



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

**LEVANTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO EN CUENCAS
PLUVIALES COSTERAS EN LA REGIÓN DEL
LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGINS, DEL
MAULE Y DEL BÍO-BÍO, ETAPA 2**

INFORME FINAL

REALIZADO POR:

AQUALOGY MEDIOAMBIENTE CHILE S.A.

S.I.T. N° 346

SANTIAGO, NOVIEMBRE, 2014

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas

Sr. Alberto Undurraga Vicuña

Director General de Aguas

Sr. Carlos Estévez Valencia

Jefe de División de Estudios y Planificación

Sr. Adrián Lillo Zenteno

Inspector Fiscal

Sr. Juan Carlos Salgado González

AQUALOGY MEDIOAMBIENTE CHILE S.A.

Jefa de Proyecto

María Angélica Alegría Calvo (Ing. Civil Hidráulica)

Director Técnico

Salvador Bueso Sánchez (Hidrogeólogo)

Experto en Hidrogeología y Modelación Matemática

Alberto Barrera García (Hidrogeólogo)

Experto en Geología e Hidrogeología

Juan Carlos Sirvent Artiaga (Hidrogeólogo)

Experta en Geofísica

Fuencisla Fernández Rodríguez (Geofísica)

Profesionales de terreno

Beatriz Salas Martínez (Geóloga)

Emilio Mora Pérez (Operador Geofísica)

Jose María Ramírez (Operador Geofísica)

Pedro Andoñe Carrasco (T. sup. en Geomensura)

Marcelo Ponce Cisternas (T. Naval)

Daniel Muñoz Olguín (Estudiante Geología)

Experto en SIG

Jorge Mena Gutiérrez (Geógrafo)

ÍNDICE

0.	PRESENTACIÓN	17
1.	RESUMEN.....	19
2.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	21
3.	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	23
4.	DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA GENERAL.....	25
5.	RECOPIACION Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES.....	29
5.1.	ESTUDIOS PREVIOS Y DOCUMENTACION	29
5.2.	RESUMEN DE RECOPIACIÓN DE DERECHOS OTORGADOS.....	37
5.2.1.	EXPEDIENTES REGION VI.....	39
5.2.2.	EXPEDIENTES REGION VII	41
5.2.3.	REGION VIII.....	43
5.2.4.	DATOS APORTADOS	44
6.	CARACTERIZACION HIDROLÓGICA.....	47
6.1.	METODOLOGIA	47
6.1.1.	APLICACIÓN DE SOFTWARE UTILIZADA.....	47
6.1.2.	DATOS DE ENTRADA	55
6.2.	CARACTERIZACION HIDROLÓGICA CUENCAS VI REGIÓN	59
6.2.1.	CUENCA DEL RÍO RAPEL	59
6.2.2.	CUENCA DEL RÍO CACHAPOAL.....	60
6.2.3.	CUENCA DEL RÍO TINGUIRIRICA.....	60
6.2.4.	CUENCA DEL ESTERO TOCOPALMA.....	60
6.2.5.	CUENCA DEL ESTERO NILAHUE.....	60
6.2.6.	OTRAS CUENCAS	61
6.2.7.	REDEFINICIÓN DE CUENCAS	61
6.2.8.	PLUVIOMETRÍA	62
6.2.9.	FLUVIOMETRÍA	64
6.2.10.	CÁLCULO DE LA ESCORRENTIA E INFILTRACION.....	64
6.3.	CARACTERIZACION HIDROLÓGICA CUENCAS VII REGIÓN.....	71
6.3.1.	RÍO MAULE.....	72
6.3.2.	RÍO LONCOMILLA.....	72
6.3.3.	REDEFINICIÓN DE CUENCAS	72
6.3.4.	PLUVIOMETRÍA	74
6.3.5.	FLUVIOMETRÍA	75
6.3.6.	CÁLCULO DE LA INFILTRACIÓN Y ESCORRENTÍA.....	76
6.4.	CARACTERIZACION HIDROLÓGICA CUENCAS VIII REGIÓN.....	86
6.4.1.	CUENCA COSTERA ENTRE LÍMITE NORTE DE LA REGIÓN Y EL RÍO ITATA 86	
6.4.2.	CUENCA COSTERA ENTRE RÍO ITATA Y RÍO BIOBÍO	86
6.4.3.	CUENCA COSTERA ENTRE EL RÍO BIOBÍO Y CARAMPANGUE	87
6.4.4.	CUENCA DEL RÍO CARAMPANGUE.....	87
6.4.5.	CUENCA COSTERA ENTRE EL RÍO CARAMPANGUE Y LEBU	87
6.4.6.	CUENCA RÍO LEBU	87
6.4.7.	CUENCA COSTERA ENTRE EL RÍO LEBU Y PAICAVÍ	87
6.4.8.	CUENCA COSTERA ENTRE EL RÍO PAICAVÍ Y LÍMITE REGIONAL SUR88	
6.4.9.	REDEFINICIÓN DE CUENCAS	88
6.4.10.	PLUVIOMETRÍA	89
6.4.11.	FLUVIOMETRÍA	90
6.4.12.	CÁLCULO DE LA INFILTRACIÓN Y ESCORRENTÍA.....	91
7.	RECONOCIMIENTO DE TERRENO.....	101
7.1.	CATASTRO DE CAPTACIONES VI REGIÓN	102
7.1.1.	IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS CATASTRADOS.....	102
7.1.2.	CARACTERÍSTICAS DE LOS PUNTOS CATASTRADOS.....	104

7.2.	CATASTRO DE CAPTACIONES VII REGIÓN.....	104
7.2.1.	IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS CATASTRADOS.....	104
7.2.2.	CARACTERÍSTICAS DE LOS PUNTOS CATASTRADOS.....	105
7.3.	CATASTRO DE CAPTACIONES VIII REGIÓN.....	105
7.3.1.	IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS CATASTRADOS.....	106
7.3.2.	CARACTERÍSTICAS DE LOS PUNTOS CATASTRADOS.....	108
7.4.	ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA.....	108
7.4.1.	INTRODUCCIÓN.....	108
7.4.2.	CAMPAÑA DE TERRENO.....	109
7.4.2.1.	GRAVIMETRÍA.....	109
7.4.2.2.	ESTUDIO TRANSIENTE ELECTROMAGNÉTICO.....	110
7.4.2.3.	UBICACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES REALIZADAS.....	113
7.4.2.4.	RESULTADOS.....	118
8.	INTEPRETACIÓN DE AFOROS.....	119
9.	HIDROGEOLOGIA.....	121
9.1.	DEFINICION DE ACUIFEROS.....	121
9.2.	MODELO CONCEPTUAL DE BALANCES.....	122
9.3.	REGION VI.....	124
9.3.1.	ACUIFERO COSTERO DE NAVIDAD.....	124
9.3.1.1.	GEOLOGIA.....	125
9.3.1.2.	FORMACIONES PERMEABLES.....	127
9.3.1.3.	GEOMETRIA.....	128
9.3.1.4.	PARAMETROS ELASTICOS.....	129
9.3.1.5.	PIEZOMETRIA.....	130
9.3.1.6.	BALANCE.....	130
9.3.2.	DETRITICO DE MARCHIHUE.....	131
9.3.2.1.	GEOLOGIA.....	132
9.3.2.2.	FORMACIONES PERMEABLES.....	134
9.3.2.3.	GEOMETRIA.....	135
9.3.2.4.	PARAMETROS ELASTICOS.....	139
9.3.2.5.	PIEZOMETRIA.....	145
9.3.2.6.	BALANCE.....	147
9.3.3.	CUATERNARIO COSTERO DE PICHILEMU.....	147
9.3.3.1.	GEOLOGIA.....	148
9.3.3.2.	FORMACIONES PERMEABLES.....	148
9.3.3.3.	GEOMETRIA.....	149
9.3.3.4.	PARAMETROS ELÁSTICOS.....	152
9.3.3.5.	PIEZOMETRIA.....	152
9.3.3.6.	BALANCE.....	152
9.3.4.	ESTERO PAREDONES.....	153
9.3.4.1.	GEOLOGIA.....	153
9.3.4.2.	FORMACIONES PERMEABLES.....	154
9.3.4.3.	GEOMETRIA.....	154
9.3.4.4.	PARAMETROS ELASTICOS.....	157
9.3.4.5.	PIEZOMETRIA.....	157
9.3.4.6.	BALANCE.....	157
9.4.	REGION VII.....	158
9.4.1.	COSTERO DUNAS DE PUTU.....	158
9.4.1.1.	GEOLOGIA.....	159
9.4.1.2.	FORMACIONES PERMEABLES.....	159
9.4.1.3.	GEOMETRIA.....	159
9.4.1.4.	PARAMETROS ELASTICOS.....	162
9.4.1.5.	PIEZOMETRIA.....	166
9.4.1.6.	BALANCE.....	167
9.4.2.	ALUVIAL HUENCHULLAMÍ.....	167

9.4.2.1. GEOLOGIA	168
9.4.2.2. FORMACIONES PERMEABLES	168
9.4.2.3. GEOMETRÍA	169
9.4.2.4. PARAMETROS ELASTICOS	169
9.4.2.5. PIEZOMETRÍA	169
9.4.2.6. BALANCE	170
9.4.3. ALUVIAL DEL RIO MAULE	170
9.4.3.1. GEOLOGIA	171
9.4.3.2. FORMACIONES PERMEABLES	171
9.4.3.3. GEOMETRIA	172
9.4.3.4. PARAMETROS ELASTICOS	172
9.4.3.5. PIEZOMETRIA	175
9.4.3.6. BALANCE	175
9.4.3.7. VALLE DEL MAULE	175
9.4.4. ALUVIAL RELOCA	186
9.5. REGION VIII	189
9.5.1. ALUVIAL DEL RIO BIO BIO	189
9.5.2. TRIÁSICO QUILACOYA – SANTA JUANA	195
9.5.3. SAN PEDRO DE LA PAZ-TALCAHUANO	198
9.5.4. ACUIFERO COSTERO DE LEBU	210
9.5.4.1. GEOLOGIA	210
9.5.4.2. FORMACIONES PERMEABLES	211
9.5.4.3. GEOMETRÍA	213
9.5.4.4. PARAMETROS ELASTICOS	216
9.5.4.5. PIEZOMETRÍA	217
9.5.4.6. BALANCE HÍDRICO	218
9.5.5. OTROS ACUÍFEROS	219
10. MODELO NUMÉRICO DEL ACUÍFERO ALUVIAL DEL BIOBIO-BAJO ..	221
10.1. DESCRIPCIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL SISTEMA	221
10.2. DISCRETIZACIÓN Y MALLADO DEL MODELO	223
10.3. GEOMETRÍA DEL MODELO	225
10.4. PARÁMETROS ELÁSTICOS	228
10.5. CONDICIONES DE CONTORNO	231
10.5.1. BORDES	231
10.5.2. RÍOS	233
10.5.3. RECARGA	235
10.5.4. EXTRACCIONES POR BOMBEO	236
10.6. PUNTOS DE OBSERVACIÓN	250
10.7. EJECUCIÓN DEL MODELO	254
10.8. CALIBRACIÓN DEL MODELO	255
10.9. BALANCE HÍDRICO	256
11. HERRAMIENTA DE GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS	259
11.1. MODELO CONCEPTUAL	259
11.2. DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN	260
11.3. ESTRUCTURA DE LA APLICACIÓN	265
11.4. USO DE LA APLICACIÓN	266
12. BIBLIOGRAFÍA	267
ANEXO I. ANÁLISIS DEL CATASTRO PÚBLICO DE AGUAS	
ANEXO II. CATASTRO DE CAPTACIONES REALIZADO	
ANEXO III. GEOFÍSICA	
ANEXO IV. FICHAS CATASTRO	
ANEXO V. METODOLOGÍA LEVANTAMIENTO POZOS	
ANEXO VI. COLUMNAS DE EXPEDIENTES	
ANEXO VII. HERRAMIENTA DE GESTIÓN	



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cuencas costeras de estudio de la VI Región y cuencas aportantes.....	23
Figura 2. Comunas de estudio de la VII Región y cuencas aportantes.....	24
Figura 3. Cuencas costeras de estudio de la VIII Región y cuencas aportantes	24
Figura 4. Dominios morfoestructurales de la zona central de Chile. Modificado de Sernageomin (2000).....	25
Figura 5. Geología de las cuencas costeras de la VI Región. Modificado de Sernageomin (2000)	26
Figura 6. Geología de las comunas de la VII Región. Modificado de Sernageomin (2000)	27
Figura 7. Geología de las cuencas costeras del norte de la VIII Región. Modificado de Sernageomin (2000).....	28
Figura 8. Distribución de expedientes según Región.....	37
Figura 9. Distribución de expedientes escaneados según Región.....	38
Figura 10. Datos obtenidos tras el análisis de expedientes	39
Figura 11. Expedientes por cuencas en Región VI	40
Figura 12. Disponibilidad de datos en Región VI	41
Figura 13. Expedientes por comunas en Región VII.....	42
Figura 14. Datos obtenidos en expedientes de la Región VII	43
Figura 15. Expedientes por comunas en Región VIII.....	44
Figura 16. Límites de cuenca y estaciones	47
Figura 17. Polígonos de thiessen.....	48
Figura 18. Mapeado de suelos	48
Figura 19. Zonas de intersecciones.....	49
Figura 20. Esquema de producción de lluvia útil e incremento de la reserva a partir de la precipitación en relación con el balance en del suelo propuesto por Girard (1981). 52	
Figura 21. Curva de LLU vs ESC obtenida al aplicar la expresión del Soil Conservation Service para un Po de 20 mm.	53
Figura 22. Valores de CC y PM según tipo de suelo	56
Figura 23. Cuencas y cauces de la Región VI.....	62
Figura 24. Registros y estadística de la estación Cachapoal.....	63
Figura 25. Simulación del caudal en la estación de Cachapoal a partir de la regresión múltiple entre los datos de ésta y los de precipitación.	64
Figura 26. Usos del suelo en cuencas de la VI Región.....	65
Figura 27. Clasificación de pendientes en cuencas de la VI Región	65
Figura 28. Grupos de suelo en cuencas de la VI Región	66
Figura 29. Zonificación obtenida del umbral de escorrentía (P_0) de la VI Región.....	66
Figura 30. Áreas de regadío de la VI Región.....	71

Figura 31. Cuencas y cauces de la Región VII	73
Figura 32. Simulación del caudal en la estación Río Maule en Forel partir de la regresión múltiple entre los datos de ésta y los de precipitación.	75
Figura 33. Usos del suelo en cuencas de la VII Región.....	76
Figura 34. Clasificación de pendientes en cuencas de la VII Región	76
Figura 35. Grupos de suelo en cuencas de la VII Región	77
Figura 36. Zonificación obtenida del umbral de escorrentía (P_0) de la VII Región	77
Figura 37. Áreas de riego de la VII Región	86
Figura 38. Cuencas y cauces de la Región VIII	88
Figura 39. Simulación del caudal en la estación de Río Andalién en Puente Trinitarias partir de la regresión múltiple entre los datos de ésta y los de precipitación.....	91
Figura 40. Simulación del caudal en la estación de BioBio desembocadura a partir de la regresión múltiple entre los datos de ésta y los de precipitación.	91
Figura 41. Usos del suelo en cuencas de la VIII Región	92
Figura 42. Clasificación de pendientes en cuencas de la VIII Región.....	93
Figura 43. Grupos de suelo en cuencas de la VIII Región.....	93
Figura 44. Zonificación obtenida del umbral de escorrentía (P_0) de la VIII Región	94
Figura 45. Áreas de riego de la VIII Región	99
Figura 46. Ejemplo de fotografía de un punto inventariado en el catastro de campo.	101
Figura 47. Distribución de los puntos catastrados en VI Región	103
Figura 48. Distribución de los puntos catastrados en comunas de la VII Región, y clasificación por estado.	105
Figura 49. Distribución de los puntos catastrados en cuencas de la VIII Región, zona Norte, y clasificación según estado	106
Figura 50. Distribución de los puntos catastrados en cuencas de la VIII Región, zona Sur, y clasificación según estado.	107
Figura 51. Ejemplo de fotografía tomada en captación de la Región VIII.....	108
Figura 52. Ejemplo de perfil TEM interpretado en el desarrollo del estudio.	111
Figura 53. Equipo Zonge GDP-32II	112
Figura 55. Antena TEM-3 (izquierda) y transmisor ZT-30 (derecha)	112
Figura 56. Ubicación campaña geofísica VI Región	114
Figura 57. Ubicación campaña geofísica VII Región.....	115
Figura 58. Ubicación campaña geofísica VIII Región, zona norte.....	116
Figura 59. Ubicación campaña geofísica VIII Región, zona sur.....	117
Figura 60. Esquema conceptual del balance hídrico.....	124
Figura 61. Situación geográfica del Acuífero Costero Navidad.....	125
Figura 62. Holoestratotipo de la formación Navidad.	126
Figura 63. Perfil de geofísica gravimétrica del estudio de referencia.	129

