas, arcillas y limos), la  $T$  podría estar comprendida entre 100 a  $1.000 \text{ m}^2/\text{día}$ , en los sectores con mayor proporción de fracción grosera dentro de los sedimentos aluviales. El coeficiente de almacenamiento ( $S$ ), al ser un acuífero en estado libre, debe ser del orden de  $10^{-2}$ .

#### 6.4.3. Captaciones de agua subterránea. Explotaciones

La referencia disponible sobre el número de captaciones existentes en la Costera entre los ríos Mataquito y Maule, es: la proporcionada por la DGA, en cuanto a los derechos de aprovechamiento solicitados y concedidos, que ascienden a 35 con coordenadas geográficas de su ubicación; en el estudio realizado por la CNR en 2003 (doc. RH020), se inventariaron 11 pozos (2 sondeos, 8 norias y 1 puntera), de los que 3 disponen de derechos de aprovechamiento; además de 2 captaciones que se emplean en abastecimiento (según se ha visto en la tabla Excel *Captaciones utilizadas como Agua Potable Rural*). Su distribución, por formaciones geológicas, es la siguiente: 27 en las formaciones graníticas que afloran en la cuenca alta de la Costera, 13 en materiales metamórficos del Paleozoico y 5 en el acuífero A7.

En el caso de las 35 captaciones, con DAA, obtenidas de la base de datos de la DGA, se desconoce el tipo de captación que es, pues en esta relación no se indica, aunque se supone que en su mayor parte deben ser pozos.

Los caudales de extracción concedidos a las 35 captaciones oscilan entre los 0,015 y 35 l/s, totalizando un volumen de 173,63 l/s, lo que equivaldría, si los caudales autorizados se explotasen anualmente en su totalidad, a un volumen de extracciones de aguas subterráneas de  $5,48 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

Este sería un máximo de extracción, pues es difícil que todo el caudal concedido a una captación, en l/s, se esté explotando de modo continuado durante todo el año hidrológico. Concretamente, hay 3 pozos autorizados con un caudal de 35, 22 y 25 l/s, ubicados en

materiales metamórficos, el primero, y graníticos, los dos segundos, que es difícil que puedan extraer este volumen de agua subterránea de estas dos formaciones de muy baja permeabilidad. Al no disponer de un mejor dato sobre el volumen realmente explotado, se estima que el volumen máximo de extracción de aguas subterráneas en la cuenca costera sería inferior a  $5,48 \text{ hm}^3/\text{año}$ . Tampoco se sabe el destino del agua concedida, pues no se indica en la relación de la DGA, y solamente se tiene referencia en 2 de ellas, que son utilizadas en abastecimiento rural, según consta en la *Relación de captaciones utilizadas como Agua Potable Rural* (tabla Excel). En la relación de 11 pozos inventariados en el 2003 (doc. RH020), la mayor parte (8) son utilizados en riego y sólo 3 en abastecimiento.

La explotación de agua subterránea concedida e a los 5 pozos localizados en el **acuífero A7**, es de  $18,9 \text{ l/s}$ , lo que equivaldría, si la explotación fuese continua, a  $0,60 \text{ hm}^3/\text{año}$ . En el doc RH 018, el caudal de extracción de los pozos de este acuífero estimado en el 2012 fue de  $2 \text{ l/s}$  (equivalente a  $0,063 \text{ hm}^3/\text{año}$ ), valor que queda bastante por debajo del autorizado, por lo que no parece ajustado a la realidad de la explotación producida.

#### 6.4.3.1. Niveles de agua. Flujos subterráneos

Solamente se ha dispuesto de los datos del nivel piezométrico medido en las 11 captaciones inventariadas en el año 2002 (doc. RH018), ubicadas en el afloramiento de rocas graníticas que se halla en la cabecera de la cuenca costera, en las que el NP se situaba entre los 0 a 2 m de profundidad.

En general, ante el comportamiento hidrogeológico que presentan las formaciones de baja permeabilidad, que prácticamente cubren toda la superficie de la cuenca costera ( $943 \text{ km}^2$ , equivalentes a los  $1.085 \text{ km}^2$  del total de cuenca menos los  $142 \text{ km}^2$  del acuífero A7), se puede considerar que el NP, en los sectores en los que este se halle, debe encontrarse unos pocos de metros (máximo una decena) por debajo de la cota topográfica del terreno en el que se ubique la captación. Por ello, este puede variar desde una cota de muy pocos metros sobre el nivel del mar, en los puntos de captación más costeros, hasta una cota de más o menos 350 msnm, en los puntos ubicados en las cotas de mayor altitud registradas dentro de la cuenca costera, concretamente en los afloramientos de roca granítica que se encuentran en esta zona elevada de la misma.

En resumen, los flujos subterráneos que pudiesen establecerse por los sectores superficiales de la masa metamórfica y granítica, deberán ir descendiendo, más o menos paralelamente a la superficie topográfica del terreno y a pocos metros de profundidad de la misma, desde las cotas altas hacia las bajas de sus afloramientos. En el mapa hidrogeológico Mapa 6.1 se puede observar la dirección y sentido de los flujos subterráneos marcados, teniendo en cuenta este criterio hidrodinámico. De acuerdo a la disposición marcada, los reducidos acuíferos someros que se localizan en las formaciones metamórficas y graníticas, que cubren en la cuenca costera en una superficie de  $943 \text{ km}^2$ , deben descargarse hacia el cauce del río

Huenchullami, en sus dos terceras partes, unos 622 km<sup>2</sup> (el 66% de la superficie), y hacia el afloramiento del acuífero aluvial A7, en unos 321 km<sup>2</sup> (el 34 % de la superficie).

En el caso del **acuífero A7**, no se dispone de ninguna medida directa del NP en las 5 captaciones existentes en él. Los únicos datos obtenidos proceden del doc. RH018, en el que se indican posiciones del NP entre 0,30 a 1 m de profundidad. El flujo subterráneo del acuífero se organiza directamente hacia el mar, con el que está en contacto, después de un recorrido de unos 3.000 a 9.000, según los sectores, a través de las formaciones Q1 y Qe que lo conforman.

#### 6.4.3.2. Recarga subterránea. Balance hídrico

#### 6.4.3.3. Recarga subterránea

Para la estimación de la recarga subterránea que se debe producir anualmente, como media, en las formaciones hidrogeológicas de la Cuenca Costera entre Mataquito y Maule, se ha partido de la **precipitación media anual** registrada en la zona que, según el mapa de isoyetas consultado en el doc. RH155 *Estimación preliminar de las Recargas de Agua Subterránea y Determinación de los Sectores Acuíferos de Aprovechamiento Común en las Cuencas de las Regiones del Maule, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos*, realizado por la DGA en 2014, se sitúa entre valores de **700 mm**.

Partiendo de los valores de precipitación registrados en la cuenca, y mediante la aplicación, en su día, de modelos hidrológicos, en el capítulo 2 del presente informe se indica que la **aportación total** en la cuenca (recursos hídricos totales) es de **211,46 hm<sup>3</sup>/año**.

Por los datos bibliográficos consultados en distintos estudios realizados, la infiltración del agua de precipitación en medios de baja a muy baja permeabilidad, puede ser de un 8% de Pm en medios graníticos, y este mismo porcentaje podría aplicarse a los materiales metamórficos. Para las formaciones de media a alta permeabilidad, como sería el caso del afloramiento de 142 km<sup>2</sup> que constituye el acuífero **A7** (gravas, arenas, limos), este porcentaje se podría elevar hasta un 25% de Pm; pero como aproximadamente un tercio de la superficie del acuífero se corresponde con depósitos eólicos, de menor permeabilidad, el porcentaje de infiltración se podría reducir a un 15%. De acuerdo con estos porcentajes, la infiltración de agua subterránea en la cuenca costera, sería:

**Tabla 6.15. Infiltración de agua subterránea en la Costera Mataquito-Maule**

Zonas	Área (km <sup>2</sup> )	Precipitación media (mm)	Infiltración (%)	Infiltración media (hm <sup>3</sup> /año)
Acuífero A7	142	700	15	14,91
Resto Cuenca	943	700	8	52,80
<b>TOTAL</b>	<b>1.085</b>			<b>67,71</b>

Si a la aportación total estimada (escorrentía total), se le deduce la infiltración subterránea originada en las formaciones hidrogeológicas, la escorrentía superficial directa, sería:  $211,46 - 67,71 = 143,75 \text{ hm}^3/\text{año}$ . Esta escorrentía se recoge como agua superficial en los cauces que se encajan en la cuenca costera. La mayor parte de ella, la que circula por el cauce del río Huenchullami, se vierte directamente al océano, unos  $94,87 \text{ hm}^3/\text{año}$  (el 66%, según se ha indicado en el anterior apartado); mientras que otra porción puede circular hasta el acuífero A7, unos  $48,87 \text{ hm}^3/\text{año}$ , a través de los cauces menores que se vierten en la zona, recargando una parte de ella al acuífero aluvial.

Dada la poca capacidad de almacenamiento de los “acuíferos” someros que se hallan en los sectores de fracturación, fisuración y meteorización de las rocas metamórficas y graníticas, el agua infiltrada en estos acuíferos, después de cortos recorridos y tiempos de residencia limitados, vuelve a salir, a lo largo del año hidrológico, hacia los cauces de ríos y arroyos, para incorporarse a la circulación de agua superficial que se produce en ellos.

El único acuífero en el que las aguas subterráneas se almacenan y circulan una mayor distancia por el interior de los depósitos permeables, es el **A7 Depósitos sedimentarios franja costera**, en el que, los  $14,91 \text{ hm}^3/\text{año}$  estimados de su recarga anual, deben embalsarse y retenerse durante un mayor tiempo, hasta acabar drenándose, de manera natural, en el océano. Estos serían los recursos hídricos subterráneos que anualmente, como media, se renuevan en el acuífero, sin contabilizar los que también podrían infiltrarse de los aportes superficiales que llegan hasta su superficie de afloramiento.

Comparando las cifras de los recursos hídricos que anualmente, como media, se renuevan en la cuenca costera, obtenidas de los dos documentos consultados, el RH018 y RH020, se aprecia una notable diferencia en la escorrentía total estimada, de  $107,22 \text{ hm}^3/\text{año}$  en el primero, frente a  $206,12 \text{ hm}^3/\text{año}$  del segundo. En cuanto a la recarga subterránea, el doc. RH018 sólo cuantifica la recarga producida en los acuíferos aluviales (de  $7 \text{ hm}^3/\text{año}$ ), mientras que en el presente estudio también se ha contemplado la recarga subterránea que se puede estar originando en las formaciones metamórficas y graníticas, en las que, aunque la presencia de niveles acuíferos permeables es menor, no obstante, siempre hay una infiltración subterránea que se origina en ellos. En consecuencia, los cálculos de los recursos hídricos estimados en el presente estudio se ajustan más a la realidad que los valores estimados en el doc. RH018, realizado en el 2002.

#### 6.4.3.4. Balance hídrico

Si se compara la cifra de las explotaciones máximas de aguas subterráneas que se pudiesen estar extrayendo de la cuenca costera, de  $5,48 \text{ hm}^3/\text{año}$ , con la de los recursos hídricos evaluados que anualmente, como media, se recargan en la misma, de  $67,71 \text{ hm}^3/\text{año}$ , es evidente que el balance es positivo en  $62,23 \text{ hm}^3/\text{año}$ . No obstante, hay que resaltar que, en la práctica, la mayor parte del agua infiltrada y recargada en los acuíferos someros,

generados en y sobre la base de las formaciones de baja permeabilidad (rocas metamórficas y graníticas), es nuevamente drenada al medio exterior, para incorporarse a la circulación superficial que se genera en la cuenca costera, acabando por desembocar en el océano.

Solamente los recursos hídricos infiltrados en el **acuífero A7** pueden estar un mayor tiempo embalsados como aguas subterráneas, e ir teniendo un drenaje subterráneo más lento hacia el mar, con el que está en contacto. El balance de este acuífero, podría ser el expuesto en la Tabla 6.16:

Tabla 6.16. Balance Hídrico del Acuífero A7 Depósitos sedimentarios franja costera			
ENTRADAS		SALIDAS	
Componente	(hm <sup>3</sup> /año)	Componente	(hm <sup>3</sup> /año)
Recarga Areal (142 km <sup>2</sup> )	14,91	Extracciones pozos	0,60
Recarga de aportes superficiales (47,05 hm <sup>3</sup> /año X 15%)	7,05	Salidas subterráneas al mar	21,36
<b>Total</b>	<b>21,96</b>	<b>Total</b>	<b>21,96</b>

#### 6.4.4. Reservas subterráneas

El único acuífero de la cuenca costera en el que pueden encontrar reservas de aguas subterráneas almacenadas es el **A7 Depósitos sedimentarios franja costera**, en toda la geometría (superficie y profundidad) del mismo.

La potencia de esta formación detrítica sedimentaria, de acuerdo a la geofísica (TEM) realizada sobre ella (doc. RH018), varía entre los 15 a 50 m hasta alcanzar el zócalo de las rocas metamórficas, por lo que se podría estimar una potencia media de 32 m en el conjunto de la superficie del acuífero (142 km<sup>2</sup>); como la profundidad hasta el nivel freático se estima en 1 m, la potencia saturada de agua del acuífero sería de 31 m. Si se considera un coeficiente de almacenamiento de 10<sup>-2</sup> (acuífero en estado libre), el volumen total de reservas almacenadas en el acuífero **A7**, serían: 142 km<sup>2</sup> x 31 m x 10<sup>-2</sup> = 44 hm<sup>3</sup>.

#### 6.4.5. Modelización matemática

Puesto que el único acuífero con posibilidad de modelización matemática sería el A7, pero en él no hay, hasta la fecha, ninguna presión para la extracción de aguas subterráneas, el interés para su modelización es bajo, frente a los problemas de mayor alcance generados en otros acuíferos de la Región del Maule.

#### 6.4.6. Calidad de las aguas subterráneas

Solamente se ha dispuesto de un dato analítico con el que valorar la calidad química del agua subterránea que circula por los reducidos sectores acuíferos que se pudiesen encontrar en las formaciones metamórficas y graníticas, de baja permeabilidad, que afloran en la

demarcación hidrográfica de la cuenca costera. Ha sido de una muestra de agua tomada en Coipe, en el año 2003, que salvo en la concentración de Hierro (15 mg/l) en el resto de los elementos analizados, la calidad es buena (doc. RH020).

En general, se puede pensar que, ante la naturaleza geoquímica de los materiales metamórficos y graníticos por los que transita el agua y el corto tiempo de residencia en el que se mantiene el agua subterráneamente en el “acuífero”, es de suponer que está presente una baja concentración en sales. Así mismo, el hecho de ser áreas con poca densidad de población, hace considerar que la calidad bacteriológica del agua también deba ser buena.

En el caso del **acuífero A7** se ha contado con dos muestras de agua tomada en la zona de Putú. Las dos muestras presentaban buena calidad, con bajos contenidos en Arsénico, Nitritos y Nitratos (doc. RH020). No obstante, en este acuífero costero, que está en contacto hidrodinámico directo con el mar, hay que vigilar que su salinidad no empeore, ante la intrusión marina que se pudiese provocar en él, si con el bombeo de los pozos que lo explotan se produjese conos de depresión acentuados, por debajo de la cota del nivel del mar.

#### 6.4.7. Áreas de protección ecológica asociadas a descargas subterráneas

Que se conozca, en esta cuenca costera no hay declarada ninguna zona de protección ecológica, ni aparece ningún humedal en la relación de Humedales de la Región del Maule, consultada. Pero sin embargo, sí existen, en las proximidades de la desembocadura del río Huenchullami, dos humedales dispuestos sobre la formación aluvial, en los que se concentra las aves del lugar:



Foto 6.5. Humedal de Putú



Foto 6.6. Humedal de Cuchi

En ambos humedales, aunque hay aportes superficiales desde el río, también debe haber salidas (afloramientos) de aguas subterráneas desde el acuífero aluvial A7. El humedal de

Cuchi, se está viendo afectado por actuaciones de desecación que se están ocasionando sobre él.

## 6.5. Acuíferos en la Cuenca Alta del Maule. UPH 5

Para la descripción hidrogeológica de la Cuenca Alta del Maule (UPH 5), se han consultado los siguientes documentos:

- (EH030) *Mejora y ampliación de Red de Aguas Subterráneas, Regiones VII a X*, realizado por la DGA en 2010.
- (EH040) *Ánálisis crítico de las Redes Hidrométricas, Regiones V a VII y Región Metropolitana*, realizado por el MOPU-DGA, en 2013.
- (RH015) *Exploración de los Recursos Hídricos Subterráneos. Región VII*, realizado por la DGA en 1999.
- (RH030) *Bases Plan Director para la Gestión de los Recursos Hídricos en la cuenca del río Maule, Diagnóstico*, realizado por la DGA en 2003.
- (RH040) *Asesoría para el complemento y actualización de la Modelación Hidrológica de la Cuenca del río Maule*, realizado por la DGA en 2004.
- (RH070) *Estimaciones de Demanda de Agua y proyecciones futuras. Zona II. Regiones V a XII y Región Metropolitana*, realizado por el MOPU-DGA en 2007
- (RH080) *Plan Director para la Gestión de los Recursos Hídricos de la Cuenca del río Maule. Fase II: Actualización del Modelo de Operación del Sistema y formulación del Plan*, realizado por DGA en 2008.
- (RH090) *Diagnóstico de Caudales Disponibles en Cuencas no controladas de Recuperación, Cuencas de Maule, Mataquitos y Rapel*, realizado por la CNR en 2008.
- (RH100) *Levantamiento de Información Hidrogeológica para Modelización Cuenca del río Maule*, realizado por la DGA en 2010.
- (RH110) *Plan Nacional de Infraestructura y Gestión del Recurso Hídrico al 2021*, realizado por el MOPU en 2012.
- (RH150) *Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos. Sectores acuíferos Maule Medio Norte y Maule Medio Sur*, realizado por la DGA (Informe Técnico Nº 362) en 2014.
- (SAP010) *Diagnóstico actual del Riego y Drenaje en Chile y su proyección. Diagnóstico del riego y drenaje en la VII Región*, realizado por la CNR, 2003.
- (RH018) *Estudio Hidrogeológico de Secano Interior y Costero. Regiones VI, VII y VIII*, realizado por el IICA en 2002.
- (RH155) *Estimación preliminar de las Recargas de Agua Subterránea y Determinación de los Sectores Acuíferos de Aprovechamiento Común en las Cuencas de las Regiones del Maule, Biobío, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos*, realizado por la DGA (Informe Técnico Nº 359) en 2014.
- (RH180) *Derechos concedidos en Aguas Superficiales y Subterráneas. Región VII*. MOP-DGA, 2015.
- (EH050) *Medidas del nivel piezométrico en 35 puntos de la Región de Maule*. MOP-DGA, 1965 a 2015.
- (RHH180) *Relación de captaciones utilizadas como Agua Potable Rural* (tabla Excel).

## 6.5.1. Características hidrogeológicas. Acuíferos

### 6.5.1.1. Hidrogeología

La Cuenca Alta del Maule (UPH 5) se enmarca al E-SE de la Región del Maule, ocupando una extensión de 4.998 km<sup>2</sup> (el 16% del total de la superficie de la Región), que abarca desde la divisoria hidrográfica con Argentina, en las cumbres de la Cordillera de Los Andes, hasta el punto en el que confluye en el Maule el río Blanquillo, su afluente por la margen derecha. La superficie hidrológica de la cuenca es drenada por diferentes ríos, entre los que se encuentra, además del propio Maule, sus afluentes por la derecha, ríos Cajón Grande y Puelche, y por la izquierda, el río Melado.

Son varias las lagunas que se localizan en esta cuenca alta: Laguna del Maule, la de mayor extensión y en donde nace el río Maule, La Invernada, La Mollera, Aguas Caliente y Dial; y la represa de Pehuenche (lago Melado) en el cauce del propio río, utilizada para aprovechamiento hidroeléctrico. Las cotas topográficas más elevadas de la cuenca se sitúan en el volcán de Cerro Azul (3.717 msnm), a cuyos pies se halla la laguna La Invernada, y en el Cerro Campanario (3.635 msnm), próximo al Paso de Pehuenche, de Chile con Argentina.

Todas las aguas superficiales y subterráneas de la Cuenca Alta del Maule (CAM) se concentran en el Embalse Colbún, situado a la salida de cuenca, en el que se recogen las aguas del Maule y de su afluente el río Blanquillo; es el embalse regulador de toda la cuenca alta del río Maule. Hay instaladas varias estaciones de aforo en los tramos altos de estos dos ríos, antes de alcanzar el embalse.

Las formaciones hidrogeológicas que afloran en la cuenca son las siguientes:

- **Q1:** Depósitos detríticos aluviales del Cuaternario, constituidos por arenas, gravas, arcillas y limos, que se cartografián en los valles de los ríos, en especial en el del río Maule, constituyendo el acuífero **A8**, de esta cuenca, y en los valles altos de los ríos Guaquivilo y Botacura (con su intersección constituyen el río Melado), que son los dos afloramientos aluviales mayores cartografiados en el Mapa 6.13. La extensión de estos dos afloramientos totaliza unos 140 km<sup>2</sup>, de los que 79 km<sup>2</sup> corresponden al acuífero A8. No se dispone de datos sobre la potencia que presentan los sedimentos aluviales sobre el sustrato de rocas volcánicas, pero lo razonable es suponer que, dada la geomorfología de los dos valles, esta no deberá sobrepasar los 30-40 m, teniendo que ser mayor la del aluvial del Maule (acuífero A8), al disponer de una mayor amplitud de ocupación en el valle (hasta 2 km de ancho en algunos puntos). Los depósitos detríticos presentan una permeabilidad variable entre media a alta, según los puntos.
- El conjunto de las formaciones volcánicas y vulcano-sedimentarias, que presentan una baja permeabilidad en la CAM, lo componen: **Q3i**, estratovolcanes y complejos volcánicos de



lavas basálticas, domos y depósitos piroclásticos, **PI3t**, depósitos volcánicos de tipo piroclástico asociados a calderas de colapso, **PI3**, constituida por secuencias y centros volcánicos de lavas basálticas con intercalaciones de tobas y conglomerados, todas ellas del Cuaternario; y por **MP3**, basaltos y rocas piroclásticas, **OM2c**, secuencias volcano-sedimentarias de lavas, rocas epiclásticas y piroclásticas, con intercalaciones de niveles detríticos sedimentarios, de edad terciaria. Todas estas formaciones afloran en la Precordillera y Cordillera de Los Andes, ocupando la mayor parte de la Cuenca Alta del Maule, en unos 4.300 km<sup>2</sup> (el 86% del total de la cuenca).

Ante la porosidad primaria, muy reducida, que se encuentra en el conjunto de sus afloramientos, estos materiales presentan una baja permeabilidad; aunque al nivel local, en puntos de mayor fisuración y alteración de la roca volcánica, así como, en algunos casos, por la porosidad intersticial que pudieran tener las intercalaciones sedimentarias que se encuentran en las series vulcano-sedimentarias, su permeabilidad pueda ser ligeramente mayor. En consecuencia, en estos limitados sectores, dentro del conjunto de los afloramientos volcánicos y vulcano-sedimentarios, se pueden localizar reducidos niveles acuíferos, de muy baja productividad, pero que pueden atender necesidades puntuales de agua.

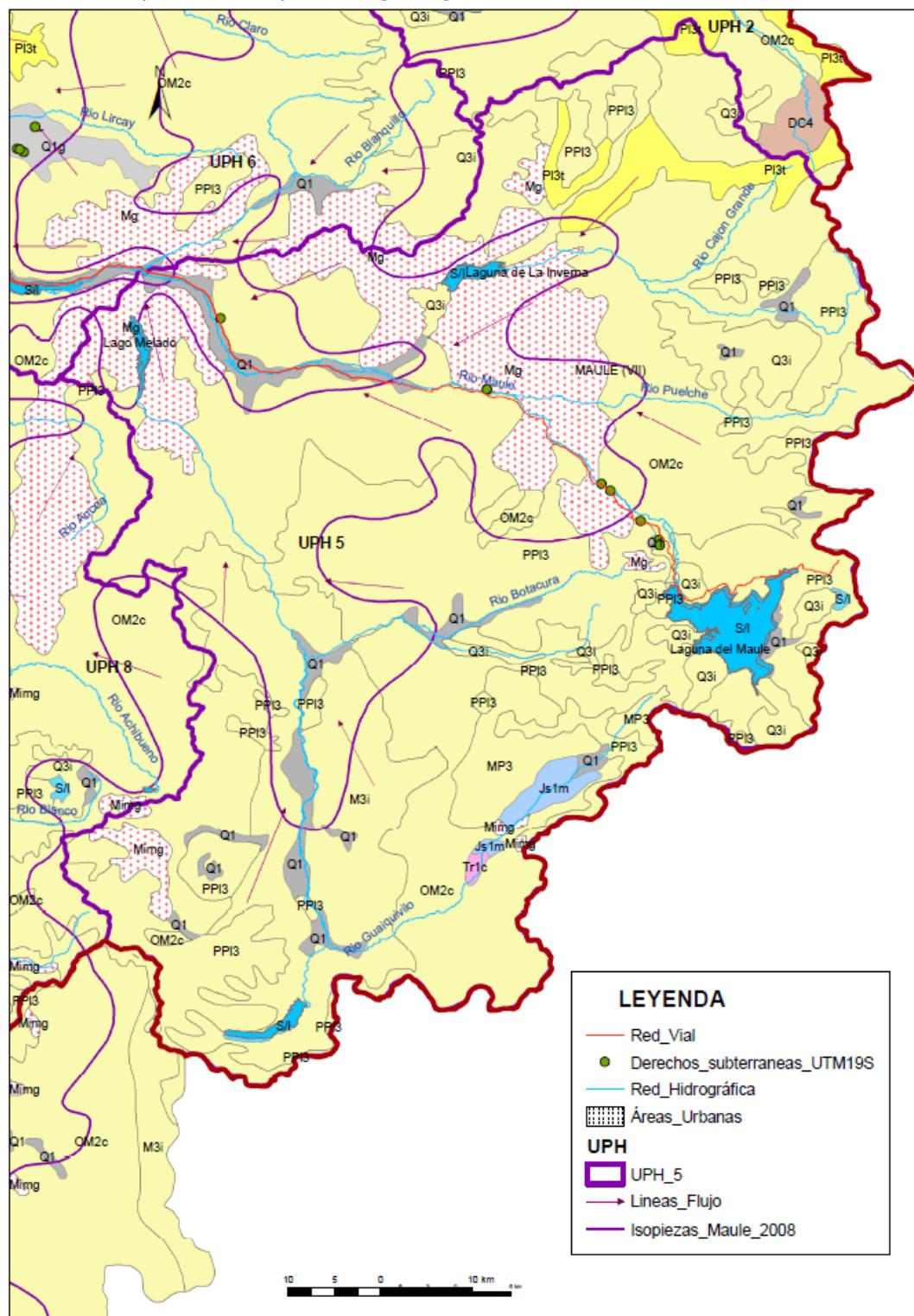
- Las dos formaciones sedimentarias del Jurásico y Triásico: **Js1m**, constituida por calizas, areniscas y lutitas calcáreas, con intercalaciones de niveles evaporíticos, y la **Tr1c** compuesta por conglomerados, brechas, areniscas, lutitas e intercalaciones calcáreas, constituyen un conjunto de afloramientos de rocas sedimentarias consolidadas, con rango de permeabilidad de tipo medio-alto, debido a la fisuración y diaclasación que puede experimentar la roca. El afloramiento de estas dos formaciones, de unos 40 km<sup>2</sup> de extensión, se sitúa en la cota alta del río Guaquivilo, próximo a la divisoria de la cuenca hidrográfica, y es atravesado por el cauce del río, al que deben drenarse las aguas subterráneas que se infiltran en las dos formaciones permeables. Dada la reducida extensión del afloramiento, no se ha definido como un acuífero independiente, a tratar.
- **Mg** y **Mimg**. Rocas eruptivas de carácter ígneo, del Mioceno, que se localizan en varios afloramientos dispersos por la geografía de la Precordillera y en la Cordillera de Los Andes, que en su conjunto cubren una superficie de 518 km<sup>2</sup> de extensión (el 10,5% de la superficie de la Región). Esta formación rocosa, muy dura, presenta muy baja permeabilidad en su conjunto y sólo en los reducidos niveles de alteración y fisuración de la roca, que se suelen originar en los tramos superiores de los macizos graníticos, se pueden localizar reducidos niveles acuíferos, de muy baja productividad hídrica. Su interés hidrogeológico es mínimo.

En el Mapa Hidrogeológico de la Cuenca Alta del Maule (Mapa 6.13) se representa la cartografía de las formaciones litológicas descritas y la posición que tienen, sobre ellas, las pocas captaciones (8) con derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas concedidos por la DGA en esta cuenca, aquellas de las que se ha dispuesto de sus coordenadas



geográficas (UTM). Así mismo, se indica la dirección y sentido que pueden tener los flujos subterráneos de agua que se originan dentro del conjunto de la cuenca, y la distribución de las isopiezas (isolíneas de los puntos de agua que tienen el mismo NP, referido al nivel del mar), elaboradas en el doc.RH080. La leyenda de las formaciones geológicas que afloran en la Cuenca Alta del Maule se puede observar en el MHRM (Mapa 4.1), incluida anteriormente en el presente informe.

*Mapa 6.13. Mapa Hidrogeológico de la Cuenca Alta del Maule*

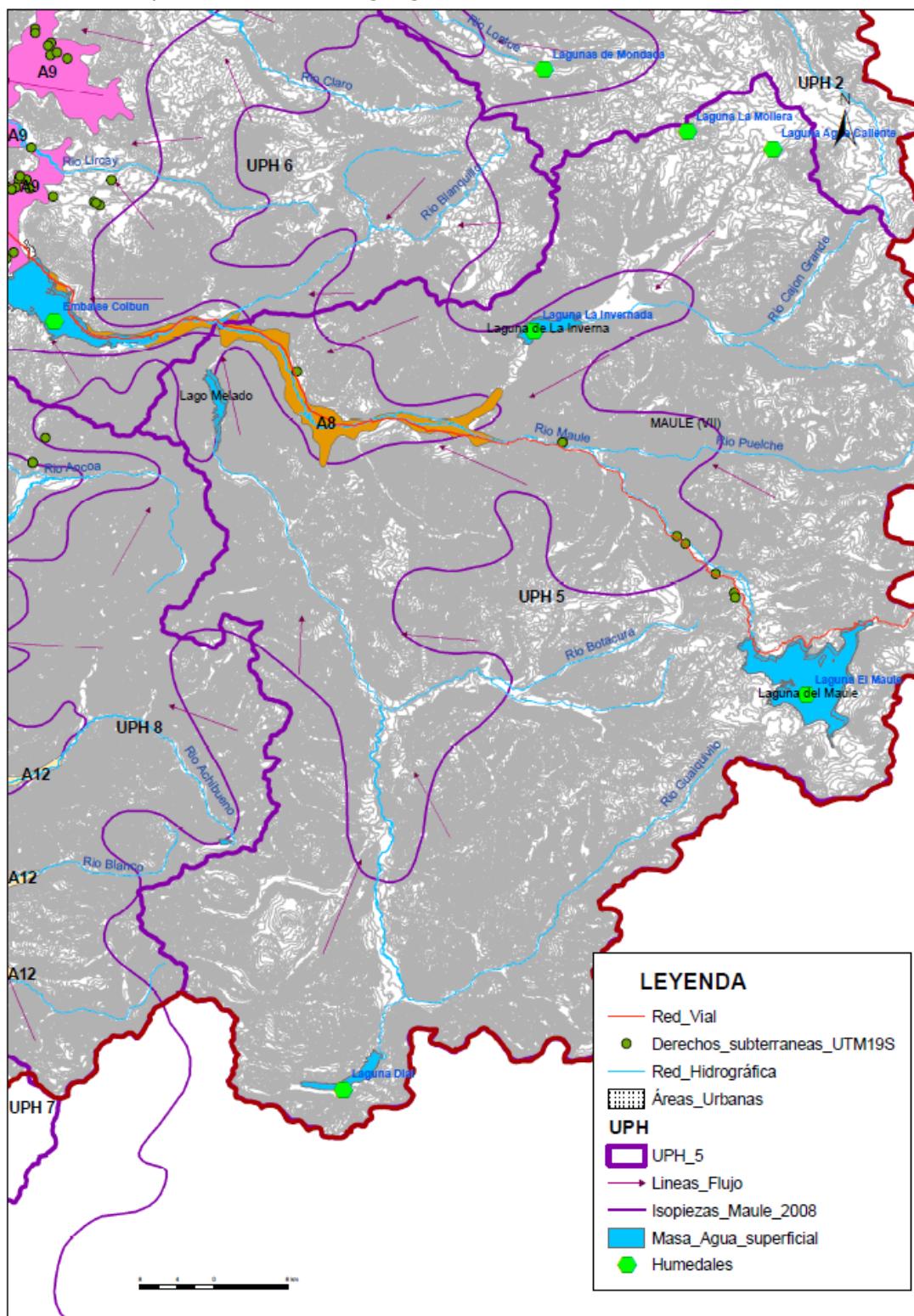


### 6.5.1.2. Acuíferos

En el mapa siguiente se puede observar la ubicación del **acuífero A8. Aluvial del Alto Maule**, identificado y delimitado en la Cuenca Alta del Maule (UPH 5). Aunque parte del acuífero traspasa los límites de la UPH 5, hasta alcanzar el embalsamiento de la presa de Colbún, va a ser tratado, en su conjunto, en el presente subapartado.



Mapa 6.14. Situación geográfica de los acuíferos en la UPH 5



Ocupa parte del valle alto del Maule, en la zona de la Precordillera, ocupando una superficie de 79 km<sup>2</sup>. Está constituido por una formación detrítica aluvial, de unos 34 km de largo por unos 2 km de ancho, incluidas las terrazas, compuesta de materiales sedimentarios con una alta porosidad intersticial (formación Q1 del mapa hidrogeológico), formada por arenas, gravas, arcillas y limos, entremezclados en diferentes proporciones, lo que ocasiona que la permeabilidad de la formación sea variable de unos puntos a otros, con rangos de tipo medio a muy elevado, en función de la proporción mayor o menor de sedimentos limo-arcillosos que se encuentren localmente en ellos. Se desconoce la potencia del acuífero aluvial sobre el sustrato rocoso, pero se estima que esta no debe superar los 30-40 m, en su conjunto.

Por sus buenas condiciones de permeabilidad, constituye el acuífero de mayor interés hidrogeológico, para la explotación de las aguas subterráneas, que se encuentra en la CAM. Su comportamiento hidrodinámico es el de un acuífero en estado libre, que está en contacto con el cauce superficial del río, de tal modo que la mayor parte de su **recarga** subterránea proviene de la infiltración del agua superficial que transita por el río, cuando el nivel piezométrico en el acuífero se halla a cota más baja que la del cauce, y de parte del agua de lluvia que se recoge e infiltra directamente sobre sus afloramientos.

Las **descargas** del acuífero se deben producir, de manera natural, hacia el propio río, en determinados puntos y épocas del año, cuando el nivel freático del acuífero se encuentre próximo a la cota del lecho del río, y, subterránea y lateralmente, hacia el embalse Colbún, situado aguas abajo del acuífero, y en contacto con él a través del propio aluvial del río. De modo artificial, por las extracciones de agua subterránea de 1 pozo que lo explota directamente, según el catastro de DAA de la DGA, representado en el Mapa 6.14.

### 6.5.2. Características hidrodinámicas

No se han obtenido datos medibles sobre los parámetros hidrodinámicos (parámetros elásticos) del **acuífero A8**, pero, teniendo en cuenta la heterogeneidad del conjunto de los materiales porosos que lo conforman, la permeabilidad cualitativa de esta formación debe estar entre media a muy alta (valores de K comprendidos entre 1 a >100 m/d); de acuerdo a esta permeabilidad, la transmisividad del acuífero (permeabilidad por la potencia saturada del mismo) puede ser del orden de 10 a 1.000 m<sup>2</sup>/día. El coeficiente de almacenamiento, correspondiente a un acuífero en estado hidrodinámico libre, debe ser del orden de 10<sup>-2</sup>.

En el caso del reducido afloramiento de rocas sedimentarias jurásicas-triásicas (areniscas, calizas y lutitas), de 40 km<sup>2</sup> de extensión, situado en la divisoria de la Cordillera, su permeabilidad debe ser de tipo medio-alto (K entre 1 a 100 m/día).

Del resto de formaciones aflorantes en la CAM, tampoco se dispone de datos cuantitativos, pero se considera que la permeabilidad de las mismas varía entre baja a muy baja (entre 1 y menos de 0,01 m/día).

#### 6.5.3. Captaciones de agua subterránea. Explotaciones

La referencia disponible sobre el número de captaciones existentes en la Cuenca Alta del Maule, es la proporcionada por la DGA, en cuanto a los derechos de aprovechamiento de aguas concedidos, que ascienden a sólo 8 puntos, con coordenadas geográficas de su ubicación disponibles. Su distribución, por formaciones geológicas, es la siguiente: 3 en el cauce del río Maule, sobre formaciones graníticas, 4 en materiales volcánicos y 1 en el acuífero aluvial A8. Se desconoce el tipo de captación pues en esta relación de la DGA no se indica, aunque se supone que deben ser pozos de poca profundidad.

Los **caudales de extracción** concedidos a las 8 captaciones oscilan entre los 0,60 y 4,10 l/s, lo que supone un caudal total de 21,6 l/s, que, de explotarse de manera continuada a lo largo de todo el año hidrológico, sumarían un volumen de explotación de 0,68 hm<sup>3</sup>/año. De estos, 0,13 hm<sup>3</sup>/año se obtendrían del pozo ubicado en el **acuífero A8**, con caudal autorizado de 4,1 l/s. Se desconoce la utilización del agua de las 8 captaciones, pero probablemente en su mayor parte sea para uso doméstico.

#### 6.5.4. Niveles de agua. Flujos subterráneos

No se ha dispuesto de ninguna medida del nivel de agua tomada directamente en los 8 pozos inventariados, pero, de cualquier modo, al ser pocos puntos y aislados en su mayor parte unos de otros, con ello hubiese sido difícil conocer la posición del nivel de agua, a escala regional, en las formaciones volcánicas y graníticas que constituyen la base rocosa de la Cuenca Alta del Maule.

En general, ante el comportamiento hidrogeológico que presentan estas formaciones, de baja a muy baja permeabilidad, se puede considerar que el NP, en los sectores en los que este se halle –en los reducidos niveles acuíferos someros, aislados generalmente entre sí en la masa rocosa de las formaciones volcánicas, volcano-sedimentarias y graníticas–, debe encontrarse a unos pocos de metros (máximo una decena) por debajo de la cota topográfica del terreno en el que se ubique la captación. Por ello, el NP puede variar desde la cota de unos 533 msnm, en el punto topográficamente más bajo de la CAM, en donde confluye el río Blanquillo con el Maule, hasta la cota de unos 3.000 msnm, en los puntos ubicados en las cotas de mayor altitud dentro de la cuenca, concretamente en los afloramientos de roca volcánica y volcano-sedimentaria que se encuentran en esta zona topográficamente elevada de la misma.

En el mapa hidrogeológico Mapa 6.14, se puede observar la dirección y sentido de los flujos subterráneos marcados, teniendo en cuenta este criterio hidrodinámico, y las trazas de las isolíneas (isopiezas) elaboradas en el estudio doc. RH080, para esta zona.

De acuerdo a la disposición marcada, los reducidos acuíferos someros que se localizan en las formaciones volcánicas, volcano-sedimentarias y graníticas, que afloran en la CAM en una superficie de 4.818 km<sup>2</sup>, se deben descargar hacia los cauces de los ríos que se encajan en la cuenca: el Maule, junto con sus afluentes, por la derecha, ríos Cajón Grande y Puelche, y por la izquierda, el río Melado. Parte de estas aguas subterráneas descargadas, también son retenidas en las lagunas anteriormente citadas, del Maule, La invernada, La Mollera, Aguas Calientes y Dial, existentes en esta cuenca alta.

En el caso del **acuífero A8**, tampoco se dispone de ninguna medida directa del NP en la única captación inventariada en él, pero lo lógico es suponer que este debe encontrarse a muy poca profundidad en el aluvial, dado el alto nivel de recarga que mantiene el río Maule. Su cota debe ser de unos 650 msnm, que es la que se mide por el sector de La Suiza, en donde se ubica el pozo.

## 6.5.5. Recarga subterránea. Balance hídrico

### 6.5.5.1. Recarga subterránea

Para la estimación de la recarga subterránea que se debe producir anualmente, como media, en las **formaciones hidrogeológicas de la Cuenca Alta del Maule**, se ha partido de la precipitación media anual registrada en la zona que, según el mapa de isoyetas consultado en el doc. RH155 se sitúa entre valores de los 2.000 a 3.000 mm. Por ello, el aplicar un valor de precipitación media a esta zona de la cuenca alta de 2.500 mm/año parece razonable.

Partiendo de los valores de precipitación registrados en la cuenca, y mediante la aplicación, en su día, de modelos hidrológicos, en el capítulo 2 del presente informe se indica que la **aportación total** en la cuenca (recursos hídricos totales) es de **7.451,30 hm<sup>3</sup>/año**

Por los datos bibliográficos consultados, la infiltración del agua de precipitación en medios de baja a muy baja permeabilidad, podría ser de un 8% de Pm (según valores anteriormente justificados en la descripción de otras UPH), como podría ser en el caso de las formaciones volcano-sedimentarias y graníticas que ocupan prácticamente la totalidad de la cuenca. Para las formaciones de media a alta permeabilidad del acuífero **A8 Aluvial del Alto Maule**, de 79 km<sup>2</sup> de extensión, este porcentaje se podría elevar hasta un 25% de Pm (según experiencias de estudios hidrogeológicos realizados en formaciones de este tipo de litologías<sup>3</sup>). De

<sup>3</sup> Aplicación del Modelo APLIS en el detrítico Neógeno-Cuaternario de la Unidad Hidrogeológica del Maestrazgo, en Castellón, España, Grupo de Hidrogeología de la Universidad de Málaga, España.

acuerdo con estos porcentajes, la **infiltración** de agua subterránea en las formaciones hidrogeológicas de la Cuenca Alta del Maule, se podría estimar en:

<b>Tabla 6.17. Infiltración de agua subterránea en la Cuenca Alta del Maule</b>				
<b>Zonas</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Precipitación media (mm)</b>	<b>Infiltración (%)</b>	<b>Infiltración media (hm<sup>3</sup>/año)</b>
Acuífero A8	79	2.000	25	39,5
Resto Cuenca	4.919	2.500	8	983,80
<b>TOTAL</b>	<b>4.998</b>			<b>1.023,30</b>

Si a la aportación total estimada (escorrentía total), se le deduce la infiltración subterránea originada en las formaciones hidrogeológicas, la escorrentía superficial directa, sería:  $7.451,30 - 1.023,30 = 6.428 \text{ hm}^3/\text{año}$ . Esta escorrentía se recoge como agua superficial en los cauces que se encajan en la cuenca alta del Maule, aunque parte de ella, de modo temporal, puede quedar retenida en las varias lagunas existentes en la cuenca (Maule, La invernada, La Mollera, Aguas Calientes, Dial) y embalses (Melado), ya que todos ellas tienen salida hacia los cauces de los ríos.

Dada la poca capacidad de almacenamiento de los “acuíferos” someros que se hallan en los sectores de fracturación, fisuración y meteorización de las rocas volcánicas y volcano-sedimentarias, el agua infiltrada en estos acuíferos, después de cortos recorridos y tiempos de residencia limitados, vuelve a salir, a lo largo del año hidrológico, hacia los cauces de ríos y arroyos, para incorporarse a la circulación de agua superficial que se produce en ellos.

El único acuífero en el que las aguas subterráneas se almacenan y circulan una mayor distancia por el interior del aluvial permeable, es el **A8 Aluvial del Alto Maule**, en el que los  $39,5 \text{ hm}^3/\text{año}$  estimados de su recarga anual deben embalsarse y retenerse durante un mayor tiempo en los depósitos aluviales, hasta acabar drenándose, de manera natural, por el sector topográfico más bajo de su afloramiento, que viene a coincidir con el punto de intersección en el embalse de Colbún. Por ello, este afloramiento de materiales permeables debe actuar como embalse subterráneo regulador de los  $39,5 \text{ hm}^3$  que anualmente, como media de los recursos hídricos subterráneos, se renuevan en el acuífero.

#### 6.5.5.2. Balance hídrico

Si se compara la cifra de las explotaciones máximas de aguas subterráneas que se pudiesen estar extrayendo de la CAM, de  $0,68 \text{ hm}^3/\text{año}$ , con la de los recursos hídricos evaluados que anualmente, como media, se infiltran y recargan en la misma, de  $1.023,30 \text{ hm}^3/\text{año}$ , el **balance hídrico subterráneo de la cuenca** es muy positivo, en  $1.022,62 \text{ hm}^3/\text{año}$ . No obstante, hay que resaltar que, en la práctica, la mayor parte del agua infiltrada y recargada en los acuíferos someros, generados en y sobre la base de las formaciones de baja permeabilidad (rocas volcánicas y graníticas) que afloran en la cuenca, es nuevamente

drenada al medio exterior, para incorporarse a la circulación superficial que se genera en la misma, acabando por desembocar en el embalse Colbún.

Solamente los recursos hídricos infiltrados en el **acuífero A8** pueden estar un mayor tiempo embalsados como aguas subterráneas, e ir teniendo un drenaje subterráneo más lento hacia el embalse, con el que está en contacto. El balance del conjunto de la Cuenca Alta del Maule (UPH5), podría ser el expuesto en la Tabla 6.18:

<b>Tabla 6.18. Balance Hídrico Subterráneo de la UPH 5</b>					
<b>Medio Subterráneo</b>	<b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b>	<b>ENTRADAS</b>		<b>SALIDAS</b>	
		<b>Componente</b>	<b>hm<sup>3</sup>/año</b>	<b>Componente</b>	<b>hm<sup>3</sup>/año</b>
Acuífero A8	79	Recarga	39,50	Extracciones	0,13
Resto cuenca	4.919	Infiltración	983,80	Extracciones	0,55
				Salidas al embalse Colbún	
<b>Total</b>	<b>4.998</b>		<b>1.023,30</b>		<b>1.022,62</b>

### 6.5.6. Reservas subterráneas

El único acuífero de la CAM en el que se pueden encontrar reservas de aguas subterráneas almacenadas es el **A8 Aluvial del Alto Maule**, en toda su geometría (superficie y profundidad del mismo).

La potencia media de los depósitos detríticos aluviales se estima en unos 25 m, hasta alcanzar el zócalo de las rocas volcánicas; el nivel de agua podría oscilar anualmente, como media, entre 1 a 3 m de profundidad; por consiguiente, la potencia saturada del acuífero, en la que anualmente no varía su nivel de saturación (potencia saturada del acuífero) podría ser del orden de unos 22 m. En consecuencia con estos datos estimados (al carecer de medidas directas que se hubiesen tomado a lo largo del año hidrológico), para el conjunto de la superficie del acuífero ( $79 \text{ km}^2$ ), si se considera un coeficiente de almacenamiento de  $10^{-2}$  (acuífero en estado libre), el volumen total de reservas almacenadas en el acuífero **A8**, serían:  $79 \text{ km}^2 \times 22 \text{ m} \times 10^{-2} = 17,38 \text{ hm}^3$ .

### 6.5.7. Modelización matemática

En la CAM, el único acuífero con posibilidad de modelización matemática sería el A8, pero en él no hay, hasta la fecha, ninguna presión para la extracción de aguas subterráneas, por lo que el interés para su modelización es bajo, frente a los problemas, de mayor alcance, generados en otros acuíferos de la Región del Maule.

### 6.5.8. Calidad de las aguas subterráneas

No se ha dispuesto de ningún dato analítico, con el que valorar la calidad química del agua subterránea que circula y se almacena en el acuífero A8, ni tampoco de la que circula por los

reducidos sectores acuíferos que se pudiesen encontrar en las formaciones volcánicas y graníticas, de baja permeabilidad, que afloran en la demarcación hidrográfica de la cuenca.

En general, se puede suponer que, ante la naturaleza geoquímica de los materiales por los que transita el agua y el corto tiempo de residencia en el que, generalmente, se mantiene el agua subterráneamente en los niveles acuíferos someros de las formaciones volcánicas y graníticas, su calidad química presenta una baja concentración en sales. Así mismo, el hecho de ser áreas con poca densidad de población, hace considerar que la calidad bacteriológica del agua también deba ser buena.

En el acuífero aluvial **A8**, al estar recargado por aguas superficiales de la cuenca alta del río, su calidad, en principio, debe ser buena, aunque, ante el hecho de la presencia de explotaciones mineras aguas arriba de su afloramiento, pudiera ocurrir que tuviese alguna contaminación de elementos metálicos. Por tanto, sería conveniente mantener una cierta vigilancia y control de su calidad química.

#### **6.5.9. Áreas de protección ecológica asociadas a descargas subterráneas**

Que se conozca, en la UPH 5 no hay declarada ninguna zona de protección ecológica, aunque en la relación de Humedales de la Región del Maule consultada (shp del SIG), se relacionan 5 humedales asociados a las lagunas que se encuentran en la cuenca: Maule, La invernada, La Mollera, Aguas Calientes, Dial, cuya ubicación puede verse en el Mapa 2.18.



Foto 6.7. Laguna del Maule



Foto 6.8. Laguna de la Invernada



Foto 6.9. Laguna de Aguas Calientes



Foto 6.10. Laguna Dial

En todos los humedales, aunque la mayor parte de sus aportes proceden de la escorrentía superficial directa que se origina en las vertientes que confluyen en sus vasos de embalse, también debe haber aportes subterráneos, diferidos en el tiempo, desde los niveles acuíferos someros que existen en las formaciones volcánicas en las que se enclavan estas lagunas naturales.

## 6.6. Acuíferos en la Cuenca Media y Baja del Maule. UPH 6

Para la descripción hidrogeológica de la Cuenca Media y Baja del Maule (UPH 6), se han consultado los mismos documentos empleados para la CAM, que ya han sido relacionados anteriormente.

### 6.6.1. Características hidrogeológicas. Acuíferos

La Cuenca Media y Baja del Maule (CMBM) se enmarca en la zona central de la Región del Maule, ocupando una superficie de 5.664 km<sup>2</sup> (el 18,25% del total de la superficie de la Región), que es drenada por el propio cauce del río Maule, en sus tramos medio y bajo, así como por sus afluentes, por la derecha, el río Claro (junto con sus tributarios los ríos Pangue y Lircay), que recoge las aguas de la mayor parte de la cuenca media, y el río Blanquillo, en su sector más alto de la cuenca.

Como embalses reguladores de sus aguas, se encuentran el Colbún, en el que se concentran los recursos hídricos de la cuenca alta del Maule (CAM) y los embalses menores de Astillero, Viena, San Gerardo y Las Doscientas, además de la Laguna El Junquillar (humedal). Las aguas sobrantes de la cuenca acaban por desembocar en el océano, después de un recorrido total por el cauce del Maule, de unos 120 km a partir de la salida del embalse de Colbún.

Las formaciones hidrogeológicas que afloran en esta cuenca son las siguientes:



- **Qf:** Depósitos fluviales cuaternarios, de arenas, gravas y limos, asociados al curso actual del río Maule, de sus terrazas subactuales y llanura de inundación, que cubren una superficie de 240 km<sup>2</sup> (el 4,23% del total de la demarcación de la CMBM), extendiéndose a lo largo de 120 km del valle del río. La potencia de estos depósitos sobre el sustrato rocoso se desconoce, pues no se dispone de datos concretos para valorarla; no obstante, si se hace un cierto paralelismo con la misma formación fluvial existente en el cauce del río Mataquito, en la que sí se realizó un reconocimiento geofísico, esta podría oscilar entre los 10 a 100 m, según los sectores (mayor hacia el eje central del valle), con lo que una potencia media para el conjunto del afloramiento podría estar sobre los 50 m. Dada la elevada productividad de esta formación sedimentaria fluvial, se la considera como el acuífero **A11** en la UPH 6.
- **Q1:** Depósitos detríticos aluviales del Cuaternario, constituidos por arenas, gravas, arcillas y limos, que se cartografián en el valle central de la Depresión Intermedia, en un afloramiento de 353 km<sup>2</sup> (el 6,23 % del total de la demarcación hidrográfica de la CMBM), asociado al cauce del río Maule. Este afloramiento de materiales aluviales se extiende hacia el Sur, por la margen izquierda del río Maule, en una gran superficie de 2.067 km<sup>2</sup> de extensión, por la que transitan los cauces de los ríos Locomilla y sus afluentes por la derecha, Putagán y Achibueno, dentro de la demarcación de la UPH 8. En su conjunto constituye los acuíferos **A10** (en la UPH 6) y A12 (en la UPH 8), que se estudian en el presente informe.

La potencia de la formación sedimentaria, sobre su sustrato rocoso, es variable de unos sectores a otros, según ha demostrado la geofísica gravimétrica realizada en ella, a lo largo y ancho de la Depresión Intermedia, por terrenos de las UPH 6, 8 y 7. En los años 2006 y 2010 fueron realizados 3 y 4 perfiles, respectivamente (ver doc. RH100); uno, longitudinal, a lo largo del valle de la Depresión, y paralelo a la ruta 5 sur, con una extensión de 163 km, que recorre las UPH 6, 8 y 7 de Norte a Sur, y otros 6, transversales al anterior, cortando el valle de Oeste a Este, de variable extensión, entre 34 y 89 km de reconocimiento. Geológicamente, los perfiles geofísicos se hallan situados sobre las formaciones PI3t (depósitos volcánicos piroclásticos) y Q1 (depósitos detríticos aluviales y coluviales), que rellenan la Depresión Intermedia.

El resultado de la interpretación de los 7 perfiles gravimétricos realizados en el conjunto de las dos formaciones geológicas, con estaciones de medidas separadas entre sí unos 2-3 km, indica una potencia del conjunto de estos depósitos, hasta alcanzar su sustrato rocoso, variable entre los 90 a 960 m de profundidad (ver Anexo del doc. RH100), estando en general más profundo hacia el eje central de la depresión. Aunque la profundidad hasta el basamento rocoso pueda llegar hasta este máximo interpretado, en realidad, la potencia del tramo superior, de mayor importancia hidrogeológica por su mayor grado de permeabilidad, puede alcanzar un máximo de unos 200 m de potencia, que es la profundidad alcanzada por uno de los sondeos perforados para la captación de aguas subterráneas en esta zona.

- **Q1g.** Depósitos morrénicos, fluvioglaciales y glacilacustres, constituidos por bloques, gravas, arenas y matriz limo-arcillosa, que se observan en un reducido afloramiento ubicado en la cabecera del río Lircay, afluente del Claro. Presenta una permeabilidad de grado medio-alto, por porosidad intersticial. En este afloramiento hay 5 captaciones con derechos de aprovechamiento concedidos.
- El conjunto de las formaciones volcánicas y vulcan-sedimentarias del Cuaternario y Terciario, que afloran en el sector de cuenca más alto de la CMBM, en la zona de la Precordillera, ocupando una superficie de 900 km<sup>2</sup> (el 16% del total de cuenca), lo componen: **Q3i**, constituida por estratovolcanes y complejos volcánicos de lavas basálticas, domos y depósitos piroclásticos, y **OM2c**, constituida por secuencias vulcan-sedimentarias de lavas, rocas epiclásticas y piroclásticas, con intercalaciones de niveles detríticos sedimentarios, de edad terciaria.

Ante la porosidad primaria, muy reducida, que se encuentra en el conjunto de sus afloramientos, estos materiales presentan una baja permeabilidad; aunque al nivel local, en puntos de mayor fisuración y alteración de la roca volcánica, así como, en algunos casos, por la porosidad intersticial que pudieran tener las intercalaciones sedimentarias que se encuentran en las series vulcan-sedimentarias, su permeabilidad puede ser ligeramente mayor, lo que hace que se puedan localizar reducidos niveles acuíferos, de muy baja productividad.

- **PI3t.** Depósitos piroclásticos asociados a calderas de colapso, del Pleistoceno, que se cartografián, en un mayor afloramiento de 1.444 km<sup>2</sup> de extensión, en la zona norte de la UPH 6, dentro del valle de la Depresión Intermedia; y en otros dos afloramientos, de menor extensión, cartografiado en los relieves existentes entre la Cordillera de la Costa y la Depresión Intermedia (serranías intermedias), uno en la margen derecha del río Claro, de unos 140 km<sup>2</sup> de extensión, en el que se enclava la población de Pencahue, y otro, al Sur, en la margen izquierda del Maule, que es continuación del anterior, de 60 km<sup>2</sup> de extensión.

La naturaleza de estos materiales piroclásticos volcánicos le permite, al menos en el tramo superior, de unos 100 m de espesor, de la formación, presentar una permeabilidad de grado medio-alto, en la que es posible el almacenamiento y circulación del agua subterránea. De hecho, se ha considerado al afloramiento de la Depresión Intermedia como el acuífero A9, en esta UPH 6. Los dos afloramientos, de menor extensión, se incluyen, junto con los de otras formaciones volcánicas y vulcan-sedimentarias que los rodean, en el conjunto de materiales acuíferos, de menor productividad hídrica, que se describe a continuación.

- Formaciones volcánicas y vulcan-sedimentarias del Cretácico y Jurásico, que afloran en la margen derecha del río Claro e izquierda del Maule: **Kia2**, representada por secuencias

sedimentarias y volcánicas de rocas piroclásticas y lavas andesíticas, con intercalaciones sedimentarias lacustres y, localmente, marinas; **Ki2c**, secuencias sedimentarias y volcánicas, constituidas por brechas sedimentarias y volcánicas, lavas andesíticas, conglomerados, areniscas, limolitas calcáreas y, localmente, calizas fosilíferas; **Ki2m**, secuencias volcánicas y sedimentarias de lavas andesíticas y basálticas, tobas y brechas volcánicas, areniscas y calizas fosilíferas; y **J3i**, secuencias volcánicas continentales y marinas, compuestas de lavas y conglomerados basálticos, tobas riolíticas, con intercalaciones de areniscas, calizas marinas y conglomerados continentales. El conjunto de estas formaciones, junto con los afloramientos de la PI3t ubicados también en esta zona, ocupan una buena parte de la CMBM, unos 700 km<sup>2</sup> (el 12,4% de la demarcación de la cuenca),

Estas formaciones volcánicas y volcano-sedimentarias presentan, por la fracturación y fisuración de las rocas volcánicas y por la porosidad intergranular de los sedimentos, a veces intercalados en ellas, una permeabilidad de tipo bajo a medio, que permite en algunos sectores localizar niveles acuíferos de carácter somero y con baja productividad hídrica, explotados, en ocasiones, para atender necesidades puntuales de agua, como lo demuestra la presencia, sobre su extensa superficie, de 8 captaciones con derechos de aprovechamiento concedidos por la DGA. En el caso de los dos afloramientos de la formación **PI3t**, de unos 200 km<sup>2</sup> de extensión, de mayor permeabilidad (tipo medio), hay 30 captaciones con derechos de aprovechamiento, según queda reflejado en el Mapa 6.15.

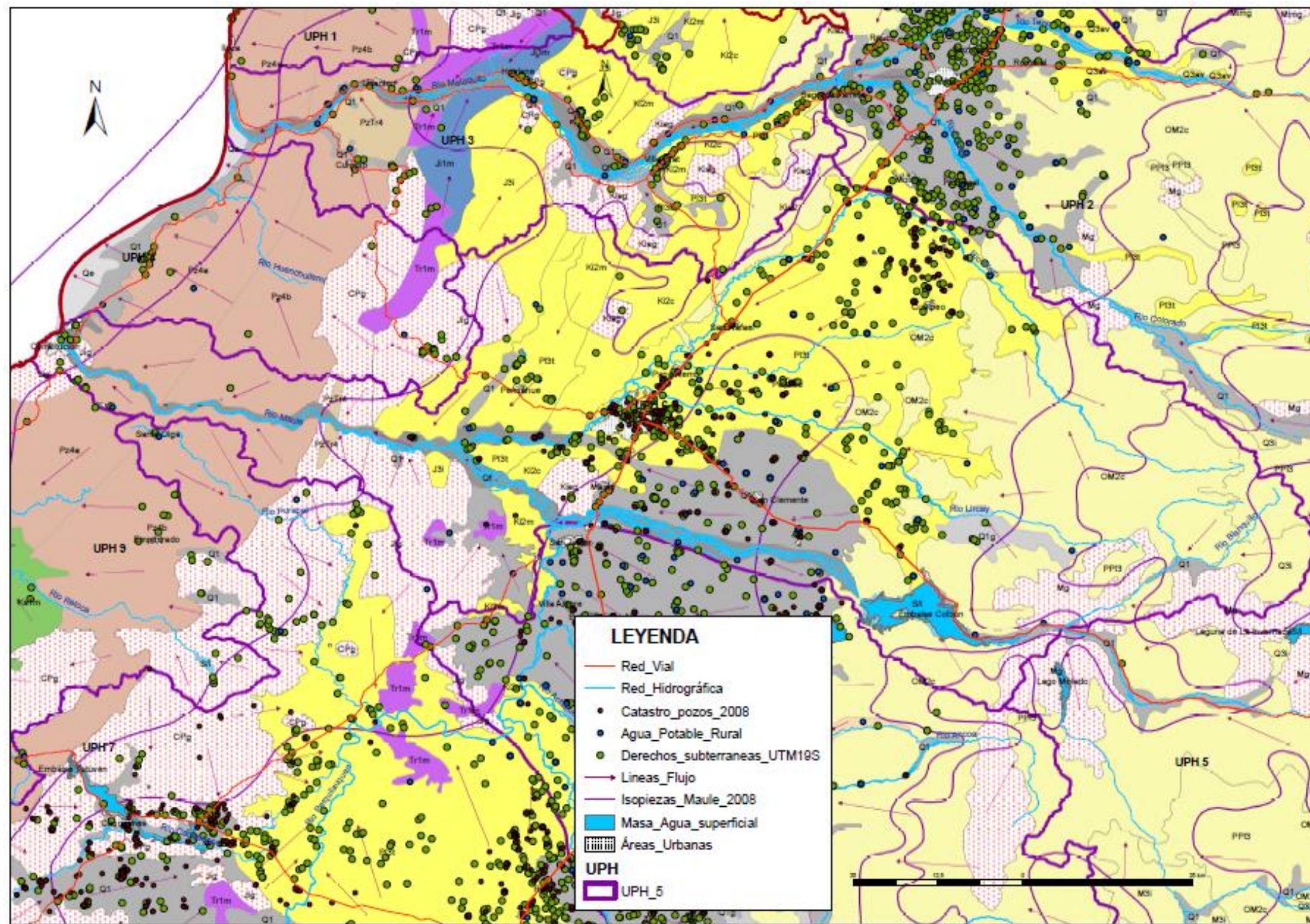
- **Trim.** Secuencias sedimentarias consolidadas del Triásico superior, constituidas por areniscas, conglomerados, limolitas y calizas, que se disponen en dos afloramientos, de reducida extensión, localizados al sur de la UPH 6, que no presentan ningún interés hidrogeológico.
- **CPg, Kiag, Jig y Mg.** Rocas eruptivas de carácter ígneo, muy duras y compactas, que presentan una permeabilidad muy baja en su conjunto, solamente incrementada en reducidos niveles acuíferos asociados a los tramos superiores, fracturados y diaclasados, de los macizos graníticos, y a los niveles de alteración y meteorización de la roca (regolito), que se hayan ido recubriendo a la misma en los sectores de topografía más amortiguada. El afloramiento de mayor dimensión, unos 220 km<sup>2</sup> de superficie, corresponde a la formación CPg que se encuentra en el flanco oriental de la Cordillera de la Costa, y es atravesado por el cauce bajo del río Maule. En el sector de la desembocadura del río, se halla otro domo granítico (Jig), donde se asienta la población de Constitución, y en el que hay ubicadas 6 captaciones con derechos de explotación.
- **PzTr4, Pz4a y Pzab.** Son formaciones metamórficas del Trías y Paleozoico, compuestas por esquistos moscovíticos, metabasitas, pizarras, filitas, meta-arenitas y neises, que constituyen el núcleo central de la Cordillera de la Costa, en una banda alargada de unos 290 km<sup>2</sup> de extensión dentro de la UPH 6 (el 3,8% de la demarcación de cuenca). Estas formaciones presentan muy baja permeabilidad en su conjunto, localizándose solamente

reducidos niveles acuíferos, más permeables, asociados a los puntos de mayor meteorización y/o fracturación de las rocas, concentrados en algunos sectores superficiales de sus afloramientos, que pueden presentar un cierto interés hidrogeológico como fuente de suministro de aguas subterráneas, para atender necesidades muy puntuales de abastecimiento. De hecho, se han inventariado 4 captaciones de agua en estas formaciones, con derechos de aprovechamiento otorgados.

En el Mapa Hidrogeológico de la Cuenca Media y Baja del Maule (Mapa 6.15) se representa la cartografía de las formaciones litológicas descritas y la posición que tienen, sobre ellas, las captaciones con derechos de explotación de aguas subterráneas, concedidos por la DGA, en esta cuenca, aquellas de las que se ha dispuesto de sus coordenadas geográficas (464). Se sitúan también las captaciones que, con derechos de explotación concedidos, se emplean en abastecimiento rural (85). Del doc. RH100, se ha obtenido la relación de 200 pozos catastrados en el año 2008, que también se sitúan en el mapa.

Así mismo, se indica la dirección y sentido que pueden tener los flujos de agua subterráneos que se originan dentro del conjunto de la cuenca, y la distribución de las isopiezas regionales trazadas en el doc. RH080 del que se ha dispuesto de su información SIG (shp). La leyenda de las formaciones geológicas que afloran en la CMBM puede verse en el MHRM (Mapa 4.1), incluida anteriormente en el presente informe.