Figura 64. Valores de T y K del estudio "Diagnostico potencial hídrico acuíferos costeros región VI".	130
Figura 65. Situación Geográfica del Acuífero Detrítico de Marchihue	132
Figura 66. Perfiles elaborados en el acuífero Detrítico de Marchihue.	136
Figura 67. Perfil 9. Acuífero Detrítico de Marchihue, sector norte.	137
Figura 68. Perfil 3. Acuífero Detrítico de Marchihue, sector sureste.	137
Figura 69. Perfil 4. Acuífero Detrítico de Marchihue, sector centro sur.	138
Figura 70. Perfil 7. Acuífero Detrítico de Marchihue, sector centro sur.	138
Figura 71. Ajuste de la curva obtenida en el aforo del expediente ND-0602-3223.	141
Figura 72. Ajuste de la curva obtenida en el segundo aforo del expediente ND-0602-3223.	143
Figura 73. Piezometría del Acuífero Detrítico de Marchihue.	146
Figura 74. Situación geográfica del Acuífero Cuaternario de Pichilemu.	148
Figura 75. Perfiles de geofísica realizados en el acuífero Cuaternario de Pichilemu.	149
Figura 76. Profundidades del basamento acuífero Cuaternario de Pichilemu.	150
Figura 77. Perfil n° 1 acuífero Cuaternario de Pichilemu.	151
Figura 78. Perfil n° 2 acuífero Cuaternario de Pichilemu.	151
Figura 79. Perfil n° 3 acuífero Cuaternario de Pichilemu.	151
Figura 80. Situación geográfica del acuífero Estero de Paredones.	153
Figura 81. Perfiles de geofísica realizados en el acuífero Estero Paredones.	154
Figura 82. Profundidad del basamento.	155
Figura 83. Cotas del basamento del acuífero Estero Paredones.	156
Figura 84. Perfil del acuífero Estero Paredones.	156
Figura 85. Perfil del acuífero Estero Paredones.	156
Figura 86. Situación geográfica del acuífero Costero Dunas de Putú.	158
Figura 87. Perfiles de geofísica en el acuífero Costero Dunar de Putú.	160
Figura 88. Perfil de geofísica transversal W-E en el acuífero Costero Dunar de Putú.	160
Figura 89. Perfil N-S de geofísica en el acuífero Costero Dunar de Putú.	161
Figura 90. Cota del basamento en el acuífero Costero Dunar de Putú.	161
Figura 91. Profundidad del basamento en el acuífero Costero Dunar de Putú.	162
Figura 92. Interpretación de la prueba de gasto constante del pozo ND-0702-3524	166
Figura 93. Situación del acuífero Aluvial de Huenchullamí.	168
Figura 94. Situación geográfica del acuífero Aluvial del Río Maule.	171
Figura 95. Parámetros hidráulicos de la cuenca del Maule por sectores. (Estudio e implementación de modelos hidrológicos acoplados a SIG para el manejo y planificación, cuencas de Maule, Mataquito e Itata, Informe final, GCF Ingenieros Consultores)	173
Figura 96. Valores de T en la cuenca del Maule por sectores. (Estudio e implementación de modelos hidrológicos acoplados a SIG para el manejo y planificación, cuencas de Maule, Mataquito e Itata, Informe final, GCF Ingenieros Consultores)	174

Figura 97. Valores de S en la cuenca del Maule por sectores. (Estudio e implementación de modelos hidrológicos acoplados a SIG para el manejo y planificación, cuencas de Maule, Mataquito e Itata, Informe final, GCF Ingenieros Consultores)	174
Figura 98. Situación geográfica del acuífero Valle del Maule	176
Figura 99. Situación de los perfiles de geofísica del Valle del Maule y profundidad del basamento.	178
Figura 100. Espesores del relleno cuaternario sobre basamento en el sector norte del Valle del Maule.	179
Figura 101. Relleno cuaternario sobre basamento cretácico en sector central.	180
Figura 102. Relleno cuaternario sobre basamento cretácico en sector central.	180
Figura 103. Interpretación de la prueba de gasto constante del pozo ND-0703-2932	182
Figura 104. Piezometría del acuífero Valle del Maule	185
Figura 105. Situación del acuífero Aluvial Reloca.	186
Figura 106. Situación geográfica del Acuífero Aluvial del Río Bio Bio.	189
Figura 107. Planta de perfiles en Aluvial del Biobío y Triásico de Santa Juana-Quilacoya	191
Figura 108. Perfil BB-TS-1	192
Figura 109. Perfil BB-TS-2	192
Figura 110. Valores de transmisividades para la cuenca de Bio Bio	192
Figura 111. Valores de permeabilidades para la cuenca de Bio Bio. Fuente: "Estudio hidrogeológico cuenca Bio Bio, DGA, Aquaterra Ingenieros"	193
Figura 112. Piezometría aluvial del Biobio	194
Figura 113. Situación geográfica del acuífero Triásico de Quilacoya-Santa Juana. ...	197
Figura 114. Situación geográfica del acuífero San Pedro de la Paz- Talcahuano	199
Figura 115. Perfil 1-1'. Sector Talcahuano	200
Figura 116. Perfil 4-4'. Sector Talcahuano	201
Figura 117. Perfil 5-5'. Sector Talcahuano	201
Figura 118. Perfil 10-10'. Sector Talcahuano	201
Figura 119. Perfiles de geofísica sector San Pedro.	202
Figura 120. Profundidad del basamento en el acuífero San Pedro-Talcahuano	203
Figura 121. Corte transversal W-E del acuífero en el sur del sector de San Pedro.	203
Figura 122. Corte transversal W-E del acuífero en el norte del sector de San Pedro.	204
Figura 123. Interpretación de la prueba de gasto constante del pozo ND-0803-601	206
Figura 123. Interpretación de la prueba de gasto constante del pozo ND-0803-2230	208
Figura 124. Piezometría del acuífero San Pedro de la Paz-Talcahuano.	209
Figura 125. Ubicación del acuífero Costero de Lebu.....	211
Figura 126. Perfiles de geofísica del acuífero Costero de Lebu	214

Figura 127. Profundidad del basamento del acuífero Costero de Lebu	215
Figura 128. Perfil n° 1 del acuífero Costero de Lebu.	216
Figura 129. Perfil n° 2 del acuífero Costero de Lebu	216
Figura 130. Piezometría del acuífero Costero de Lebu.....	218
Figura 131. Piezometría del zócalo paleozoico en VIII Región.	220
Figura 132. Esquema de funcionamiento hidrogeológico del acuífero simulado	223
Figura 133. Mallado y coordenadas del ámbito de la modelización	224
Figura 134. Celdas activas (blanco) e inactivas (verde) en la capa 1 (superior) a la izquierda y en la capa 2 (inferior) a la derecha. En marrón oscuro límites de cuencas y en azul red hidrográfica.....	225
Figura 135. Plano superior. Superficie topografía introducida en el modelo	226
Figura 136. Superficie topográfica para la capa 1.....	226
Figura 137. Basamento de los acuíferos introducido en el modelo	227
Figura 138. Basamento de los acuíferos introducido en el modelo	228
Figura 139. Distribución de la permeabilidad horizontal (k_x y k_y) en el acuífero (capa 1).....	229
Figura 140. Distribución de la permeabilidad vertical (k_z) en el acuífero (capa 1). ..	230
Figura 141. Distribución de la permeabilidad horizontal (k_x y k_y) en la roca de caja.	230
Figura 142. Distribución de la permeabilidad vertical (k_z) en la roca de caja.	231
Figura 143. Asignación de celdas de nivel constante	233
Figura 144. Asignación de celdas tipo río (River)	235
Figura 145. Pozos de bombeo (condición Well)	250
Figura 146. Puntos de observación utilizados para la calibración.....	254
Figura 147. Resultado de las iteraciones tras correr el modelo.....	255
Figura 148. Niveles calculados frente a observados en el modelo del acuífero.....	256
Figura 149. Zonificación para el balance en capa 1	257
Figura 150. Zonificación para el balance en capa 2	257
Figura 151. Esquema de balance	259
Figura 152. Pantalla inicial de la aplicación.....	260
Figura 153. Formulario de entrada de datos de otorgamientos	261
Figura 154. Menú de acceso a balances y modelo conceptual	262
Figura 155. Aspecto de la planilla correspondiente al balance de una cuenca y acuíferos.	262
Figura 156. Aspecto de la tabla de balance de una unidad.	263



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Recopilación información VI Región	29
Tabla 2. Recopilación información VII Región	32
Tabla 3. Recopilación información VIII Región	33
Tabla 4. Expedientes en CPA totales analizados, pertenecientes a las cuencas de estudio	37
Tabla 5. Expedientes escaneados.....	38
Tabla 6. Datos obtenidos tras el análisis de expedientes	38
Tabla 7. Expedientes por cuencas en Región VI	39
Tabla 8. Disponibilidad de datos en Región VI	40
Tabla 9. Expedientes por comunas en Región VII.....	41
Tabla 10. Datos obtenidos en expedientes de la Región VII.....	42
Tabla 11. Expedientes por comunas en Región VIII	43
Tabla 12. Valores orientativos del parámetro P_o (mm) en función de algunas características del terreno y del uso. Fuente MOPU: Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales (José R. Témez).....	54
Tabla 13. Grupos de suelo	55
Tabla 14. Características de los principales suelos en la zona de estudio.....	57
Tabla 15. Tipo de suelos y valores de C.C. y P.M. establecidos en los datos de entrada a la aplicación.	57
Tabla 16. Demanda de Riego por Región. (ODEPA)	58
Tabla 17. Estaciones pluviométricas VI Región	62
Tabla 18. Estaciones fluviométricas VI Región.....	64
Tabla 19. Umbral de escorrentía por subcuenca en VI Región.....	67
Tabla 20. Generación sintética de infiltración y escorrentía procedente de infiltración. Cuencas VI Región (1 de 3)	67
Tabla 21. Generación sintética de infiltración y escorrentía procedente de infiltración. Cuencas VI Región (2 de 3)	68
Tabla 22. Generación sintética de infiltración y escorrentía procedente de infiltración. Cuencas VI Región (3 de 3)	69
Tabla 23. Infiltración por retorno de riegos en cuencas de la VI Región	71
Tabla 24. Subcuencas VII Región.....	73
Tabla 25. Estaciones pluviométricas VII Región	74
Tabla 26. Estaciones pluviométricas VII Región	75
Tabla 27. Umbral de escorrentía por subcuenca en VII Región.....	78
Tabla 28. Generación sintética de infiltración y escorrentía procedente de infiltración. Cuencas VII Región (1 de 5)	78
Tabla 29. Generación sintética de infiltración y escorrentía procedente de infiltración. Cuencas VII Región (2 de 5)	80

Tabla 30. Generación sintética de infiltración y escorrentía procedente de infiltración. Cuencas VII Región (3 de 5)	81
Tabla 31. Generación sintética de infiltración y escorrentía procedente de infiltración. Cuencas VII Región (4 de 5)	82
Tabla 32. Generación sintética de infiltración y escorrentía procedente de infiltración. Cuencas VII Región (5 de 5)	84
Tabla 33. Infiltración por retorno de riego en subcuencas de la VII Región	85
Tabla 34. Subcuencas VIII Región	89
Tabla 35. Estaciones pluviométricas VIII Región	89
Tabla 36. Estaciones fluviométricas VIII Región	90
Tabla 37. Umbral de escorrentía por subcuenca en VIII Región	94
Tabla 38. Generación sintética de infiltración y escorrentía procedente de infiltración. Cuencas VIII Región (1 de 3)	95
Tabla 39. Generación sintética de infiltración y escorrentía procedente de infiltración. Cuencas VIII Región (2 de 3)	96
Tabla 40. Generación sintética de infiltración y escorrentía procedente de infiltración. Cuencas VIII Región (3 de 3)	97
Tabla 41. Infiltración por retorno de riego en subcuencas de la VIII Región	99
Tabla 42. Resumen de parámetros elásticos obtenidos	119
Tabla 43. Acuíferos diferenciados por Regiones	122
Tabla 44. Balance hídrico acuífero Costero de Navidad	131
Tabla 45. Aforo en expediente ND-0602-3223	140
Tabla 46. Resultados obtenidos aforo expediente ND-0602-3223	141
Tabla 47. Segundo aforo expediente ND-0602-3223	142
Tabla 48. Resultados obtenidos segundo aforo expediente ND-0602-3223	143
Tabla 49. Valores obtenidos en "Diagnostico potencial hídrico acuíferos costeros región VI"	144
Tabla 50. Balance hídrico acuífero Marchihue	147
Tabla 51. Balance hídrico acuífero Costero Pichilemu	152
Tabla 52. Balance hídrico acuífero Estero Paredones	157
Tabla 53. Prueba de gasto constante expte. ND-0702-1500	162
Tabla 54. Prueba de gasto constante expte. ND-0702-3524	165
Tabla 55. Balance hídrico acuífero Dunas de Putú	167
Tabla 56. Balance hídrico acuífero Aluvial Huenchullamí	170
Tabla 57. Balance hídrico acuífero Aluvial del río Maule	175
Tabla 58. Prueba de gasto constante expte. ND-0703-2932	181
Tabla 59. Balance hídrico acuífero Valle del río Maule	185
Tabla 60. Balance hídrico acuífero Aluvial Reloca	188
Tabla 61. Balance hídrico acuífero Aluvial BioBio	195

Tabla 62. Balance hídrico acuífero Triásico Quilacoya-Santa Juana.....	198
Tabla 63. Prueba de gasto constante expte. ND-0803-1249	204
Tabla 63. Prueba de gasto constante expte. ND-0803-601	205
Tabla 63. Prueba de gasto constante expte. ND-0803-2230	207
Tabla 64. Parámetros elásticos. Cuenca entre Itata y Bío-Bío	208
Tabla 65. Balance hídrico acuífero San Pedro de la Paz-Talcahuano.....	210
Tabla 66. Caudal específico promedio.....	217
Tabla 67. Características Hidrogeológicas Depósitos no Consolidados Unidad A	217
Tabla 68. Balance hídrico acuífero San Pedro de la Paz-Talcahuano.....	219
Tabla 69. Pozos y régimen de bombeo	237
Tabla 70. Puntos de observación y nivel	251
Tabla 71. Zonificación del modelo para la obtención del balance.....	256
Tabla 72. Balance hídrico por zonas. Entradas simuladas.....	258
Tabla 73. Balance hídrico por zonas. Salidas simuladas	258



0. PRESENTACIÓN

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

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

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

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

Por ello las actividades productivas y de subsistencia de las comunidades son altamente vulnerables a los períodos de sequía, además de generar desarrollos más bien básicos debido a la poca disponibilidad de agua en los períodos de primavera y verano. Adicionalmente, el aumento de la demanda ha ido agotando los derechos superficiales, tornándose cada vez más importante el uso de agua subterránea, que, entre otras cosas, ofrece mayor seguridad en el uso y abastecimiento de agua.

Por lo anterior, la Dirección General de Aguas considera necesario el estudio de los acuíferos costeros, desde el punto de vista de los volúmenes almacenados y disponibles, así como de su funcionamiento hidráulico, a fin de tener un mayor conocimiento de la hidrogeología de las cuencas costeras, para conocer la disponibilidad real de los acuíferos que en ella existen, lo que le permitirá a dicho organismo avanzar en la constitución de derechos de aprovechamiento de aguas subterránea de manera sustentable.



1. RESUMEN

El presente estudio abarca la definición hidrogeológica conceptual de los acuíferos de 3 cuencas costeras de la VI Región (Río Rapel, Costeras entre Estero Nilahue y Límite Región y Costeras entre Estero Topocalma y Estero Nilahue), de 6 cuencas costeras de la VIII Región (Costeras entre río Itata y río Pingueral, costeras entre río Pangué y río Paicavi, Costeras entre río Biobío y río Manco, río Biobío Bajo, río Paicavi y río Andalién) y de 3 comunas de la VII Región (Constitución, Empedrado y San Javier).

Como parte de los trabajos se ha realizado una campaña de terreno en la cual se obtuvieron, de forma sintética, los siguientes resultados:

- Catastro de captaciones y demanda hídrica
- Medida de niveles estáticos
- Prospección geofísica con método Electromagnético y Gravimétrico

El principal producto obtenido ha sido un modelo conceptual para cada acuífero definido (en total 13), con una descripción del funcionamiento hidráulico, definición geométrica, balance hídrico, y el desarrollo de una herramienta de gestión que integra los modelos conceptuales y balances hídricos, sirviendo ésta para conocer la disponibilidad hídrica en cada acuífero y/o cuenca de estudio.

De forma complementaria se ha desarrollado un modelo numérico en el acuífero aluvial del Biobío Bajo, en el cual se han integrado los acuíferos costeros de San Pedro de la Paz y Talcahuano, resultando en una herramienta de gestión más completa que la anterior, ya que permite, además de la cuantificación/evaluación de recursos, la simulación del comportamiento hidráulico del sistema.



2. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Desde el punto de vista climático, la región de Bío-Bío se encuentra en la zona de transición con las regiones húmedas chilenas, la región del Maule presenta clima Mediterráneo templado de estación seca y lluviosa de igual duración, marcando el inicio de la **zona centro sur de Chile, y la región del Libertador General Bernardo O'Higgins** también presenta un clima Mediterráneo templado, pero que hacia el sur cambia a oceánico.

En las cuencas costeras el recurso hídrico superficial y subterráneo tiene una alta dependencia de los periodos de lluvia, debido a que la escasa altura de la cordillera de la costa no permite la acumulación de nieve, motivo por el cual la actividad productiva es altamente vulnerable a los periodos de sequía.

Por otro lado, el aumento de la demanda de agua dulce ha provocado el agotamiento de los derechos superficiales, tornándose cada vez más importante el uso de recursos hídricos subterráneos, de forma que se garantice el abastecimiento, tanto de las actividades productivas como del consumo humano.

Tomando en cuenta los factores anteriores y considerando que a lo largo de los últimos años ha habido un aumento sustantivo en las peticiones de derechos de aguas subterráneas, se hace necesario contar con balances hídricos más precisos de los acuíferos.

La DGA ha podido resolver las peticiones de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas hasta el momento con aproximaciones teóricas en cuanto a la recarga del acuífero, pero el aumento de la demanda ha llevado a la necesidad de tener un mayor conocimiento de la hidrogeología de las cuencas costeras, para, de esta forma, conocer la disponibilidad real de los acuíferos, asegurando que los derechos de aprovechamiento tengan el debido respaldo en el tiempo, además de la suficiente sustentabilidad del uso del acuífero.

En esa línea, este trabajo tiene como objetivo principal el levantamiento de la información hidrogeológica precisa para desarrollar modelos conceptuales de las cuencas y acuíferos de estudio, que permitan la creación de una herramienta de gestión basada en el funcionamiento hidrológico e hidráulico, así como en la disponibilidad de recursos hídricos de los mismos.



3. LOCALIZACION GEOGRÁFICA

La zona de estudio se ubica en la zona centro sur de Chile, concretamente corresponde con las cuencas costeras de la sexta y octava región, y con los acuíferos de las comunas de Constitución, Empedrado y San Javier de la séptima región. De forma específica, la zona de estudio es la siguiente:

- **Cuencas costeras VI Región:**

1. Río Rapel
2. Costeras entre Estero Nilahue y Límite Región
3. Costeras entre Estero Topocalma y Estero Nilahue

- **VII Región: Acuíferos pertenecientes a las comunas de:**

4. Constitución
5. Empedrado
6. San Javier

- **Cuencas costeras VIII Región:**

7. Costeras entre R. Itata y R. Pingueral
8. Costeras entre R. Pangue y R. Paicai
9. Costeras entre Río Bío-Bío y Río Manco
10. Río Bío-Bío Bajo
11. Río Paicavi
12. Río Andalien

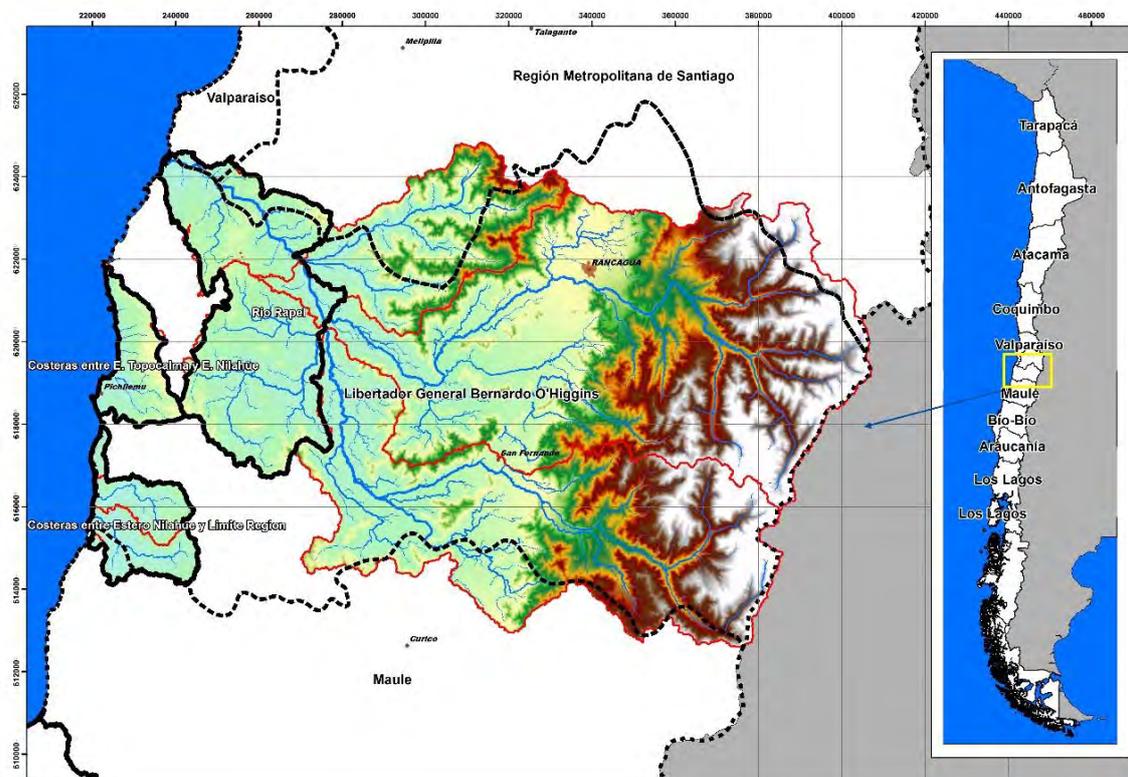


Figura 1. Cuencas costeras de estudio de la VI Región y cuencas aportantes.

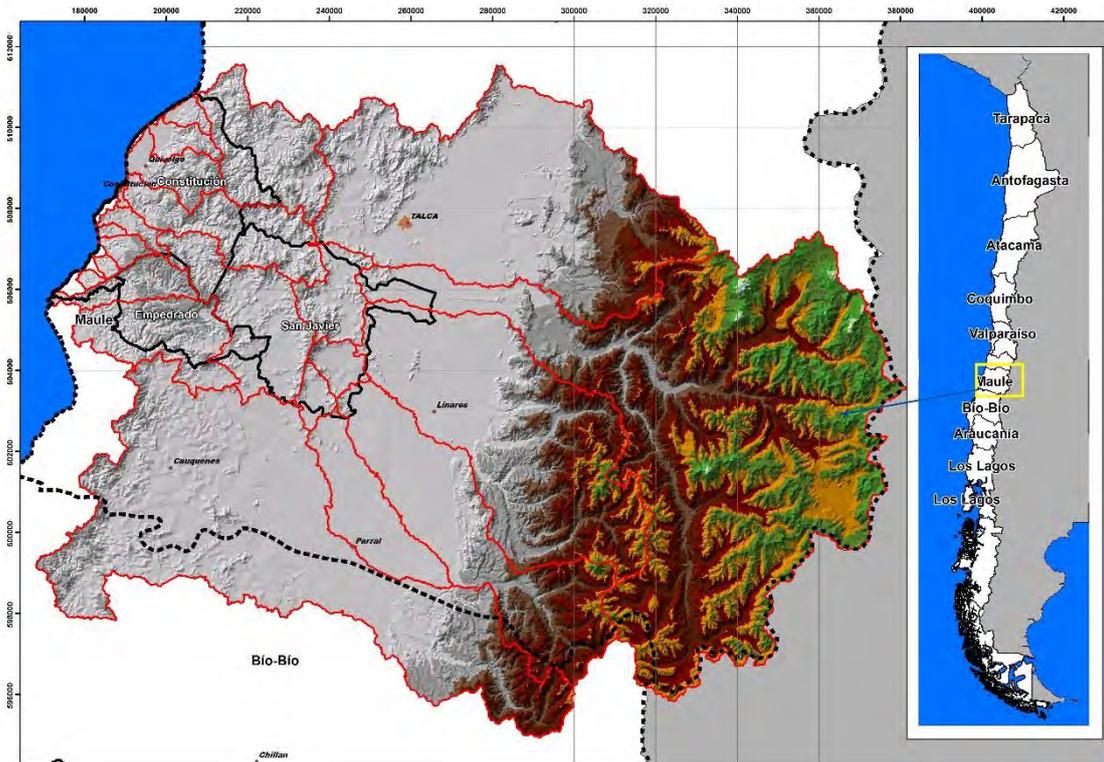


Figura 2. Comunas de estudio de la VII Región y cuencas aportantes

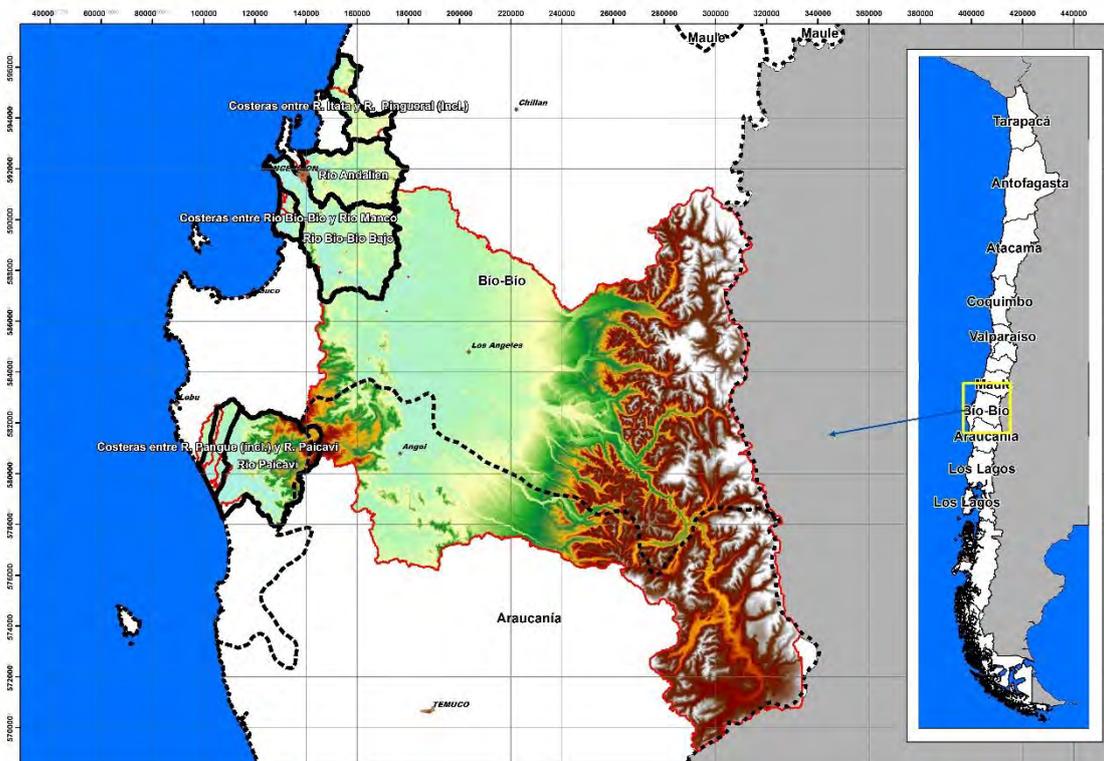


Figura 3. Cuencas costeras de estudio de la VIII Región y cuencas aportantes

4. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA GENERAL

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

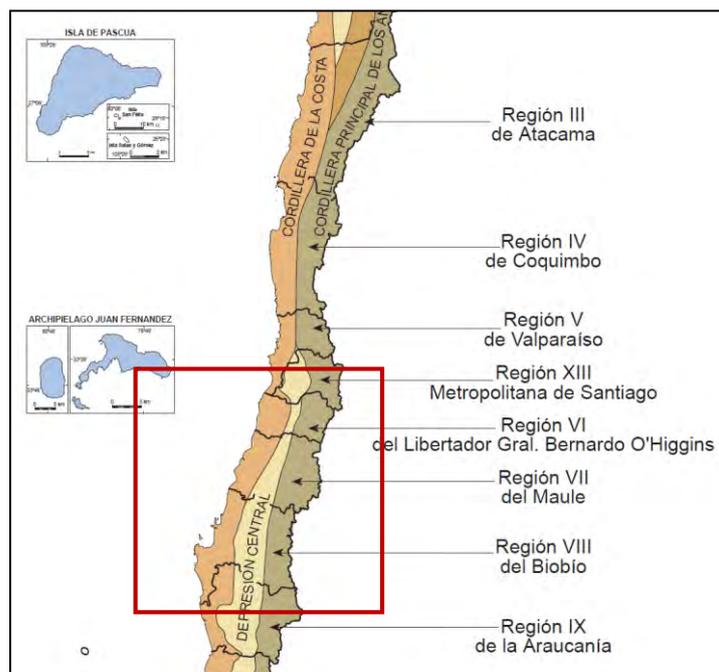


Figura 4. Dominios morfoestructurales de la zona central de Chile. Modificado de Sernageomin (2000)

Se reconocen en las tres regiones rocas metamórficas, intrusivas, depósitos volcano-sedimentarios, depósitos sedimentarios consolidados y depósitos no consolidados.

Las rocas metamórficas del área pertenecen al período Silúlico-Carbonífero, se ubican en una franja N-S hacia el sector costero de las tres regiones, mayormente representado hacia las cuencas costeras de la zona sur del Bío-Bío.

Las rocas intrusivas del área pertenecen al periodo Carbonífero-Terciario, afloran principalmente en toda la Cordillera de la Costa al norte del río Biobío, y su flanco oriental al sur del mismo río; y en el flanco oeste de la Cordillera de los Andes. En las cuencas costeras de la VI Región también están muy bien representadas, siendo la unidad de mayor extensión de afloramiento en este sector.

Las secuencias estratificadas consolidadas, están compuestas por secuencias volcánicas, secuencias volcánicas-sedimentarias y secuencias sedimentarias. Poseen edades que van desde el Periodo Triásico al Pleistoceno.

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

En la Figura 5 se observa que la mayor parte de los afloramientos en las cuencas costeras de la VI Región corresponden a afloramientos de tipo volcánico, intrusivo y en menor medida metamórfico. Asimismo, en la parte baja de la cuenca 0605 Río Rapel hay una serie sedimentaria de origen marino y pequeños depósitos aislados de sedimentos continentales, y en la parte alta hay varias formaciones de mayor entidad de material sedimentario de origen continental. En la cuenca 0612 Costeras entre E. Topocalma y E. Nihahue los afloramientos mayoritarios son de tipo metamórfico, excepto un pequeño depósito ligado a la costa de origen continental. Finalmente, en la cuenca 0614 entre Estero Nihahue y Límite de Región dominan los afloramientos de tipo intrusivo (plutónico) y una franja de tipo metamórfico en la línea de costa.

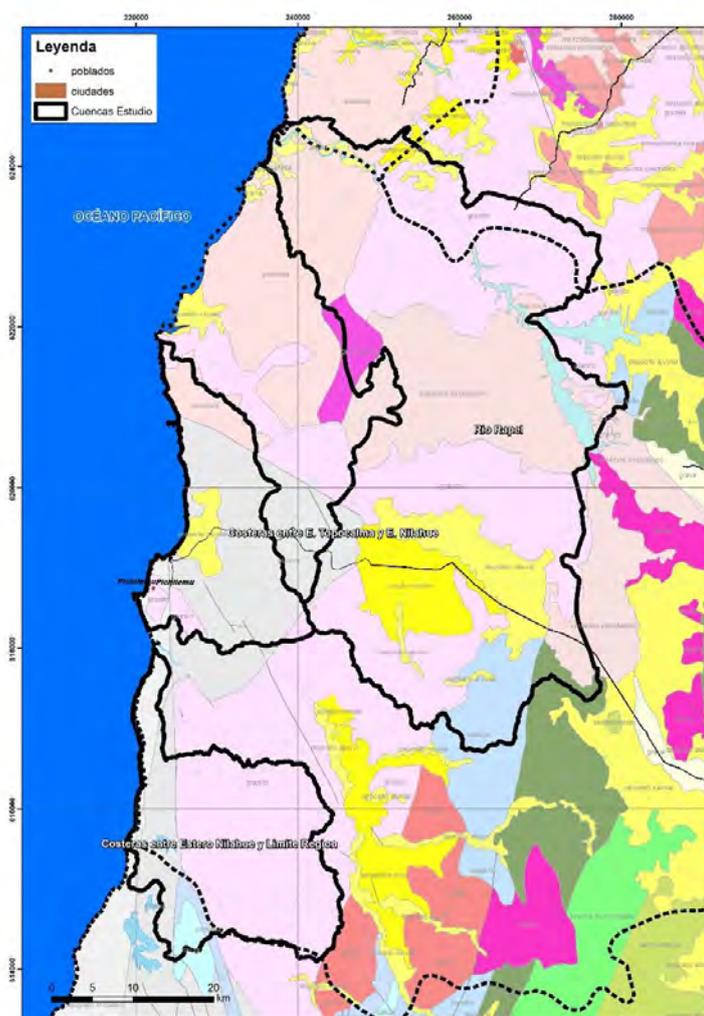


Figura 5. Geología de las cuencas costeras de la VI Región. Modificado de Sernageomin (2000)

En las comunas de la VII Región predominan los afloramientos metamórficos y en menor medida los plutónicos. Los materiales sedimentarios cuaternarios se limitan a la línea de costa en la comuna de Constitución, y al río Maule en las comunas de San Javier y Constitución. En la comuna de Empedrado predominan los afloramientos metamórficos.