Mapa 6.15. Mapa Hidrogeológico de la Cuenca Media y Baja del Maule



### 6.6.1.1. Acuíferos

En el Mapa 6.16 se refleja la ubicación de los acuíferos identificados y delimitados en la Cuenca Media y Baja del Maule (UPH 6):

#### • A9. Formación volcánica sector central Depresión Intermedia

Este acuífero lo constituye la formación volcánica del Pleistoceno (**PI3t**), compuesta por depósitos piroclásticos asociados a calderas de colapso, erupcionados en el valle de la Depresión Intermedia, ocupando una superficie de 1.444 km<sup>2</sup> en la zona norte de la UPH 6. Es atravesado por el cauce del río Claro, en su borde septentrional, y, en su sector más meridional, por los cauces menores de los ríos Pangue y Lircay, afluentes del Claro por la izquierda, que son los aportantes de la recarga o receptores de las descargas subterráneas, que se pudieran organizar, según los tramos de río, en relación con el acuífero. Por su borde más meridional está en contacto hidrogeológico, discordante, con los materiales aluviales detríticos que conforman el acuífero A10, por lo que, aunque la permeabilidad de esta formación volcánica, debido a la mayor proporción arcillosa que contiene, es menor que la de los depósitos detríticos aluviales del acuífero A10, hidrodinámicamente, por este sector sur del acuífero A9, se considera que ambos acuíferos pueden estar en contacto subterráneo directo. De hecho las isopiezas trazadas en el doc. RH080, mantienen una misma continuidad.

Es un acuífero con comportamiento hidrodinámico, en general, libre, de tal modo que su **recarga** principal se establece por la infiltración directa de parte de la precipitación que se registran sobre su afloramiento, además de por la infiltración de parte de la escorrentía superficial que circula por los cauces de los ríos que lo cruzan, por la percolación del agua de riego y de las pérdidas de los canales que se emplean en el regadío de los cultivos existentes sobre su superficie y por los aportes laterales, superficiales y subterráneos, que se producen desde la formación volcano-sedimentaria OM2c, que hace de límite, de baja permeabilidad, del acuífero, por su flanco oriental. Su **descarga** natural se produce hacia los cauces de los ríos que están en contacto con el acuífero y, de modo artificial, a través de los bombeos ocasionados por las 332 captaciones con derechos de explotación que hay autorizadas por la DGA.

La potencia de estos depósitos volcánicos piroclásticos, más o menos permeables y explotables de aguas subterráneas, es del orden de unos 100 m, según indica la profundidad máxima alcanzada por los sondeos perforados en este acuífero (doc. RH 100).

#### • A10. Aluvial-Coluvial del sector central Depresión Intermedia

Acuífero que ocupa la zona central de la Depresión Intermedia en la Cuenca Media del Maule, en una superficie de 353 km<sup>2</sup>. Está constituido por una formación detrítica aluvial,

asociada a la dinámica fluvial del río Maule, de materiales sedimentarios con una elevada porosidad intersticial (formación Q1 del mapa hidrogeológico), compuesta por arenas, gravas, arcillas y lentejones de limos, entremezclados en diferentes proporciones y formando horizontes de espesores variables, que se presentan en forma alternante en el sentido vertical de su potencia. Esto ocasiona que la permeabilidad de la formación sea variable de unos puntos a otros, con rangos de tipo medio a muy elevado, en función de la proporción mayor o menor de sedimentos arcillosos que se encuentren localmente en ellos, al perforarse. La potencia de la unidad superior del acuífero aluvial, de mayor permeabilidad y, por consiguiente, mayor productividad hídrica, puede ser del orden de unos 50 a 200 m de espesor, según los sectores, sobre la base más arcillosa y de menor productividad del acuífero; su sustrato rocoso, de muy baja permeabilidad, de acuerdo con la geofísica gravimétrica realizada en la zona, se puede encontrar entre los 90 y hasta 960 m de profundidad (doc. RH100).

Por sus buenas condiciones de permeabilidad, constituye el acuífero de mayor interés hidrogeológico para la explotación de las aguas subterráneas, que se encuentra en la UPH 6. Su comportamiento hidrodinámico es el de un acuífero en estado libre, de tal modo que su **recarga** de agua proviene, en su mayor parte, de la infiltración directa de parte del agua de lluvia que se registra sobre su afloramiento, así como por la percolación del agua de riego y pérdidas de los canales que se emplean en el regadío de los cultivos existentes sobre su superficie. Subterránea y lateralmente, se debe alimentar de agua subterránea proveniente del acuífero A9, situado al Norte, a mayor cota topográfica que él, con el que está en contacto hidrogeológico e hidrodinámico.

Las **descargas** del acuífero se producen, de manera natural, hacia el cauce del río Maule, a través de la formación fluvial (Qf), que recubre el cauce superpuesta a la Q1, cuando la cota del nivel piezométrico del acuífero aluvial-coluvial (A10) coincide con la cota topográfica del cauce del río. La presencia de afloramientos subterráneos en el cauce del río Maule, aguas arriba de la confluencia del río Loncomilla, su afluente por la izquierda, confirma esta interpretación hidrodinámica (ver doc. RH100). De modo artificial, se descarga por la explotación de agua subterránea en los pozos que explotan directamente el acuífero que, según el Catastro de Derechos de Aprovechamiento de Aguas, de la DGA, ascienden a 53 captaciones, del total de 464 que hay registradas, con coordenadas geográficas (UTM), en la UPH 6, y que son las representadas en el Mapa Hidrogeológico 2.19.

#### • A11. Aluvial del Bajo Maule

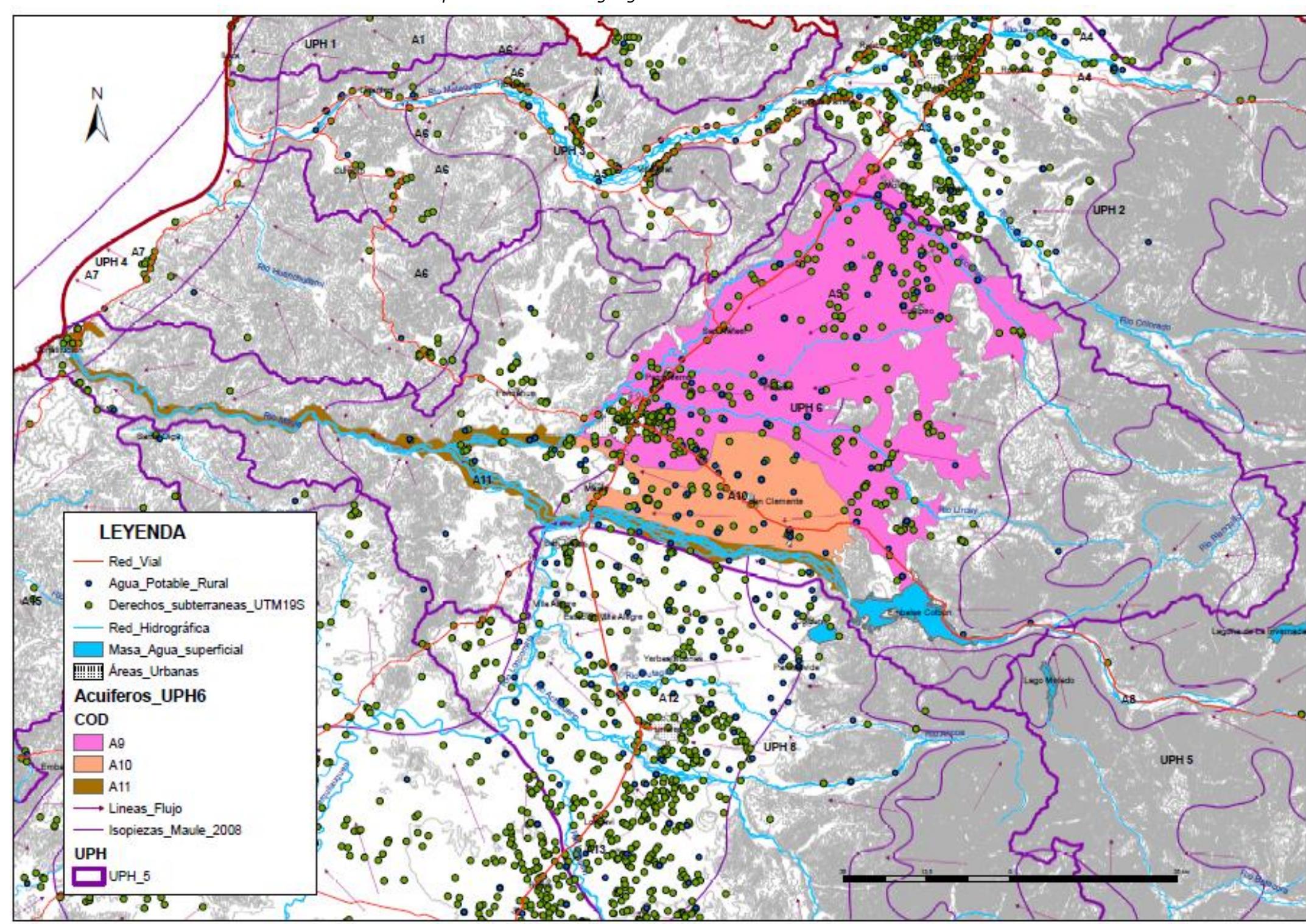
Este acuífero se extiende por la Cuenca Media y Baja del Maule, desde la salida del cauce del río del embalse de Colbún, hasta su desembocadura en el océano, después de recorrer una distancia de 120 km, ocupando el valle central del río Maule en una superficie de 240 km<sup>2</sup> de extensión. Está constituido por una formación detrítica aluvial, compuesta de materiales sedimentarios con una alta porosidad intersticial (formación Qf del mapa

hidrogeológico), representada por arenas, gravas, arcillas y limos, entremezclados en diferentes proporciones y formando horizontes de espesores variables, lo que ocasiona que la permeabilidad de la formación sea variable de unos puntos a otros, con rangos de tipo bajo a muy elevado, en función de la proporción mayor o menor de sedimentos arcillosos que se encuentren localmente en ellos. La potencia del acuífero aluvial sobre el sustrato rocoso puede que varíe entre los 10 a 100 m, según los puntos (mayor hacia el eje central del valle), a la vista de los datos, sí comprobados, mediante reconocimiento geofísico, en el acuífero fluvial del río Mataquito (estudiado en el apartado 2.6.3), con el que pudiera tener una cierta similitud hidrogeológica.

Por sus buenas condiciones de permeabilidad, constituye un acuífero de alto interés hidrogeológico para la explotación de las aguas subterráneas, en la cuenca baja del Maule. Su comportamiento hidrodinámico es el de un acuífero en estado libre, que está en contacto con el cauce superficial del río, de tal modo que la mayor parte de su **recarga** subterránea proviene de la infiltración del agua superficial que transita por el río, cuando el nivel piezométrico en el acuífero se halla a cota más baja que la del cauce, de parte del agua de lluvia que se recoge directamente sobre sus afloramientos, por la percolación del agua de riego de los cultivos implantados en su valle, así como, subterráneamente, desde los acuíferos colindantes A10 y A12, este último ubicado en la UPH 8, situada al Sur.

Las **descargas** del acuífero se producen, de manera natural, descargándose al río, en algunos sectores del valle –afloramientos, como los localizados en el tramo comprendido entre las confluencias de los ríos Loncomilla y Claro, así como en el tramo de confluencia del río Claro en el Maule–, y en determinadas épocas de la año, cuando el nivel freático del acuífero se encuentra a muy poca profundidad y próximo a la cota del lecho del río; subterráneamente, hacia el océano Pacífico, en su contacto costero, en la zona de la desembocadura del río; y, de modo artificial, por las extracciones de agua subterránea de los pozos que lo explotan directamente, 19 según el catastro de Derechos de Aprovechamiento de Aguas concedidos por la DGA, los que disponen de coordenadas geográficas (UTM), y que han sido incluidos en el mapa hidrogeológico.

Mapa 6.16. Situación geográfica de los acuíferos en la UPH6



## 6.6.2. Características hidrodinámicas

Los parámetros hidrodinámicos (parámetros elásticos) de los **acuíferos delimitados en la CMBM** se han obtenido de los resultados obtenidos de los ensayos de bombeo (pruebas de gasto) realizadas al finalizar la perforación de algunos de los pozos perforados en la zona (doc. *RH090 Diagnóstico de Caudales Disponibles en Cuencas no controladas de Recuperación, Cuencas de Maule, Mataquitos y Rapel*, realizado por la CNR en 2008). Con los datos consultados, cuya distribución fue realizado teniendo en cuenta la zonificación norte, central y sur de la cuenca total del Maule, se ha tratado de buscar la correspondencia para los tres acuíferos delimitados en la CMBM, cuyo resultado elaborado se expone en la siguiente Tabla 2.26:

**Tabla 6.19. Parámetros elásticos de los acuíferos en la Cuenca Media y Baja del Maule**

Acuíferos	Área (km <sup>2</sup> )	Permeabilidad K (m/día)	Transmisividad T (m <sup>2</sup> /día)	Coeficiente de almacenamiento (S)
A9. Volcánico	1.444	3,9 a 146	400 a 1.500	$10^{-2}$ a $10^{-4}$
A10. Aluvial-Coluvial	353	5,4 a 170	500 a 2.000	$10^{-2}$ a $10^{-3}$
A11. Aluvial Bajo Maule	240	5,4 a 200	500 a 3.500	$10^{-2}$
<b>Total</b>	<b>2.037</b>			

Los valores de T y K se mueven en rangos cualitativos de tipo medio a muy alto. El coeficiente de almacenamiento, en el caso del acuífero volcánico A9, presenta valores correspondiente a un acuífero en estado hidrodinámico libre ( $10^{-2}$ ) y confinado, en carga ( $10^{-4}$ ), lo que se podría justificar considerando que en algunos puntos del acuífero se perfila agua subterránea que se encuentra aislada de la presión atmosférica, por niveles de muy baja permeabilidad que le imprimen esa carga hidrodinámica localmente. No obstante, en otro de los documentos consultados (RH100), los S de este acuífero, los dan todos del rango de  $10^{-2}$ .

La menor permeabilidad medida en el acuífero A9, con respecto al A10, se pone de manifiesto, claramente, al contrastar los volúmenes de agua extraídos de uno y otro acuífero, mediante los pozos que lo explotan. Según los derechos de explotación autorizados, las 332 captaciones del A9 extraen 192,64 hm<sup>3</sup>/año (0,58 hm<sup>3</sup> por captación), mientras que las 53 captaciones del A10 extraen 58 hm<sup>3</sup>/año (1,09 hm<sup>3</sup> por captación).

Del **resto de formaciones** aflorantes en la CAM, tampoco se dispone de datos cuantitativos, pero se considera que la permeabilidad de las mismas varía entre baja a muy baja (entre 1 y menos de 0,01 m/día).

### 6.6.3. Captaciones de agua subterránea. Explotaciones

La referencia disponible sobre el número de **captaciones existentes** en la Cuenca Media y Baja del Maule es la proporcionada por la DGA, en cuanto a los derechos de explotación solicitados y concedidos en esta zona. El número de ellos, de los que se ha dispuesto de las coordenadas geográficas de su ubicación, asciende a 464, con la siguiente distribución por formaciones geológicas: 332 en la formación volcánica del acuífero **A9**; 53 en los depósitos aluviales-coluviales del acuífero **A10**; 19 en el aluvial del cauce del río Maule, acuífero **A11**; y el resto, en materiales volcánicos y volcano-sedimentarios (45), metamórficos (6), graníticos (8) y en depósitos cuaternarios aislados (5). De estas captaciones, en 85 de ellas se tiene constancia (según se ha visto en la tabla Excel *Captaciones utilizadas como Agua Potable Rural*), de que son utilizadas en el abastecimiento doméstico. La ubicación de todas estas captaciones se presenta en el Mapa 6.15.

Se desconoce el tipo de captación que es, pues la base de datos de Derechos Concedidos de la DGA no lo indica, aunque se supone que en su mayor parte deben ser pozos y sondeos de variable profundidad. Así mismo, se desconoce el uso que se le da al agua extraída.

La **profundidad de obra** de estas captaciones tampoco se indica la relación de la DGA, por lo que el único dato de que se ha dispuesto procede de los datos de 187 captaciones del catastro realizado en el 2008 (doc. RH080), y de la red de 70 puntos con medidas de profundidad de obra y del NP tomados en el año 2010 (doc. RH100), algunos de ellos coincidentes con los de la primera relación. Según estas dos relaciones, las profundidades de obra de las captaciones, en su mayoría sondeos (ya que sólo hay 9 con menos de 20 m de profundidad, asimilable a pozos), oscila entre 5 y 157 m, aunque hay 3 con profundidades mayores, de 233, 354 y 527 m, ubicados en las comunas de Pelarco y San Clemente.

Los **caudales de extracción concedidos** a las 464 captaciones oscilan entre los 0,01 y los 220 l/s, en ambos casos de pozos situados en la comuna de Talca. Lo normal es que los caudales concedidos no excedan de los 100 l/s, según se desprende de la siguiente distribución por tramos de explotación: hay 302 pozos con un caudal inferior a los 10 l/s, 68 con caudal concedido entre 10 a 30 l/s, 37 con 30 a 60 l/s, 20 con 60 a 100 l/s y 18 con un caudal superior a 100 l/s.

El volumen total de extracción de agua subterránea concedido por la DGA a las 464 captaciones asciende a 8.209 l/s que, de extraerse todo él de manera continuada, daría un volumen anual de explotación de **258,86 hm<sup>3</sup>/año**. Este sería un volumen máximo de extracción, puesto que es difícil que, de todo el caudal concedido a una captación, en l/s, este se esté explotando de modo continuo durante todo el año hidrológico. Por otro lado, a este volumen de concesiones, habría que sumarle los caudales de aquellas otras captaciones de agua que, al no disponer de sus coordenadas geográficas, no han sido consideradas ni evaluadas en este cálculo de caudales concedidos; se desconoce el número de estas captaciones.

Con el objeto de ajustar la cifra de extracciones concedidas, a la que en realidad se está explotando en la cuenca, se han utilizado dos factores, extraídos de estudios anteriormente realizados en la zona:

- El “factor de uso” utilizado por la DGA, que es representativo de la eficiencia del uso del recurso hídrico y corrige el volumen de agua en realidad explotado, que fue aplicado para la calibración del modelo matemático realizado en el año 2012 en los acuíferos de la Cuenca del Mataquito, es el siguiente (doc. RH130):

USOS	FACTORES
Agua Potable	0,75
Riego	0,20
Industrial	0,30
Doméstico	0,75
Otros	0,40

Aplicando el reparto de consumos entre los diferentes usos, que se desprende de los datos obtenidos en campo, mediante el catastro de 460 captaciones de agua subterránea que se realizó en el año 2008 (doc. RH080), en el que se resuelve que los recursos hídricos subterráneos extraídos, según las encuestas efectuadas, se distribuyen entre: agua potable (el 77,67%), riego (17,32%) e industria (5%), el total de la cifra de derechos concedidos, de 258,86 hm<sup>3</sup>/año, podría quedar de la siguiente manera, tal y como se expone en la Tabla 6.20:

**Tabla 6.20. Caudales de extracción estimados en la UPH 6, según uso**

Uso del agua	Distribución por uso (%)	Caudal concedido (hm <sup>3</sup> /año)	Factor de uso	Explotación corregida según el factor de uso (hm <sup>3</sup> /año)
Agua Potable	77,67	201,08	0,75	150,81
Riego	17,32	44,84	0,20	8,96
Industrial	5,00	12,94	0,30	3,88
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>	<b>258,86</b>		<b>163,65</b>

De los 258,86 hm<sup>3</sup>/año, con Derechos de Aprovechamiento de Aguas otorgados, solamente se podrían estar explotando **163,65 hm<sup>3</sup>/año**, lo que supone una reducción del 63,22% del caudal concedido. Aplicando este mismo criterio al agua explotada de los acuíferos A9, A10 y A11, delimitados en la CMBM, se obtendría las extracciones, más ajustadas a la realidad, que se indican en la Tabla 2.28.

**Tabla 6.21. Caudales de extracción estimados en la UPH 6, por acuífero**

Acuífero	Superficie (km <sup>2</sup> )	Captaciones autorizadas (nº)	Caudal concedido (hm <sup>3</sup> /año)	Factor de uso (%)	Explotación corregida según el factor de uso (hm <sup>3</sup> /año)
A9	1.444	332	192,64	63,22	121,78
A10	353	53	58,12	63,22	36,75
A11	240	19	6,46	63,22	4,08
Resto Cuenca	3.627	60	1,64	63,22	1,04
<b>TOTAL</b>	<b>5.664</b>	<b>464</b>	<b>258,86</b>		<b>163,65</b>

#### **6.6.4. Niveles de agua. Flujos subterráneos**

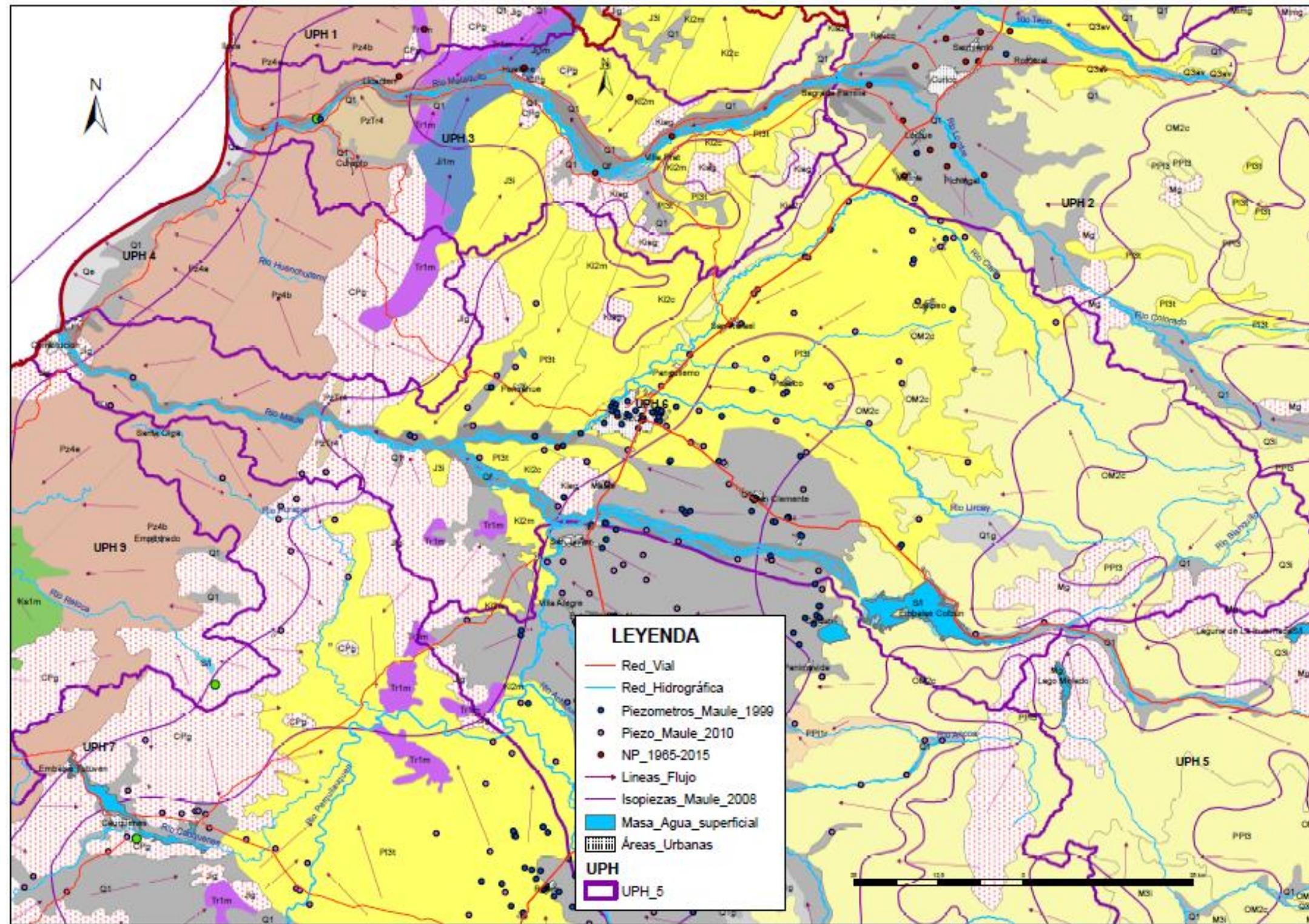
En el Mapa Piezométrico (Mapa 6.17) se pueden visualizar las líneas en las que se orienta el flujo del agua subterránea en el conjunto de la CMBM. En él se han trazado las trayectorias del flujo subterráneo, tanto en las formaciones de mayor permeabilidad que se encuentran en la cuenca –acuíferos A9, A10 y A11–, como en aquellas otras formaciones, de baja a muy baja permeabilidad, en las que también, aunque sea de modo somero y discontinuo, se originan reducidos flujos subterráneos, paralelos al descenso topográfico del terreno, que van buscando su salida (drenaje) hacia los cursos de los ríos que atraviesan y se encajan en la zona.

En general, la dirección predominante en las líneas de flujo es la E-O, desde las cotas altas de la Precordillera, hacia los cursos bajos de los ríos que circulan por la cuenca. Solamente, en el curso medio de la subcuenca del río Claro y en la subcuenca del estero Los Puercos, por la comuna de Pencahue, los flujos subterráneos se orientan de N a S. En este mismo sector de la cuenca, pero en la margen izquierda del río, los flujos, en materiales graníticos se organizan de S a N.

En el mapa se sitúan también las captaciones de agua que fueron utilizadas, en el año 2010, para la medición del nivel piezométrico en los acuíferos, a efecto de su uso en la futura modelización matemática de los acuíferos del río Maule (doc. RH100); de los 200 puntos que se midieron en toda la cuenca del Maule, en la UPH 6 se controlaron 70. Previamente, en el año 1999, fue realizada una campaña de medidas del NP en 63 pozos, algunos de ellos también medidos en el 2010 (doc. RH015). A efectos de interpretación hidrodinámica, sobre la posición más actualizada del nivel piezométrico en los acuíferos, las medidas que parecen más razonables de utilizar son las más recientes del 2010.

En los 70 puntos controlados, el NP, en el mes de octubre de 2010, se encontraba entre los 0,13 a 9,20 m de profundidad.

Mapa 6.17. Mapa Piezométrico de la Cuenca Media y Baja del Maule



En el mapa se representan las **isopiezas**, con equidistancia de 100 m, que fueron trazadas en el año 2008, para toda la Región del Maule, en el marco del estudio RH080 (se ha dispuesto del shp de la información SIG). Como puede apreciarse, estas se distribuyen más o menos paralelamente a la superficie topográfica del terreno y relativamente tangenciales a los cursos de agua que circulan por la cuenca. En la correspondiente cota marcada en el shp a cada isolínea, debe haber un error, pues estas aumentan de cota al ir descendiendo desde la topografía de la Precordillera. Sin embargo, su trayectoria parece razonable con el esquema de flujos subterráneos que se ha trazado. En el caso de la isopieza dibujada en el valle de la Depresión Intermedia, en donde se sitúan los acuíferos A9 y A10, su traza converge hacia el cauce del río Maule que, en definitiva, es el principal receptor de los flujos subterráneos que se producen en la cuenca media del Maule; la cota del nivel de agua en este sector debe estar en el entorno de los 150 msnm.

La presencia del nivel freático de los acuíferos A9 y A10, muy próximo con la cota topográfica de los cauces en algunos tramos de los ríos Claro y Maule, hizo prever la posibilidad de que se estuviese descargando el agua subterránea del acuífero a estos tramos ganadores de los ríos. En el doc. RH100 se indica que se ha comprobado la presencia de **afloramientos de agua subterránea**, que ya fueron referenciados anteriormente, al efectuar la modelización hidrológica del MAGIC en el 2008 (doc. RH080), en los 5 tramos siguientes de los ríos:

- Río Claro entre localidad de Itahue y la confluencia del río Lircay.
- Río Claro entre confluencias de los ríos Lircay y Maule.
- Río Maule aguas arriba de la confluencia con el río Loncomilla.
- Río Maule entre confluencias con los ríos Loncomilla y Claro.
- Confluencia entre ríos Claro y Maule.

Los afloramientos de mayor entidad están asociados al “cierre” que produce, en la circulación del agua subterránea de los aluviales de estos ríos, la presencia de las elevaciones montañosas, de muy baja permeabilidad, de la Cordillera de la Costa. El volumen de agua drenado en estos afloramientos a los cauces de los ríos, se estimó mediante una campaña de aforos realizada entre mayo y junio del 2011 (doc. RH150), en 10 m<sup>3</sup>/s en el río Claro y de 20 m<sup>3</sup>/s en el Maule.

La **evolución en el tiempo** del nivel piezométrico a lo largo de un periodo amplio de medidas, se ha podido analizar con los datos del nivel de agua tomados, en diferentes fechas, entre el periodo 1965-2015, en los puntos que se destacan en el Mapa 6.17 en color rojo. De los 8 puntos controlados, se aprecia que el NP sólo varía muy ligeramente entre periodos estacionales, pero se mantiene más o menos constante interanualmente, a lo largo del periodo de medidas.

## 6.6.5. Recarga subterránea. Balance hídrico

### 6.6.5.1. Recarga subterránea

Para la estimación de la recarga subterránea que se debe producir anualmente, como media, en las **formaciones hidrogeológicas de la CMBM**, se ha partido de la precipitación media anual registrada en la zona que, según el mapa de isoyetas consultado en el doc. RH155, realizado por la DGA en 2014, se sitúa entre valores de los 700 a 2.000 mm. Por ello, el aplicar un valor de precipitación media al conjunto de la cuenca de 1.350 mm/año parece razonable. La Depresión Intermedia, que es en donde se sitúan los acuíferos A9 y A10, se halla entre la isoyeta de 700 y 1.000 mm, con lo que la media podría estar en los 850 mm/año; en el curso bajo del río, por el que se extiende la mayor parte del acuífero A10, estaría sobre la isoyeta de 800 mm.

Partiendo de los valores de precipitación registrados en la cuenca, y mediante la aplicación, en su día, de modelos hidrológicos, en el capítulo 2 del presente informe se indica que la **aportación total** en la cuenca (recursos hídricos totales) es de **3.658,20 hm<sup>3</sup>/año**

Por los datos bibliográficos consultados, la infiltración del agua de precipitación en medios de baja a muy baja permeabilidad, podría ser de un 8% de la Pm, (según se ha justificado al describir otras UPH), como podría ser en el caso de las formaciones volcano-sedimentarias, metamórficas y graníticas que ocupan la mayor de la cuenca (el 64%). Para las formaciones de media a alta permeabilidad de los acuíferos **A9, A10 y A11**, este porcentaje se podría elevar hasta un 25% de Pm (según experiencias de otros estudios hidrogeológicos realizados). De acuerdo con estos porcentajes, la **infiltración** de agua subterránea las formaciones hidrogeológicas de la CMBM, se estima en la Tabla 6.22:

<b>Tabla 6.22. Infiltración de agua subterránea en la Cuenca Media y Baja del Maule</b>				
<b>Zonas</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Precipitación media (mm)</b>	<b>Infiltración (%)</b>	<b>Infiltración media (hm<sup>3</sup>/año)</b>
Acuífero A9	1.444	850	25	306,85
Acuífero A10	353	850	25	75,01
Acuífero A11	240	800	25	48
Resto Cuenca	3.627	1.350	8	391,7
<b>TOTAL</b>	<b>5.664</b>			<b>821,56</b>

Si a la aportación total estimada (escorrentía total), se le deduce la infiltración subterránea originada en las formaciones hidrogeológicas, la escorrentía superficial directa, sería:  $3.658,20 - 821,56 = 2.836,64 \text{ hm}^3/\text{año}$ . Esta escorrentía se recoge como agua superficial en los cauces que se encajan en la cuenca media y baja del Maule, aunque parte de ella, de modo temporal, puede quedar retenida en los embalses, menores, y lagunas existentes en la cuenca: Astillero, Viena, San Gerardo, Las Doscientas y la laguna El Junquillar. En el

embalse de Colbún, el de mayor capacidad de toda la Región VII, las aguas que se retienen son las producidas en la cuenca alta del Maule.

Dada la poca capacidad de almacenamiento de los “acuíferos” someros que se hallan en los sectores de fracturación, fisuración y meteorización de las rocas de muy baja permeabilidad, el agua infiltrada en estos acuíferos, después de cortos recorridos y tiempos de residencia limitados, vuelve a salir, a lo largo del año hidrológico, hacia los cauces de ríos y arroyos, para incorporarse a la circulación de agua superficial que se produce en ellos.

Los únicos acuíferos en el que las aguas subterráneas se almacenan y circulan una mayor distancia por su interior, son los **A9, A10 y A11**, en los que los 429,86 hm<sup>3</sup>/año estimados de su recarga anual deben embalsarse y retenerse durante un mayor tiempo, hasta acabar drenándose, de manera natural, por los sectores topográficos más bajos de sus afloramientos, que vienen a coincidir con los cauces de los ríos Claro y Maule. Por ello, estos afloramientos de materiales permeables deben actuar como embalses subterráneos reguladores de los 429,86 hm<sup>3</sup> que anualmente, como media de los recursos hídricos subterráneos, se renuevan en los acuíferos de la cuenca media y baja del Maule.

#### 6.6.5.2. Balance hídrico

Si se compara la cifra de las explotaciones máximas de aguas subterráneas que se pudiesen estar extrayendo del conjunto de la CMBM, de 163,65 hm<sup>3</sup>/año, según los valores de caudales concedidos y ajustados mediante el “factor de uso”, con la de los recursos hídricos evaluados que anualmente, como media, se infiltran y recargan en la misma, de 821,56 hm<sup>3</sup>/año, el **balance hídrico subterráneo global de la cuenca** es muy positivo, en 657,91 hm<sup>3</sup>/año. No obstante, hay que resaltar que, en la práctica, la mayor parte del agua infiltrada y recargada en los acuíferos someros, generados en y sobre la base de las formaciones de baja permeabilidad que afloran en la cuenca (391,7 hm<sup>3</sup>/año), es nuevamente drenada al medio exterior, para incorporarse a la circulación superficial que se genera en la misma.

Solamente los recursos hídricos infiltrados en los **acuíferos A9, A10 y A11** (429,86 hm<sup>3</sup>/año) están un mayor tiempo embalsados como aguas subterráneas, y van teniendo un drenaje subterráneo más lento hacia los ríos con los que están en contacto. El balance del conjunto de la Cuenca Media y Baja del Maule (UPH 6), podría ser el indicado en la Tabla 6.23:

**Tabla 6.23. Balance Hídrico Subterráneo de la UPH 6**

Medio Subterráneo	Área (km <sup>2</sup> )	ENTRADAS		SALIDAS		Excedentes Acuíferos (hm <sup>3</sup> /año)
		Componente	(hm <sup>3</sup> /año)	Componente	(hm <sup>3</sup> /año)	
Acuífero A9	1.444	Recarga directa	306,85	Extracciones pozos	121,78	185,07

Acuífero A10	353	Recarga directa	75,01	Extracciones pozos	36,75	38,26
Acuífero A11	240	Recarga directa	48,00	Extracciones pozos	4,08	43,92
Resto cuenca	3.627	Infiltración	391,70	Extracciones pozos	1,04	
				Salidas a cauces superficiales	657,91	
<b>Total</b>	<b>5.664</b>		<b>821,56</b>		<b>821,56</b>	<b>267,25</b>

Según estos datos, los excedentes de agua en los acuíferos A9, A10 y A11, serían de 267,25 hm<sup>3</sup>/año, aunque del conjunto de las aguas subterráneas que se infiltran en la cuenca, las salidas a los cauces, contabilizando también las aguas de estos tres acuíferos, ascenderían a 657,91 hm<sup>3</sup>/año.

Hay que resaltar que en el balance hídrico planteado, sólo se contempla como renovación anual de recursos hídricos en los acuíferos (recarga subterránea), la obtenida a partir de la infiltración directa que se origina de la precipitación media que anualmente se registra sobre sus afloramientos. Otras entradas adicionales, como serían, la infiltración de parte del agua superficial que circula por los ríos, en los tramos en los que estos son perdedores, la percolación del agua de riego y pérdidas de los canales, así como los aportes que, como aguas superficiales y subterráneas, se producen desde los relieves de la Precordillera, no se han tenido en cuenta, ya que son parte del mismo ciclo hídrico integral de la cuenca, sin tener en cuenta las distintas fases del mismo (superficial y subterráneo) con el que agua circula por su demarcación hidrológica.

Es decir, sería un balance simplificado de los acuíferos que, a efectos prácticos, como aun así son excedentarios, el resto del agua subterránea que podría recargarse en ellos, a partir de estos otros factores mencionados, pasaría directamente a salir, como drenaje natural, de los mismos, tal y como serían los afloramientos detectados en los cauces de los ríos Claro y Maule, además de otras salidas, más difusas, que se pudiesen estar originando a estos y otros cauces de la cuenca.

Entre las salidas contabilizadas a los cauces, se encuentran, como más evidentes, los afloramientos de aguas subterráneas que anteriormente se han mencionado, estimados en 10 m<sup>3</sup>/s al cauce del río Claro y 20 m<sup>3</sup>/s al del Maule (en el mes de mayo-junio de 2011), lo que totalizaría anualmente, si se mantuviese esa cantidad como media, un volumen de surgencias de 946 hm<sup>3</sup>/año. Es evidente, que buena parte de estas salidas son provenientes de las entradas “extra” que previamente se producen en los acuíferos, además de las directas originadas por la infiltración que se produce de parte de la precipitación registrada anualmente sobre sus superficies de afloramiento.

Ante este panorama, sería posible el incrementar las extracciones de agua subterránea de los acuíferos A9, A10 y A11, sin que disminuyera su NP, ya que el volumen de excedentes subterráneos naturales, de momento, es muy elevado.

#### 6.6.6. Reservas subterráneas

- Para el **acuífero A9** (depósitos piroclásticos volcánicos), de 1.444 km<sup>2</sup> de extensión, la potencia máxima que se supone puede presentar una mayor productividad de agua subterránea, sería la relativa a los primeros 100 m de la formación; si el NP se mueve entre una profundidad variable de 3 a 10 m, la potencia saturada de agua, en la que anualmente no varía su nivel de saturación, podría ser del orden de los 90 m. En función de estos datos, y teniendo en cuenta que el coeficiente de almacenamiento del acuífero puede variar entre 10<sup>-2</sup> y 10<sup>-4</sup>, las reservas de agua almacenadas se cuantifican en 562,15 hm<sup>3</sup>, estimadas de la siguiente manera:
  - en la parte del acuífero en la que este tiene un comportamiento libre, que se considera pudiese ser el 60% del mismo: 1.444 km<sup>2</sup> x 90 m x 10<sup>-2</sup> x 60% = 556,97 hm<sup>3</sup>.
  - en la parte del acuífero en la que esté confinado, que se considera pudiera ser el 40% restante: 1.444 km<sup>2</sup> x 90 m x 10<sup>-4</sup> x 40% = 5,18 hm<sup>3</sup>.
- En el **acuífero A10** (depósitos aluviales-coluviales), las reservas de agua se estiman sólo para la unidad hidrológica superior, que es la más productiva y de mayor permeabilidad, la que presenta una potencia variable, según los sectores, de entre 30 a 200 m; se aplica una media de 115 m para el conjunto de los 353 km<sup>2</sup> de su superficie. El NP, según las medidas realizadas en el 2010, se encuentra entre los 3 a 9 m de profundidad, por lo que se estima una potencia media saturada de agua, en toda la superficie de afloramiento, de unos 105 m. El S medido es del orden de 10<sup>-2</sup>, con lo cual se obtienen unas reservas subterráneas, susceptibles de explotación, de: 353 km<sup>2</sup> x 115 m x 10<sup>-2</sup> = 405,95 hm<sup>3</sup>.
- En el **acuífero A11** (aluvial del bajo Maule) su potencia se estima entre 10 a 100 m, según los puntos, por lo que una potencia media para el conjunto del afloramiento de 55 m parece razonable; como la profundidad media hasta el nivel freático oscila entre 2 y 7 m, la potencia media del acuífero saturada de agua, podría ser del orden de unos 50 m. Con estos valores y con una S del orden de 10<sup>-2</sup>, las reservas de agua almacenadas se estiman en: 240 km<sup>2</sup> x 50 m x 10<sup>-2</sup> = 120 hm<sup>3</sup>.

En la Tabla 6.24 se resume el volumen de aguas subterráneas almacenadas en los tres acuíferos principales de la Cuenca Media y Baja del Maule, que totalizan unos **1.088 hm<sup>3</sup>**.

**Tabla 6.24. Reservas de agua subterránea en los acuíferos de la Cuenca Media y Baja del Maule**

Acuífero	Área (km <sup>2</sup> )	Potencia media del acuífero con buena	Profundidad del NP (m)	Potencia saturada de agua (m)	Coeficiente de almacenamiento (S)	Reservas de agua subterránea (hm <sup>3</sup> )

		<b>permeabilidad (m)</b>				
A9	1.444	100	de 3 a 10	90	$10^{-2}$ y $10^{-4}$	562,15
A10	353	115	de 3 a 9	105	$10^{-2}$	405,95
A11	240	55	de 2 a 7	50	$10^{-2}$	120,00
<b>TOTAL</b>	<b>2.037</b>					<b>1.088,10</b>

#### **6.6.7. Modelización matemática**

Aunque en el año 2010 se planteaba la realización de un modelo matemático del flujo subterráneo, mediante el programa Visual MODFLOW, de los acuíferos del río Maule (doc. RH100), hasta la fecha, no se tiene conocimiento de que se haya realizado.

Lo que sí se ejecutó en el año 2008, fue la aplicación del Modelo Hidrológico MAGIC a toda la cuenca del río Maule –desarrollado por la DGA, permite integrar todas las componentes de un sistema hídrico (cauces, embalses, canales, zonas de riego, acuíferos) y obtener todos de los flujos de intercambio entre ellos– en el que fueron integrados los 25 sectores acuíferos delimitados en la cuenca, para ajustarse a las subcuencas superficiales de los ríos modelizados (doc. RH080).

#### **6.6.8. Calidad de las aguas subterráneas**

Las únicas referencias encontradas en los documentos consultados, sobre la calidad de las aguas subterráneas en la cuenca del río Maule, son las incluidas en:

- Doc.RH030 del 2003, en el que fueron muestreados y analizadas aguas de 20 pozos distribuidos por la cuenca. Según se indica en sus resultados, *todos los valores analizados se encuentran por debajo de los máximos estipulados para el uso del agua en consumo doméstico y regadío; solamente algunos valores aislados superan estos límites* (no se indica cuáles son estos).
- Doc. SAP010, también del 2003, en el que se indica que la calidad del agua subterránea es buena, con un bajo contenido en sólidos totales disueltos, que varía entre 88 mg/l en Linares hasta los 370 mg/l en la localidad de Pocillas. En toda la cuenca oscilan en torno a 150 a 200 mg/l.

#### **6.6.9. Áreas de protección ecológica asociadas a descargas subterráneas**

Que se conozca, en la UPH 6 no hay declarada ninguna zona de protección ecológica, aunque en la relación de Humedales de la Región del Maule consultada (shp del SIG), se relacionan 2 humedales asociados a: el embalse de Colbún (Lago Colbún), ubicado en el inicio del curso medio del río Maule y la Laguna El Junquillar, situada a unos 3,5 km al oeste de la localidad de Cumpeo, en la subcuenca del río Claro.

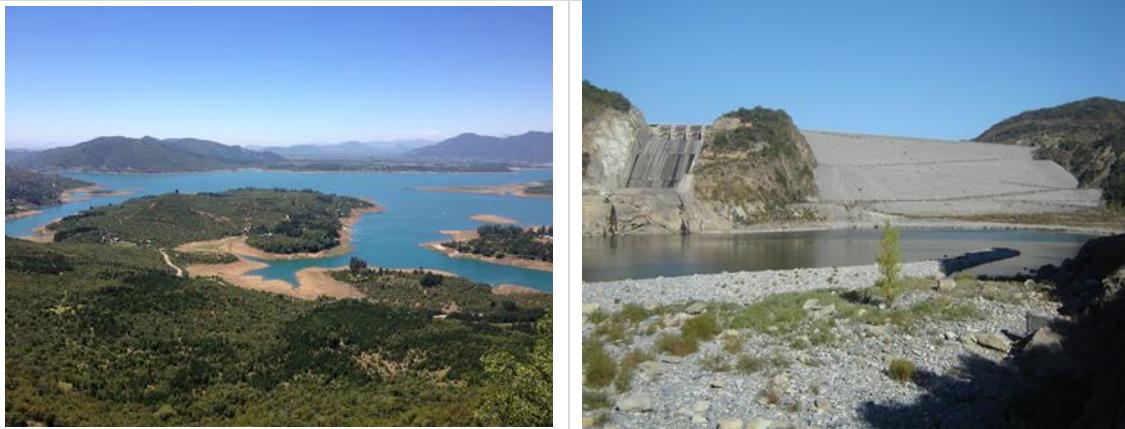


Foto 6.11. Lago Colbún (embalse) en el río Maule

## 6.7. Acuíferos en la Cuenca del Perquilauquén. UPH 7

Para la descripción hidrogeológica de la Cuenca del Perquilauquén (UPH 7), se han consultado los mismos documentos empleados para la CAM, además de los siguientes:

- (RH105) *Evaluación de los recursos hídricos subterráneos de la cuenca del río Cauquenes.* Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH). Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 2011.
- (RH190) *Evaluación de la disponibilidad de los recursos hídricos subterráneos en el Sector Acuífero Estero Belco y El Arenal.* Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH). Dirección General de Aguas. Ministerio de Obras Públicas, 2015.

### 6.7.1. Características hidrogeológicas. Acuíferos

#### 6.7.1.1. Hidrogeología

La Cuenca del Perquilauquén, que forma parte de la cuenca del río Maule, en su sector meridional, se extiende por una superficie de 5.988 km<sup>2</sup> (el 14,15% de la Región del Maule); parte de la cuenca, en su extremo sur, queda fuera de la Región VII el Maule, en 593 km<sup>2</sup>. Es drenada por el propio cauce del río Perquilauquén, en su curso completo, hasta la confluencia en el río Loncomilla, así como por sus afluentes, por la derecha, el río Catillo, que nace en la Cordillera de Los Andes, y, por la izquierda, los ríos Purapel y Cauquenes, que recogen el agua que se genera en el flanco oriental de la Cordillera de la Costa, y el Ñiquén, que también nace en la Cordillera de Los Andes y parte de su cuenca transita por la Región VIII de Biobio.

Como embalses reguladores se encuentran dos: el Digua, en el tramo alto del río Catillo, en la Precordillera, y el Tutuven, en la cabecera del río Cauquenes, en el flanco oriental de la Cordillera de la Costa.

Las formaciones hidrogeológicas que afloran en la UPH 7 son las siguientes:

- **Q1:** Depósitos detríticos aluviales del Cuaternario, constituidos por arenas, gravas, arcillas y limos, que se cartografián en el valle de la Depresión Intermedia, en un afloramiento, de 1.371 km<sup>2</sup> (el 22,90 % del total de la UPH 7), asociados a la dinámica fluvial del curso medio y bajo del río Ñiquén. Parte de su afloramiento (593 km<sup>2</sup>) se extiende hacia el Sur, fuera de los límites de la Región VII. Constituye el acuífero **A14** en la UPH 7.

Se desconoce la potencia de esta formación sedimentaria, sobre su sustrato rocoso, pues el perfil gravimétrico longitudinal realizado en el año 2006, a lo largo de la Depresión intermedia, no llegó a alcanzar a este afloramiento de la Q1 (doc. RH100). El único dato, orientativo, de la potencia del tramo superior, más permeable, de esta formación detrítica, se ha obtenido a partir de la profundidad alcanzada por los sondeos más penetrantes perforados en el acuífero que, según las relaciones del catastro de pozos realizado en la cuenca del Maule en el 2008 (doc. RH080) y de la red de puntos con medidas de profundidad de obra y del NP tomados en el año 2010 (doc. RH100), esta sería de unos 210 m.

- **PI3t.** Depósitos piroclásticos asociados a calderas de colapso, del Pleistoceno, que se cartografián, en un afloramiento de 1.874 km<sup>2</sup> de extensión (el 31,30% del total de la UPH 7), dispuesto en la mitad norte de la cuenca, siendo atravesado, en su sector occidental, por el curso bajo del río Perquilauquén; la gran superficie de su afloramiento se extiende, hacia el Norte, por la UPH 8, en una extensión de 215 km<sup>2</sup>. Constituye un acuífero con permeabilidad de grado medio, en el que la potencia con mayor productividad hídrica del acuífero se estima en unos 200 m, coincidiendo con la profundidad máxima que han alcanzado los sondeos perforados en él. Constituye el acuífero **A13** en la UPH 7.

- **OM2c,** Secuencias volcano-sedimentarias de lavas, rocas epiclásicas y piroclásticas, con intercalaciones de niveles detríticos sedimentarios, de edad terciaria. Afloran en la Precordillera y Cordillera de Los Andes, cubriendo una superficie de 377 km<sup>2</sup>, distribuida en dos sectores, separados por una intrusión granítica. Son formaciones de baja permeabilidad, aunque al nivel local se puedan localizar reducidos niveles acuíferos, de carácter somero, con muy baja productividad hídrica.

- **Pzab.** Formación metamórfica del Paleozoico, compuesta por pizarras, filitas y metaarenitas, que afloran en un reducido afloramiento, de 90 km<sup>2</sup>, en el borde occidental de la cuenca, en la zona de la Cordillera de la Costa. Esta formación presenta muy baja permeabilidad en su conjunto, localizándose solamente reducidos niveles acuíferos asociados a los puntos de mayor meteorización y/o fracturación de las rocas. De las

captaciones existentes en la cuenca, 4 se localizan en estos materiales metamórficos, pudiendo ser utilizadas para atender necesidades muy puntuales de agua.

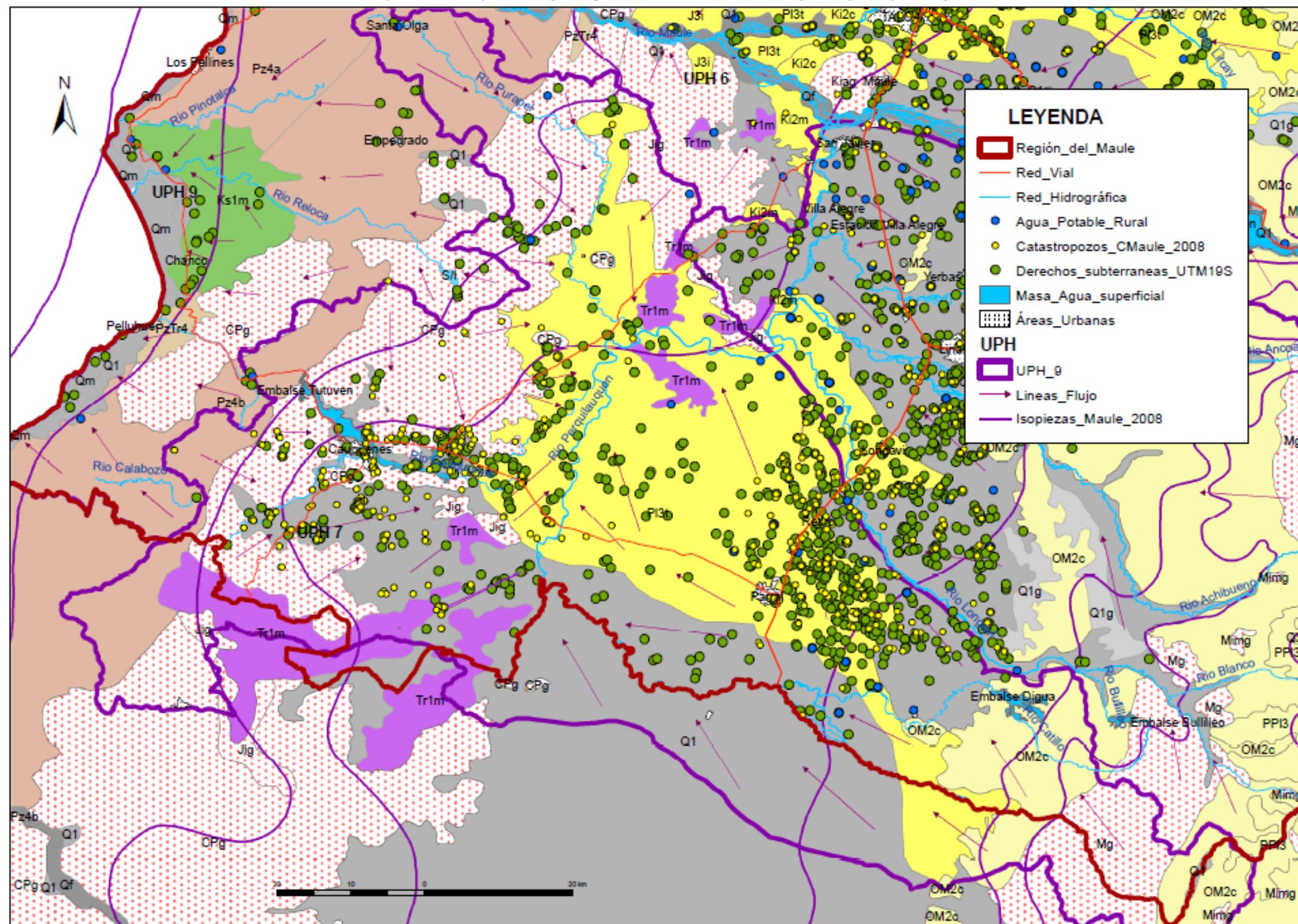
• **CPg y Mg.** Rocas eruptivas de carácter ígneo, que presentan una permeabilidad muy baja en su conjunto, solamente incrementada en reducidos niveles acuíferos asociados a los tramos superiores, fracturados y diaclasados, de los macizos graníticos, y a los niveles de alteración y meteorización de la roca (lehm). Se encuentran dos afloramientos, que en su conjunto ocupan una superficie de 2.276 km<sup>2</sup> (el 38% del total de la UPH 7): uno en el sector occidental de la cuenca (CPg), margen izquierda del Perquilauquén, en las estribaciones de la Cordillera de la Costa, y otro en el extremo oriental de la misma, en el dominio de la Cordillera de Los Andes.

En el Mapa Hidrogeológico de la Cuenca del Perquilauquén (Mapa 6.18) se representa la cartografía de las formaciones litológicas descritas y la posición que tienen, sobre ellas, las captaciones con derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, concedidos por la DGA, aquellas de las que se ha dispuesto de sus coordenadas geográficas (614). Se sitúan también las captaciones que, con derechos de aprovechamiento concedidos, se emplean en abastecimiento rural (26). Del doc. RH100, se ha obtenido la relación de 341 pozos inventariados en el año 2008, que también se sitúan en el mapa.

Así mismo, se indica la dirección y sentido que pueden tener los flujos de agua subterráneos que se originan dentro del conjunto de la cuenca, y la distribución de las isopiezas regionales trazadas en el doc. RH080, del que se ha dispuesto de su información SIG (shp).

La leyenda de las formaciones geológicas que afloran en la cuenca puede verse en el MHRM (Mapa 4.1), incluida anteriormente en el presente informe.

Mapa 6.18. Mapa Hidrogeológico de la Cuenca del Perquilauquén (UPH 7)



### 6.7.1.2. Acuíferos

En el Mapa 6.18 se refleja la ubicación de los acuíferos identificados y delimitados en la Cuenca del Perquilauquén (UPH 7):

#### • A13. Formación volcánica sector sur Depresión Intermedia

Este acuífero lo constituye la formación volcánica del Pleistoceno (**PI3t**), compuesta por depósitos piroclásticos asociados a calderas de colapso, erupcionados en el valle de la Depresión Intermedia, ocupando una superficie de 1.875 km<sup>2</sup> en la mitad norte de la UPH 7; parte del mismo, en su extremo septentrional, pasa a la UPH 8, en una extensión de 215 km<sup>2</sup>. En su sector occidental, es atravesado por los cauces bajos de los ríos Perquilauquén, Purapel y Cauquenes; la parte de afloramiento situado en la UPH 8 es cruzado por el río Loncomilla. Aunque esta formación acuífera está compartida por las dos UPH, 7 y 8, en el presente apartado, se va a estudiar el comportamiento hidrogeológico en su conjunto, ya que el funcionamiento hidrodinámico de los dos sectores está relacionado entre sí, y en la presente UPH 7 se halla la mayor extensión de la formación volcánica acuífera.

Por su borde meridional está en contacto hidrogeológico, discordante, con los materiales aluviales-coluviales detríticos que conforman el acuífero A14, por lo que, por este sector sur del acuífero A13, se considera que ambos acuíferos deben estar en contacto subterráneo directo.

Es un acuífero con comportamiento hidrodinámico, en general, libre, de tal modo que su **recarga** se establece, principalmente, por la infiltración directa de parte de la precipitación que se registra sobre su afloramiento, por la percolación del agua de riego y de las pérdidas de los canales que se emplean en el regadío de los cultivos existentes sobre su superficie, por la infiltración de parte de la escorrentía superficial que circula por los cauces de los ríos que lo cruzan, en sus tramos altos, y por los aportes laterales, superficiales y subterráneos, que se producen desde la formación volcano-sedimentaria OM2c, que hace de límite, de baja permeabilidad, del acuífero, por su flanco oriental.

Su **descarga** natural se produce hacia los cauces de los ríos que están en contacto con el acuífero, por el sector topográfico más bajo del afloramiento (ríos Perquilauquén, Purapel, Cauquenes y Loncomilla), y, de modo artificial, a través de los bombeos de agua originados por las 411 captaciones con derechos de explotación que hay autorizadas por la DGA.

La potencia de los depósitos volcánicos piroclásticos, más permeables y explotables de aguas subterráneas, es del orden de unos 200 m, según indica la profundidad máxima alcanzada por los sondeos perforados en el acuífero (doc. RH 100).

#### • A14. Aluvial-Coluvial extremo meridional Depresión Intermedia

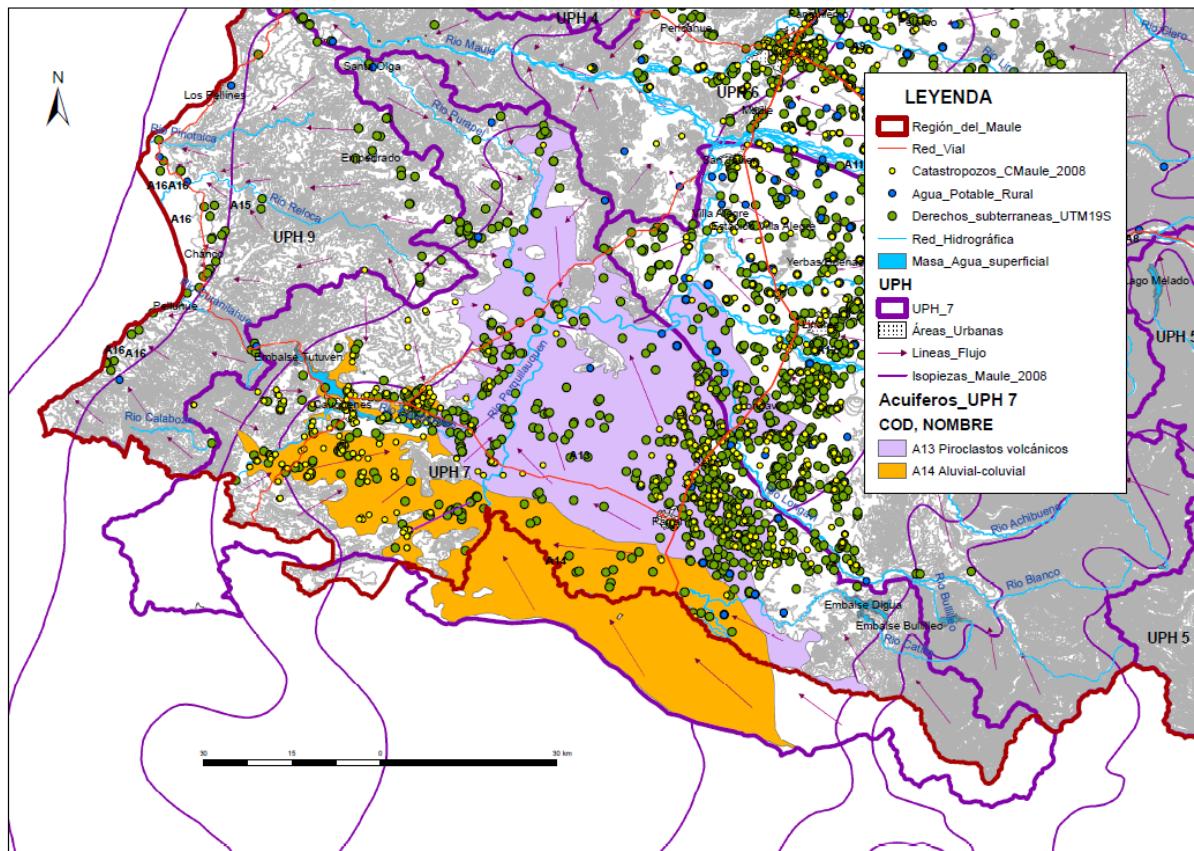
Acuífero que ocupa el valle de la Depresión Intermedia, dividido en dos sectores, que en su conjunto ocupan una superficie de 1.371 km<sup>2</sup>: el sector oriental, el de mayor tamaño, asociado a la dinámica fluvial del río Ñiquén, que en parte se extiende hacia el Sur, por fuera del límite meridional de la Región del Maule, en una superficie de 593 km<sup>2</sup>; y el sector occidental, en la subcuenca del río Cauquenes. Ambos ríos, son los ejes del drenaje subterráneo del acuífero en su correspondiente sector.

Litológicamente, constituido por una formación sedimentaria detrítica aluvial (Q1), con una elevada porosidad intersticial, compuesta por arenas, gravas, arcillas y lentejones de limos, entremezclados en diferentes proporciones y formando horizontes de espesores variables, que se presentan en forma alternante en el sentido vertical de su potencia, lo que ocasiona una heterogeneidad en la permeabilidad del acuífero, con rangos de tipo bajo-alto. La **potencia** de la unidad superior del acuífero aluvial, de mayor permeabilidad y, por consiguiente, mayor productividad hídrica, puede que varíe entre los 30 a 200 m de espesor, según los sectores, sobre la base más arcillosa y de menor productividad del acuífero; concretamente en la subcuenca del Cauquenes, la potencia más permeable dada al acuífero es de 50 m (doc. RH105). Su sustrato rocoso, de muy baja permeabilidad, se desconoce a la profundidad en la que se encuentra, aunque por los datos comprobados, en este mismo tipo de sedimentos de la Depresión Intermedia, este debe estar, por lo general, por debajo de los 350 m de profundidad; en la subcuenca del Cauquenes, mediante la geofísica ejecutada, se localizó entre los 300 a 350 m de profundidad (doc. RH105).

Constituye un buen acuífero para la explotación de las aguas subterráneas, con un comportamiento hidrodinámico en estado libre, de tal modo que su **recarga** de agua proviene, en su mayor parte, de la infiltración directa de parte del agua de lluvia que se registra sobre su afloramiento, así como por la infiltración de parte del agua superficial de los ríos Ñiquén Cauquenes, al transitar sobre la formación, y de la percolación del agua de riego y pérdidas de los canales que se emplean en el regadío de los cultivos existentes sobre su superficie. Lateral y subterráneamente, puede que haya traspase de agua desde el acuífero **A13**, volcánico, situado al Norte, con el que está en contacto, tal y como se refleja con la traza de los flujos subterráneos marcada.

Las **descargas** del acuífero se producen, de manera natural, hacia los cauces bajos de los ríos Ñiquén y Cauquenes, en sus confluencias con el río Perquilauquén, en donde se han detectado importantes afloramientos de agua subterránea (doc. RH100). De modo artificial, se descarga por la explotación de las captaciones que drenan directamente el acuífero que, según el Catastro de Derechos de Aprovechamiento de Aguas, ascienden a 122.

*Mapa 6.19. Situación geográfica de los acuíferos en la UPH 7*



### 6.7.2. Características hidrodinámicas

Los parámetros hidrodinámicos de los **acuíferos A13** (piroclastos volcánicos) y **A14** (depósitos detríticos) se han obtenido de los documentos RH090 (año 2008), obtenidos con los ensayos de bombeo realizados en 64 pozos de la cuenca del Maule, al finalizar su perforación, y del RH100 (año 2010), que fueron obtenidos también mediante pruebas de gasto, en los distintos acuíferos (16 sectores) identificados en la cuenca del Maule. De ambos documentos, los valores para la Cuenca del Perquilauquén se obtienen para el conjunto de las formaciones acuíferas explotadas en ella, por lo que al tratar de establecer una diferenciación entre los parámetros que puedan tener, por separado, los acuíferos A13 y A14, no ha sido fácil de realizar; además, en algunos de los parámetros obtenidos, sobre todo en el de la T cuantificada, los valores anotados en cada uno de los documentos son bastante diferentes. No obstante, tratando de hacer un resumen más o menos realista de los mismos, se ha elaborado la Tabla 6.25 adjunta.

**Tabla 6.25. Parámetros hidrodinámicos de los acuíferos en la Cuenca del Perquilauquén**

Acuíferos	Área (km <sup>2</sup> )	Litología	Transmisividad (m <sup>2</sup> /día)	Permeabilidad (m/día)	Coef. almacenamiento
A13	1.874	Piroclastos volcánicos	entre 100 a 7.800	10,3 a 19,8	10 <sup>-2</sup> a 10 <sup>-4</sup>
A14	1.371	Detritico aluvial	10 a 390	0,51 a 14,6	10 <sup>-2</sup> a 10 <sup>-4</sup>

De acuerdo con estos valores, la transmisividad de los acuíferos se mueve en un rango muy amplio de baja a muy alta, lo que denota la heterogeneidad, de los mismos; la T más baja se ha cuantificado en la cuenca alta del río Purapel. La permeabilidad es de tipo medio a alto. El coeficiente de almacenamiento presenta valores correspondiente a acuíferos en estado hidrodinámico libre ( $10^{-2}$ ) y confinado ( $10^{-4}$ ); sin embargo, en el doc. RH100, todos los S los da con valores de libre (entre 0,09 a 0,5 para el **A13** y 0,03 a 0,08 para el **A14**).

Del **resto de formaciones** aflorantes en la cuenca del Perquilauquén (rocas volcánicas sedimentarias, metamórficas y graníticas), no se dispuesto de ningún dato cuantitativo, pero dada su naturaleza litológica se considera que la permeabilidad de las mismas varía entre baja a muy baja (entre 1 y menos de 0,01 m/día).