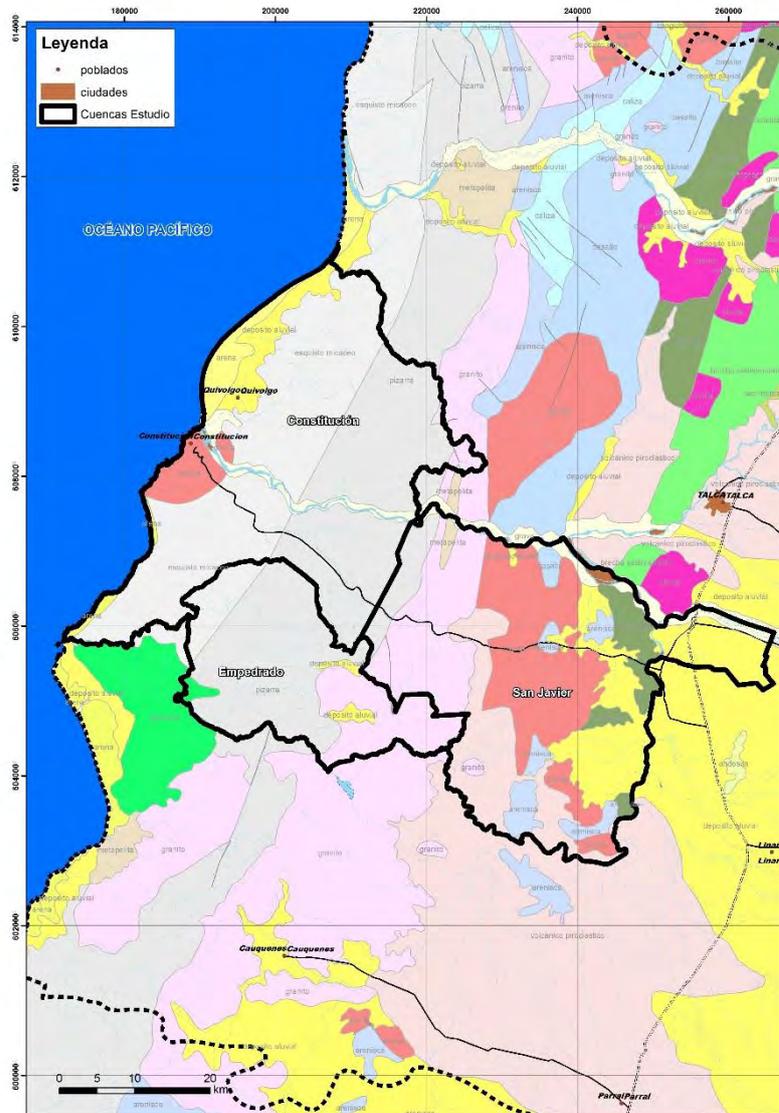


Figura 6. Geología de las comunas de la VII Región. Modificado de Sernageomin (2000)

En las cuencas costeras del norte de la VIII Región, el mayor depósito sedimentario es el asociado al río Bío-Bío (cuenca 0839 Río Bío-Bío Bajo), el cual descansa sobre un basamento intrusivo y metamórfico, y se extiende hacia su desembocadura con material sedimentario litoral. Hacia el sur corresponden a los depósitos sedimentarios de la cuenca 0841 Costeras entre R. Bío-Bío y R. Manco, el cual posee una pequeña franja litoral sedimentaria que descansa sobre un basamento metamórfico. Hacia el norte constituye el acuífero de Talcahuano ligado a su vez con los depósitos cuaternarios del

río Andalién, cuya cuenca (0822 Río Andalién) está compuesta en su práctica totalidad por afloramientos intrusivos salvo en la desembocadura. En la cuenca 0820 Costera entre R. Itata y R. Pingueral, predomina el afloramiento intrusivo hacia la parte alta y el metamórfico hacia la parte baja, salvo en la desembocadura del río Itata donde hay un importante espesor de sedimentos no consolidados.

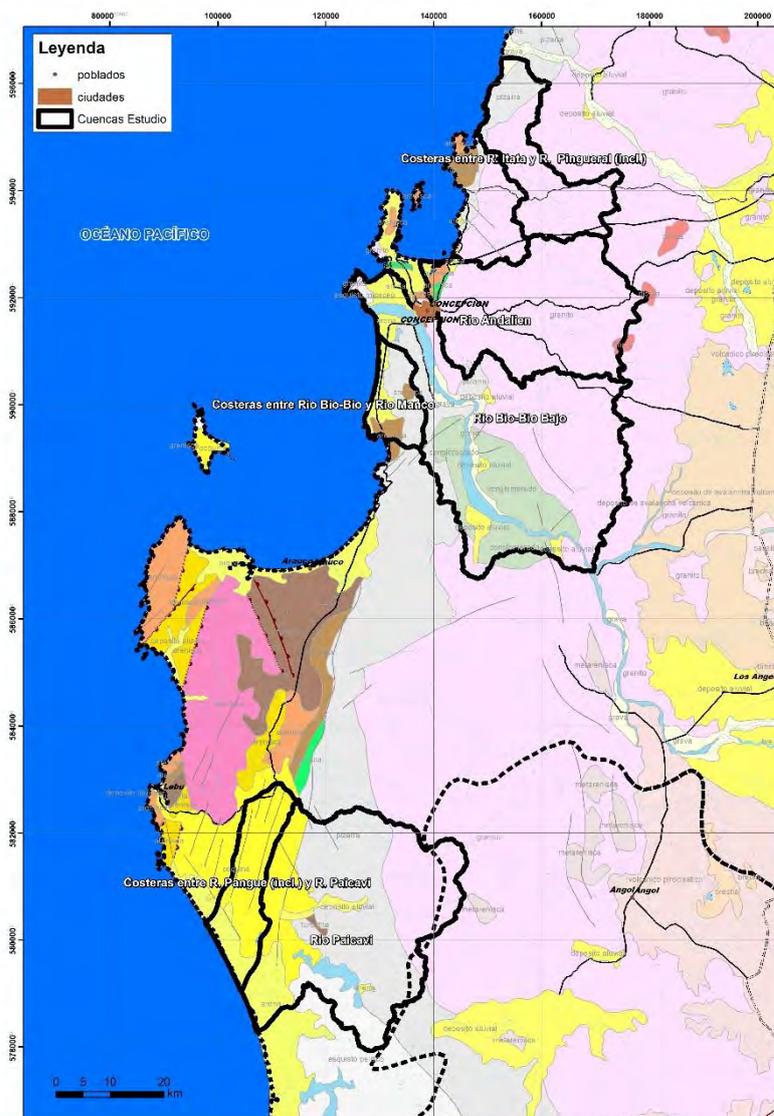


Figura 7. Geología de las cuencas costeras del norte de la VIII Región. Modificado de Sernageomin (2000)

En las cuencas costeras de la zona sur de la VIII Región hay un mayor predominio de los depósitos sedimentarios marinos, estando en su totalidad cubierta por dichos materiales la cuenca 0881 Costeras entre R. Pangué y R. Paicavi, y parcialmente la cuenca 0882 Río Paicavi, donde hacia la parte media y alta afloran materiales metamórficos e intrusivos.

5. RECOPIACION Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES

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

A continuación se describen los antecedentes recopilados y el tratamiento de datos que se ha dado a esta información.

5.1. ESTUDIOS PREVIOS Y DOCUMENTACION

Los estudios recopilados de las tres regiones objeto del presente estudio, sus datos relevantes y resumen sintético son los siguientes:

Tabla 1. Recopilación información VI Región

Nº	Estudio	Organismo	Año	Contenido
1	Derechos otorgados de aguas superficiales y subterráneas. DGA (2014).	DGA	2014	Se cuenta con una base de datos tomada del Banco Nacional de Información de la Dirección General de Aguas, de los derechos otorgados de aguas subterráneas (art. 4º y 6º) y de aguas superficiales, para el período 1990-2013.
2	Información hidrológica, referida a caudales, aforos puntuales, precipitaciones, niveles freáticos, etc.	DGA	2014	Información hidrológica en toda la región, de tal forma de identificar la red de comportamiento homogénea, y además, caracterizar la condición de borde de entrada orientada a los acuíferos que se estudian
3	Estudio Hidrológico e Hidrogeológico en Cuencas Costeras de la VI Región	Ingeorec para Essbio	2010	Evalúa la hidrología e hidrogeología de las cuencas costeras de la VI Región, efectuando un balance entre oferta y demanda en cada sistema definido. Aporta en antecedentes geológicos, hidrológicos, hidrogeológicos e hidroquímicos
4	Evaluación de los Recursos Hídricos subterráneos del Acuífero Nilahue	Informe Técnico S.D.T N°246 (DGA, 2007)	2007	El estudio busca determinar de forma aproximada la recarga del acuífero del estero Nilahue y compararla con la demanda de recursos subterráneos vigente a Diciembre de 2005

Tabla 1. Recopilación información VI Región

Nº	Estudio	Organismo	Año	Contenido
5	Diagnóstico de Recursos Hídricos en Secano Interior y Costero VI a VIII Región	AC Ingenieros Consultores para CNR	2003	Mejorar las condiciones de desarrollo socioeconómico de las zonas de secano mediante la transferencia de conocimientos respecto a la distribución de los recursos hídricos, en el tiempo y espacio y la propuesta de obras para su mejor aprovechamiento
6	Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos de la VI Región	Informe Técnico S.D.T N° 160 (DGA, 2003)	2003	Determina valores medios del caudal de extracción sustentable de aguas subterráneas por sectores acuíferos en toda la VI Región, los que fueron contrastados con la explotación previsible en los acuíferos. Las formaciones acuíferas fueron descritas en base a las cuencas hidrológicas más importantes de las zonas estudiadas, quedando algunos sectores sin información
7	Estudio Hidrogeológico en Ciudades y Pueblos de la VI Región	GCF Ingenieros Consultores	2001	Información acerca de los sectores más apropiados para nuevas fuentes de agua potable y un análisis de la oferta y demanda de agua subterránea en cada ciudad o pueblo, en base a antecedentes hidrológicos e hidrogeológicos de la VI Región. Para este trabajo se consideró el estudio realizado para el pueblo de Lolol
8	Nuevas Fuentes para el Sistema de Agua Potable de Pichilemu	GCF Ingenieros Consultores	2000	Debido a los problemas de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Pichilemu en los periodos de mayor demanda, es decir durante el verano, el estudio describe y propone alternativas de fuentes para dar solución a la problemática. El estudio propone como primera alternativa la construcción de pozos profundos en el sector de Nilahue-Barahona, el que cuenta características hidrogeológicas

Tabla 1. Recopilación información VI Región

Nº	Estudio	Organismo	Año	Contenido
				suficientes para garantizar el abastecimiento. La otra alternativa propuesta consiste en la de utilizar los recursos superficiales (Embalse San Marcos).
9	Diagnóstico del Potencial Hídrico de Acuíferos Costeros, provincia de Cardenal Caro, VI Región	SITAC para DGA	1998	Disponer del conocimiento necesario de algunos sistemas de acuíferos costeros y determinar en ellos el potencial hídrico susceptible de explotar en forma sostenible en el tiempo. Los sectores considerados para este estudio son la Hoya del río Rapel, Hoya del estero Topocalma y Hoya del estero Nilahue. El estudio entrega una caracterización hidrogeológica, hidrológica, análisis químico, derechos de agua, catastro de pozos de cada sistema subterráneo de las cuencas consideradas y la implementación de un modelo de simulación de cada sistema subterráneo
10	Carta Hidrogeológica de la Hoja Rancagua	Sernageomin	1990	Escala 1.250.000 con las principales unidades hidrogeológicas. Catastro de pozos de los últimos 60 años, con datos de niveles de agua, profundidad de pozos, uso del pozo, química del agua, entre otros. Este catastro incluye un total de 420 pozos

Tabla 1. Recopilación información VI Región

Nº	Estudio	Organismo	Año	Contenido
11	Análisis Crítico de la Red de medición de niveles de aguas subterráneas. VI Región. Anexos. Parte I	Álamos y Peralta Ingenieros Consultores Asociada para DGA	1987	Catastro de pozos por cuencas hidrográficas con datos de niveles, profundidades, coordenadas, caudales, etc. Se aportan datos históricos de evolución de niveles piezométricos y gráficos correspondientes.
12	Análisis Crítico de la Red de medición de niveles de aguas subterráneas. VI Región. Anexos. Parte II	Álamos y Peralta Ingenieros Consultores Asociada para DGA	1987	Planos 1:50.000 del Instituto Geográfico del Ejército de Chile con la ubicación de los pozos del catastro recogidos en la Parte I del estudio.
13	Modelo Digital del Terreno	METI - NASA	2014	Modelos Digitales del Terreno de la VI Región a partir de datos ASTER GDEM

Tabla 2. Recopilación información VII Región

Nº	Estudio	Organismo	Año	Contenido
1	Derechos otorgados de aguas superficiales y subterráneas. DGA (2014).	DGA	2014	Se cuenta con una base de datos tomada del Banco Nacional de Información de la Dirección General de Aguas, de los derechos otorgados de aguas subterráneas (art. 4º y 6º) y de aguas superficiales, para el período 1990-2014.
2	Estudio e implementación de modelos Hidrológicos acoplados a SIG para el manejo y planificación, cuencas de	GCF Ingenieros para Gobierno de Chile. Comisión Nacional de Riego.	2006	Recopilación y generación de información para ser ingresada a la aplicación SIG-MAGIC (CNR-DGA 2005) existente, para su aplicación en las cuencas de los ríos Maule, Mataquito e Itata y el mejoramiento de esta aplicación en aspectos de calibración y

Tabla 2. Recopilación información VII Región

Nº	Estudio	Organismo	Año	Contenido
	Maule, Mataquito e Itata.			generación de caudales en cuencas sin control fluviométrico.
3	Levantamiento de información hidrogeológica para modelación Cuenca del río Maule.	GCF Ingenieros Limitada para DGA	2010	Caracterización Hidrogeológica, la cual se compone de trabajos de terreno, caracterización geológica y geomorfológica, caracterización de los acuíferos, definición de parámetros elásticos. Desarrollo del modelo conceptual para la cuenca. Proposición de una red básica de monitoreo.
4	Modelación Hidrogeológica de la cuenca del río Cauquenes, Región del Maule.	GCF Ingenieros para Gobierno de Chile. CNR	2013	Antecedentes de la zona, datos hidrológicos e hidrogeológicos, geometría del acuífero, parámetros elásticos y modelización del acuífero en diferentes escenarios.
5	Modelo Digital del Terreno	METI - NASA	2014	Modelos Digitales del Terreno de la VII Región a partir de datos ASTER GDEM

Tabla 3. Recopilación información VIII Región

Nº	Estudio	Organismo	Año	Contenido
1	Derechos otorgados de aguas superficiales y subterráneas. DGA (2014).	DGA	2014	Se cuenta con una base de datos tomada del Banco Nacional de Información de la Dirección General de Aguas, de los derechos otorgados de aguas subterráneas (art. 4º y 6º) y de aguas superficiales, para el período 1990-2014.