### 6.7.3. Captaciones de agua subterránea. Explotaciones

La referencia disponible sobre el número de **captaciones existentes** en la Cuenca del Perquilauquén, es la proporcionada por la DGA, en cuanto a los derechos de aprovechamiento solicitados y concedidos en esta zona (doc. RH180). El número de ellas, de las que se ha dispuesto de las coordenadas geográficas de su ubicación, ascienden a 614 en la demarcación de la UPH 7, que se distribuyen por las siguientes formaciones hidrogeológicas: 411 en el afloramiento de rocas volcánicas que constituyen el acuífero **A13**; 122 en los depósitos aluviales-coluviales del acuífero **A13**; y 81 en materiales varios el resto de la cuenca.

De estas captaciones, en 26 de ellas se tiene constancia (según se ha visto en la tabla Excel *Captaciones utilizadas como Agua Potable Rural*), de que son utilizadas en el abastecimiento doméstico. La ubicación de todas las captaciones se presenta en el Mapa 6.19.

Se desconoce el tipo de captaciones que son, pues la base de datos de la DGA no lo indica, aunque se supone que en su mayor parte deben ser pozos y sondeos, de variable profundidad. Así mismo, se desconoce el uso que se le da al agua extraída de cada captación.

La **profundidad de obra** de estas captaciones tampoco se indica en la relación de la DGA, por lo que el dato que se ha utilizado procede de la relación de 341 captaciones del catastro realizado en el 2008 (doc. RH080), de la red de 62 puntos con medidas de profundidad de obra y NP tomados en el año 2010 (doc. RH100), así como con la red de 49 piezómetros del 1999 (doc. RH015), algunos de los cuales son coincidentes con los de la primera relación. Según estas tres relaciones, las profundidades de obra de las captaciones, en su mayoría sondeos (ya que sólo hay 8 con menos de 20 m de profundidad, asimilable a pozos), oscila entre 4 y 200 m, habiendo solamente 8 que superan esta profundidad, hasta un máximo de 355 m en un sondeo localizado en La Pitigua (comuna de San Javier), utilizado para abastecimiento de la población.

Los **caudales de extracción concedidos** a las 614 captaciones registradas en la UPH 7, oscilan entre los 0,04 y los 130 l/s, siendo lo normal que los caudales no excedan de los 100 l/s, según se desprende de la siguiente distribución por tramos de explotación: hay 351 pozos con un caudal inferior a los 10 l/s, 111 con caudal concedido entre 10 a 30 l/s, 88 con 30 a 60 l/s, 58 con 60 a 100 l/s y 8 con un caudal superior a 100 l/s.

El volumen total de extracción de agua subterránea que concedida asciende a 11.903 l/s que, de extraerse todo él de manera continuada, daría un volumen anual de explotación de **375,39 hm<sup>3</sup>/año**. Este sería un volumen máximo de extracción, ya que es prácticamente imposible que en todas las captaciones se esté extrayendo todo el caudal concedido, en l/s, de modo continuo. Por otro lado, a este volumen de concesiones, habría que sumarle los caudales de aquellas otras captaciones de agua que, al no disponer de sus coordenadas geográficas, no han sido consideradas ni evaluadas en este cálculo; se desconoce el número de ellas.

Con el objeto de ajustar la cifra de extracciones concedidas, a la que en realidad se esté explotando en la cuenca, se han utilizado dos factores, extraídos de estudios anteriormente realizados en la zona:

- El “factor de uso” utilizado por la DGA, que es representativo de la eficiencia del uso del recurso hídrico y corrige el volumen de agua en realidad explotado, que fue aplicado para la calibración del modelo matemático realizado en el año 2012 en los acuíferos de la Cuenca del Mataquito, es el siguiente (doc. RH130):

USOS	FACTORES
Agua Potable	0,75
Riego	0,20
Industrial	0,30
Doméstico	0,75
Otros	0,40

- Aplicando el reparto de consumos, entre los diferentes usos, que se desprende de los datos obtenidos en campo, mediante el catastro de 460 captaciones de agua subterránea que se realizó en el año 2008 (doc. RH080), en el que se resuelve que los recursos hídricos subterráneos extraídos, según las encuestas efectuadas, se distribuyen entre agua potable (el 77,67%), riego (17,32%) e industria (5%), el total de la cifra de derechos concedidos, podría quedar de la siguiente manera, tal y como se expone en la Tabla 6.26:

<b>Tabla 6.26. Caudales de extracción estimados en la UPH 7, según su uso</b>				
<b>Uso del agua</b>	<b>Distribución por uso (%)</b>	<b>Caudal concedido (hm<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Factor de uso</b>	<b>Explotación corregida según el factor de uso (hm<sup>3</sup>/año)</b>
Agua Potable	77,67	291,57	0,75	218,67
Riego	17,32	65,02	0,20	13,00
Industrial	5,00	18,77	0,30	5,63
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>	<b>375,39</b>		<b>237,31</b>

De los 375,39 hm<sup>3</sup>/año, con Derechos de Aprovechamiento de Aguas otorgados, solamente se estarían explotando unos **237,31 hm<sup>3</sup>/año**, lo que supone una reducción del 63,21% del caudal concedido.

Aplicando este mismo porcentaje de reducción a los aprovechamientos de agua concedidos por acuíferos, se tendría:

<b>Tabla 6.27. Caudales de extracción estimados en la UPH 7, por zonas</b>					
<b>Zonas</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Derechos de Aprovechamiento de Aguas (Nº)</b>	<b>Caudal concedido (hm<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Factor de uso, integral</b>	<b>Explotación corregida (hm<sup>3</sup>/año)</b>
Acuífero A13	1.874	411	298,02	0,6321	188,39
Acuífero A14	1.371	122	51,41	0,6321	32,51
Resto UPH 7	2.743	81	25,96	0,6321	16,41
<b>TOTAL</b>	<b>5.988</b>	<b>614</b>	<b>375,39</b>		<b>237,31</b>

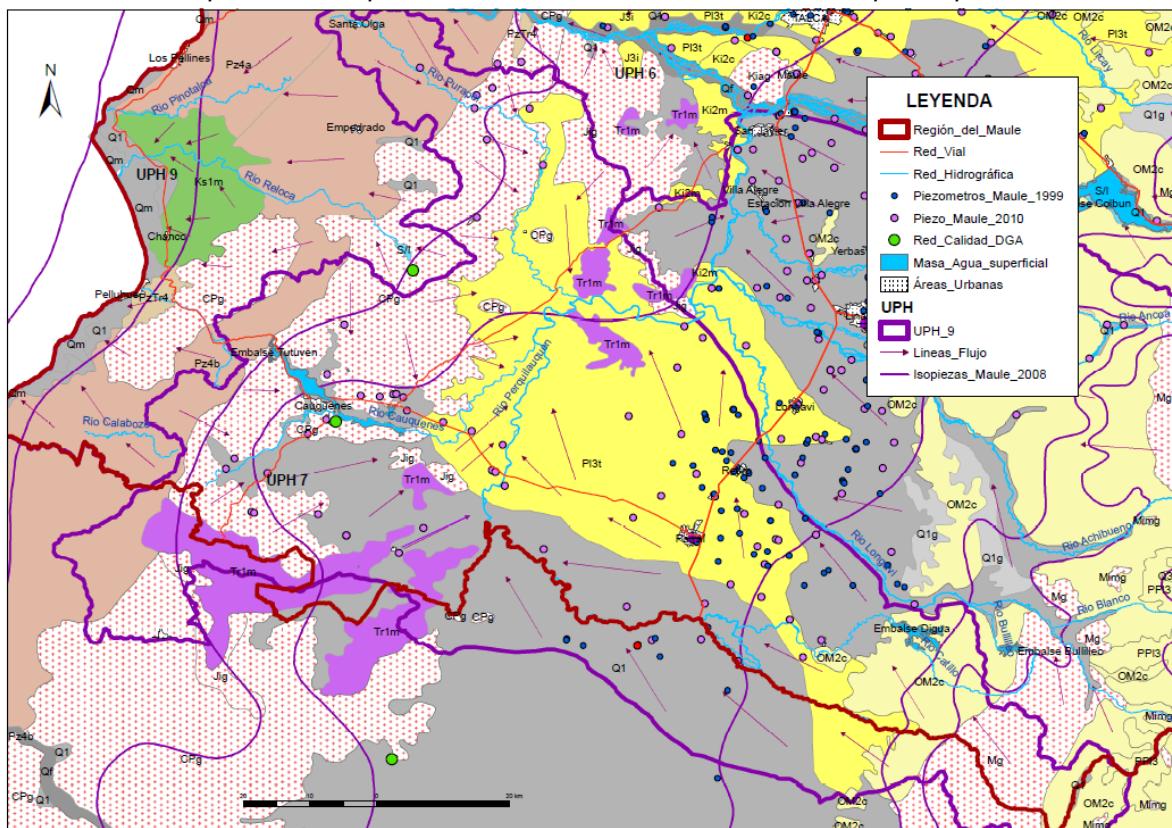
#### 6.7.4. Niveles de agua. Flujos subterráneos

En el Mapa Piezométrico 2.24 se representa la dirección y sentido de los flujos del agua subterránea que se han trazado en la Cuenca del Perquilauquén, teniendo en cuenta la configuración topográfica de la misma, así como la interpretación del funcionamiento hidrogeológico e hidrodinámico de las formaciones acuíferas que afloran en ella.

También se incluyen las **isopiezas**, con equidistancia de 100 m, que fueron trazadas en el año 2008, para toda la Región del Maule, en el marco del estudio RH080 (se ha dispuesto del shp de la información SIG). Como puede apreciarse, estas se distribuyen más o menos

paralelamente a la superficie topográfica del terreno y tangenciales a los cursos de agua que circulan por la cuenca. Solo se cuenta con las isolíneas dibujadas en la zona de la Precordillera y Cordillera de Los Andes, así como las trazadas en el flanco occidental de la Cordillera de la Costa. En la Depresión Intermedia, que es donde se encuentran los principales acuíferos identificados, en la citad capa SIG, no se dibuja ninguna isolíneas.

*Mapa 6.20. Mapa Piezométrico de la Cuenca del Perquilauquén*



En general, la dirección predominante en las líneas de flujo es la E-O, desde las cotas altas de la Cordillera de los Andes, hacia el valle bajo del río Perquilauquén, que circula por la Depresión de Sur a Norte; y de O-E, desde las cotas altas de la Cordillera de la Costa, hasta confluir también en el mismo cauce. De acuerdo con este esquema hidrodinámico, el flujo de toda el agua subterránea generada en la cuenca, acaba por drenarse en el curso bajo del río Perquilauquén, zona en la que se han detectado importantes afloramientos de agua subterránea de los acuíferos A13, principalmente, y A14.

En el mapa se sitúan también las captaciones de agua que fueron utilizadas, en el año 2010, para la medición del nivel piezométrico en los acuíferos, a efecto de su uso en la futura modelización matemática de los acuíferos del río Maule (doc. RH100); de los 200 puntos que se midieron en toda la cuenca del Maule, en la del Perquilauquén se controlaron 62.

Previamente, en el año 1999, fue realizada una campaña de medidas del NP en 49 pozos, algunos de los cuales también fueron medidos en el 2010 (doc. RH015). A efectos de interpretación hidrodinámica, sobre la posición más actualizada del nivel piezométrico en los acuíferos, las medidas que parecen más razonables utilizar son las más recientes, tomadas en noviembre del 2010; las del año 1999, no indican la fecha de toma.

En los 62 puntos controlados en el 2010, el NP se encontraba entre los 0,04 a 1,58 m de profundidad en el acuífero **A13**, y entre 0,02 a 2,14 en el **A14**, que deben responder a medidas de época de recarga y menor explotación de agua en el acuífero. En las medidas del 1999, se anotaba hasta un valor máximo de profundidad del NP de 16,52 m en **A13** y de 28,60 m en el **A14**, debiendo coincidir con fechas de mayor depresión, por los bombeos, del nivel de agua en los dos acuíferos.

En las cotas topográficas más bajas del valle de la Depresión, en donde confluyen los cauces de los ríos Ñiquen, Cauquenes y Purapel, en el curso bajo del Perquilauquén, el NP de los dos acuíferos se halla muy próximo a la cota topográfica de los citados cauces, por lo que en ellos se están produciendo descargas subterráneas, tal y como se indica en el doc. RH100 del 2010, donde se mencionan los siguientes afloramientos:

- Confluencia entre ríos Perquilauquén y Estero Torreón
- Confluencia entre ríos Perquilauquén y Purapel
- Confluencia entre ríos Perquilauquén y Cauquenes
- Confluencia entre ríos Perquilauquén y Ñiquén

Estas descargas subterráneas del acuífero son debidas al “cierre” de muy baja permeabilidad, que experimentan los afloramientos de las intrusiones graníticas que se hallan en el borde occidental de la cuenca; esta barrera impermeable obliga a ascender los flujos subterráneos del acuífero y descargarse en los cauces de los ríos (tramos ganadores). El volumen de agua drenado a los cauces, se estimó mediante una campaña de aforos realizada entre mayo y junio del 2011 (doc. RH150), en un total de 23,52 m<sup>3</sup>/s entre los 4 afloramientos.

La **evolución en el tiempo** del NP, no se ha podido constatar con medidas directas en las captaciones existentes, pero se considera, a la vista del resultado final del balance hídrico del acuífero, que se verá en el siguiente apartado, y a la existencia de los afloramientos cuantificados, que este debe permanecer estable interanualmente. Solamente debe estar experimentando variaciones estacionales, a lo largo del año hidrológico, asociadas a los períodos de estiaje, con mayor extracción de agua y disminución de la recarga.

En el estudio doc. EH040 se propone el control del nivel de agua en el “Pozo Parral”, ubicado en el núcleo urbano de esta población, e hidrogeológicamente situado en el acuífero detrítico **A14**.

## 6.7.5. Recarga subterránea. Balance hídrico

### 6.7.5.1. Recarga subterránea

Para la estimación de la recarga subterránea que se debe producir anualmente, como media, en las **formaciones hidrogeológicas de la Cuenca del Perquilauquén**, se ha partido de la precipitación media anual registrada en la cuenca, teniendo en cuenta el mapa de isoyetas realizado por la DGA en 2014 (doc. RH15).

Dado que esta cuenca, en su conjunto, presenta dos zonas hidrológicas netamente diferentes, separadas por el curso bajo del río Perquilauquén, para estimar la escorrentía total que se origina anualmente en la misma, se han tenido en cuenta estas dos zonas: la margen derecha (MD) del río, que se encuentra entre valores de 800 a 3.000 mm de precipitación anual; y la margen izquierda (MI), subcuenca de los ríos Cauquenes y Purapel, que se halla entre la isoyeta de 800 a 700 mm. Por ello, el aplicar un valor de precipitación media a la MI de 750 mm, parece razonable. Sin embargo, en la MD, a su vez, también hay dos sectores climatológicos, netamente diferentes: el sector de la Precordillera y Cordillera, que se sitúa entre la isoyeta de 1.500 a 3.000 mm (con una media de 2.250 mm), y el sector de la Depresión, que es en donde se encuentran los afloramientos de los acuíferos **A13** y **A14**, y se sitúa entre la isoyeta de 1.500 a 800 mm (con una media de 1.150 mm). De acuerdo con estos datos de partida, se ha calculado:

- **Escorrentía total cuenca.** En el doc. RH020 (cuadro 9.3-1) se aplica para una precipitación del orden de los 750 mm, un porcentaje del 24% de Pm al calcular la escorrentía total que se origina en la cuenca; para 1.150 mm un 35% y para los 2.250 mm un 50%. Con este criterio, en la Tabla 6.28 se anotan los valores estimados de los parámetros hidrológicos, para obtener la escorrentía total de la misma (lluvia útil):

**Tabla 6.28. Parámetros hidrológicos de la Cuenca del Perquilauquén**

Zonas		Área (km <sup>2</sup> )	Precipitación Pm (mm/año)	Evapotranspiración (mm/año)	Escorrentía total (mm/año)	Escorrentía total media	
						(hm <sup>3</sup> /año)	(m <sup>3</sup> /s)
MD río	Precordillera y Cordillera	813	2.250	1.125 (50% Pm)	1.125 (50% Pm)	914,63	29,00
	Depresión Intermedia	2.237	1.150	748 (65% Pm)	403 (35% Pm)	900,39	28,55
MI río	Cauquenes y Purapel	2.938	750	570 (76% Pm)	180 (24% Pm)	528,84	16,77
<b>Total</b>		<b>5.998</b>				<b>2.343,86</b>	<b>74,32</b>

Partiendo de los valores de precipitación registrados en la cuenca, y mediante la aplicación, en su día, de modelos hidrológicos, en el capítulo 2 del presente informe, se indica que la **aportación total** en la cuenca (recursos hídricos totales) es de **2.347,80 hm<sup>3</sup>/año**.

- **Infiltración aguas subterráneas.** En los datos bibliográficos consultados, la infiltración del agua de precipitación en medios de baja a muy baja permeabilidad, podría ser de un 8% de Pm, como podría ser en el caso de las formaciones volcano-sedimentarias, metamórficas y graníticas que afloran en la cuenca. Para las formaciones de media a alta permeabilidad de los acuíferos **A13** (piroclastos volcánicos) y **A14** (depósitos detríticos) este porcentaje puede ser de un 25%. De acuerdo con estos porcentajes, la infiltración de agua subterránea en las formaciones hidrogeológicas de la UPH 9, se estiman en la Tabla 6.29.

**Tabla 6.29. Infiltración de agua subterránea en la UPH 7**

Zonas	Área (km <sup>2</sup> )	Precipitación media (mm)	Infiltración (%)	Infiltración media (hm <sup>3</sup> /año)
Acuífero A13	1.874	1.150	25	538,78
Acuífero A14	1.371	1.150	25	394,16
Resto Cuenca	2.743	1.383	8	303,56
<b>TOTAL</b>	<b>5.988</b>			<b>1.236,50</b>

- En consecuencia, la **escorrentía superficial directa**, sería:  $2.343,86 - 1.236,50 = 1.107,36 \text{ hm}^3/\text{año}$ . Esta escorrentía se concentra como agua superficial en los cauces de los ríos existentes, desembocando posteriormente en el río Loncomilla, del que es tributario el Perquilauquén. La cuenca, cuenta la regulación superficial de los embalses Digua, en el río Catillo, y Tutuvén, en el río Cauquenes, además de los esteros de Belco, El Arenal y Torreón.

Dada la poca capacidad de almacenamiento de los “acuíferos” someros que se hallan en las formaciones volcano-sedimentarias, metamórficas y graníticas, el agua infiltrada en estos, después de cortos recorridos y tiempos de residencia limitados, vuelve a salir a lo largo del año hidrológico hacia los cauces de ríos y arroyos, para incorporarse a la circulación del agua superficial que se produce en los mismos.

Los únicos acuíferos en los que las aguas subterráneas se almacenan y circulan una mayor distancia por su interior, son el **A13** y **A14**, en los que los  $932,94 \text{ hm}^3/\text{año}$  estimados de su recarga total anual, se embalsan y retienen durante un mayor tiempo, hasta acabar drenándose, de manera natural, por los sectores topográficos más bajos de sus afloramientos, que coinciden con los cauces bajos de los ríos Perquilauquén, Purapel, Cauquenes y Ñiquén. En esta zona se concentran los afloramientos de las descargas subterráneas, que fueron estimadas, en mayo y junio del 2011, en un total de  $23,52 \text{ m}^3/\text{s}$  (doc. RH150), equivalentes, si se mantuviesen durante todo el año, a  $741,72 \text{ hm}^3/\text{año}$ .

### 6.7.5.2. Balance hídrico

Si se compara la cifra de las explotaciones máximas de aguas subterráneas que se pudiesen estar extrayendo del conjunto de la UPH 7, prácticamente todas ellas concentradas en los acuíferos **A13**, mayormente, y **A14**, de 237,31 hm<sup>3</sup>/año – según los valores de caudales concedidos y ajustados mediante el “factor de uso” – con la de los recursos hídricos evaluados que anualmente, como media, se infiltran y recargan en la misma, de 1.236,50 hm<sup>3</sup>/año, el **balance hídrico subterráneo global de la cuenca** es muy positivo, en 999,19 hm<sup>3</sup>/año.

Hay que resaltar que, en la práctica, la mayor parte del agua infiltrada y recargada en los acuíferos someros, generados en y sobre la base de las formaciones de baja permeabilidad que afloran en la cuenca (303,56 hm<sup>3</sup>/año), es nuevamente drenada al medio exterior, para incorporarse a la circulación superficial que se genera en la misma.

Solamente los recursos hídricos infiltrados en los **acuífero A13** y **A14** (932,94 hm<sup>3</sup>/año) están un mayor tiempo embalsados como aguas subterráneas, y van teniendo un drenaje subterráneo más lento hacia los ríos con los que están en contacto. El balance del conjunto de la Cuenca del Perquilauquén (UPH 7), sería el indicado en la Tabla 6.30.

**Tabla 6.30. Balance Hídrico Subterráneo de la UPH 7**

Medio Subterráneo	Área (km <sup>2</sup> )	ENTRADAS		SALIDAS		Excedentes Acuíferos (hm <sup>3</sup> /año)
		Componente	(hm <sup>3</sup> /año)	Componente	(hm <sup>3</sup> /año)	
Acuífero A13	1.874	Recarga directa	538,78	Extracciones pozos	188,39	350,39
Acuífero A14	1.371	Recarga directa	394,16	Extracciones pozos	32,51	361,65
Resto cuenca	2.743	Infiltración	303,56	Extracciones pozos	16,41	287,15
				Afloramientos subterráneos	741,72	
				Salidas a cauces superficiales	257,48	
<b>Total</b>			<b>1.236,50</b>		<b>1.236,50</b>	<b>999,19</b>

Según estos datos, los excedentes de agua de los acuíferos A13 y A14 serían 701,26 hm<sup>3</sup>/año, cifra parecida a la de los afloramientos de agua controlados.

Hay que resaltar, que en el balance hídrico efectuado de acuíferos sólo se contempla, como renovación anual de sus recursos hídricos (recarga subterránea), los obtenidos a partir de la infiltración directa que se origina de parte de la precipitación (la que no se evapotranspiración) que anualmente se registra, como media, sobre la superficie de su afloramiento. Otras entradas extra adicionales, también renovables anualmente, como

serían, la infiltración de parte del agua superficial que circula por los ríos, en los tramos en los que estos son perdedores, la percolación del agua de riego y de las pérdidas de los canales, así como los aportes que, como aguas superficiales y subterráneas, se producen desde los relieves de la Precordillera, por el Este, y desde la Cordillera de la Costa, por el Oeste, no se han tenido en cuenta en el balance ejecutado.

Al ser todos estos factores, adicionales, parte del mismo ciclo hídrico integral de la cuenca, sus entradas al acuífero, al no ser explotadas artificialmente en él -puesto que el acuífero, de momento, es excedentario con respecto a la recarga de la precipitación- pasan directamente a descargarse (afloramientos) y circular como aguas superficiales por los cauces. En consecuencia, el balance presentado, sería un balance simplificado de los dos acuíferos que, a efectos prácticos, representa el balance final del mismo, ya que si se sumasen las recargas ocasionadas por estas otras partidas adicionales, en equivalentes cifras, habría que considerarlas como salidas del acuífero.

Entre las salidas contabilizadas a los cauces, se encuentran, como más evidentes, los afloramientos de aguas subterráneas (descargas), evaluadas en 741,42 hm<sup>3</sup>/año. Buena parte de estas salidas son provenientes de las entradas "extra" que, previamente, se producen en el acuífero, además de las directas originadas por la infiltración de la precipitación registrada sobre su superficie de afloramiento.

Ante este panorama, sería posible el incrementar las extracciones de agua subterránea de los acuíferos A13 y A14, sin que disminuyera su NP, ya que el volumen de excedentes subterráneos naturales, de momento, es muy elevado.

#### 6.7.6. Reservas subterráneas

Las reservas de aguas subterráneas almacenadas en los dos acuíferos de la cuenca, susceptibles de explotación, serían:

- En el **acuífero A13** (piroclastos volcánicos), la potencia más permeable y explotable de aguas subterráneas de esta formación se ha estimado en unos 200 m (a partir de la profundidad de los sondeos que la explotan); si se considera que la profundidad máxima controlada del NP, en el año 1999, fue de 16,52 m, y se supone que a partir de esa profundidad el agua del acuífero se podría considerar como reserva subterránea, potencialmente explotable, la potencia saturada del acuífero sería de unos 184 m. Por los datos del coeficiente de almacenamiento consultados, este se mueve entre valores de 10<sup>-2</sup> (acuífero en estado libre) y 10<sup>-4</sup> (confinado en algunos sectores). Para los cálculos realizados se ha supuesto que el comportamiento hidrodinámico, en el conjunto del acuífero, podría ser del 60% como libre y el otro 40% restante como confinado. Con estos datos, para los 1.874 km<sup>2</sup> de extensión que tiene la formación acuífera, su volumen de reservas almacenadas, serían de 2.082 hm<sup>3</sup>:

$$\text{- en el sector libre: } 1.874 \text{ km}^2 \times 184 \text{ m} \times 10^{-2} \times 60\% = 2.068 \text{ hm}^3$$

- en el confinado:  $1.874 \text{ km}^2 \times 184 \text{ m} \times 10^{-4} \times 40\% = 13,79 \text{ hm}^3$ ,

- En el **acuífero A14** (depósitos aluviales-coluviales), las reservas de agua se estiman sólo para la unidad hidrológica superior, que es la más productiva y de mayor permeabilidad, la que presenta una potencia variable, según los sectores, de entre 30 a 200 m; se aplica una media de 115 m para el conjunto de los  $1.371 \text{ km}^2$  de su superficie. El NP, según las medidas realizadas en el 2010, se encuentra entre 0,02 a 2,14 m de profundidad, aunque en el 1999 llegó a estar en un punto a 28,60 m; poniéndose en el lado de la seguridad, se supone que a partir de esa profundidad el agua del acuífero se podría considerar como reserva subterránea, potencialmente explotable. De acuerdo con ello, si la potencia media saturada de agua, en toda la superficie de afloramiento, es de unos 87 m y el coeficiente de almacenamiento (S) medido se mueve entre valores de  $10^{-2}$  (libre) y  $10^{-4}$  (confinado); suponiendo que el comportamiento hidrodinámico, en el conjunto del acuífero, pudiera ser del 70% como libre y el otro 30% como confinado se obtienen unas reservas subterráneas, susceptibles de explotación, de  $839 \text{ hm}^3$ :  
- en el sector libre:  $1.371 \text{ km}^2 \times 87 \text{ m} \times 10^{-2} \times 70\% = 835 \text{ hm}^3$   
- en el confinado:  $1.371 \text{ km}^2 \times 87 \text{ m} \times 10^{-4} \times 30\% = 3,57 \text{ hm}^3$ ,

#### 6.7.7. Modelización matemática

En el año 2010 se planteaba la realización de un modelo matemático del flujo subterráneo, mediante el programa Visual MODFLOW, de los acuíferos del río Maule (doc. RH100), pero, hasta la fecha, no se tiene conocimiento de que se haya realizado.

Lo que sí se ejecutó, en el año 2008, fue la aplicación del Modelo Hidrológico MAGIC a toda la cuenca del río Maule, que permite la integración de todos los componentes del sistema hídrico (cauces, embalses, canales, zonas de riego, acuíferos), obteniendo todos de los flujos de intercambio entre ellos, en el que fueron integrados los 25 sectores acuíferos delimitados en la cuenca, con el objeto de ajustarse a las subcuencas superficiales de los ríos modelizados (doc. RH080)

#### 6.7.8. Calidad de las aguas subterráneas

Las referencias encontradas en los documentos consultados, sobre la calidad de las aguas subterráneas en esta cuenca, son las incluidas en:

- Doc.RH020 del 2003, en el que fueron muestrados y analizadas aguas de 14 pozos distribuidos, principalmente, por la subcuenca del Cauquenes. En las analíticas realizadas, la conductividad eléctrica medida varía entre valores de 38,4 a 650  $\mu\text{mhos/cm}$ , los elementos metálicos analizados (Cu, As, Fe) están todos por debajo de los límites máximos permitidos, y sólo en dos de los pozos de la localidad de Cauquenes se detectaron un contenido de nitratos de 11 mg/l. Con estas características, el agua

subterránea es de buena calidad y sólo requiere un ligero tratamiento para su uso doméstico.

- Doc. SAP010, también del 2003, en el que se indica que la calidad del agua subterránea es buena, con un bajo contenido en sólidos totales disueltos, que varía hasta los 370 mg/l en la localidad de Pocillas (comuna de Cauquenes).
- En las 2 estaciones de calidad del agua subterránea que en la actualidad controla la DGA, en esta cuenca del Perquilauquén, cuya ubicación se presenta en el mapa de redes, la composición química de las mismas es buena, tanto para uso doméstico como para el regadío.

#### 6.7.9. Áreas de protección ecológica asociadas a descargas subterráneas

En la UPH 7 no hay declarada ninguna zona de protección ecológica, aunque en la relación de Humedales de la Región del Maule, consultada (shp del SIG), se relacionan 2 humedales: el embalse Digua, situado en la Precordillera, que recoge las aguas de la cuenca alta del río Castillo, afluente del Perquilauquén por su margen derecha; y el Arrozal del Parral, ubicado a unos 13 km al NE de esta localidad.



Foto 6.12. Embalse Digua (río Castillo)

#### 6.8. Acuíferos en la Cuenca del Loncomilla. UPH 8

Para la descripción hidrogeológica de la Cuenca del Loncomilla (UPH 8), se han consultado los mismos documentos empleados para la CAM.

##### 6.8.1. Características hidrogeológicas. Acuíferos

###### 6.8.1.1. Hidrogeología

La Cuenca del Loncomilla, que forma parte de la cuenca del río Maule, en su sector suroriental, se extiende por una superficie de 4.390 km<sup>2</sup> (el 14,15% de la Región del Maule),

en la que el límite meridional de su demarcación viene a coincidir prácticamente con el curso del río Longavi. Es drenada por el propio cauce del río Loncomilla, en su curso bajo, hasta la confluencia de este con el río Maule, así como por sus afluentes, por la derecha, los ríos Putagán, Archibuena y Longavi, que realmente son los que recogen el agua de la mayor parte de la cuenca. A su vez, el tramo bajo del Loncomilla, es la continuación de los ríos Cauquenes, Purapel y Perquilauquén, que le aportan sus aguas desde la UPH 7.

Como embalses reguladores se encuentran solamente dos: el Machicura, en la cuenca alta del río Putagán, al que se trasvasan aguas desde el embalse Colbún (en la cuenca del río Maule) y del que parte un gran canal hacia la cuenca baja del Loncomilla, y el embalse Bullileo, en la cuenca alta del río Longavi; así como la laguna de Archibueno, que es el nacimiento del propio río, en la Cordillera de Los Andes.

Las formaciones hidrogeológicas que afloran en esta cuenca son las siguientes:

- **Q1:** Depósitos detríticos aluviales del Cuaternario, constituidos por arenas, gravas, arcillas y limos, que se cartografián en el valle de la Depresión Intermedia, en un afloramiento, de 2.066 km<sup>2</sup> (el 47% del total de la UPH 8), asociados a la dinámica fluvial del curso bajo del río Loncomilla y de sus afluentes, por la derecha, los ríos Putagán, Archibueno y Longavi. Este afloramiento de materiales aluviales se extiende hacia el Sur, en un sector menor de 180 km<sup>2</sup>, por la UPH 7; y en su extremo noroeste se introduce en una superficie de 45 km<sup>2</sup> por la UPH 6. Constituye el acuífero **A12** en la cuenca del Loncomilla.

La potencia de esta formación sedimentaria, sobre su sustrato rocoso, se estimó mediante la investigación geofísica gravimétrica realizada en los años 2006 y 2010 a lo largo y ancho de la Depresión Intermedia (doc. RH100). Concretamente en esta UPH 8, se encuentra parte del perfil longitudinal que recorre de norte a sur todo el valle de la depresión (163 km a lo largo de las UPH 6, 8 y 7), y uno de los perfiles transversales a toda la anchura de la depresión, también realizados (el P3 a la altura de la ciudad de Linares). Según este perfil, de 333 estaciones gravimétricas, apoyado en ambos extremos en los afloramientos rocosos, la profundidad hasta el sustrato varía entre 348 a 960 m, según los puntos de la traza del perfil. En realidad, para la interpretación del funcionamiento hidrogeológico de esta formación aluvial-coluvial, lo que interesa saber es la potencia del tramo superior, con mayor grado de permeabilidad y, por consiguiente, con mayor productividad hídrica; que, por referencias con la cuenca del Mataquito, en el que fue comprobado con el modelo matemático realizado, este puede ser del orden de 40 a 200 m.

- **Q1g.** Depósitos morrénicos, fluvioglaciales y glacilacustres, constituidos por bloques, gravas, arenas y matriz limo-arcillosa, que se encuentran bordeando a la formación Q1 por el sector sur de la cuenca, entre los cauces de los ríos Archibueno y Longavi. Presenta una permeabilidad de grado medio-alto, por porosidad intersticial.

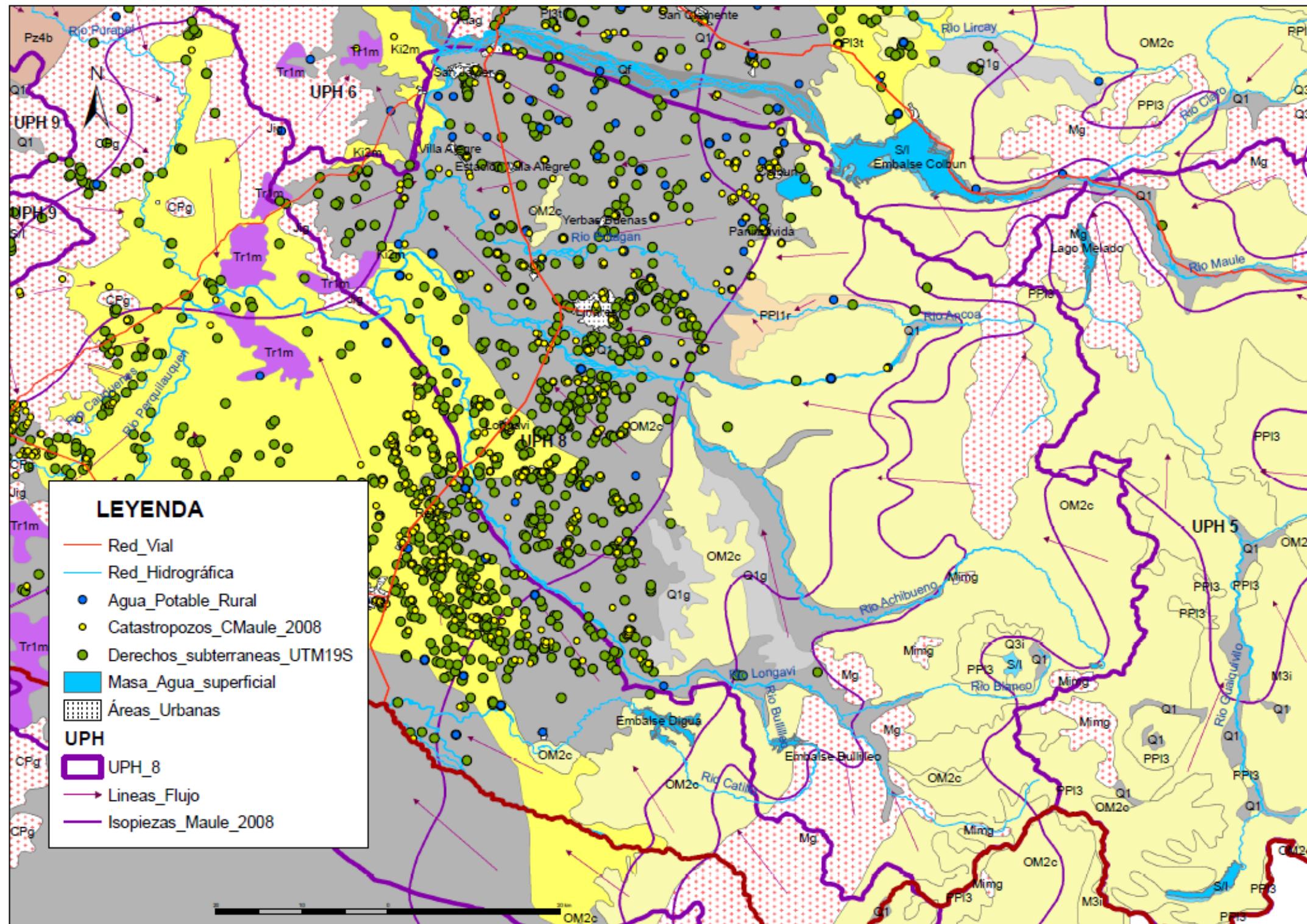
- El conjunto de las formaciones volcánicas y vulcano-sedimentarias que afloran en la zona de la Precordillera y Cordillera de Los Andes, ocupando una superficie de 900 km<sup>2</sup> (el 20,5% del total de la UPH 8), compuestas por: **Q3i**, estratovolcanes y complejos volcánicos de lavas basálticas, domos y depósitos piroclásticos; **PPI3**, lavas basálticas e intercalaciones de tobas y conglomerados; **OM2c**, secuencias volcano-sedimentarias de lavas, rocas epiclásticas y piroclásticas, con intercalaciones de niveles detríticos sedimentarios, de edad terciaria. Son formaciones de baja permeabilidad, aunque a nivel local se puedan localizar reducidos niveles acuíferos, de carácter somero, con muy baja productividad.
- **PI3t**. Depósitos piroclásticos asociados a calderas de colapso, del Pleistoceno, que se cartografían, en un afloramiento de unos 215 km<sup>2</sup> de extensión, en el extremo sur de la UPH 8, y que es atravesado por el curso bajo del río Longavi; sobre él se asienta la localidad de Longavi. La gran superficie de su afloramiento se extiende hacia el Sur, por la UPH 7, en donde ha sido descrita con detalle. Constituye un acuífero con permeabilidad de grado medio, en el que se sitúan 55 de las captaciones con derechos de aprovechamiento existentes en la cuenca del Loncomilla. La potencia permeable, de mayor productividad del acuífero, se estima en unos 100 m.
- **PPI1r**. Formación detrítica no consolidada del Plioceno, constituida por depósitos de remoción en masa (brechas con matriz arenoso-limosa), que aflora en el curso medio del río Putagán, en su recorrido por la Precordillera, cubriendo una superficie de unos 60 km<sup>2</sup>. Es una formación con permeabilidad de tipo medio, en la que se sitúan 2 de los pozos del catastro de aprovechamientos.
- **Trim**. Rocas sedimentarias consolidadas del Triásico superior, constituidas por areniscas, conglomerados, limolitas y calizas, que se disponen en un reducido afloramiento en el borde sur de la cuenca. No presentan ningún interés hidrogeológico.
- **CPg, Mg y Mimg**. Rocas eruptivas de carácter ígneo, que presentan una permeabilidad muy baja en su conjunto, solamente incrementada en reducidos niveles acuíferos asociados a los tramos superiores, fracturados y diaclasados, de los macizos graníticos, y a los niveles de alteración y meteorización de la roca (lehm). Afloran en los extremos oeste (borde occidental de la Depresión) y este (Cordillera de Los Andes), en una extensión aproximada, de conjunto, de unos 300 km<sup>2</sup>.

En el Mapa Hidrogeológico de la Cuenca del Loncomilla (Mapa 6.21) se representa la cartografía de las formaciones litológicas descritas y la posición que tienen, sobre ellas, las captaciones con derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, concedidos por la DGA, en esta cuenca, aquellas de las que se ha dispuesto de sus coordenadas geográficas (546). Se sitúan también las captaciones que, con derechos de explotación concedidos, se emplean en abastecimiento rural (78). Del doc. RH100, se ha obtenido la relación de 195 pozos catastrados en el año 2008, que también se sitúan en el mapa.

Así mismo, se indica la dirección y sentido que pueden tener los flujos de agua subterráneos que se originan dentro del conjunto de la cuenca, y la distribución de las isopiezas regionales trazadas en el doc. RH080.

La leyenda de las formaciones geológicas que afloran en la CMBM puede verse en el MHRM (Mapa 4.1), incluida anteriormente en el presente informe.

Mapa 6.21. Mapa Hidrogeológico de la Cuenca del Loncomilla (UPH 8)



### 6.8.1.2. Acuíferos

En el Mapa 6.22 se refleja la ubicación del acuífero identificado y delimitado en la Cuenca del Loncomilla (UPH 8), que se ha denominado **A12. Aluvial-Coluvial del sector sur Depresión Intermedia.**

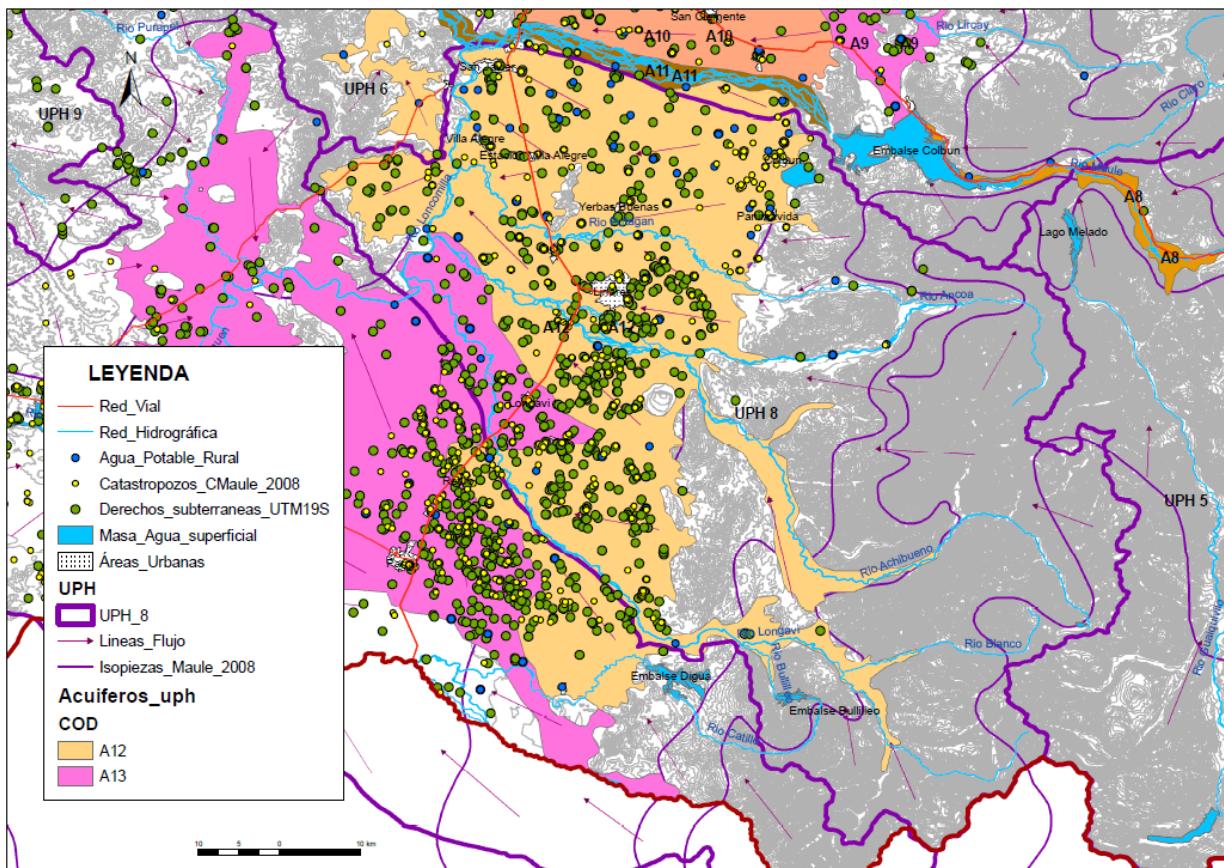
Este acuífero, que ocupa el valle de la Depresión Intermedia, en la Cuenca del Loncomilla, en una superficie de 2.066 km<sup>2</sup>, parte de los cuales se extiende hacia el Sur, a la UPH 7, en 180 km<sup>2</sup>, y otro sector menor, de 45 km<sup>2</sup>, pasa a la demarcación de la UPH 6, situada al Norte.

Está constituido por una formación sedimentaria detrítica aluvial, con una elevada porosidad intersticial (formación Q1 del mapa hidrogeológico), compuesta por arenas, gravas, arcillas y lentejones de limos, entremezclados en diferentes proporciones y formando horizontes de espesores variables, que se presentan en forma alternante en el sentido vertical de su potencia, lo que ocasiona que la permeabilidad de la formación sea variable de unos puntos a otros, con rangos de tipo medio a muy elevado. La potencia de la unidad superior del acuífero aluvial, de mayor permeabilidad y, por consiguiente, mayor productividad hídrica, puede ser del orden de unos 50 a 200 m de espesor, según los sectores, sobre la base más arcillosa y de menor productividad del acuífero; su sustrato rocoso, de muy baja permeabilidad, de acuerdo con la geofísica gravimétrica realizada, se encuentra entre los 348 a 960 m de profundidad (doc. RH100).

Constituye el acuífero de mayor productividad para la explotación de las aguas subterráneas que se encuentra en la UPH 8. Su comportamiento hidrodinámico es el de un acuífero en estado libre, de tal modo que su **recarga** de agua proviene, en su mayor parte, de la infiltración directa de parte del agua de lluvia que se registra sobre su afloramiento, así como por la infiltración de parte del agua superficial de los ríos que transitan sobre su afloramiento, y de la percolación del agua de riego y pérdidas de los canales que se emplean en el regadío de los cultivos existentes sobre su superficie. Además, lateralmente, desde los afloramientos de las formaciones volcánicas que se encuentran en la Precordillera, también debe recibir aportes de agua.

Las **descargas** del acuífero se producen, de manera natural, hacia los cauces bajos de los ríos Loncomilla, Putagán Archibueno y Longavi, en donde se han detectado importantes afloramientos de agua subterránea (doc. RH100). De modo artificial, se descarga por la explotación de las captaciones que drenan directamente el acuífero que, según el catastro de Derechos de Aprovechamiento de Aguas (las que hay registradas con coordenadas UTM), ascienden a 553, entre el afloramiento enmarcado en la UPH 8 (1.886 km<sup>2</sup>) y el de menor extensión (180 km<sup>2</sup>), prolongación del anterior, ubicado al norte de la UPH 7. A efectos descriptivos y de balance, el acuífero A12 se trata en esta Cuenca del Loncomilla. En el Mapa 6.22 queda reflejada la posición de las captaciones de agua subterránea en el acuífero.

*Mapa 6.22. Situación geográfica de los acuíferos en la UPH8*



Como puede apreciarse en el mapa de acuíferos, dentro de la UPH 8 se observa una parte menor del acuífero **A13**, que es la continuación hacia el norte de este acuífero, ya tratado y descrito anteriormente. Dentro de la superficie del A13 incluida en la demarcación de la UPH 8 ( $215 \text{ km}^2$ ) se han contabilizado 55 captaciones de agua con derechos de aprovechamiento, cuyos caudales de extracción han sido contabilizados al hacer el balance de este acuífero.

### 6.8.2. Características hidrodinámicas

Los parámetros elásticos del **acuífero A12** se han obtenido de los resultados obtenidos con los ensayos de bombeo realizados al finalizar la perforación de algunos de los pozos perforados en la zona (doc. RH090). En los datos consultados, se ha visto que, en el área de Linares, que sería la correspondiente a esta cuenca del Loncomilla, los parámetros hidrodinámicos del acuífero obtenidos, fueron: T variable de 200 a  $3.500 \text{ m}^2/\text{día}$ , K con medidas de 2,8 a 17,3 m/día, y una S variable, según los puntos, de entre  $2 \times 10^{-2}$  a  $3,3 \times 10^{-4}$ .

De acuerdo con estos valores, la transmisividad del acuífero se mueve en un rango muy amplio de media a muy alta, lo que denota la heterogeneidad, en profundidad, de los depósitos detríticos aluviales entre unos puntos a otros del mismo. La permeabilidad de los materiales aluviales-coluviales se mueve en rangos de tipo medio a alto. El coeficiente de almacenamiento presenta valores correspondiente a un acuífero en estado hidrodinámico libre ( $10^{-2}$ ) y confinado ( $10^{-4}$ ), dato que parece algo extraño, a la vista del comportamiento hidrodinámico que en general presentan este tipo de acuíferos aluviales; en otro de los documentos consultados (RH100), los S de este acuífero (correspondencia con los AC06 a AC10 de la clasificación de acuíferos efectuadas en el citado informe), los dan todos en el rango de  $10^{-2}$  (entre 0,01 y 0,02)

Del **resto de formaciones** aflorantes en la cuenca del Loncomilla (rocas volcánicas, volcano-sedimentarias y graníticas), no se dispuesto de ningún dato cuantitativo, pero dada su naturaleza litológica se considera que la permeabilidad de las mismas varía entre baja a muy baja (entre 1 y menos de 0,01 m/día).

#### **6.8.3. Captaciones de agua subterránea. Explotaciones**

La referencia disponible sobre el número de **captaciones existentes** en la Cuenca del Loncomilla, es la proporcionada por la DGA, en cuanto a los derechos de aprovechamiento solicitados y concedidos en esta zona. El número de ellas, de las que se ha dispuesto de las coordenadas geográficas de su ubicación, ascienden a 546 en la demarcación de la UPH 8; a los que habría que sumarle las 68 que se encuentran en el sector sur del acuífero A12, dentro de la demarcación de la UPH 7, que a efectos de extracciones de agua van a ser contabilizadas en esta cuenca del Loncomilla. El total de las 614 captaciones, se distribuyen por las siguientes formaciones hidrogeológicas: 553 en los depósitos aluviales-coluviales del acuífero **A12**; 55 en el afloramiento de rocas volcánicas que constituyen el acuífero **A13**, ya descrito en el anterior capítulo de la UPH 7; y 6 en materiales varios el resto de la cuenca.

De estas captaciones, en 78 de ellas se tiene constancia (según se ha visto en la tabla Excel *Captaciones utilizadas como Agua Potable Rural*), de que son utilizadas en el abastecimiento doméstico. La ubicación de todas las captaciones se presenta en el Mapa 6.22 y en el Mapa 6.23.

Se desconoce el tipo de captaciones que son, pues la base de datos de la DGA no lo indica, aunque se supone que en su mayor parte deben ser pozos y sondeos, de variable profundidad. Así mismo, se desconoce el uso que se le da al agua extraída de cada captación.

La **profundidad de obra** de estas captaciones tampoco se indica en la relación de la DGA, por lo que el único dato del que se ha dispuesto procede de la relación de 195 captaciones del catastro realizado en el 2008 (doc. RH080), y de la red de 71 puntos con medidas de profundidad de obra y del NP tomados en el año 2010 (doc. RH100), algunos de

los cuales son coincidentes con los de la primera relación. Según estas dos relaciones, las profundidades de obra de las captaciones, en su mayoría sondeos (ya que sólo hay 10 con menos de 20 m de profundidad, asimilable a pozos), oscila entre 4 y 175 m, aunque hay 1 con profundidad mayor, de 299 m, ubicada en Palmilla, que se utiliza para abastecimiento de agua potable.

Los **caudales de extracción concedidos** a las 553 captaciones del A12 oscilan entre los 0,01 y los 170 l/s, aunque en la relación hay una con 40.660 l/s, dada como subterránea en la comuna de Longavi (referencia ND-0703-5905), que debe ser un error, bien porque fuese agua superficial o que estuviese equivocada la cifra anotada; a efectos prácticos de cálculo, se le estima a este punto un caudal máximo de 406 l/s, en el supuesto de que fuese un error decimal. Lo normal es que los caudales concedidos no excedan de los 100 l/s, según se desprende de la siguiente distribución por tramos de explotación: hay 329 pozos con un caudal inferior a los 10 l/s, 121 con caudal concedido entre 10 a 30 l/s, 69 con 30 a 60 l/s, 26 con 60 a 100 l/s y 8 con un caudal superior a 100 l/s.

El volumen total de extracción de agua subterránea que contabilizan las 553 captaciones asciende a 8.537,35 l/s que, de extraerse todo él de manera continuada, daría un volumen anual de explotación de **269,23 hm<sup>3</sup>/año**. Este sería un volumen máximo de extracción, puesto que es difícil suponer que, de todo el caudal concedido a una captación, en l/s, se esté explotando todo él de modo continuo. Por otro lado, a este volumen de concesiones, habría que sumarle los caudales de aquellas otras captaciones de agua que, al no disponer de sus coordenadas geográficas, no han sido consideradas ni evaluadas en este cálculo; se desconoce el número de ellas.

Con el objeto de ajustar la cifra de extracciones concedidas, a la que en realidad se esté explotando en la cuenca, se han utilizado dos factores, extraídos de estudios anteriormente realizados en la zona:

- El "factor de uso" utilizado por la DGA, que es representativo de la eficiencia del uso del recurso hídrico y corrige el volumen de agua en realidad explotado, que fue aplicado para la calibración del modelo matemático realizado en el año 2012 en los acuíferos de la Cuenca del Mataquito, es el siguiente (doc. RH130):

USOS	FACTORES
Agua Potable	0,75
Riego	0,20
Industrial	0,30
Doméstico	0,75
Otros	0,40

- Aplicando el reparto de consumos entre los diferentes usos, que se desprende de los datos obtenidos en campo, mediante el catastro de 460 captaciones de agua subterránea que se realizó en el año 2008 por la DGA (doc. RH080), en el que se resuelve que los recursos hídricos subterráneos extraídos, según las encuestas efectuadas, se distribuyen entre agua potable (el 77,67%), riego (17,32%) e industria (5%), el total de la cifra de derechos concedidos, podría quedar de la siguiente manera, tal y como se expone en la Tabla 6.31:

<b>Tabla 6.31. Caudales de extracción estimados en la UPH 8, según uso</b>				
<b>Uso del agua (hm<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Distribución por uso (%)</b>	<b>Caudal concedido (hm<sup>3</sup>/año)</b>	<b>Factor de uso</b>	<b>Explotación corregida según el factor de uso (hm<sup>3</sup>/año)</b>
Agua Potable	77,67	209,11	0,75	156,83
Riego	17,32	46,63	0,20	9,33
Industrial	5,00	13,46	0,30	4,004
<b>TOTAL</b>	<b>100,00</b>	<b>269,23</b>		<b>170,20</b>

De los 269,23 hm<sup>3</sup>/año con Derechos de Aprovechamiento de Aguas otorgados, solamente se estarían explotando **170,20 hm<sup>3</sup>/año**, lo que supone una reducción del 63,21% del caudal concedido.

#### **6.8.4. Niveles de agua. Flujos subterráneos**

En el Mapa 6.23. Mapa Piezométrico de la Cuenca del Loncomillase pueden visualizar las líneas en las que se orienta el flujo del agua subterránea en la Cuenca del Loncomilla. En él se han trazado las trayectorias del flujo subterráneo, tanto en el acuífero A12, como en las otras formaciones, de baja a muy baja permeabilidad, que afloran en la Precordillera y Cordillera, en las que también, aunque sea de modo somero y discontinuo, se originan reducidos flujos subterráneos, paralelos al descenso topográfico del terreno, que van buscando su salida (drenaje) hacia los cursos de los ríos que las atraviesan y se encajan en estas formaciones.

En general, la dirección predominante en las líneas de flujo es la E-O, desde las cotas altas de la Cordillera, hacia los valles de los ríos que circulan por la cuenca. De acuerdo con este esquema hidrogeológico, el flujo de toda el agua subterránea generada en la cuenca, acaba por drenarse en el curso bajo del río Loncomilla, zona en la que se han detectado importantes afloramientos de agua subterránea del acuífero A12.

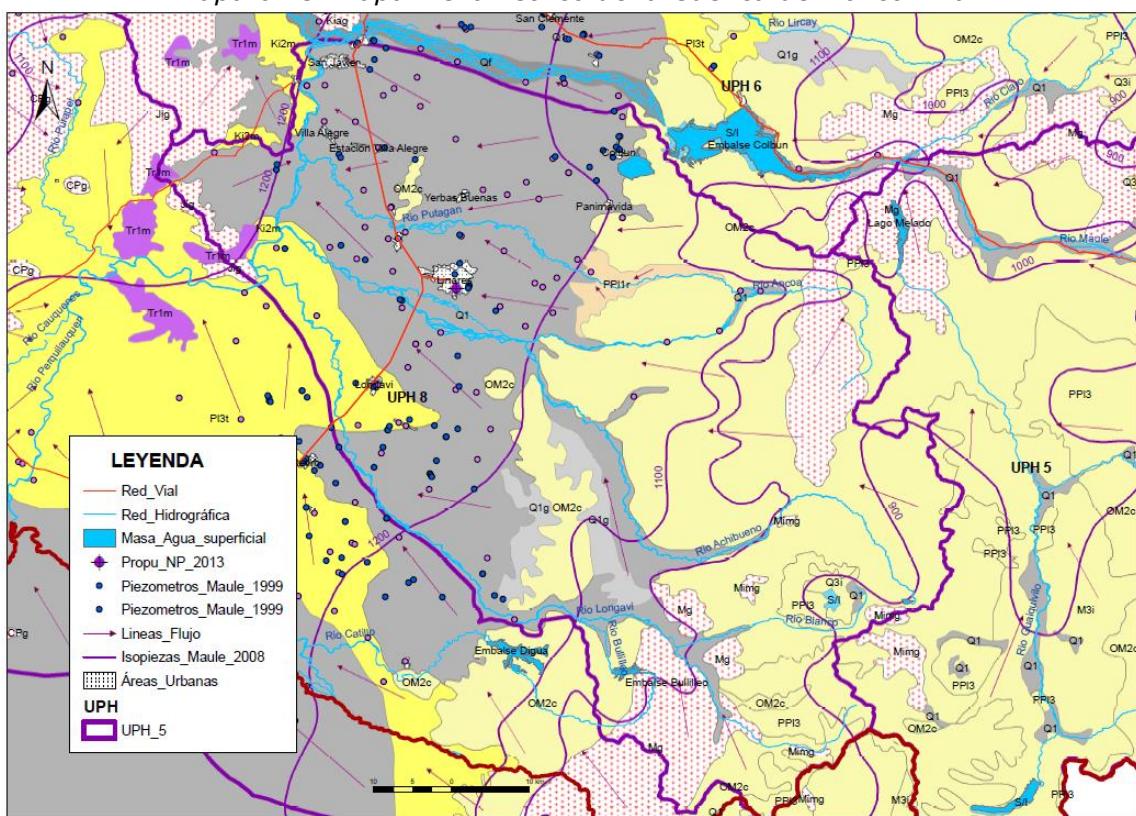
En el mapa se sitúan también las captaciones de agua que fueron utilizadas, en el año 2010, para la medición del nivel piezométrico en los acuíferos, a efecto de su uso en la futura modelización matemática de los acuíferos del río Maule (doc. RH100); de los 200 puntos que se midieron en el conjunto de la cuenca del Maule, en la UPH 8 se controlaron 71. Previamente, en el año 1999, fue realizada una campaña de medidas del NP en 54 pozos,



algunos de los cuales también fueron medidos en el 2010 (doc. RH015). A efectos de interpretación hidrodinámica, sobre la posición más actualizada del nivel piezométrico en los acuíferos, las medidas que parecen más razonables utilizar son las más recientes, tomadas en octubre del 2010; las del año 1999, no indican la fecha de toma.

En los 71 puntos controlados en el 2010, el NP se encontraba entre los 0,07 a 6,23 m de profundidad en el acuífero A12, que deben responder a medidas de época de recarga y menor explotación de agua en el acuífero. En las medidas del 1999, se anota hasta un valor máximo de 21 m de profundidad.

Mapa 6.23. Mapa Piezométrico de la Cuenca del Loncomilla



En el mapa se representan también las **isopiezas**, con equidistancia de 100 m, que fueron trazadas en el año 2008, para toda la Región del Maule, en el marco del estudio RH080 (se ha dispuesto del shp de la información SIG). Como puede apreciarse, estas se distribuyen más o menos paralelamente a la superficie topográfica del terreno y tangenciales a los cursos de agua que circulan por la cuenca. En la correspondiente cota marcada en el shp a cada isolínea, debe haber un error, puesto que estas aumentan de cota al ir descendiendo desde la topografía de la Cordillera. Sin embargo, su traza parece razonable con el esquema de flujos subterráneos que se ha marcado. En la zona occidental de la demarcación hidrográfica de la cuenca del Loncomilla, en la que confluyen, en el curso bajo del río

Loncomilla, sus afluentes Putagan, Archibueno y Longavi, la cota del NP del acuífero **A12** se debe encontrar sobre los 100 msnm.

En esta zona, en la que el NP del acuífero está muy próximo a la cota topográfica de los cauces de los citados ríos, se están produciendo descargas subterráneas, tal y como se indica en el doc. RH100, donde se mencionan los siguientes afloramientos:

- Río Loncomilla entre confluencias de los ríos Puragán y Maule.
- Confluencia entre ríos Loncomilla y Putagán
- Confluencia entre ríos Loncomilla y Archibueno
- Confluencia entre ríos Loncomilla y Longavi

Estas descargas subterráneas del acuífero son debidas al “cierre”, de muy baja permeabilidad que experimentan los afloramientos de las intrusiones graníticas que se hallan en el borde occidental de la cuenca; esta barrera impermeable obliga a ascender los flujos subterráneos del acuífero y descargarse en los cauces de los ríos (tramos ganadores). El volumen de agua drenado a los cauces, se estimó mediante una campaña de aforos realizada entre mayo y junio del 2011 (doc. RH150), en un total de 8,26 m<sup>3</sup>/s entre los 4 afloramientos.

La **evolución en el tiempo** del NP, no se ha podido constatar con medidas directas en las captaciones existentes, pero se considera, a la vista del resultado final del balance hídrico del acuífero, que se verá en el siguiente apartado, y la existencia de los mencionados afloramientos producidos, que este debe permanecer estable interanualmente. Solamente debe estar experimentando variaciones estacionales, a lo largo del año hidrológico, asociadas a los períodos de mayor extracción y disminución de la recarga de lluvia estacional.

En el estudio doc. EH040 *Análisis crítico de las Redes Hidrométricas, Regiones V a VII y Región Metropolitana*, realizado por el MOPU-DGA en 2013, se propone el control del nivel de agua en el “Pozo Linares”, ubicado en el núcleo urbano de esta localidad, e hidrogeológicamente situado en el sector central del acuífero detrítico **A12**.

### **6.8.5. Recarga subterránea. Balance hídrico**

#### **6.8.5.1. Recarga subterránea**

Para la estimación de la recarga subterránea que se debe producir anualmente, como media, en las **formaciones hidrogeológicas de la Cuenca del Loncomilla**, se ha partido de la precipitación media anual registrada en la cuenca que, según el mapa de isoyetas consultado en el doc. RH155, realizado por la DGA en 2014, se sitúa entre valores de los 800 a 3.000 mm; por ello, el aplicar un valor de precipitación media al conjunto de la cuenca de 1.900 mm/año parece razonable. La zona baja, donde se ubica el acuífero **A12**, se

encuentra entre las isoyetas de 800 a 1.500 mm; por consiguiente, la media de la precipitación anual que se registra sobre el conjunto del acuífero podría ser de 1.150 mm.

Partiendo de los valores de precipitación registrados en la cuenca, y mediante la aplicación, en su día, de modelos hidrológicos, en el capítulo 2 del presente informe, se indica que la **aportación total** en la cuenca (recursos hídricos totales) es de **4.533,20 hm<sup>3</sup>/año**

Por los datos bibliográficos consultados, la infiltración del agua de precipitación en medios de baja a muy baja permeabilidad, pudría ser de un 8% de Pm, como podría ser en el caso de las formaciones volcano-sedimentarias y graníticas que afloran en la cuenca (el 48% de su extensión). Para las formaciones de media a alta permeabilidad del acuífero **A12**, este porcentaje se podría elevar hasta un 25% de Pm (según se viene aplicando en otras UPH). De acuerdo con estos porcentajes, la **infiltración** de agua subterránea en las formaciones hidrogeológicas de la UPH 8, se estima en la Tabla 6.32.

**Tabla 6.32. Infiltración de agua subterránea en la UPH 8**

Zonas	Área (km <sup>2</sup> )	Precipitación media (mm)	Infiltración (%)	Infiltración media (hm <sup>3</sup> /año)
Acuífero A12	2.066	1.150	25	593,97
Resto Cuenca	2.324	1.900	8	353,24
<b>TOTAL</b>	<b>4.390</b>			<b>947,21</b>

Si a la aportación total estimada (escorrentía total), se le deduce la infiltración subterránea originada en las formaciones hidrogeológicas, la escorrentía superficial directa, sería:  $4.533,20 - 947,21 = 3.585,99 \text{ hm}^3/\text{año}$ . Esta escorrentía se recoge como agua superficial en los cauces de los ríos existentes; sólo una parte muy pequeña queda retenida, de modo temporal, en los pequeños embalses (Machicura, Bullileo) y laguna (Archibueno) existentes en la cuenca.

Dada la poca capacidad de almacenamiento de los “acuíferos” someros que se hallan en las formaciones de muy baja permeabilidad, el agua infiltrada en estos, después de cortos recorridos y tiempos de residencia limitados, vuelve a salir, a lo largo del año hidrológico, hacia los cauces de ríos y arroyos, para incorporarse a la circulación de agua superficial que se produce en los mismos.

El único acuífero en el que las aguas subterráneas se almacenan y circulan una mayor distancia por su interior, es el **A12**, en el que los  $593,97 \text{ hm}^3/\text{año}$  estimados de su recarga anual, se embalsan y retienen durante un mayor tiempo, hasta acabar drenándose, de manera natural, por los sectores topográficos más bajos de su afloramiento, que vienen a coincidir con los cauces bajos de los ríos Loncomilla, Putagán, Archibueno y Longavi. Por ello, este acuífero aluvial-coluvial actúa como embalse subterráneo regulador de los  $593,97 \text{ hm}^3$  que anualmente, como media de los recursos hídricos subterráneos, se renuevan en él.

### 6.8.5.2. Balance hídrico

Si se compara la cifra de las explotaciones máximas de aguas subterráneas que se pudiesen estar extrayendo del conjunto de la UPH 8, prácticamente todas ellas concentradas en el acuífero A12, de 180,51 hm<sup>3</sup>/año –según los valores de caudales concedidos y ajustados mediante el “factor de uso”– con la de los recursos hídricos evaluados que anualmente, como media, se infiltran y recargan en la misma, de 947,21 hm<sup>3</sup>/año, el **balance hídrico subterráneo global de la cuenca** es muy positivo, en 766,70 hm<sup>3</sup>/año.