Tabla 3. Recopilación información VIII Región

Nº	Estudio	Organismo	Año	Contenido
2	Información hidrológica, referida a caudales, aforos puntuales, precipitaciones, niveles freáticos, etc.	DGA	2013	Información hidrológica en toda la región, de tal forma de identificar la red de comportamiento homogénea, y además, caracterizar la condición de borde de entrada orientada a los acuíferos que se estudian
3	Estudio hidrológico cuencas Bío Bío e Itata, Balance hidrológico nacional: cuenca del río Itata	Aquaterra Ingenieros para DGA	2011	Levantamiento de la información hidrogeológica, para el desarrollo de un modelo conceptual del acuífero asociado a la cuenca del Río Itata. En particular, se efectuó una amplia campaña de geofísica (perfiles gravimétricos)
4	Estudio Hidrológico e Hidrogeológico en Cuencas Costeras de la VI Región	Ingeorec para Esbio	2010	Evalúa la hidrología e hidrogeología de las cuencas costeras de la VI Región, efectuando un balance entre oferta y demanda en cada sistema definido. Aporta en antecedentes geológicos, hidrológicos, hidrogeológicos e hidroquímicos
5	Estudio de disponibilidad de agua cuenca río Itata: sector intermedio y bajo	DGA VIII R	1994	Disponibilidad de los recursos hídricos superficiales en el río Itata, con el objetivo de evaluar la constitución de nuevos derechos de aprovechamiento en el sector acotado desde la confluencia del Río Diguillín a la confluencia del Río Lonquén
6	Diagnóstico de Recursos Hídricos en Secano Interior y Costero VI a VIII Región	AC Ingenieros Consultores para CNR	2003	Mejorar las condiciones de desarrollo socioeconómico de las zonas de secano mediante la transferencia de conocimientos respecto a la distribución de los recursos hídricos, en el tiempo y espacio y la propuesta de obras para su mejor aprovechamiento
7	Geología de la Hoja Arauco-Lebu-Chillán	Sernageomin	1981	Descripción de las unidades geológicas presentes entre los 37° y 38°30' latitud sur y al oeste de los 73°15', correspondiente a la hoja Arauco-Lebu

Tabla 3. Recopilación información VIII Región

Nº	Estudio	Organismo	Año	Contenido
				y la parte norte de la Hoja Puerto Saavedra a escala 1:250.000.
8	Estudio Hidrogeológico Escuadrón-Coronel	AC Ingenieros Consultores para CNR	1992	Antecedentes acerca de la hidrogeología del sector y define formaciones acuíferas. Realiza un muestreo químico de captaciones y realiza un análisis del efecto de intrusión salina
9	Estudio Hidrogeológico Regional área San Carlos-Concepción	Memoria de Título De Buen	1993	Memoria de título del autor, en este trabajo se describe la hidrogeología del sector San Carlos-Concepción. Entrega información acerca de la geología del área, hidrogeología y describe una serie de columnas estratigráficas
10	Estudios Hidrológicos de las Fuentes de Agua en Diversas Comunas de la VIII Región	GCF Ingenieros Consultores para Essbio	2001	Entrega información acerca de los sectores más apropiados para nuevas fuentes de agua potable y un análisis de la oferta y demanda de agua subterránea en cada ciudad o pueblo, en base a antecedentes hidrológicos e hidrogeológicos de la VIII Región. Las localidades estudiadas insertas en las cuencas costeras corresponden a Cañete, Cobquecura, Curanilahue, Florida, Lebu, Los Álamos, Lota, Penco-Lirquén y Tomé
11	Vulnerabilidad a la Contaminación de los Acuíferos de la Región del Bío-bío	Sernageomin	2004	Resultados y criterios metodológicos desarrollados en la elaboración del Mapa de Vulnerabilidad a la Contaminación de Acuíferos a escala 1:250.000
12	Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos	Cade-Idepe para DGA	2004	Antecedentes acerca de la geología, geomorfología, hidrogeología y realiza un análisis de los principales afluentes al río Itata, en los que evalúa la química de esta agua

Tabla 3. Recopilación información VIII Región

Nº	Estudio	Organismo	Año	Contenido
	de Calidad, Cuenca del río Itata			
13	Estudio Hidrológico e Hidrogeológico	Conic-BF Ingenieros Civiles Consultores para Esbio	2005	Información acerca de la hidrología e hidrogeología de los sistemas Arauco-Ramadillas-Carapangue, Chillán, Coronel, Los Alamos-Cerro Alto-Tres Pinos, Lota y Tomé. El objetivo del trabajo es definir caudales seguros, permanentes y continuos factibles de extraer desde las fuentes críticas en los sistemas mencionados
14	Estudio Geológico e Hidrogeológico de la VIII Región	Ingeorec para DGA	2008	Determinar la capacidad hídrica de la cuenca, en materia de constitución de derechos de aprovechamiento de las aguas subterráneas. Entrega información acerca la geología, hidrogeología, estratigrafía de pozos y realiza un balance hídrico para los principales acuíferos de la región.
15	Estudio y Mejoramiento de Red de Aguas Subterráneas, Regiones VII a X.	Conic BF Ingenieros Civiles Consultores LTDA. Para DGA	2010	Formulación de una red de medición de aguas subterráneas para la zona comprendida entre el río Mataquito (VII Región) y el río Maullín (X Región de Los Lagos).
14	Estudio Hidrogeológico Cuenca Bio Bio	Aquaterra Ingenieros Limitada	2012	Levantamiento de la información hidrogeológica y, a partir de ello, el desarrollo de un modelo conceptual del acuífero de la cuenca del río Bío-Bío.
15	Modelo Digital del Terreno	METI - NASA	2014	Modelos Digitales del Terreno de la VIII Región a partir de datos ASTER GDEM

5.2. RESUMEN DE RECOPIACIÓN DE DERECHOS OTORGADOS

Como parte de los antecedentes del estudio se ha revisado, analizado y extraído la información de los expedientes de derechos constituidos. Por una parte se cuenta con la información extraída del Catastro Público de Aguas (CPA) de la DGA correspondiente al total de expedientes, tanto de aguas superficiales como aguas subterráneas, donde figuran una serie de datos relativos a los mismos. Junto a esta información, igualmente se cuenta con la información escaneada de una serie de expedientes comprendidos en el grupo anteriormente mencionado. Asimismo, se han revisado los expedientes en papel en las oficinas regionales, lo cual ha permitido obtener un mayor número de columnas litológicas.

Respecto al total de expedientes correspondientes al CPA de aguas subterráneas, los datos obtenidos relativos a la zona de estudio muestran las siguientes cifras y distribución de datos:

Tabla 4. Expedientes en CPA totales analizados, pertenecientes a las cuencas de estudio

Región	Nº
REGION VI	1.881
REGION VII	147
REGION VIII	1.632



Figura 8. Distribución de expedientes según Región

En la distribución de dichos datos se observa que para un total de 3.660 expedientes, la mayoría se agrupa en las Regiones VI y VIII, siendo mucho menor el número correspondiente a la Región VII.

Atendiendo a los expedientes recopilados con información escaneada, el total es de 1.351, computando cada pozo como un dato aunque corresponda al mismo número de expediente. La distribución de dichos datos por cuencas es la siguiente:

Tabla 5. Expedientes escaneados

REGION	Nº
REGION VI	897
REGION VII	112
REGION VIII	342

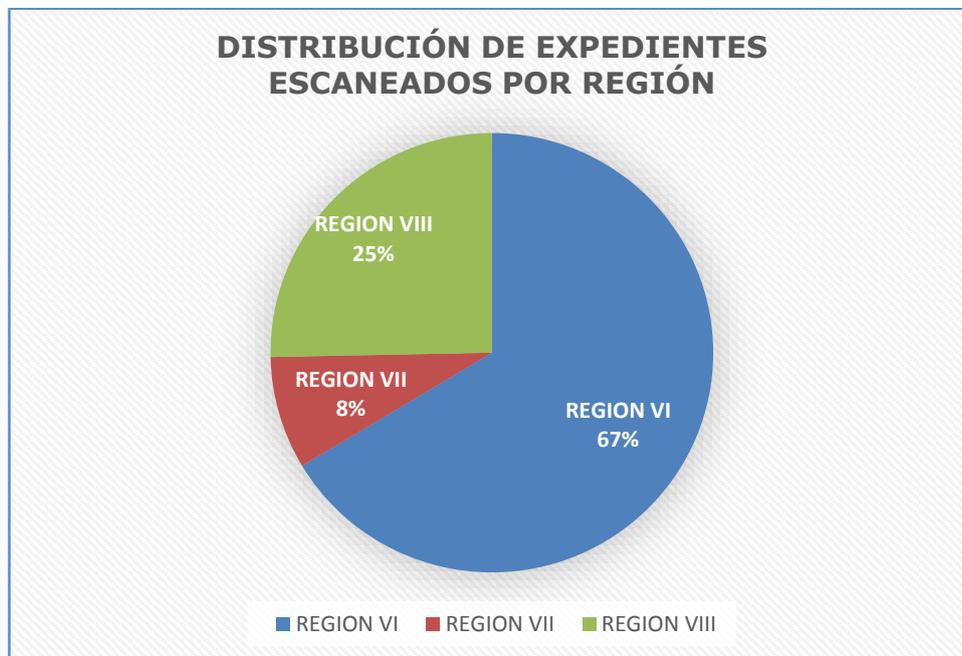


Figura 9. Distribución de expedientes escaneados según Región

El mayor número de expedientes corresponde a la Región VI, mientras que el menor número lo presenta la Región VII, coincidiendo esta distribución con la correspondiente a los expedientes del CPA.

En la siguiente tabla y gráfico se ha detallado la disponibilidad de los datos más relevantes en los documentos escaneados para el total de los mismos.

Tabla 6. Datos obtenidos tras el análisis de expedientes

VALORES TOTALES	Nº
Total Expedientes	1.351
Datos Profundidad del Pozo	1.237

Tabla 6. Datos obtenidos tras el análisis de expedientes

VALORES TOTALES	Nº
Datos Nivel Estático	1.258
Datos nivel Dinámico	919
Datos Transmisividad	45
Datos Permeabilidad	605
Datos de Coeficiente S	11
Aforos	38
Columnas litológicas	56



Figura 10. Datos obtenidos tras el análisis de expedientes

Como se observa en el gráfico, los datos relativos a profundidad del pozo, nivel estático y dinámico son los más abundantes en dichos expedientes, mientras que los datos de aforos, columnas, y parámetros elásticos son escasos. Incluso para los datos de permeabilidad (K) recogidos (605), cabe aclarar que muchos corresponden a valores estimados, siendo muy pocos los calculados.

5.2.1. EXPEDIENTES REGION VI

En esta Región los expedientes disponibles escaneados se distribuyen de la siguiente forma:

Tabla 7. Expedientes por cuencas en Región VI

CUENCAS REGION VI	Nº EXP.
CUENCA RIO RAPEL	662

Tabla 7. Expedientes por cuencas en Región VI

CUENCAS REGION VI	Nº EXP.
TOPOCALMA	57
CUENCA NILAHUE/LIMITE REGION	178

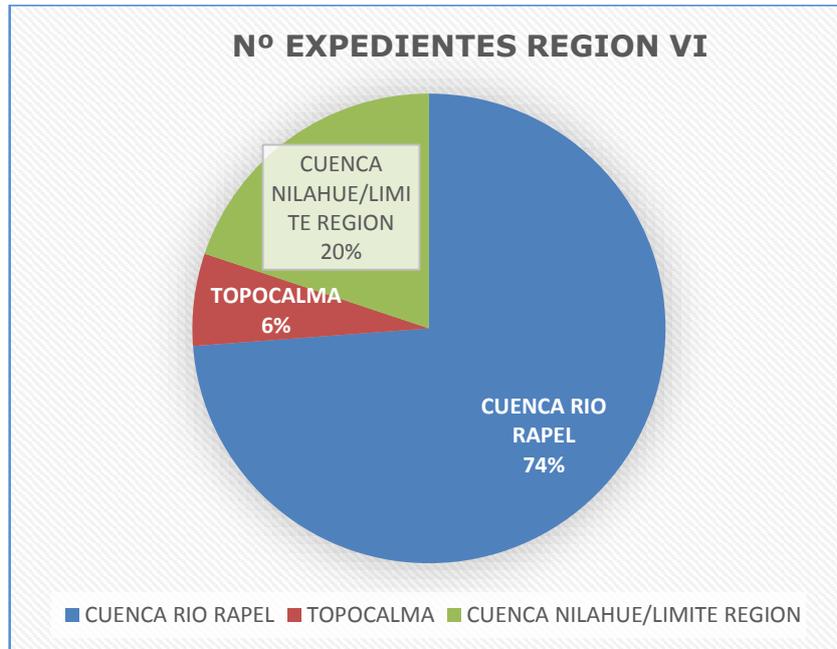


Figura 11. Expedientes por cuencas en Región VI

Como se observa, la Cuenca del Río Rapel es la que mayor número de expedientes dispone, siendo la comuna de Topocalma la de menor número.

Respecto a los datos disponibles sobre un total de 897, el de mayor número es la profundidad del pozo y niveles estáticos. Los datos de permeabilidad, como se mencionó para el total, son estimados.

Tabla 8. Disponibilidad de datos en Región VI

REGION VI	
Total Expedientes	897
Datos Profundidad del Pozo	873
Datos Nivel Estático	869
Datos nivel Dinámico	2
Datos Transmisividad	0
Datos Permeabilidad	587
Datos de Coeficiente S	0

Tabla 8. Disponibilidad de datos en Región VI

REGION VI	
Aforos	15
Columnas	0

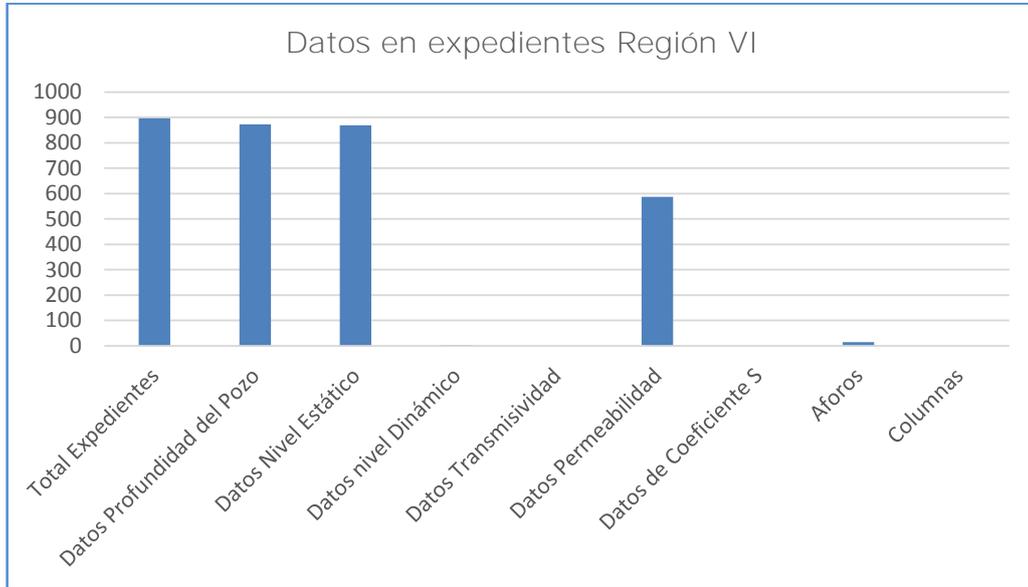


Figura 12. Disponibilidad de datos en Región VI

5.2.2. EXPEDIENTES REGION VII

Los datos disponibles en expedientes escaneados de la VII Región se distribuyen de la siguiente forma:

Tabla 9. Expedientes por comunas en Región VII

COMUNAS REGION VI	Nº EXP.
EMPEDRADO	23
CONSTITUCIÓN	25
SAN JAVIER	64

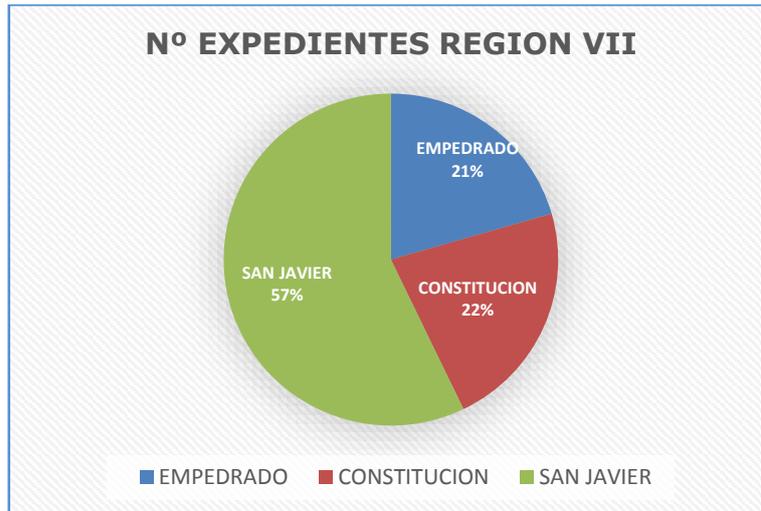


Figura 13. Expedientes por comunas en Región VII

Sobre un total de 112, la mayoría se agrupa en la comuna de San Javier, distribuyéndose el resto casi a partes iguales entre Constitución y Empedrado.