Hay que resaltar que, en la práctica, la mayor parte del agua infiltrada y recargada en los acuíferos someros, generados en y sobre la base de las formaciones de baja permeabilidad que afloran en la cuenca (353,24 hm<sup>3</sup>/año), es nuevamente drenada al medio exterior, para incorporarse a la circulación superficial que se genera en la misma.

Solamente los recursos hídricos infiltrados en el **acuífero A12** (593,97 hm<sup>3</sup>/año) están un mayor tiempo embalsados como aguas subterráneas, y van teniendo un drenaje subterráneo más lento hacia los ríos con los que están en contacto. El balance del conjunto de la Cuenca del Loncomilla (UPH8), podría ser el indicado en la Tabla 6.33.

**Tabla 6.33. Balance Hídrico Subterráneo de la UPH 8**

Medio Subterráneo	Área (km <sup>2</sup> )	ENTRADAS		SALIDAS		Excedentes Acuíferos (hm <sup>3</sup> /año)
		Componente	(hm <sup>3</sup> /año)	Componente	(hm <sup>3</sup> /año)	
Acuífero A12	2.066	Recarga directa	593,97	Extracciones pozos	170,20	423,77
Resto cuenca	2.324	Infiltración	353,24	Extracciones pozos	0,00	353,24
<b>Total</b>	<b>4.390</b>		<b>947,21</b>	Salidas a cauces superficiales	<b>766,70</b>	
					<b>936,90</b>	<b>777,01</b>

Según estos datos, los excedentes de agua del acuífero **A12** serían 423,77 hm<sup>3</sup>/año, aunque del conjunto de las aguas subterráneas que se infiltran en la cuenca, las salidas a los cauces, contabilizando, también las aguas de este acuífero A12, ascendería a 777,01 hm<sup>3</sup>/año.

Hay que resaltar, que en el balance hídrico efectuado del acuífero A12 sólo se contempla, como renovación anual de sus recursos hídricos (recarga subterránea), los obtenidos a partir de la infiltración directa que se origina de parte de la precipitación (la que no se evapotranspiración) que anualmente se registra, como media, sobre la superficie de su afloramiento. Otras entradas extra adicionales, también renovables anualmente, como serían, la infiltración de parte del agua superficial que circula por los ríos, en los tramos en los que estos son perdedores, la percolación del agua de riego y de las pérdidas de los

canales, así como los aportes que, como aguas superficiales y subterráneas, se producen desde los relieves de la Precordillera, no se han tenido en cuenta en el balance ejecutado.

Al ser todos estos factores, adicionales, parte del mismo ciclo hídrico integral de la cuenca, sus entradas al acuífero, al no ser explotadas artificialmente en él –puesto que el acuífero, de momento, es excedentario con respecto a la recarga de la precipitación–, pasan directamente a descargarse (afloramientos) y circular como aguas superficiales por los cauces. En consecuencia, el balance presentado, sería un balance simplificado del acuífero A12 que, a efectos prácticos, representa el balance final del mismo, ya que si se contemplasen las recargas ocasionadas por estas otras partidas adicionales, en equivalentes cifras, habría que considerarlas como salidas del acuífero

Entre las salidas contabilizadas a los cauces, se encuentran, como más evidentes, los afloramientos de aguas subterráneas producidas a los cursos bajos de los ríos Loncomilla, Putagán, Archibueno y Longavi, estimadas en 8,26 m<sup>3</sup>/s (en el mes de mayo-junio de 2011), lo que totalizaría anualmente, si se mantuviese esa cantidad como media, un volumen de surgencias de 260,48 hm<sup>3</sup>/año. Es evidente, que buena parte de estas salidas son provenientes de las entradas “extra” que, previamente, se producen en el acuífero, además de las directas originadas por la infiltración de la precipitación registrada anualmente sobre su superficie de afloramiento.

Ante este panorama, sería posible el incrementar las extracciones de agua subterránea del acuífero A12, sin que disminuyera su NP, ya que el volumen de excedentes subterráneos naturales, de momento, es muy elevado.

#### 6.8.6. Reservas subterráneas

En el **acuífero A13** (depósitos aluviales-coluviales), las reservas de agua se estiman sólo para la unidad hidrológica superior, que es la más productiva y de mayor permeabilidad, la que presenta una potencia variable, según los sectores, de entre 40 a 200 m; se aplica una media de 120 m para el conjunto de los 2.066 km<sup>2</sup> de su superficie.

El NP, según las medidas realizadas en el 2010, se encuentra entre 1 a 7 m de profundidad, aunque en el 1999 llegó a estar en un punto a 21 m; poniéndose en el lado de la seguridad, se supone que a partir de esa profundidad el agua del acuífero se podría considerar como reserva subterránea, potencialmente explotable.

De acuerdo con ello, si la potencia media saturada de agua, en toda la superficie de afloramiento, es de unos 100 m y el coeficiente de almacenamiento (S) medido es del orden de 10<sup>-2</sup>, se obtienen unas reservas subterráneas, susceptibles de explotación, de: 2.066 km<sup>2</sup> x 100 m x 10<sup>-2</sup> = 2.066 hm<sup>3</sup>.

### 6.8.7. Modelización matemática

En el año 2010 se planteaba la realización de un modelo matemático del flujo subterráneo, mediante el programa Visual MODFLOW, de los acuíferos del río Maule (doc. RH100), pero, hasta la fecha, no se tiene conocimiento de que se haya realizado.

Lo que sí se ejecutó, en el año 2008, fue la aplicación del Modelo Hidrológico MAGIC a toda la cuenca del río Maule, que permite la integración de todos los componentes del sistema hídrico (cauces, embalses, canales, zonas de riego, acuíferos), obteniendo todos los flujos de intercambio entre ellos, en el que fueron integrados los 25 sectores acuíferos delimitados en la cuenca, con el objeto de ajustarse a las subcuencas superficiales de los ríos modelizados (doc. RH080)

### 6.8.8. Calidad de las aguas subterráneas

Las únicas referencias encontradas en los documentos consultados, sobre la calidad de las aguas subterráneas en la cuenca del río Maule, son las incluidas en:

- Doc.RH030 del 2003, en el que fueron muestreados y analizadas aguas de 20 pozos distribuidos por la cuenca. Según se indica en sus resultados, *todos los valores analizados se encuentran por debajo de los máximos estipulados para el uso del agua en consumo doméstico y regadío; solamente algunos valores aislados superan estos límites* (no se indica cuáles son estos).
- Doc. SAP010, también del 2003, en el que se indica que la calidad del agua subterránea es buena, con un bajo contenido en sólidos totales disueltos, que varía entre 88 mg/l en Linares hasta los 370 mg/l en la localidad de Pocillas. En toda la cuenca oscilan en torno a 150 a 200 mg/l.

### 6.8.9. Áreas de protección ecológica asociadas a descargas subterráneas

Que se conozca, en la UPH 8 no hay declarada ninguna zona de protección ecológica, aunque en la relación de Humedales de la Región del Maule, consultada (shp del SIG), se relaciona un humedal asociado al embalse Bullileo, ubicado en la cabecera del río Longavi. Sin incluirse en esta relación, también se halla la laguna de Archibueno, que constituye el nacimiento del propio río.



Foto 6.13. Embalse Bullileo



Foto 6.14. Laguna Archibueno

En ambos embalsamientos, aunque la mayor parte del agua pueda provenir de la escorrentía directa que se produce desde las laderas de sus vasos, con seguridad que también hay aportes de aguas subterráneas desde los niveles acuíferos, de carácter somero, que se encuentran en las formaciones volcánicas, de baja permeabilidad, en las que se ubican.

## 6.9. Acuíferos en Costeras entre río Maule y límite Sur. UPH 9

Para la descripción hidrogeológica de la Costera entre río Maule y límite Sur (UPH 9), se han consultado los siguientes documentos:

- (RH020) *Diagnóstico de Recursos Hídricos de Secano Interior y Costero VI a VIII Región*, realizado por la CNR en 2003.
- (RH070) *Estimaciones de Demanda de Agua y proyecciones futuras. Zona II. Regiones V a XII y Región Metropolitana*, realizado por el MOPU-DGA en 2007.
- (SAP010) *Diagnóstico actual del Riego y Drenaje en Chile y su proyección. Diagnóstico del riego y drenaje en la VII Región*, realizado por la CNR, 2003.
- (RH018) *Estudio Hidrogeológico de Secano Interior y Costero. Regiones VI, VII y VIII*, realizado por el IICA en 2002.
- (RH180) *Derechos concedidos en Aguas Superficiales y Subterráneas. Región VII*. MOPU-DGA, 2015.
- (RHH180) *Relación de captaciones utilizadas como Agua Potable Rural* (tabla Excel).

### 6.9.1. Características hidrogeológicas. Acuíferos

#### 6.9.1.1. Hidrogeología

Esta cuenca costera, que se enmarca entre los límites hidrográficos de la cuenca baja del río Maule, al Norte, y el límite de la Región VII, al Sur, ocupa una extensión de 1.934,8 km<sup>2</sup> (el 6,23% del total de la superficie de la Región). Su superficie hidrográfica es drenada por los ríos, de N a S: Pinotalca, Reloca, Curanilauhe, Calabozo.

Las formaciones hidrogeológicas que afloran en esta cuenca costera, ya descritas en el capítulo 2.5, y representadas en el Mapa 6.24, son las siguientes:

- **Q1.** Depósitos detríticos aluviales cuaternarios, constituidos por arenas, gravas, arcillas y limos, que se cartografián en la franja costera dispuestos en dos afloramientos, con una longitud total de unos 30 km y un ancho variable entre 1,7 a 3 km, según los puntos, apoyados sobre el borde del flanco occidental de la Cordillera de la Costa, que hace de sustrato rocoso de los mismos. La potencia de los depósitos detríticos en esta zona no se ha podido determinar, pero si se compara con los resultados de la investigación geofísica llevada a cabo en la Costera entre Mataquito y Maule (doc. RH018), esta podría ser de entre 15 a 50 m. Ante la buena permeabilidad de estos materiales, entre media a alta, según los puntos, esta formación constituye parte del delimitado acuífero **A16**.

Otro afloramiento de esta formación se localiza en el sector NE de la cuenca costera, sobre las rocas graníticas que se encuentran en esta zona. Y en la documentación consultada (doc. SPA 010), se describe también la presencia de una superficie aluvial (no cartografiable en el mapa por su reducida extensión) en las proximidades de la localidad de Empedrado, en la *que se recomienda la perforación de algún pozo, para su aprovechamiento*.

- **Qm.** Depósitos litorales del Cuaternario, compuestos de arenas y gravas de playa, de reducida potencia (no debe superar los 10 m) que se localiza en la planicie litoral de la cuenca, en contacto con la Q1 y el mar. Por la porosidad intersticial de los materiales que contiene, esta formación presenta una alta permeabilidad, lo que la capacita para constituir, junto con la formación Q1, el acuífero **A16** en la cuenca Costera.
- **Ks1m.** Secuencias sedimentarias del Cretácico Superior, compuestas por areniscas, conglomerados, lutitas, calizas oolíticas y sucesiones turbidíticas. Esta formación sedimentaria consolidada, presenta una permeabilidad de grado medio-alto, debida a la fracturación, diaclasación y fenómenos de disolución, que pudiesen afectar a las rocas carbonatadas, por la que se ha considerado como el acuífero **A15** de los definidos en la Región del Maule. Su afloramiento, de 238 km<sup>2</sup> de extensión, se encuentra en el borde suroccidental de la Cordillera de la Costa, apoyado, en discordancia estratigráfica, sobre las formaciones paleozoicas metamórficas que constituyen el núcleo principal de la Cordillera.
- **Pz4a** y **Pzab.** Formaciones metamórficas del Paleozoico, compuestas por esquistos moscovíticos, metabasitas, pizarras, filitas y meta-arenitas, que ocupan la mayor parte de la superficie de la cuenca costera, en unos 1.170 km<sup>2</sup> (el 60,5% de su superficie) extendidos en una banda alargada de N a S. Esta formación presenta muy baja permeabilidad en su conjunto, localizándose solamente reducidos niveles acuíferos asociados a los puntos de mayor meteorización y/o fracturación de las rocas, concentrados en algunos sectores superficiales de sus afloramientos, que pueden presentar un cierto interés hidrogeológico como para atender necesidades muy puntuales de agua. De hecho,

de las 50 captaciones con derechos de aprovechamiento registradas en la UPH 9, 24 están ubicadas en estas formaciones metamórficas.

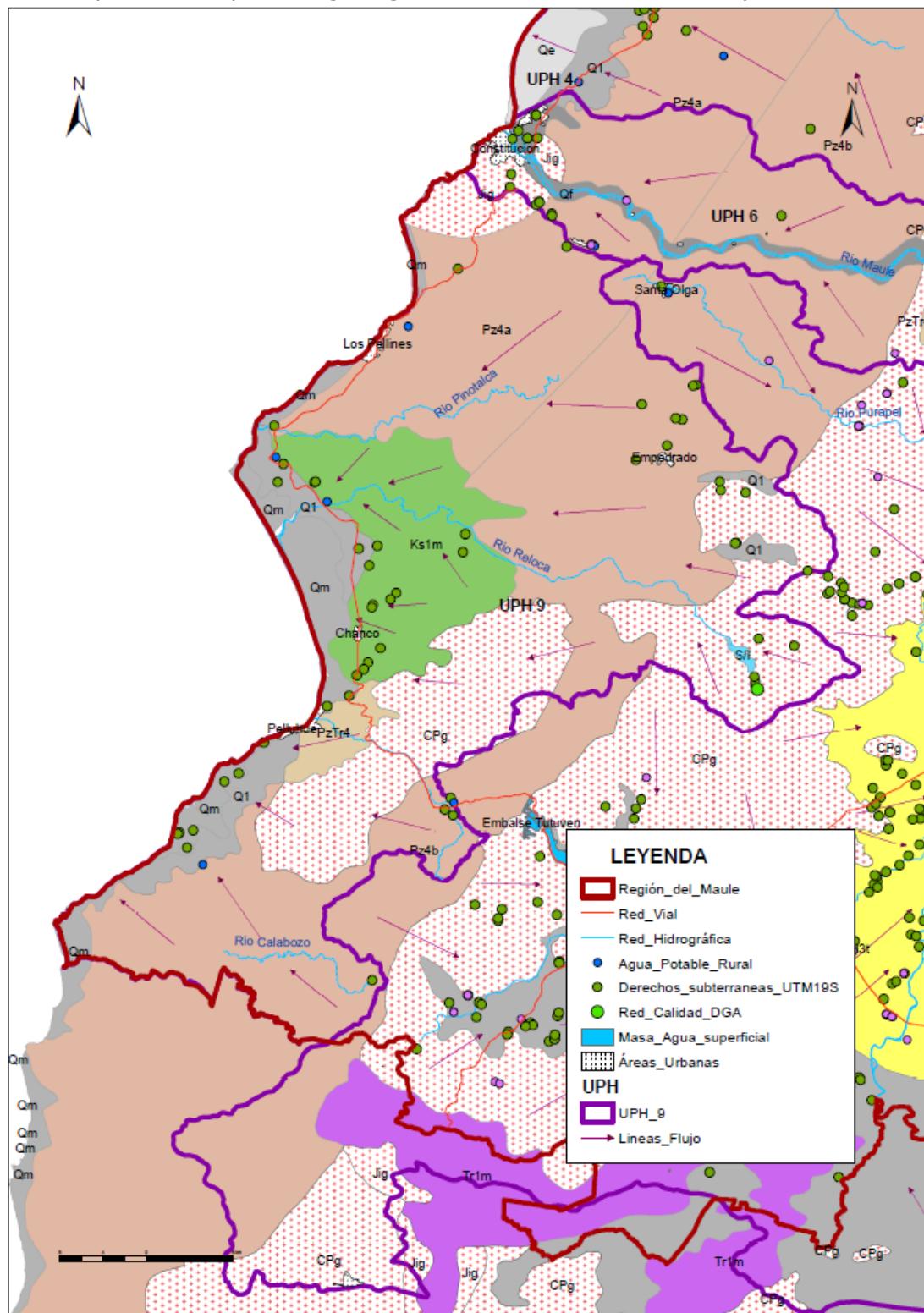
• **CPg.** Rocas eruptivas de carácter ígneo, de muy baja permeabilidad en su conjunto, y que solo presentan reducidos niveles acuíferos asociados a los tramos superiores, fracturados y diaclasados, del macizo granítico, y a los niveles de alteración y meteorización de la roca (regolito) que se hayan recubriendo a la misma en sectores limitados de su afloramiento, en una potencia sobre la roca compacta que no debe superar los 15 m de espesor. Los dos afloramientos de esta formación, que en su conjunto ocupan una superficie de unos 362 km<sup>2</sup>, se encuentran en la zona central y alta de la cuenca; en el situado más al norte se localizan 10 de los pozos registrados en la cuenca costera.

En el Mapa Hidrogeológico de la Costera entre Maule y límite Sur (Mapa 6.24) se representa la cartografía de las formaciones litológicas descritas y la posición que tienen, sobre ellas, las captaciones con derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, concedidos por la DGA, aquellas de las que se ha dispuesto de sus coordenadas geográficas UTM (50). Se sitúan también las captaciones que se emplean en el abastecimiento rural (4).

Así mismo, se indica la dirección y sentido de los flujos subterráneos de agua que se pueden generar en las diferentes formaciones litológicas que se encuentran en la cuenca.



Mapa 6.24. Mapa Hidrogeológico de la Costera entre Maule y límite Sur



La leyenda de las formaciones geológicas que afloran en la cuenca Costera puede verse en el MHRM (Mapa 4.1), incluida anteriormente en este informe.

#### 6.9.1.2. Acuíferos

De las formaciones geológicas cartografiadas en esta cuenca costera, las únicas que presentan, por su permeabilidad, de tipo medio-alto, unas buenas características hidrogeológicas como para constituir un acuífero de interés productivo, son los afloramiento sedimentarios de los depósitos detríticos cuaternarios (Q1 y Qm) y de las rocas cretácicas (Ks1m) que afloran en la zona costera de la UPH 9. En el Mapa 6.25, se refleja la ubicación de estos dos acuíferos:

##### • A15. Cretácico Costero

Acuífero que se corresponde con el afloramiento de areniscas, conglomerados, lutitas, calizas oolíticas y sucesiones turbidíticas, del Cretácico (Ks1m), que se cartograffán en el borde suroccidental de la Cordillera de la Costa, ocupando una superficie de 238 km<sup>2</sup>. Constituye un acuífero de carácter libre, de tal modo, que su **recarga** subterránea se establece por la infiltración directa de parte del agua de lluvia que se recoge sobre sus propio afloramiento y, su **descarga** natural, se origina hacia el cauce del río Reloca, que atraviesa tangencialmente el afloramiento acuífero, así como hacia los depósitos detríticos costeros del acuífero A16, que se hallan superpuestos sobre las rocas cretácicas en la franja costera. Artificialmente, es explotado por las 14 captaciones con derechos de aprovechamiento que hay registradas sobre su superficie de afloramiento, ubicadas en el sector topográfico más bajo del mismo.

Se desconoce la potencia de la formación cretácica que, estructuralmente, se dispone sobre la formación metamórfica de base, actuando esta como zócalo de muy baja permeabilidad del acuífero. La escorrentía subterránea se organiza en dirección NE-SO y SE-NO, buscando su descarga en el cauce del río Reloca; y, en su sector suroccidental, los flujos podrían ser E-O, en dirección hacia la franja costera.

##### • A16. Detrítico de la franja costera sur

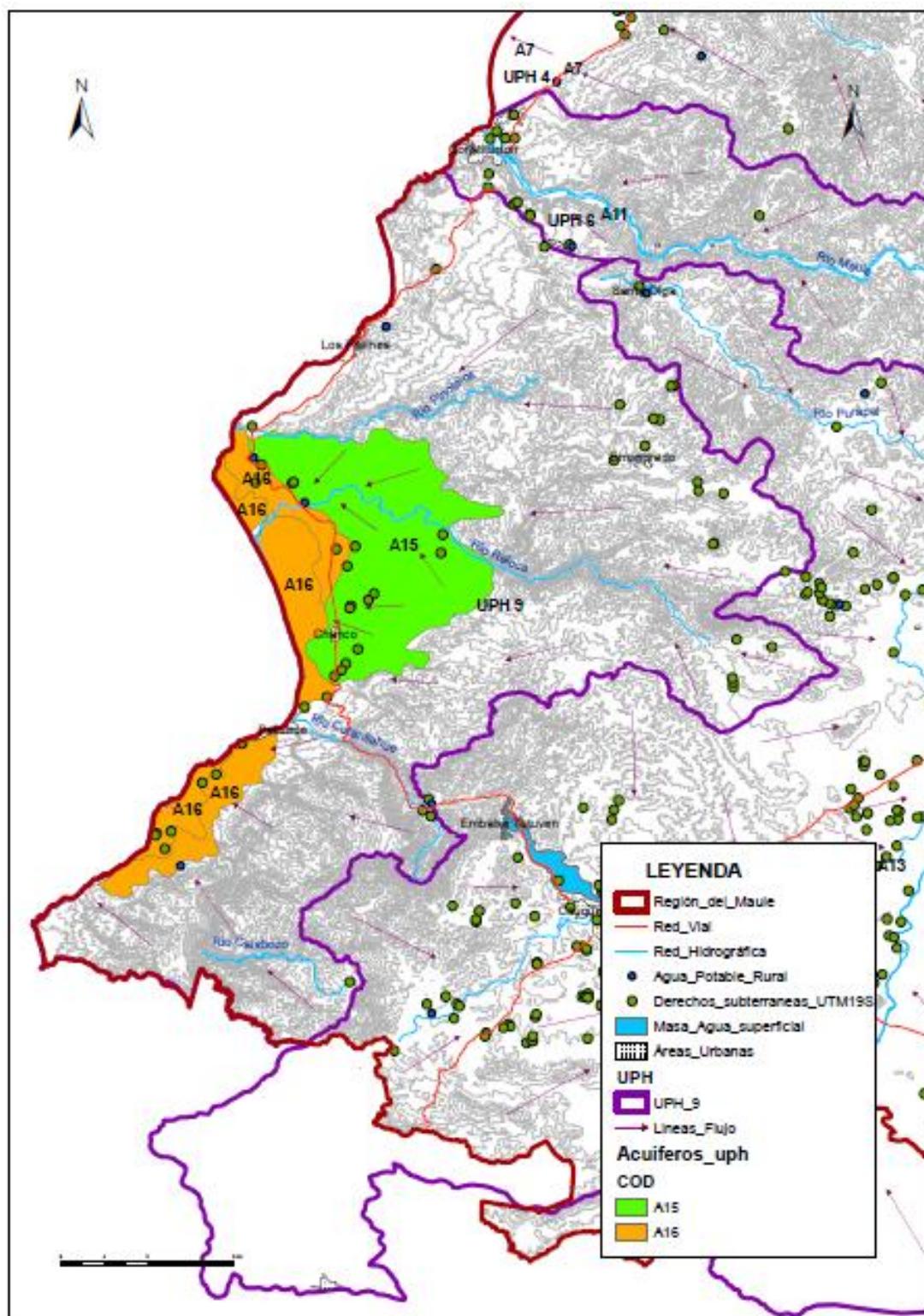
Este acuífero lo constituyen las dos formaciones detríticas cuaternarias (Q1 y Qm), compuestas por arenas, gravas, arcillas, limos y gravas de playa, que ocupan la franja costera de la UPH 9, cubriendo una superficie de 165 km<sup>2</sup>, dispuesta en una banda alargada de unos 30 km de largo por entre 3 a 6 km de ancho, entre el borde de la cordillera y el océano. Es un acuífero de comportamiento hidrodinámico libre, de tal modo que la **recarga** subterránea del mismo se establece por la infiltración de parte del agua de lluvia que se recoge directamente sobre sus propios afloramientos, además de por los aportes superficiales, en su mayor parte, y subterráneos, que se originan desde las

formaciones metamórficas paleozoicas y desde el acuífero cretácico A15, que lo limitan por su borde oriental. La **descarga** natural, se ocasiona directamente al mar, con el que está en contacto por su límite occidental; además, de manera artificial, por los 12 pozos que lo explotan, con derechos de aprovechamiento otorgados.

Al encontrarse este acuífero en contacto hidrodinámico directo con el mar, hay que vigilar que su explotación no se vea afectada por problemas de salinidad, ante un posible avance de la intrusión marina, si se creasen ,con las extracciones de agua subterráneas, conos de depresión acentuados, por debajo de la cota del mar.



Mapa 6.25. Situación de los acuíferos en la UPH 9



### 6.9.2. Características hidrodinámicas

En la documentación consultada, no se ha localizado ningún dato sobre posibles ensayos de bombeo realizados en algunas de las captaciones de agua perforadas en esta cuenca costera, por lo que no se dispone de ningún valor controlado de la transmisividad ( $T$ ) y coeficiente de almacenamiento ( $S$ ) de los acuíferos. No obstante, de manera orientativa, estos valores se pueden acotar en función de la permeabilidad, de carácter cualitativo, que se le da a las formaciones:

- El **acuífero A15**, constituido por areniscas, conglomerados y calizas, con permeabilidad de tipo medio-alto, la  $T$  podría estar comprendida entre 100 a 1.000 m<sup>2</sup>/día, en los sectores con mayor fracturación y grado de disolución de la caliza. El coeficiente de almacenamiento ( $S$ ), al ser un acuífero en estado libre, debe ser del orden de 10<sup>-2</sup>.
- El **acuífero A16**, constituido por sedimentos detríticos no consolidados, con permeabilidad tipo medio-alto (gravas, arenas, arcillas y limos), la  $T$  podría estar comprendida entre 100 a 1.000 m<sup>2</sup>/día, en los sectores con mayor proporción de fracción grosera. El coeficiente de almacenamiento ( $S$ ), al ser un acuífero en estado libre, debe ser del orden de 10<sup>-2</sup>.
- En los reducidos niveles acuíferos que se puedan encontrar en las rocas metamórficas e intrusivas, la permeabilidad será de baja a muy baja, por lo que la  $T$  no debe ser mayor de 10 m<sup>2</sup>/día. Por su parte, el  $S$ , debe ser del orden de 10<sup>-2</sup>, que es el correspondiente a acuíferos en estado libre.

### 6.9.3. Captaciones de agua subterránea. Explotaciones

Los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en la UPH 9 ascienden a 50 captaciones (con coordenadas geográficas de su ubicación), cuya distribución, por formaciones hidrogeológicas, es la siguiente: 12 en los depósitos detríticos del acuífero A16, 14 en las rocas sedimentarias del acuífero A15, 10 en las formaciones graníticas y 24 en materiales metamórficos del Paleozoico.

De estas captaciones no se conoce el tipo de obra, aunque se supone que, en su mayor parte, deben ser pozos de poca profundidad.

Los caudales de extracción concedidos a las 50 captaciones varían entre los 0,04 y 23 l/s, lo que totalizan 189 l/s. Si los caudales autorizados, se explotasen anualmente en su totalidad, equivaldrían a un volumen de extracciones de aguas subterráneas de 5,96 hm<sup>3</sup>/año.

La explotación de agua subterránea concedida a los 14 pozos localizados en el **acuífero A15**, es de 42,48 l/s, lo que equivaldría, si la explotación fuese continua, a 1,35 hm<sup>3</sup>/año.

En el caso del **acuífero A16**, el caudal de las 12 captaciones suma 32,83 l/s, equivalentes a un volumen anual, si fuese la extracción continua, de 1,04 hm<sup>3</sup>/año.

#### 6.9.4. Niveles de agua. Flujos subterráneos

No se ha dispuesto de ningún dato medido del nivel piezométrico existente en las captaciones autorizadas en esta cuenca costera, por lo que su posición se estima, en función del conocimiento que sí se tiene sobre datos controlados en otros acuíferos con el mismo tipo de litología y posición geomorfológica en la Región.

La traza de los flujos subterráneos que se representan en el Mapa 6.24 y en el Mapa 6.25, han sido dibujadas en base a la interpretación hidrogeológica que se ha realizado sobre el funcionamiento hidrodinámico de los acuíferos existentes en la cuenca (modelo conceptual de los acuíferos).

- En las 12 captaciones del **acuífero A16** (depósitos detríticos costeros), que deben ser pozos de profundidad inferior a los 10 m, el nivel de agua debe estar entre 0,30 a 1 m de profundidad (igualmente al controlado en la Costera entre Maule-Mataquito). El flujo subterráneo del acuífero se organiza directamente hacia el océano, con el que está en contacto, después de un recorrido de unos 3.000 a 6.000 m, según los sectores, a través de las formaciones Q1 y Qm que lo conforman.
- En las 14 captaciones que explotan el **acuífero A15** (formación de rocas sedimentarias cretácicas), en las que lo más probable es que, ante la configuración estructural y geomorfológica que presenta el afloramiento, predominen las extracciones de agua mediante sondeos -de no ser así, es que se explotan niveles de agua, colgados, del acuífero cretácico-, la profundidad del nivel piezométrico debe ser mayor. La cota topográfica del sector más bajo del afloramiento cretácico, por la zona de Chanco, se encuentra sobre los 80/100 msnm, y en la parte más elevada del mismo se alcanzan los 300 msnm; en función de ello, y suponiendo que los gradientes son bajos, ante la transmisividad alta de la formación, lo lógico es suponer que el NP debe estar profundo, aunque en ningún caso, en el sector topográficamente bajo del mismo, en que se hallan perforadas la mayor parte de las captaciones, deba superar los 40/50 m de profundidad. (Sería interesante disponer de mediciones del NP en estas captaciones).

Las líneas de flujo trazadas en el acuífero, vienen a converger, desde las cotas topográficas más altas del afloramiento, en los cauces de los ríos Pinotalca, que lo limita por el sector norte, al río Reloca, que lo atraviesa por la parte central, y hacia el límite costero, en su contacto con el acuífero A16.

- En las 34 captaciones ubicadas en los niveles acuíferos someros, que se encuentran sobre los 1.532 km<sup>2</sup> de afloramientos de las formaciones metamórficas e intrusivas de la cuenca,

el nivel de agua debe hallarse a muy poca profundidad, inferior a los 5 m. En este tipo de formaciones de muy baja permeabilidad, la superficie del nivel de agua que se genera en las zonas de alteración y mayor fisuración de las rocas, reproduce, suavizándola ligeramente, la topografía del terreno, de tal modo que los flujos subterráneos se orientan desde las cotas elevadas de los afloramientos hacia las más bajas de los mismos, que vienen a coincidir con los valles de los ríos que circulan por la zona y el borde costero de la formación metamórfica, en el flanco occidental de la Cordillera de la Costa.

### 6.9.5. Recarga subterránea. Balance hídrico

#### 6.9.5.1. Recarga subterránea

Para la estimación de la recarga subterránea que se debe producir anualmente, como media, en las **formaciones hidrogeológicas de la Costera entre Maule y límite Sur**, se ha partido de la precipitación media anual registrada en la cuenca que, según el mapa de isoyetas consultado en el doc. RH155, realizado por la DGA en 2014, se sitúa entre valores de 700 a 800 mm, por lo que se aplica un valor de precipitación media al conjunto de la cuenca de 750 mm/año. La zona baja, donde se ubica los acuíferos A15 y 16, se sitúa en el entorno de la isoyeta de 700 mm.

Partiendo de los valores de precipitación registrados en la cuenca, y mediante la aplicación, en su día, de modelos hidrológicos, en el capítulo 2 del presente informe se indica que la **aportación total** en la cuenca (recursos hídricos totales) es de **323,66 hm<sup>3</sup>/año**.

En los datos bibliográficos consultados, la infiltración del agua de precipitación en medios de baja a muy baja permeabilidad, pudría ser de un 8% de la Pm, (según se ha justificado al describir otras UPH), como podría ser en el caso de las formaciones metamórficas y graníticas que afloran en la cuenca. Para las formaciones de media a alta permeabilidad del acuífero **A16** (depósitos detríticos) este porcentaje puede ser de un 25%, y para el **A15** (areniscas, conglomerados y calzas) se podría elevar hasta el 30% de Pm (según se viene aplicando en otras cuencas de la Región). De acuerdo con estos porcentajes, la infiltración de agua subterránea en las formaciones hidrogeológicas de la UPH 9, se estiman en la Tabla 6.34:

**Tabla 6.34. Infiltración de agua subterránea en la UPH 9**

Zonas	Área (km <sup>2</sup> )	Precipitación media (mm)	Infiltración (%)	Infiltración media (hm <sup>3</sup> /año)
Acuífero A15	238	700	30	49,98
Acuífero A16	165	700	25	28,87
Resto Cuenca	1.532	750	8	91,80
<b>TOTAL</b>	<b>1.935</b>			<b>170,65</b>

Si a la aportación total estimada (escorrentía total), se le deduce la infiltración subterránea originada en las formaciones hidrogeológicas, la escorrentía superficial directa, sería:  $323,66 - 170,95 = 153,01 \text{ hm}^3/\text{año}$ . Esta escorrentía se concentra como agua superficial en los cauces de los tres ríos existentes, acabando la mayor parte de ella en el océano, al no disponer la cuenca costera de ningún embalse regulador. Solo cuenta con un pequeño embalsamiento en la cabecera del río Reloca: las Ciénagas del Name.

Dada la poca capacidad de almacenamiento de los "acuíferos" someros que se hallan en las formaciones metamórficas y graníticas, el agua infiltrada en estos, después de cortos recorridos y tiempos de residencia limitados, vuelve a salir a lo largo del año hidrológico hacia los cauces de ríos y arroyos, para incorporarse a la circulación del agua superficial que se produce en los mismos.

Los únicos acuíferos en los que las aguas subterráneas se almacenan y circulan una mayor distancia por su interior, son el A15 y A16, en los que los  $78,85 \text{ hm}^3/\text{año}$  estimados de su recarga total anual, se embalsan y retienen durante un mayor tiempo, hasta acabar drenándose, de manera natural, por los sectores topográficos más bajos de su afloramiento y, hacia el mar, en el caso del A16. Este volumen de recarga, es el que equivale a la capacidad de regulación que presentan los dos acuíferos en la cuenca costera.

#### 6.9.5.2. Balance hídrico

Si se compara la cifra de las explotaciones máximas de aguas subterráneas que se pudiesen estar extrayendo de la cuenca costera, de  $5,96 \text{ hm}^3/\text{año}$  (sin aplicar corrección por el factor de uso, ante el poco volumen de extracción que presenta la cuenca), con la de los recursos hídricos evaluados que anualmente, como media, se recargan en la misma, de  $377,32 \text{ hm}^3/\text{año}$ , es evidente que el balance es muy positivo, en  $371,36 \text{ hm}^3/\text{año}$ . No obstante, hay que resaltar que, en la práctica, la mayor parte del agua infiltrada y recargada en los acuíferos someros ( $91,80 \text{ hm}^3/\text{año}$ ), generados en y sobre la base de las formaciones de baja permeabilidad (rocas metamórficas y graníticas), es nuevamente drenada al medio exterior, para incorporarse a la circulación superficial que se genera en la cuenca costera, acabando por desembocar en el océano.

Solamente los recursos hídricos infiltrados en los **acuíferos A5 y A16** pueden estar un mayor tiempo embalsados como aguas subterráneas, e ir teniendo un drenaje subterráneo más lento hacia el exterior. El balance del conjunto de la UPH 9, podría ser el indicado en la Tabla 6.35:

**Tabla 6.35. Balance Hídrico Subterráneo de la UPH 9**

Medio Subterráneo	Área ( $\text{km}^2$ )	ENTRADAS		SALIDAS		Excedentes Acuíferos ( $\text{hm}^3/\text{año}$ )
		Componente	( $\text{hm}^3/\text{año}$ )	Componente	( $\text{hm}^3/\text{año}$ )	
Acuífero A15	238	Recarga directa	49,98	Extracciones pozos	1,35	48,63

**Tabla 6.35. Balance Hídrico Subterráneo de la UPH 9**

Medio Subterráneo	Área (km <sup>2</sup> )	ENTRADAS		SALIDAS		Excedentes Acuíferos (hm <sup>3</sup> /año)
		Componente	(hm <sup>3</sup> /año)	Componente	(hm <sup>3</sup> /año)	
Acuífero A16	165	Recarga directa	28,87	Extracciones pozos	1,04	27,83
Resto cuenca	1.532	Infiltración	91,80	Extracciones pozos	3,57	88,23
				Salidas a cauces superficiales y subterráneamente al mar por el A16	164,69	
<b>Total</b>	<b>1.935</b>		<b>170,65</b>		<b>170,65</b>	<b>164,69</b>

Según estos datos, los excedentes de agua de los acuíferos A15 y A16 serían 78,46 hm<sup>3</sup>/año, aunque del conjunto de las aguas subterráneas que se infiltran en la cuenca, las salidas a los cauces, contabilizando, también las aguas de los dos acuíferos, ascendería a 164,69 hm<sup>3</sup>/año.

#### 6.9.6. Reservas subterráneas

Las reservas de aguas subterráneas almacenadas en los dos acuíferos de la cuenca, susceptibles de explotación, serían:

- En el **A15 Cretácico costero**, se desconoce la profundidad de su estructura geológica que quedaría por debajo de la cota de descarga natural del acuífero, que serían los cauces bajos de los ríos Pinotalca y Reloca, pero estimándose que al menos hubiese 100 m de acuífero saturado de agua por debajo de los puntos de descarga, las reservas de agua estimadas podrían ser del orden de:  $238 \text{ km}^2 \times 100 \text{ m} \times 10^{-2} (\text{S}) = 238 \text{ hm}^3$ . El único modo que habría para extraer parte de estas reservas subterráneas, sería mediante la implantación y perforación de sondeos en el sector topográfico bajo del acuífero.
- En el **A16 Depósitos sedimentarios franja costera**, la potencia de esta formación podría oscilar entre los 15 a 50 m hasta alcanzar el zócalo de las rocas metamórficas, por lo que se podría estimar una potencia media de 30 m en el conjunto de la superficie del acuífero ( $165 \text{ km}^2$ ); como la profundidad hasta el nivel freático se estima en un máximo de 3 m, la potencia saturada de agua del acuífero podría ser de 27 m. Si se considera un coeficiente de almacenamiento de  $10^{-2}$  (acuífero en estado libre), el volumen total de reservas almacenadas serían:  $165 \text{ km}^2 \times 27 \text{ m} \times 10^{-2} = 44,55 \text{ hm}^3$ . La explotación de estas reservas de agua subterránea habría que realizarla con un buen control, ya que un descenso prolongado del NP del acuífero provocaría el avance de la intrusión marina en el acuífero costero.

#### 6.9.7. Modelización matemática

No se ha efectuado, hasta la fecha, ninguna modelación matemática del funcionamiento hidrodinámico de los acuíferos. Serían necesarios un mayor número de datos hidrogeológicos de los mismos, como para llegar a plantearlo. De cualquier modo, la baja explotación de aguas subterráneas en ellos, no justificaría, de momento, esta modelización.

#### 6.9.8. Calidad de las aguas subterráneas

El único análisis de agua con el que se ha podido contar ha sido con un punto de subterráneas controlado, en 1995, en Pinolta (doc. RH020), en el que la calidad del agua analizada, en sus parámetros metálicos (Cu, Fe, As) y NO<sub>2</sub>, dan valores por debajo del límite permitido, y una conductividad de 728 µmhos/cm, lo que se corresponde con una buena calidad química del agua.

En el caso del acuífero costero A16, que está en contacto hidrodinámico directo con el mar, hay que vigilar que su salinidad no se incremente, ante la posible intrusión marina que se pudiese provocar en él, si se produjeran con los bombeos conos de depresión acentuados, por debajo de la cota del mar.

#### 6.9.9. Áreas de protección ecológica asociadas a descargas subterráneas

En esta cuenca costera no hay declarada ninguna zona de protección ecológica, ni aparece ningún humedal en la relación de Humedales de la Región del Maule, consultada. Como puntos con retención de agua superficial, más singulares, se encuentran: la Laguna Reloca, en la desembocadura del río Reloca y la Ciénaga de Name, en la cabecera y nacimiento del mismo río.



Foto 6.15. Laguna Reloca



Foto 6.16. Ciénaga de Name



En ambos casos, se deben producir también, además de los superficiales, aportes subterráneos desde las formaciones hidrogeológicas que los rodean: los depósitos detríticos costeros en el primer caso, y los materiales graníticos alterados (regolito), en el caso de la ciénaga.

#### **6.10. Síntesis del estudio de los acuíferos de la VII Región**

En las tres tablas siguientes se aportan los valores más significativos que caracterizan a los acuíferos estudiados al objeto de tener una visión global y calibrar la importancia de las aguas subterráneas en la VII Región. La primera aporta datos de su naturaleza hidrogeológica, la segunda se centra en la explotación y la calidad de sus aguas, mientras que la última sintetiza la situación en la totalidad de la VII Región:

**Tabla 6.36. Síntesis de los datos hidrogeológicos más relevantes de los acuíferos**

ACUÍFEROS IDENTIFICADOS			DATOS ACUÍFERO								
Código	Nombre	Localización geográfica	Litología	Geometría			Prof. NP (m)	Parámetros Hidrodinámicos			
				Superficie (km <sup>2</sup> )	Potencia permeable (m)	Geofísica		T (m <sup>2</sup> /día)	K (m/día)	S	Tipo acuífero
<b>UPH 1. Costera entre límite Norte Región y río Mataquito ( 609,2 km<sup>2</sup>)</b>											
A1	Jurásico y Triásico costera norte	Sector medio de la cuenca costera	Calizas, areniscas y conglomerados	75,48	> 200	no		100 a 500	1 a 10	.10 <sup>-2</sup>	libre
<b>UPH 2. Cuenca Alta del Mataquito ( 4.669,3 km<sup>2</sup>)</b>											
A2	Cretácicos y jurásicos cuenca alta del río Teno	Cabecera de la cuenca del río Teno	Calizas, areniscas, conglomerados, luitas calcáreas	389,67	> 300	no		10 a 1.000	0,01 a 100	.10 <sup>-2</sup>	libre
A3	Aluvial de los ríos Teno y Lontué	Confluencia de los ríos Teno y Lontué en la Depresión Intermedia	Arenas, gravas, arcillas y limos	684,94	50 a 200 de la unidad superior, más permeable	Gravimetría: 12 perfiles con 139 estaciones de medida	0 a 50	100 a 1.000	<9,5 a >97,6	0,15 a 0,25	libre
A4	Formación volcánica sector norte de Depresión Intermedia	Depresión Intermedia, afloramiento atravesado por el cauce del río Teno	Depósitos de avalancha volcánica	244,17							
<b>UPH 3. Cuenca Baja del Mataquito ( 1.682,5 km<sup>2</sup>)</b>											
A5	Aluvial del bajo Mataquito	Cauce fluvial del río Mataquito, en su cuenca baja	Depósitos fluviales de arenas, gravas, bolos y arcillas	225,32	entre 16 a 100 m sobre el sustrato rocoso	Gravimetría: 2 perfiles con 12 estaciones de medida	0 a 50	10 a 1.000	0,08 a 138,2	0,15	libre
A6	Jurásico y Triásico bajo Mataquito	Flanco oriental de la Cordillera de la Costa, atravesado por el cauce del río Mataquito	Calizas, areniscas y conglomerados	300,86	> 500	no		10 a 1.000	0,01 a 100	.10 <sup>-2</sup>	libre
<b>UPH 4. Costera Mataquito-Maule ( 1.084,7 km<sup>2</sup>)</b>											

**Tabla 6.36. Síntesis de los datos hidrogeológicos más relevantes de los acuíferos**

ACUÍFEROS IDENTIFICADOS			DATOS ACUÍFERO									
Código	Nombre	Localización geográfica	Litología	Geometría			Prof. NP (m)	Parámetros Hidrodinámicos				
				Superficie (km <sup>2</sup> )	Potencia permeable (m)	Geofísica		T (m <sup>2</sup> /día)	K (m/día)	S	Tipo acuífero	Dirección flujo
A7	Detritico franja costera central	Planicie litoral entre las desembocaduras de los ríos Mataquito y Maule	Arenas, gravas, arcillas y depósitos eólicos	141,71	15 a 50	4 Perfiles de TEM	0,30 a 1	100 a 1.000	1 a 100	.10 <sup>-2</sup>	libre	E-O
<b>UPH 5. Cuenca Alta del Maule (4.998,1 km<sup>2</sup>)</b>												
A8	Aluvial del Alto Maule	Cauce fluvial del río Maule	Arenas, gravas, arcillas y limos	78,59	1 a 30-40	no	1 a 3	100 a 1.000	1 a 100	.10 <sup>-2</sup>	libre	E-O
<b>UPH 6. Cuenca Media y Baja del Maule (5.664,3 km<sup>2</sup>)</b>												
A9	Formación volcánica sector central Depresión Intermedia	Depresión Intermedia, entre cauces de ríos Claro y Lircay	Depósitos piroclásticos asociados a calderas de colapso	1 444,36	100	7 perfiles gravimétricos realizados en los años 2006 y 2010	3 a 10	400 a 1.500	3,9 a 146	10 <sup>-2</sup> a 10 <sup>-4</sup>	libre y confinado en algún sector	E-O y NE-SO
A10	Aluvial-coluvial sector central Depresión Intermedia	Depresión Intermedia, en el entorno de la margen derecha del río Maule	Arenas, gravas, arcillas y limos	353,19	50 a 200		3 a 9	500 a 2.000	5,4 a 170	.10 <sup>-2</sup>	libre	NE-SO
A11	Aluvial del Bajo Maule	Cauce fluvial del río Maule, en su tramo de la cuenca media y baja	Depósitos fluviales de arenas, gravas, bolos y arcillas	239,79	10 a 100	no	2 a 7	500 a 3.500	5,4 a 200	.10 <sup>-2</sup>	libre	E-O
<b>UPH 7. Cuenca del Perquilauquén (5.988,1 km<sup>2</sup>)</b>												

**Tabla 6.36. Síntesis de los datos hidrogeológicos más relevantes de los acuíferos**

ACUÍFEROS IDENTIFICADOS			DATOS ACUÍFERO									
Código	Nombre	Localización geográfica	Litología	Geometría			Prof. NP (m)	Parámetros Hidrodinámicos				
				Superficie (km <sup>2</sup> )	Potencia permeable (m)	Geofísica		T (m <sup>2</sup> /día)	K (m/día)	S	Tipo acuífero	Dirección flujo
A13	Formación volcánica sector sur Depresión Intermedia	Depresión Intermedia, en su sector meridional, atravesado su afloramiento por los cauces de los ríos Perquilauquen, Cauquenes y Purapel	Depósitos piroclásticos asociados a calderas de colapso	1 874,91	200	no	0,04 a 1,58	100 a 7.800	10,3 a 19,8	10 <sup>-2</sup> a 10 <sup>-4</sup>	libre, en algún sector confinado	E-O y O-E
A14	Aluvial-coluvial extremo meridional Depresión Intermedia	Depresión Intermedia, en su sector más meridional, en el entorno del cauce del río Perquilauquén	Arenas, gravas, arcillas y limos	1 370,97	30 a 200	no	0,02 a 2,14	10 a 390	0,51 a 14,6	10 <sup>-2</sup> a 10 <sup>-4</sup>	libre, en algún sector confinado	E-O y SO-NE
<b>UPH 8. Cuenca del Loncomilla (4.390,1 km<sup>2</sup>)</b>												
A12	Aluvial-coluvial sector sur Depresión Intermedia	Depresión Intermedia, en el entorno de la margen izquierda del río Maule y cauces de los ríos Putagán y Achibueno	Arenas, gravas, arcillas y limos	2 066,75	40 a 200 m	2 perfiles gravimétricos realizados en los años 2006 y 2010	0,07 a 6,23	200 a 3.500	2,8 a 17,3	0,01 a 0,02	libre	E-O
<b>UPH 9. Costera entre Maule y Límite Sur (1.934,8 km<sup>2</sup>)</b>												

**Tabla 6.36. Síntesis de los datos hidrogeológicos más relevantes de los acuíferos**

ACUÍFEROS IDENTIFICADOS			DATOS ACUÍFERO									
Código	Nombre	Localización geográfica	Litología	Geometría			Prof. NP (m)	Parámetros Hidrodinámicos				
				Superficie (km <sup>2</sup> )	Potencia permeable (m)	Geofísica		T (m <sup>2</sup> /día)	K (m/día)	S	Tipo acuífero	Dirección flujo
A15	Cretácico costera sur	Flanco oriental de la Cordillera de la Costa, atravesado por el río Reloca	Areniscas, conglomerados, lutitas, calizas y sucesiones turbidíticas	238,45	> 300	no		100 a 1.000	1 a 100	.10 <sup>-2</sup>	libre	NE-SO y SE-NO
A16	Detritico franja costera sur	Planicie litoral entre las desembocadura del río Reloca y el límite Sur de la Región VII	Arenas, gravas, arcillas y depósitos litorales (arenas y gravas)	165,35	15 a 50	no	0,30 a 1	100 a 1.000	10 a 100	.10 <sup>-2</sup>	libre	E-O
<b>TOTAL</b>				<b>9.894,50</b>								

**Tabla 6.37. Explotación de acuíferos y calidad de sus aguas**

ACUÍFERO	CAPTACIONES AGUAS SUBTERRÁNEAS					CALIDAD DEL AGUA		
	Nº DAA	Profundidad obra (m)	Volumen de explotación concedido (hm <sup>3</sup> /año)	Volumen explotado (con factor de uso) (hm <sup>3</sup> /año)	Red Piezométrica (nº)	Puntos control	Sólidos Totales Disueltos (mg/l)	Estado calidad
<b>UPH 1. Costera entre límite Norte Región y río Mataquito ( 609,2 km<sup>2</sup>)</b>								
A1	0		0,00		no	0		Se supone buena
<b>UPH 2. Cuenca Alta del Mataquito ( 4.669,3 km<sup>2</sup>)</b>								
A2	0		0,00		no	0		Buena
A3	449	9 a 102	365,80	142,65	187	16 (doc. RH015)	160 a 368	En general buena, aunque puntualmente los Nitratos pueden incrementarse ligeramente
A4	70							
<b>UPH 3. Cuenca Baja del Mataquito ( 1.682,5 km<sup>2</sup>)</b>								
A5	51	8 a 127	13,07	5,09	14 (2012) y 40	9 (doc. RH015 y CA055)	260	Buena, salvo la muestra M-1, con contenido alto en Mn, Fe y Al
A6	12		0,97		no	0		Debe ser buena, ante la naturaleza de los materiales del acuífero
<b>UPH 4. Costera Mataquito-Maule ( 1.084,7 km<sup>2</sup>)</b>								
A7	5		0,60		no	2 (doc. RH020)		Bajos contenidos en As, NO <sub>2</sub> y NO <sub>3</sub>

**Tabla 6.37. Explotación de acuíferos y calidad de sus aguas**

ACUÍFERO	CAPTACIONES AGUAS SUBTERRÁNEAS					CALIDAD DEL AGUA		
	Nº DAA	Profundidad obra (m)	Volumen de explotación concedido (hm <sup>3</sup> /año)	Volumen explotado (con factor de uso) (hm <sup>3</sup> /año)	Red Piezométrica (nº)	Puntos control	Sólidos Totales Disueltos (mg/l)	Estado calidad
<b>UPH 5. Cuenca Alta del Maule (4.998,1 km<sup>2</sup>)</b>								
A8	1		0,13			0	Debe ser buena, aunque habría que vigilar la posible presencia de elementos metálicos de explotaciones mineras	
<b>UPH 6. Cuenca Media y Baja del Maule (5.664,3 km<sup>2</sup>)</b>								
A9	332	de 5 a 157 m	192,64	121,78	70	20 pozos distribuidos por la cuenca del Maule	entre 150 a 200	Buena en general
A10	53		58,12	36,75				
A11	19		6,46	4,08				
<b>UPH 7. Cuenca del Perquilauquén (5.988,1 km<sup>2</sup>)</b>								
A13	411	4 a 355	298,02	218,67	34 (2010)	14	38,4 a 650 µmohs/cm de conductividad	Buena, solo dos pozos en Cauquenes con 11 mg/l de NO <sub>3</sub> (2013)
A14	122	3 a 210	51,41	13,00	15 (2010)			
<b>UPH 8. Cuenca del Loncomilla (4.390,1 km<sup>2</sup>)</b>								
A12	553	4 a 175 (uno 299)	285,55	180,51	71	20 pozos distribuidos por la cuenca del Maule	entre 88 y 370	Buena
<b>UPH 9. Costera entre Maule y Límite Sur (1.934,8 km<sup>2</sup>)</b>								
A15	14		1,35		no	1 (1995)	728 µmohs/cm	Buena
A16	12		1,04		no			
<b>TOTAL</b>	<b>2.104</b>		<b>1.275,16</b>	<b>722,53</b>				

**Tabla 6.38. Situación aguas subterráneas en la Región VII Maule**

ACUÍFEROS			BALANCE DEL ACUÍFERO					RESERVAS ACUÍFERO		
Código	Nombre	Extensión Afloramientos (km <sup>2</sup> )	Explotación anual (hm <sup>3</sup> /año) <sup>4</sup>	Precipitación media anual Pm <sup>6</sup> (mm)	Infiltración (% Pm)	Recarga (hm <sup>3</sup> /año) <sup>7</sup>	Balance anual (hm <sup>3</sup> /año)	Potencia media saturada de agua (m)	Coeficiente almacenamiento (S)	Reservas totales estimadas (hm <sup>3</sup> ) <sup>5</sup>
<b>UPH 1. Costera entre límite Norte Región y río Mataquito</b>										
A1	Jurásico y Triásico costera norte	75,48	0,00	700	30	15,85	15,85	100	10 <sup>-2</sup>	75
Resto UPH 1	Rocas metamórficas y graníticas	534,00	1,68	700	8	29,90	28,22			
<b>TOTAL UPH 1</b>		<b>609,48</b>	<b>1,68</b>			<b>45,75</b>	<b>44,07</b>			<b>75</b>
<b>UPH 2. Cuenca Alta del Mataquito</b>										
A2	Cretácicos y jurásicos cuenca alta del río Teno	389,67	0,00	2 000	30	233,82	233,82	>100	10 <sup>-2</sup>	389
A3	Aluvial de los ríos Teno y Lontue	684,94	142,65	1 909	Modelo hidrogeológico	482,64	339,99	125	0,15 a 0,25	18 580

<sup>4</sup> **Explotación anual** procedente de los Derechos de Aprovechamientos de Aguas Subterráneas (en l/s), afectados del factor de uso de la DGA.

<sup>5</sup> **Reservas almacenadas en los acuíferos**, obtenidas al multiplicar la superficie por la potencia saturada del acuífero y por el factor de almacenamiento (S)

<sup>6</sup> **Precipitación media** de la cuenca, obtenida del Mapa de Isoyetas de la Región del Maule. Balance hídrico de Chile, DGA, 1987.

<sup>7</sup> **Recarga de acuíferos**, obtenida de multiplicar la precipitación media por el porcentaje de infiltración.

**Tabla 6.38. Situación aguas subterráneas en la Región VII Maule**

ACUÍFEROS			BALANCE DEL ACUÍFERO				RESERVAS ACUÍFERO			
Código	Nombre	Extensión Afloramientos (km <sup>2</sup> )	Explotación anual (hm <sup>3</sup> /año) <sup>4</sup>	Recarga anual media			Balance anual (hm <sup>3</sup> /año)	Potencia media saturada de agua (m)	Coeficiente almacen. (S)	Reservas totales estimadas (hm <sup>3</sup> ) <sup>5</sup>
				Precipitación media anual Pm <sup>6</sup> (mm)	Infiltración (% Pm)	Recarga (hm <sup>3</sup> /año) <sup>7</sup>				
A4	Formación volcánica sector norte Depresión Intermedia	244,17								
Resto UPH 2	Rocas volcano-sedimentarias, en su mayor parte	3.351,00	0,00	2 000	8	536,08	536,08			
<b>TOTAL UPH 2</b>		<b>4.669,78</b>	<b>142,65</b>			<b>1.252,54</b>	<b>1.109,89</b>			<b>18.969</b>
<b>UPH 3. Cuenca Baja del Mataquito</b>										
A5	Aluvial del bajo Mataquito	225,32	5,09	700	Modelo hidrogeológico	192,52	187,43	52	10 <sup>-2</sup>	1 755
A6	Jurásico y Triásico bajo Mataquito	300,86	0,97	700	30	63,21	62,24	>100	10 <sup>-2</sup>	301
Resto UPH 3	Rocas volcano-sedimentarias, metamórficas y graníticas	1.156,00	2,56	700	10	80,92	78,36			
<b>TOTAL UPH 3</b>		<b>1.682,18</b>	<b>8,62</b>			<b>336,65</b>	<b>328,03</b>			<b>2.056</b>

**Tabla 6.38. Situación aguas subterráneas en la Región VII Maule**

ACUÍFEROS			BALANCE DEL ACUÍFERO				RESERVAS ACUÍFERO			
Código	Nombre	Extensión Afloramientos (km <sup>2</sup> )	Explotación anual (hm <sup>3</sup> /año) <sup>4</sup>	Recarga anual media			Balance anual (hm <sup>3</sup> /año) <sup>7</sup>	Potencia media saturada de agua (m)	Coeficiente almacenamiento (S)	Reservas totales estimadas (hm <sup>3</sup> ) <sup>5</sup>
				Precipitación media anual Pm <sup>6</sup> (mm)	Infiltración (% Pm)	Recarga (hm <sup>3</sup> /año) <sup>7</sup>				
<b>UPH 4. Costera Mataquito-Maule</b>										
A7	Detritico franja costera central	141,71	0,60	700	15	14,91	14,31	31	.10 <sup>-2</sup>	44
Resto UPH 4	Rocas metamórficas y graníticas	943,00	4,88	700	8	52,80	47,92			
<b>TOTAL UPH 4</b>		<b>1.084,71</b>	<b>5,48</b>			<b>67,71</b>	<b>62,23</b>			<b>44</b>
<b>UPH 5. Cuenca Alta del Maule</b>										
A8	Aluvial del Alto Maule	78,59	0,13	2 000	25	39,50	39,37	22	10 <sup>-2</sup>	17
Resto UPH 5	Rocas volcánicas, volcano-sedimentarias y graníticas	4.919,00	0,55	2 500	8	983,80	983,25			
<b>TOTAL UPH 5</b>		<b>4.997,59</b>	<b>0,68</b>			<b>1.023</b>	<b>1.022,62</b>			<b>17</b>
<b>UPH 6. Cuenca Media y Baja del Maule</b>										
A9	Formación volcánica sector central Depresión Intermedia	1.444,36	121,78	850	25	306,85	185,07	90	10 <sup>-2</sup> y 10 <sup>-4</sup>	562

**Tabla 6.38. Situación aguas subterráneas en la Región VII Maule**

ACUÍFEROS			BALANCE DEL ACUÍFERO					RESERVAS ACUÍFERO		
Código	Nombre	Extensión Afloramientos (km <sup>2</sup> )	Explotación anual (hm <sup>3</sup> /año) <sup>4</sup>	Recarga anual media			Balance anual (hm <sup>3</sup> /año)	Potencia media saturada de agua (m)	Coeficiente almacen. (S)	Reservas totales estimadas (hm <sup>3</sup> ) <sup>5</sup>
				Precipitación media anual Pm <sup>6</sup> (mm)	Infiltración (% Pm)	Recarga (hm <sup>3</sup> /año) <sup>7</sup>				
A10	Aluvial-coluvial sector central Depresión Intermedia	353,19	36,75	850	25	75,01	38,26	115	10 <sup>-2</sup>	406
A11	Aluvial del Bajo Maule	239,79	4,08	800	25	48,00	43,92	50	.10 <sup>-2</sup>	120
Resto UPH 6	Rocas volcánicas, volcano-sedimentarias, metamórficas y graníticas	3 627,00	1,04	1 300	8	391,70	390,66			
<b>TOTAL UPH 6</b>		<b>5 664,34</b>	<b>163,65</b>			<b>821,56</b>	<b>657,91</b>			<b>1 088</b>

**UPH 7. Cuenca del Perquilauquén**

A13	Formación volcánica sector sur Depresión Intermedia	1 874,91	188,39	1 150	25	538,78	350,39	184	10 <sup>-2</sup> y 10 <sup>-4</sup>	2 082
A14	Aluvial-coluvial extremo meridional Depresión Intermedia	1 370,97	32,51	1 150	25	394,16	361,65	87	10 <sup>-2</sup> a 10 <sup>-4</sup>	839

**Tabla 6.38. Situación aguas subterráneas en la Región VII Maule**

ACUÍFEROS			BALANCE DEL ACUÍFERO					RESERVAS ACUÍFERO		
Código	Nombre	Extensión Afloramientos (km <sup>2</sup> )	Explotación anual (hm <sup>3</sup> /año) <sup>4</sup>	Recarga anual media			Balance anual (hm <sup>3</sup> /año)	Potencia media saturada de agua (m)	Coeficiente almacea. (S)	Reservas totales estimadas (hm <sup>3</sup> ) <sup>5</sup>
				Precipitación media anual Pm <sup>6</sup> (mm)	Infiltración (% Pm)	Recarga (hm <sup>3</sup> /año) <sup>7</sup>				
Resto UPH 7	Rocas volcánicas, volcano-sedimentarias y graníticas	2 742,22	16,41	1 383	8	303,56	287,15			
<b>TOTAL UPH 7</b>		<b>5 988,10</b>	<b>237,31</b>			<b>1 237</b>	<b>999,19</b>			<b>2 921</b>
<b>UPH 8. Cuenca del Loncomilla</b>										
A12	Aluvial-coluvial sector sur Depresión Intermedia	2.066,75	170,20	1 150	25	593,97	423,77	100	10 <sup>-2</sup>	2.066
Resto UPH 8	Rocas volcánicas, volcano-sedimentarias y graníticas	2.323,35	0,00	1 900	8	353,25	353,24			
<b>TOTAL UPH 8</b>		<b>4.390,10</b>	<b>170,20</b>			<b>947,22</b>	<b>777,01</b>			<b>2.066</b>
<b>UPH 9. Costera entre Maule y Límite Sur</b>										
A15	Cretácico costera sur	238,45	1,35	700	30	49,98	48,63	>100	10 <sup>-2</sup>	238
A16	Detritico franja costera sur	165,35	1,04	700	25	28,87	27,83	27	10 <sup>-2</sup>	45

**Tabla 6.38. Situación aguas subterráneas en la Región VII Maule**

ACUÍFEROS			BALANCE DEL ACUÍFERO				RESERVAS ACUÍFERO			
Código	Nombre	Extensión Afloramientos (km <sup>2</sup> )	Explotación anual (hm <sup>3</sup> /año) <sup>4</sup>	Recarga anual media			Balance anual (hm <sup>3</sup> /año)	Potencia media saturada de agua (m)	Coeficiente almacea. (S)	Reservas totales estimadas (hm <sup>3</sup> ) <sup>5</sup>
				Precipitación media anual Pm <sup>6</sup> (mm)	Infiltración (% Pm)	Recarga (hm <sup>3</sup> /año) <sup>7</sup>				
Resto UPH 9	Rocas volcánicas, volcano-sedimentarias y graníticas	1.531,00	3,57	750	8	91,80	88,23			
<b>TOTAL UPH 9</b>	<b>1.934,80</b>	<b>5,96</b>				<b>170,65</b>	<b>164,69</b>		<b>283</b>	
<b>TOTAL REGIÓN MAULE</b>	<b>31.021,08</b>	<b>736,23</b>				<b>5.901,88</b>	<b>5.165,64</b>		<b>27.519</b>	

## 7. RESUMEN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS REGIÓN VII DEL MAULE

La situación de las aguas subterráneas en el conjunto de la Región VII del Maule se resume en el cuadro siguiente, en el que se incluyen las formaciones acuíferas identificadas en el marco del presente PMRHM distribuidas por las unidades de planificación hídrica:

**Tabla 7.1. Situación de las aguas subterráneas en los acuíferos de la VII Región del Maule**

Nº	DENOMINACIÓN UPH	EXTENSIÓN ACUÍFEROS (km <sup>2</sup> )	EXPLOTACIÓN CONTROLADA (hm <sup>3</sup> /año)	RECARGA ESTIMADA (hm <sup>3</sup> /año)	BALANCE (hm <sup>3</sup> /año)	RESERVA ALMACENADA (hm <sup>3</sup> )
1	Costera norte	75,48	0,00	15,85	15,85	75,00
2	Alto Mataquito	1.318,78	142,65	716,46	573,81	18 969,00
3	Bajo Mataquito	526,18	6,06	255,73	249,67	2 056,00
4	Costera central	141,71	0,60	14,91	14,31	44,00
5	Alto Maule	78,59	0,13	39,50	39,37	17,00
6	Medio y Bajo Maule	2.037,34	162,61	429,86	267,25	1 087,95
7	Perquilauquén	3.245,88	220,90	932,94	712,04	2 921,00
8	Loncomilla	2.066,75	170,20	593,97	423,77	2 066,00
9	Costera sur	403,80	2,39	78,85	76,46	283,00
<b>TOTAL</b>		<b>9 894,50</b>	<b>705,54</b>	<b>3.078,07</b>	<b>2.372,53</b>	<b>27.518,95</b>

La observación de la tabla anterior permite establecer las siguientes conclusiones al nivel de los 16 acuíferos en explotación del conjunto del territorio:

- El volumen estimado de la **recarga anual de agua** es de **3 078 hm<sup>3</sup>/año** y procede de la precipitación que se infiltra en los acuíferos; esta recarga forma parte del conjunto de los recursos hídricos naturales estimados en la VII Región, que han sido evaluados en el capítulo de Recursos Hídricos en Régimen Natural de este documento.
- **La mayor parte de esta recarga**, salvo la que es explotada para su utilización mediante los pozos inventariados y los manantiales aprovechados, entra a formar parte del balance positivo de las aguas subterráneas que **se integra en el ciclo superficial de los ríos**. Solamente una parte de ella, la que se infiltra en los acuíferos aluviales costeros, y que no es explotada, puede pasar subterráneamente al mar, a través del borde costero, sin retornar al ciclo superficial.
- La **explotación** controlada de estos recursos subterráneos alcanza un volumen de **706 hm<sup>3</sup>/año**.
- Las **reservas totales** de agua subterránea almacenada en el conjunto de los acuíferos identificados en la VII Región del Maule suponen una cifra de unos **27.519 hm<sup>3</sup>**.