Los datos específicos en los expedientes se distribuyen de la siguiente forma:

Tabla 10. Datos obtenidos en expedientes de la Región VII

REGION VII	
Total Expedientes	112
Datos Profundidad del Pozo	103
Datos Nivel Estático	97
Datos nivel Dinámico	9
Datos Transmisividad	0
Datos Permeabilidad	9
Datos de Coeficiente S	0
Aforos	15
Columnas	3

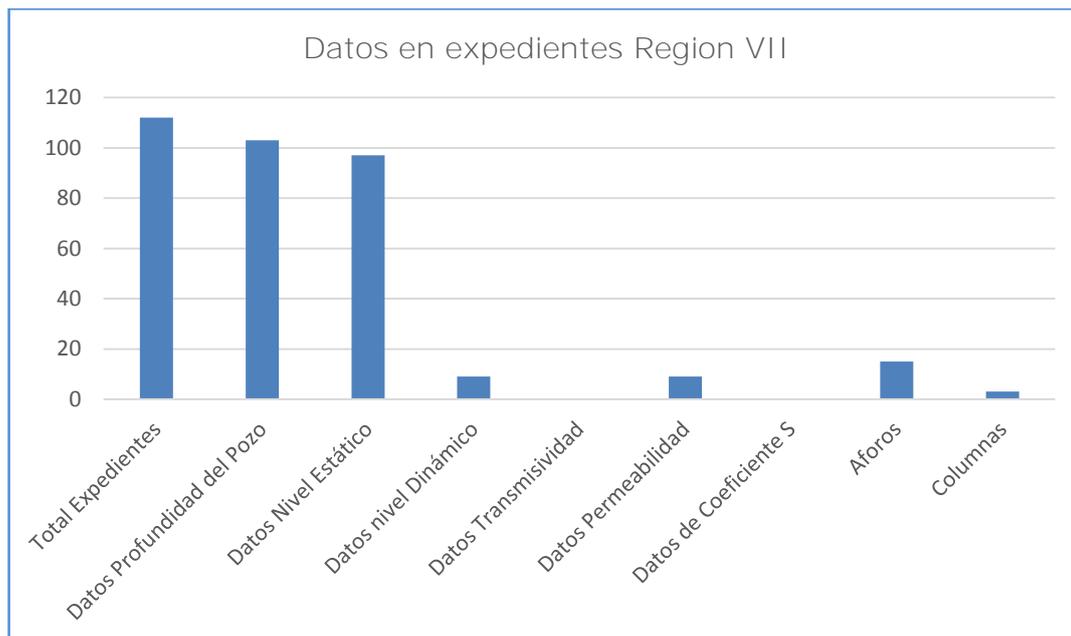


Figura 14. Datos obtenidos en expedientes de la Región VII

Siguiendo la tónica general del resto de regiones, los datos más abundantes corresponden a la profundidad del pozo y niveles estáticos.

5.2.3. REGION VIII

El total de expedientes escaneados en esta Región es de 342, distribuyéndose según comunas de la siguiente forma:

Tabla 11. Expedientes por comunas en Región VIII

COMUNAS REGION VIII	Nº EXP.
CAÑETE	20
CONCEPCION	8
CONTULMO	0
CORONEL	34
HUALQUI	8
ALAMOS	21
PENCO	0
FLORIDA	160
LOTA	0
NACIMIENTO	2
SAN ROSENDO	3
SANTA JUANA	10
TALCAHUANO	9
TOME	24

Tabla 11. Expedientes por comunas en Región VIII

COMUNAS REGION VIII	Nº EXP.
YUMBEL	43

La comuna de Florida es la que mayor número de expedientes presenta (160), mientras que Contulmo, Penco y Lota no presentan ninguno.

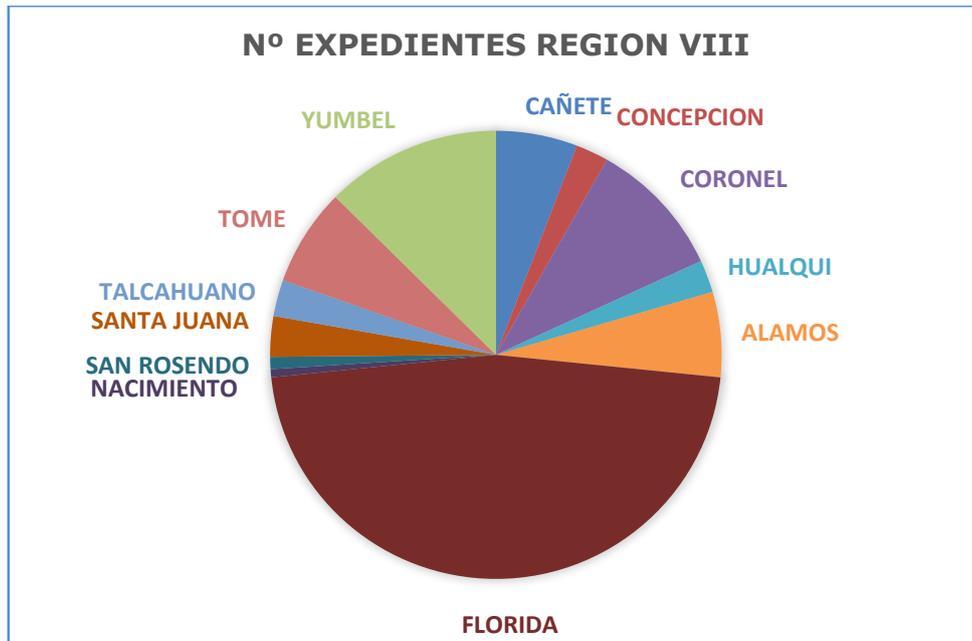


Figura 15. Expedientes por comunas en Región VIII

Como incidencias en los expedientes de esta Región, cabe señalar que la documentación de algunos expedientes se ha encontrado duplicada de otro expediente con distinta codificación, como es el caso del nº 1773 y 1807 que contienen documentación duplicada correspondiente al nº 1757, y los 2323 y 2325 que duplican la documentación del 2318.

5.2.4. DATOS APORTADOS

Tras el análisis de la documentación escaneada relativa a cada expediente de derechos adquiridos, se han volcado los datos de cada una de ellas a un fichero Excel, el cual se ha completado con los datos recogidos en el fichero del CPA. Esto ha permitido confeccionar un fichero global con toda la información disponible de cada pozo e indexarlos con el código correspondiente para su uso en las etapas posteriores del presente estudio. Sobre la información tratada y recopilada, cabe mencionar los siguientes aspectos:

- o En los expedientes escaneados, los datos más abundantes corresponden a la profundidad del pozo y el nivel estático junto con su fecha. Estos datos han sido

tomados preferentemente de las inspecciones realizadas por el personal de la DGA, siendo las medidas más fiables e igualmente más actuales frente a las aportadas por el usuario. Dichas medidas se concentran mayoritariamente en el periodo 2009-2011, representando una buena referencia para, como mínimo, analizar la tendencia piezométrica en los acuíferos desde esas fechas hasta la actualidad por medio de la comparación con los datos del catastro previsto en el presente estudio.

- o Los datos de parámetros elásticos más numerosos corresponden a la permeabilidad (K), aunque como se ha mencionado anteriormente, son valores estimados y no calculados. Los valores de transmisividad corresponden a aforos principalmente. Otro valor disponible es el del Caudal Específico, si bien sólo se detalla en un número reducido de expedientes.
- o Respecto a los aforos, se han contabilizado un total de 38, siendo un número muy reducido para el total de expedientes tratados. En este sentido, se ha comprobado en la documentación de numerosos expedientes que se citan datos de aforos como información adjuntada o presentada en la tramitación, aunque no aparecen en la documentación escaneada.
- o Las columnas litológicas contabilizadas de los pozos, de forma detallada y con croquis, han sido únicamente de 3. De forma descriptiva se cita en algún expediente alguna referencia a materiales atravesados en la perforación pero sin mucha precisión como para poder utilizar dichos datos en el estudio.



6. CARACTERIZACION HIDROLÓGICA

6.1. METODOLOGIA

6.1.1. APLICACIÓN DE SOFTWARE UTILIZADA

Se ha procedido a establecer la caracterización hidrológica mediante el uso de la aplicación de software RENATA (Recarga Natural de Acuíferos), desarrollado por el Instituto Geológico y Minero de España y la Diputación de Alicante. Dicha aplicación se ha desarrollado con la finalidad de poder calcular la infiltración en una malla de dos dimensiones de un área sujeta a estudio y definida por el usuario, en la cual se puedan definir una serie de parámetros relativos a la hidrometeorología, los suelos y los cultivos distribuidos espacialmente.

Para ello, inicialmente se ha definido una malla proporcional al área de estudio que contendrá los datos utilizados en los cálculos. A continuación se introducen los diferentes parámetros como límites de cuencas y series de precipitación y temperatura por estaciones para el cálculo de la ETP.

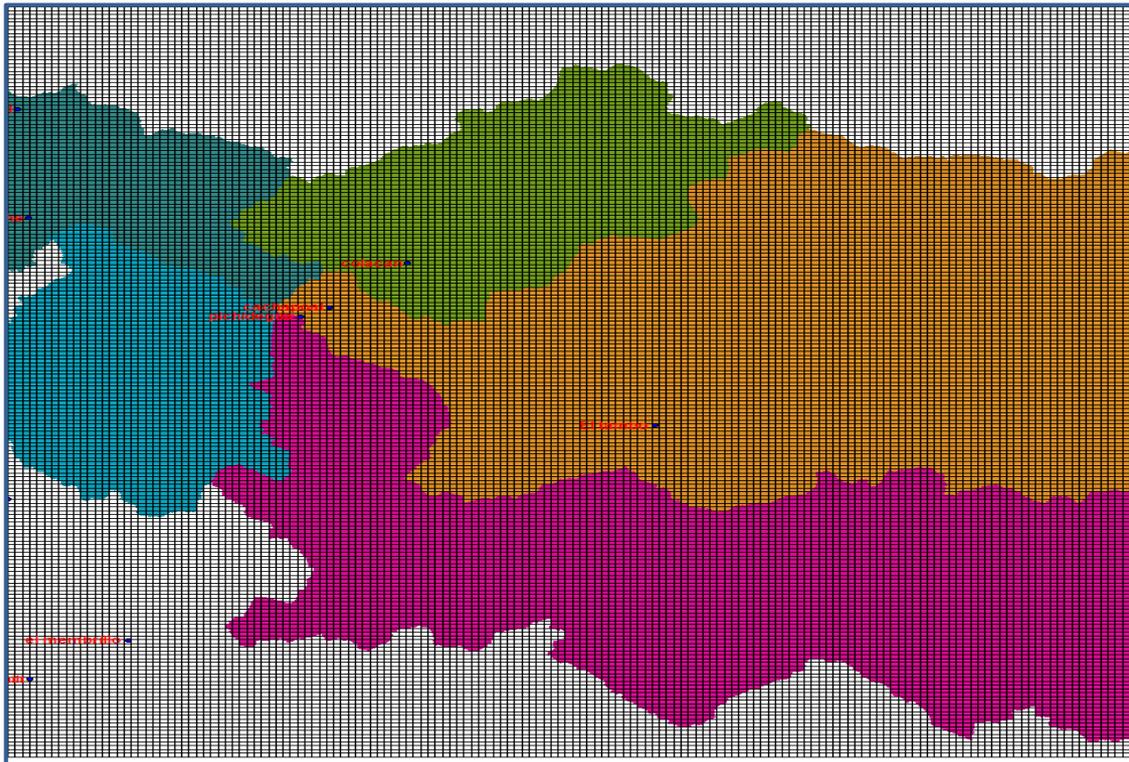


Figura 16. Límites de cuenca y estaciones

La aplicación define los polígonos de Thornthwaite de forma automática, tal y como se refleja en la figura siguiente:

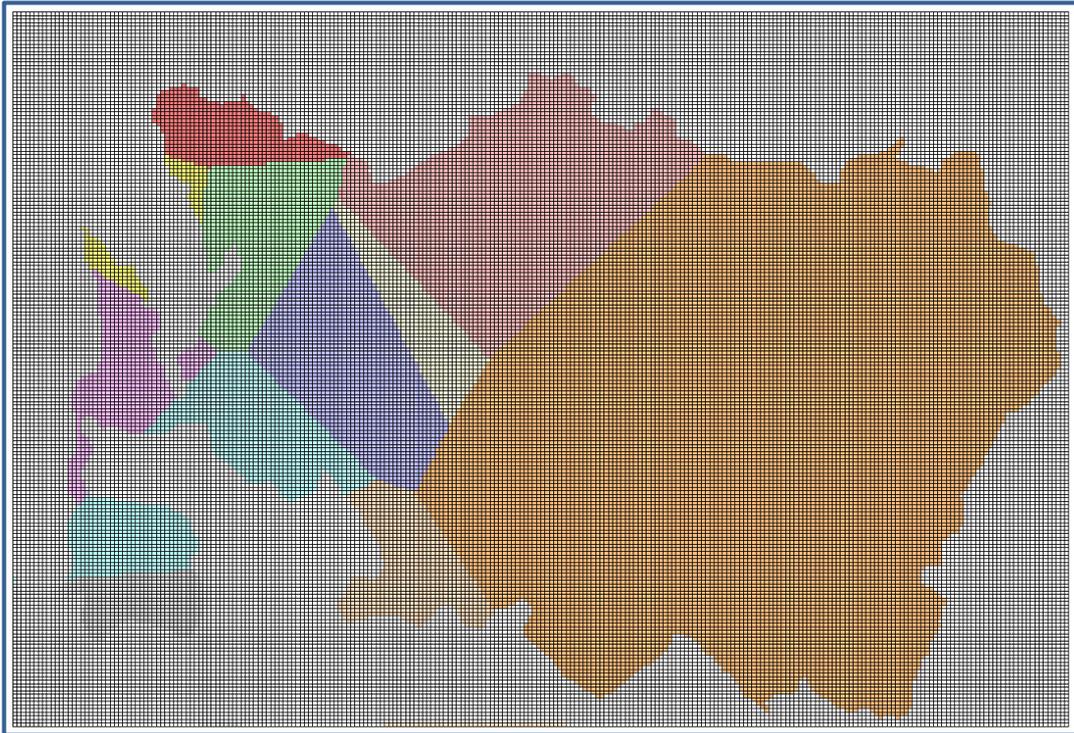


Figura 17. Polígonos de thiennes

A continuación se definen los sectores del suelo con el establecimiento de los límites inferior y superior de la Capacidad de Almacenamiento, Umbral de Escorrentía (P_0) y número de curva según uso del suelo (USDA) para cada uno de ellos.

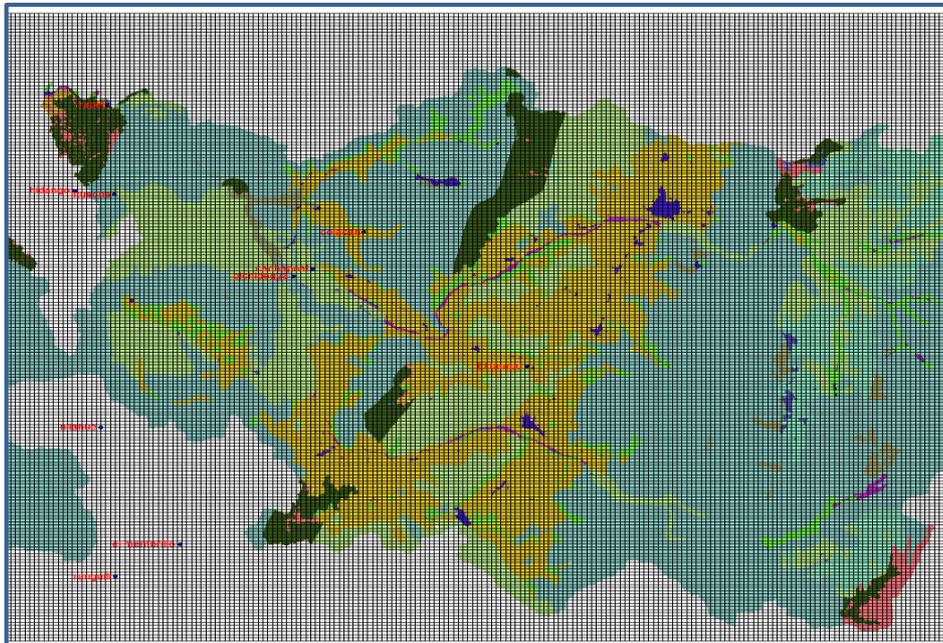


Figura 18. Mapeado de suelos

Finalmente, se calculan las intersecciones de las diferentes capas del modelo que servirán para el cálculo final de la infiltración.

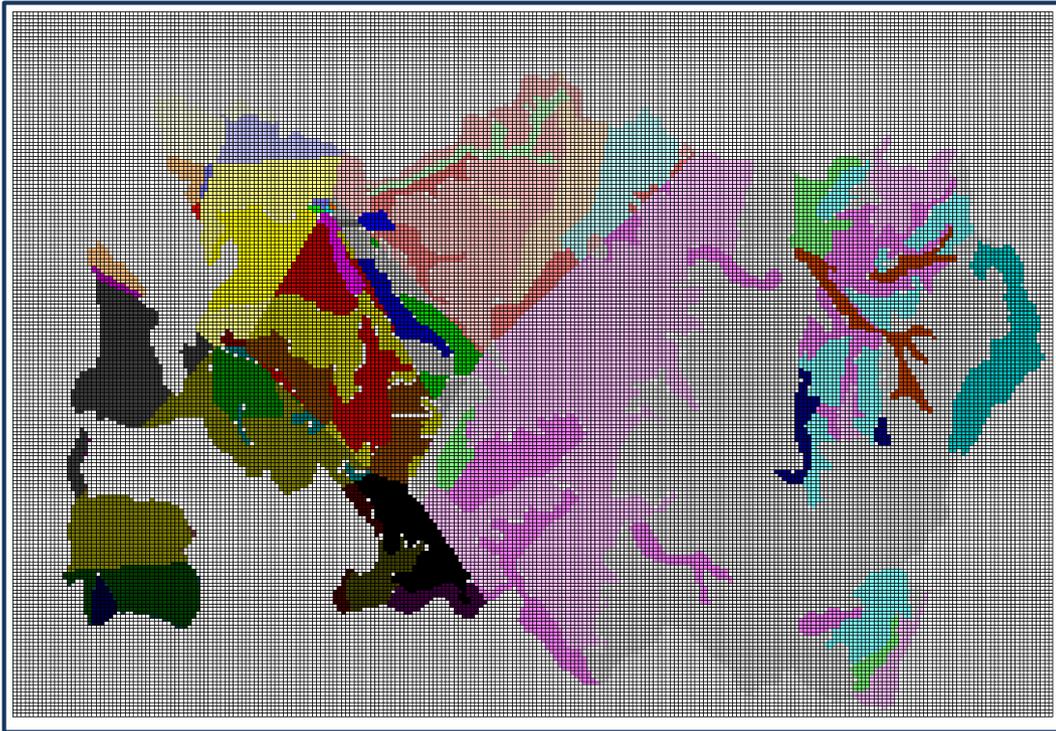


Figura 19. Zonas de intersecciones

Este software lleva a cabo los cálculos efectuados mediante la aplicación de la siguiente base teórica:

EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL

Se define la evapotranspiración potencial (ETP) como la cantidad de agua que puede volver a la atmósfera por evaporación y transpiración cuando la capacidad de agua del suelo está completa y el desarrollo vegetal es óptimo.

Para el cálculo de la ETP se ha empleado el método de Thornthwaite (1948), el cual propone la siguiente fórmula para estimar la ETP:

$$e_i = 16 \left(\frac{10 t_i}{I} \right)^a$$

donde:

e_i , evapotranspiración del mes i sin ajustar (mm). Para datos diarios hay que dividir por 30.

t_i , temperatura media del mes (°C). Para valores diarios corresponde a la temperatura media diaria.

$$I = \sum_{i=1}^{12} i_i$$

I , índice de calor anual:

i_i , índice de calor mensual:

$$a = 0,000000675 \cdot I_3 - 0,0000771 \cdot \left(\frac{t_i}{5} \right)^{1,515} \cdot I + 0,49239$$

Para valores de temperatura media superior a 26.5 °C la evapotranspiración potencial sin ajustar se obtiene directamente según la siguiente tabla:

t_i	26,5	27,0	27,5	28,0	28,5	29,0	29,5	30,0	30,5	31,0	31,5	32,0
e_i	135,0	139,5	143,7	147,8	151,7	155,4	158,9	162,1	165,2	168,0	170,7	173,1

t_i	32,5	33,0	33,5	34,0	34,5	35,0	35,5	36,0	36,5	37,0	37,5	38,0
e_i	175,3	177,2	179,0	180,5	181,8	182,9	183,7	184,3	184,7	184,9	185,0	185,0

La evapotranspiración potencial de cada mes o día (ETPi) se obtiene multiplicando la e_i por un factor de corrección:

$$ETP_i = K_i e_i$$

donde:

K_i , factor de corrección: $K_i = N_i / 12$, para datos diarios, y $K_i = (D_i / 30) \times (N_i / 12)$, para datos mensuales.

D_i , número de días del mes

N_i , número máximo de horas de sol, según la latitud

El número máximo de horas de sol en el día i viene dado por:

$$N_i = \frac{2}{15} w$$

donde:

w , ángulo horario en grados: $w = \arccos(-\tan(\vartheta) \tan(d))$

ϑ , latitud en grados

d , declinación en grados: $d = 23,45 \cdot \sin [0,9863 \cdot (284+n)]$

n , orden del día del año contando desde el 1 de enero

Los valores meteorológicos utilizados han sido los correspondientes a las estaciones "Estero Quintero en Valle Alegre - 05320001-K", "Laguna de Zapallar - 05310001-5", ambas pertenecientes a la red de estaciones de la Dirección General de Aguas, y la estación "La Cruz" de Agromet, red agrometeorológica de INIA.

EVAPOTRANSPIRACION REAL Y LLUVIA ÚTIL

La evapotranspiración real (ETR) es la cantidad de agua que realmente vuelve a la atmósfera. Su valor depende de su disponibilidad bien en forma de lluvia bien de la almacenada en el suelo. El límite superior de ETR viene determinado por la ETP.

La lluvia útil (LLU), también denominada lluvia eficaz o excedente, corresponde a la cantidad de agua que escurre superficialmente más la que se infiltra.

Para determinar la ETR y LLU, Thornthwaite (1948) plantea para cada periodo i un balance del suelo según la siguiente expresión:

$$P_i = ETR_i + LLU_i + \Delta R_i$$

donde:

P_i , precipitación (mm)

ΔR_i , incremento de la reserva de agua en el suelo utilizable por las plantas (mm)

Dicho balance se realiza según las siguientes premisas:

- $ETR_i \leq ETP_i$
- El suelo no puede almacenar más de una cierta cantidad de agua que se denomina capacidad de campo (CC) y depende fundamentalmente de la litología y espesor del suelo.
- Siempre que se disponga de agua, precipitación más la almacenada en el suelo, es prioritario primero cubrir las necesidades de ETR_i hasta su límite (ETP_i) y después aumentar el agua almacenada en el suelo, hasta su límite (CC).
- El excedente de agua, una vez cubiertas las demandas de ETP_i y CC , integra la LLU_i .

En la aplicación se ha incluido una variante en el método del balance de Thornthwaite ideada por Girard que, según bibliografía, se adapta mejor a lo que ocurre en la naturaleza.

La variante introducida consiste en que se considera que el excedente de agua de precipitación se almacena en el suelo de dos formas. Si el agua almacenada en el

periodo anterior (R_{i-1}) es inferior a un cierto valor R_{MIN} el exceso de precipitación ($EX_i = P_i - ETR_i$) se acumula en su totalidad. Si R_{i-1} está comprendida entre R_{MIN} y un cierto valor máximo (R_{MAX} , equivalente a la CC), EX_i se divide entre una parte que se destina a aumentar la reserva del suelo y otra a LLU_i . Esta repartición se realiza según la siguiente expresión:

$$LLU_i = \max(R_{i-1} + P_i - R_{MAX}, 0) + \Delta R_i \frac{(2RBA_i + \Delta R_i)}{2(R_{MAX} - R_{MIN})}$$

donde:

$$RBA_i = \max(R_{MIN}, R_{i-1}) - R_{MIN}$$

$$RHA_i = \min((R_{i-1} + P_i), R_{MAX}) - R_{MIN}$$

$$\Delta R_i = \max(0, (RHA_i - RBA_i))$$

$$\Delta R_i = EX_i - LLU_i$$

El aumento de la reserva (ΔR_i) es igual:

Si $R_{MIN} = R_{MAX}$ el balance se realiza según el método tradicional de Thornthwaite.

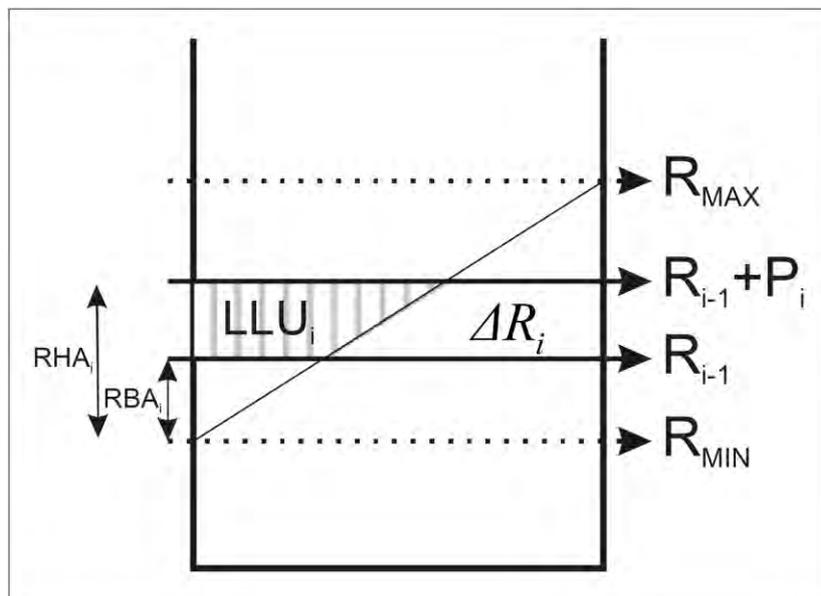


Figura 20. Esquema de producción de lluvia útil e incremento de la reserva a partir de la precipitación en relación con el balance en del suelo propuesto por Girard (1981).

ESCORRENTÍA SUPERFICIAL E INFILTRACION

Para descomponer la LLU_i en escorrentía (ESC_i) y en infiltración (INF_i) se ha seguido el método del Soil Conservation Service de los EE. UU. Este método parte de un umbral de escorrentía (Po) a partir del cual se empieza a producir escorrentía superficial. El valor de este parámetro depende de la litología, de la pendiente y de la vegetación (ver cuadro adjunto). La escorrentía se obtiene mediante la siguiente expresión (Figura 21):

$$ESC_i = \frac{(LLU_i - Po)^2}{LLU_i + 4 Po} \quad \text{si } LLU_i > Po$$

$$ESC_i = 0 \quad \text{si } LLU_i \leq Po$$

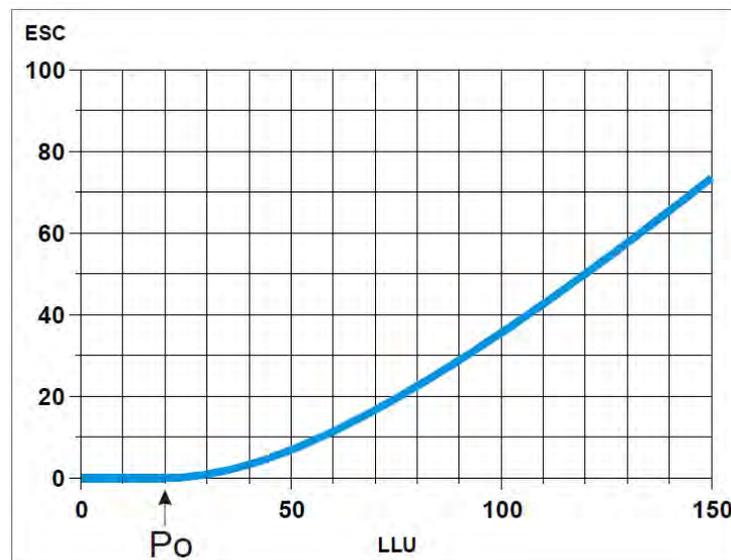


Figura 21. Curva de LLU vs ESC obtenida al aplicar la expresión del Soil Conservation Service para un Po de 20 mm.

La infiltración para un determinado mes es igual:

$$INF_i = LLU_i - ESC_i$$

El valor de Po tiene su equivalencia con el denominado *número de curva* (NC) mediante la siguiente expresión:

$$Po = (5.080/NC) - 50,80$$

o bien

$$NC = 5.080 / (Po + 50,80)$$

En la aplicación estos parámetros se podrán introducir bien como Po o como NC .

Tabla 12. Valores orientativos del parámetro P_o (mm) en función de algunas características del terreno y del uso. Fuente MOPU: Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales (José R. Témez).

Uso de la tierra	Pendiente (%)	Características hidrológicas	Grupo de suelo			
			A	B	C	D
Rotación de cultivos pobres	≥ 3	R	26	15	9	6
		N	28	17	11	8
	< 3	R / N	30	19	13	10
Rotación de cultivos densos	≥ 3	R	37	20	12	9
		N	42	23	14	11
	< 3	R / N	47	25	16	13
Praderas	≥ 3	Pobre	24	14	8	6
		Media	53	23	14	9
		Buena	70	33	18	13
		Muy buena	80	41	22	15
	< 3	Pobre	58	25	12	7
		Media	80	35	17	10
		Buena	12	55	22	14
		Muy buena	250	100	25	16
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal	≥ 3	Pobre	62	26	15	10
		Media	80	34	19	14
		Buena	100	42	22	15
	< 3	Pobre	75	34	19	14
		Media	95	42	22	15
		Buena	120	50	25	16
Masas forestales (bosques, monte bajo,...)	----	Muy clara	40	17	8	5
		Clara	60	24	14	10
		Media	75	34	22	16
		Espesa	90	47	31	23
		Muy espesa	120	65	43	33
Barbecho	≥ 3	R	15	8	6	4
		N	17	11	8	6
	< 3	R/ N	20	14	11	8
Cultivos en hilera	≥ 3	R	23	13	8	6
		N	25	16	11	8
	< 3	R / N	28	19	14	11
Cereales de invierno	≥ 3	R	29	17	10	8
		N	32	19	12	10
	< 3	R / N	34	21	14	12

Notas:

N denota cultivo según las curvas de nivel.

R denota cultivo según la línea.

Las zonas abancaladas se incluirán entre las pendientes < 3 %

Los núcleos urbanos, edificaciones rurales, caminos,... no se tendrán en cuenta al representar un porcentaje despreciable del área total. En caso contrario deberán diferenciarse los porcentajes de las superficies impermeables ($P_0 \sim 0$) y de los distintos tipos de suelo, atribuyendo a cada uno el valor correspondiente de P_0 según la tabla.

Al estimar el valor de P_0 para el cálculo, deben tenerse en cuenta las modificaciones futuras previsibles en la cuenca, tales como urbanizaciones, repoblaciones, cambios de cultivos, supresión de barbechos,...

Tabla 13. Grupos de suelo

Grupo	Infiltración	Potencia	Textura	Drenaje
A	Rápida	Grande	Arenosa	Perfecto
			Arenosa-limosa	
B	Moderada	Media a grande	Franco-arenosa	Bueno a moderado
			Franca	
			Franco-arcillo-arenosa	
			Franco-limosa	
C	Lenta	Media a pequeña	Franco-arcillosa	Imperfecto
			Franco-arcillo-limosa	
			Arcillo-arenosa	
D	Muy lenta	Pequeña (litosuelo u horizontes de arcilla)	Arcillosa	Pobre a muy pobre

En cada Región estudiada se ha obtenido un P_0 medio por cuenca, zonificando las mismas según Grupo de Suelo, Pendiente y Uso del Suelo.

6.1.2. DATOS DE ENTRADA

Los datos de entrada al programa para el cálculo en cada región y subcuenca han sido los siguientes:

Datos geográficos

Se han utilizado los archivos georeferenciados de límites de cuencas para la configuración de la malla de cálculo del programa. Esta malla se ha definido con una

aproximación de un ancho y alto de celda próximo al kilómetro, dependiendo la variación de este valor del tamaño y geometría de cada región.

Datos Termo-Pluviométricos

Se han utilizado los registros de la DGA (Ministerio de Obras Públicas), y otros han sido obtenidos a partir del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Ministerio de Agricultura). Las series utilizadas corresponden al periodo 24-5-2010 al 3-3-2014, asignándose a cada una de las estaciones de cada región y referenciadas por sus coordenadas UTM.

Suelos

Para establecer los parámetros relativos al P0, Punto de Marchitez y Capacidad de Campo, se ha asignado un valor de dichos parámetros a cada tipología de suelos en función de sus características, tomando como referencia los valores establecidos en la siguiente curva:

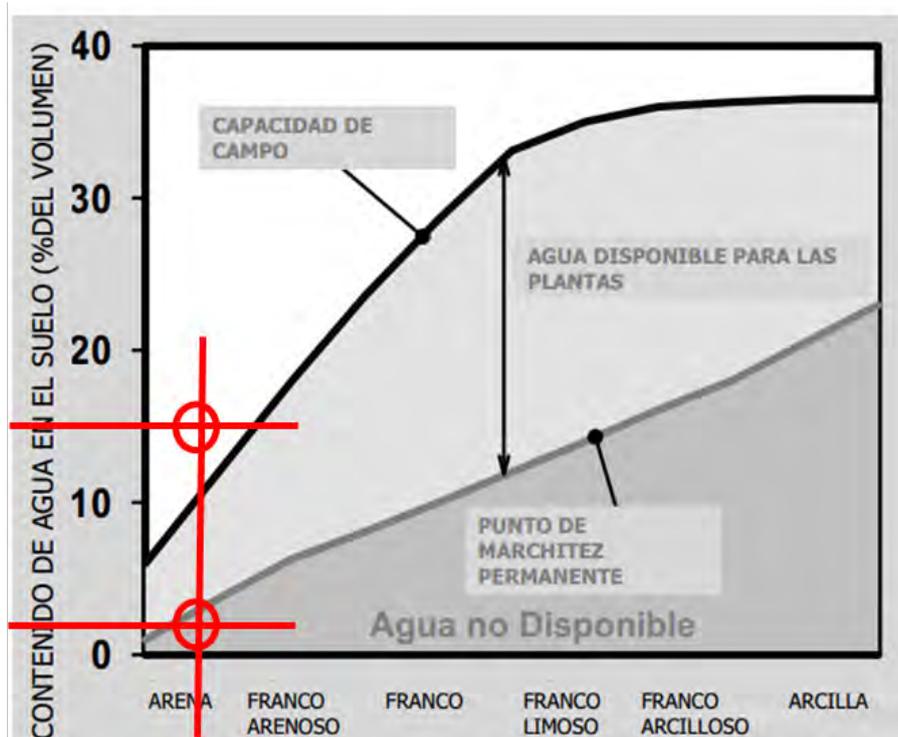


Figura 22. Valores de CC y PM según tipo de suelo

Igualmente se han consultado estudio agronómicos, concretamente el "Estudio Agrológico VI Región", del CIREN, el cual ofrece valores de Capacidad de Campo (humedad retenida a 33 kPa) y de Punto de Marchitez Permanente (humedad retenida a 1500 kPa) para los distintos suelos de la zona de estudio:

Tabla 14. Características de los principales suelos en la zona de estudio

ASOCIACION PIUCHEN (PIU)						Medio
Prof. (m)	0,1	0,36	0,6	0,9		
CC (%)	23	17	18	25		0,2075
PMP (%)	8	9	9	15		0,1025
Prof radicular (m)						0,6
SERIE NILAHUE (NIL)						Medio
Prof. (m)	0,1	0,22	0,28	0,45	0,82	
CC (%)	24	24	19	23	26	0,232
PMP (%)	10	10	8	8	10	0,092
Prof. radicular (m)						0,6
SERIE BARAHONA BAR)						Medio
Prof. (m)	0,16	0,21	0,41	0,46	0,82	
CC (%)	23	19	16	12	25	0,19
PMP (%)	14	9	7	5	14	0,098
Prof. radicular (m)						0,5

Como resultado se han definido una serie de tipologías por grupo de valores de C.C y P.M. detalladas en la tabla siguiente:

Tabla 15. Tipo de suelos y valores de C.C. y P.M. establecidos en los datos de entrada a la aplicación.

Tipo de Suelo	C.C.	P.M.
Tipo A	14	4
Tipo B	27	9
Tipo C	35	15
Tipo D	36	21

En aquellos suelos que presentan tipologías intermedias se ha promediado los valores correspondientes, pudiendo definirse subtipos como A-B, etc.

En los capítulos correspondientes a cada Región se detalla la cartografía de los suelos resultante de aplicar los criterios anteriores.

Infiltración por Retorno de Riego

Para el cálculo de la infiltración por retorno de riego, inicialmente se han consultado los datos y referencias existentes sobre cuantificación de consumos y dotaciones. En concreto se consideran especialmente las referencias "Determinación de tasas características de uso del agua según sector y rubro. Informe Final. DGA" y "Estimaciones de demanda de agua y proyecciones futuras. Zona II. Regiones V a XII y

región metropolitana informe final. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. Ingenieros consultores s.i.t. nº 123"

A pesar de disponerse en las referencias de consumos para cada cultivo y superficie del mismo por Región, se ha comprobado que las dotaciones resultantes presentan valores muy dispares, más de lo que cabe esperar en base a la naturaleza agroclimática de cada región o cuenca. Por dicha razón, atendiendo al primer trabajo mencionado, se han tomado como datos de partida lo establecido en la tabla siguiente:

Tabla 16. Demanda de Riego por Región. (ODEPA)

Demandas de Riego por Región (ODEPA)					
Región	Superficie Total	Demanda	Eficiencia de Riego	Demanda Neta	Demanda Bruta
	Há	l/s	%	m³/año/Ha	m³/año/Ha
I	8.039	6.100	44.7	23.930	53.534
II	2.962	500	36.0	5.323	14.787
III	14.264	5.400	60.8	11.939	19.636
IV	49.526	32.500	49.5	20.695	41.807
V	38.962	32.400	47.8	26.225	54.863
RM	145.357	120.800	40.2	26.208	65.195
VI	208.651	115.100	37.0	17.396	47.018
VII	318.326	153.100	35.9	15.167	42.249
VIII	180.808	82.500	35.6	14.389	40.420
IX	50.893	18.100	39.8	11.216	28.180
X	7.060	2.500	69.0	11.167	16.184
XI	3.485	1.200	35.0	10.859	31.025
XII	1.792	100	35.0	1.760	5.028

Respecto a las superficies de riego por región se han utilizado las correspondientes a la cobertura espacial de usos del suelo tomada del IDE Servicio de Mapas del Ministerio de Medio Ambiente. La clasificación por pendientes mayor o menor al 3% se ha realizado a partir del modelo digital del terreno (ASTER-GDEM), y la permeabilidad haciendo una correlación entre la geología y la velocidad de infiltración según los materiales aflorantes.

En base al dato de Superficie de Riego Inicial obtenido, se ha convertido a Superficie de Riego Neta restando la estimación de superficies correspondientes a caminos y rotación de cultivos, y aplicando un coeficiente del 60%.

Aplicando a las superficies netas obtenidas en cada cuenca las demandas de riego netas y un coeficiente de infiltración del 20 %, se han obtenido las cifras de infiltración en Hm³/año por subcuenca, detallándose los datos en los capítulos correspondientes.

6.2. CARACTERIZACION HIDROLÓGICA CUENCAS VI REGIÓN

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

Se debe señalar la existencia de sectores inmediatamente adyacentes a la costa, comprendidos entre el litoral y las divisorias de agua de las cuencas de los esteros antes mencionados y el río Rapel, en los cuales la red de drenaje constituye esteros y quebradas de muy corto desarrollo, que alcanzan el mar en forma individual y que, en estricto rigor, cada uno de ellos conforma una pequeña cuenca. En estas pequeñas cuencas el régimen de escorrentía que caracteriza a estos esteros y pequeñas quebradas es esencialmente pluvial, por lo que su escurrimiento se encuentra estrechamente asociado a la distribución estacional de las lluvias.

A continuación se presenta una caracterización general de las cuencas antes mencionadas:

6.2.1. CUENCA DEL RÍO RAPEL

La cuenca del río Rapel, que se extiende de cordillera a mar, se encuentra ubicada aproximadamente entre los 34° y 35° de latitud sur y entre los 70° y 72° de longitud oeste. La zona baja de la cuenca queda comprendida entre su desembocadura y la desembocadura de los ríos Cachapoal y Tinguiririca en el embalse Rapel.

Los escurrimientos existentes en la zona baja son en su mayor parte afluentes al embalse Rapel y aportados principalmente por los esteros Las Cadenas y Alhué, los que sumados a los afluentes de la zona intermedia, a través de los ríos Cachapoal y Tinguiririca, constituyen los afluentes totales al embalse Rapel.

El régimen natural del río Rapel es pluvionival alterado, es decir, en el período pluvial (Abril-Septiembre) se tiene régimen pluvial con crecidas violentas debido a precipitaciones líquidas caídas en la precordillera y zona intermedia de la cuenca, y en el período (Octubre-Marzo) se tiene régimen nival con una onda de deshielo estacional generada por el deshielo del manto de nieve y aporte de los glaciares de la alta cordillera, onda de deshielo que llega al embalse Rapel amortiguada, o desapareciendo en algunos casos debido al uso consuntivo del agua con fines de riego en el valle central y algunos valles laterales.

La descripción de la zona intermedia incluye las cuencas de los ríos Cachapoal y Tinguiririca. Esta zona, que está comprendida entre la zona alta y el embalse Rapel, incluye la mayor parte de la zona cultivada y regada en la cuenca del río Rapel.

6.2.2. CUENCA DEL RÍO CACHAPOAL

Si bien el régimen hidrológico de la zona intermedia es netamente pluvial, el de los ríos que nacen en la alta cordillera, como el Cachapoal, es de régimen pluvionival, donde el agua proveniente del deshielo se utiliza en riego por lo que la onda estacional de deshielo se amortigua e incluso, en algunos años secos, la onda de deshielo no se aprecia a la salida de la zona.

6.2.3. CUENCA DEL RÍO TINGUIRIRICA

Al igual que lo señalado en el caso anterior, la zona intermedia tiene un régimen netamente pluvial, sin embargo, el régimen de los ríos que nacen en la alta cordillera, como el Tinguiririca, es de régimen pluvionival, donde el agua proveniente del deshielo se utiliza en riego por lo que la onda estacional de deshielo se amortigua e incluso en algunos años secos, la onda de deshielo no se aprecia a la salida de la zona.

El sistema hidrográfico de carácter pluvial, correspondiente a la Cuenca Costera Rapel-Ñilahue, la que abarca un área aproximada de 3400 km², se encuentra caracterizada por una red de drenaje ramificada, siendo los principales esteros el Topocalma y el Ñilahue, los que definen sub-cuencas hidrográficas. Otras sub-cuencas de menor importancia se presentan en los sectores adyacentes a la costa. A continuación se presenta una caracterización general de las subcuencas costeras.

6.2.4. CUENCA DEL ESTERO TOCOPALMA

La hoya del estero Tocopalma o Quebrada Honda es una cuenca costera ubicada inmediatamente al sur de la cuenca del río Rapel. El área de mayor interés de esta cuenca comprende entre el estero El Ganso por el sur y el estero Valle Hidango por el norte. El estero El Ganso es un tributario de la ribera norte del estero Tocopalma, a unos 25 km. aguas arriba de su desembocadura al mar. El estero Valle Hidango también es un tributario norte a unos pocos kilómetros de su desembocadura al mar. El régimen hidrológico es netamente pluvial.

6.2.5. CUENCA DEL ESTERO NILAHUE

La hoya del estero Ñilahue drena parte de la zona costera entre la localidad de Cahuil por el norte y el estero Paredones por el sur. Posee una red de drenaje muy ramificada de acuerdo con la tectónica local, que ha fraccionado el macizo costero en ese sector. El estero Ñilahue que tiene su nacimiento a unos 60 km al sur de Pichilemu, tiene una dirección sur a norte casi en la totalidad de su recorrido y desemboca en la localidad de Cahuil, ubicada unos 10 km. al sur de Pichilemu. El régimen hidrológico es netamente pluvial.

6.2.6. OTRAS CUENCAS

En los sectores inmediatamente adyacentes a la costa, comprendidos entre el litoral y las divisorias de aguas de las cuencas de los esteros antes mencionados y el río Rapel, existen pequeñas cuencas. Estas cuencas costeras corresponden a los siguientes sistemas:

- Costeras entre río Rapel y estero Topocalma (estero Pupuya)
- Costeras entre estero Topocalma y estero Nilahue (Pichilemu)
- Costeras entre estero Nilahue y Límite Regional (estero Paredones)

En estas cuencas la red de drenaje está constituida por esteros y quebradas de corto desarrollo, y que alcanzan el mar en forma individual. Estas cuencas costeras tienen un régimen de escorrentía esencialmente pluvial, por lo que el escurrimiento de las aguas está estrechamente asociado a la distribución de las lluvias.

6.2.7. REDEFINICIÓN DE CUENCAS

Se ha realizado una redefinición de las cuencas de la zona de estudio a partir del análisis hidrológico en base al modelo digital de elevaciones. El objetivo es actualizar el trazado de las cuencas de estudio y definir qué otras tienen relación con estas y poder así cuantificar las aportaciones al sistema hidrológico que se puedan producir.

En la figura siguiente se muestran en negro punteado las 3 cuencas de estudio de la VI Región, y en rojo la subdivisión de éstas en otras menores y la redefinición de cuencas aportantes al sistema hidrológico de estudio.

Las cuencas delimitadas y sus áreas son las siguientes:

- Cuencas aportantes a río Rapel:
 - Río Claro: 6.100 km²
 - Río Tinguiririca: 4.190 km²
 - Estero Alhué: 1.420 km²
- Río Rapel: 2.140 km²
 - Interna Rapel 1: 1.220 km²
 - Interna Rapel 2: 120 km²
 - Interna Rapel 3: 800 km²
- Entre Topocalma y Nilahue: 414 km²
- Entre Nilahue y límite Región: 567 km²
 - Interna 1: 291 km²

- o Interna 2: 233 km²
- o Interna 3: 38 km²
- o Interna 4: 8 km²

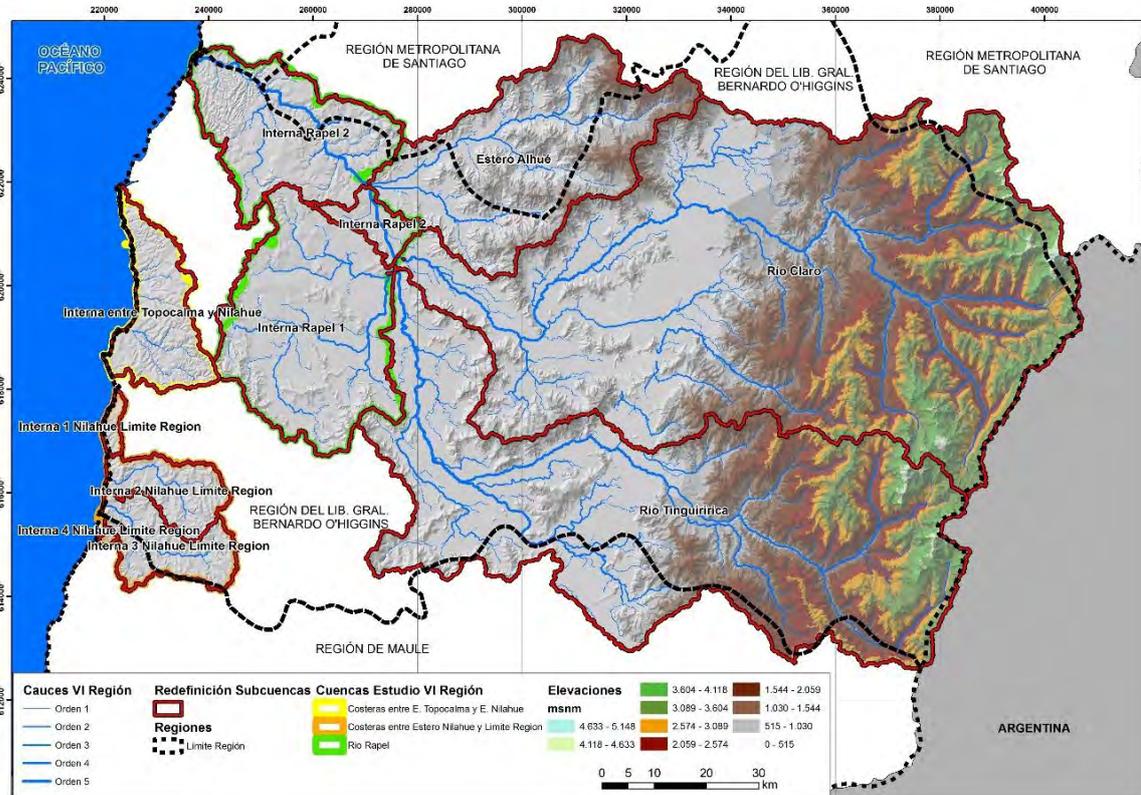


Figura 23. Cuencas y cauces de la Región VI

Asimismo se han numerado los cauces según el esquema de clasificación de Horton-Strahler, los cuales, al igual que las cuencas definidas, se encuentran en archivo digital (shapefile).

6.2.8. PLUVIOMETRÍA

Las estaciones empleadas para la caracterización pluviométrica de la VI Región han sido las siguientes:

Tabla 17. Estaciones pluviométricas VI Región

Nombre Estación	Coordenadas DATUM WGS84 Huso 19		Cota (msnm)	Fuente de datos	Datos utilizados	
	X UTM	Y UTM			Desde	Hasta
Cachapoal	281453	6204650	115	DGA	01/01/2004	31/03/2014
Colacan	290053	6212580	120	DGA	01/01/2004	03/03/2014
El Membrillo	259305	6144990	95	DGA	01/01/2004	03/03/2014
El Tambo	317315	6183510	245	INIA	19/05/2010	12/08/2014

Tabla 17. Estaciones pluviométricas VI Región

Nombre Estación	Coordenadas DATUM WGS84 Huso 19		Cota (msnm)	Fuente de datos	Datos utilizados	
	X UTM	Y UTM			Desde	Hasta
Hidango	241777	6221520	289	INIA	29/05/2010	12/08/2014
Litueche	248386	6220740	265	DGA	01/01/2004	31/03/2014
Nilahue	246120	6170330	75	DGA	01/01/2004	03/03/2014
Pichidegua	278344	6203000	110	DGA		
Pichilemu	223547	6190750	21	DGA	01/01/2004	03/03/2014
Ranguili	248535	6137980	130	DGA	01/01/2004	03/03/2014
Rapel	247151	6240110	24	DGA	01/01/2004	31/03/2014

Parte de los registros han sido solicitados a la DGA (Ministerio de Obras Públicas), y otros han sido obtenidos a partir del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Ministerio de Agricultura).

Los registros se adjuntan en formato digital al presente informe.

Asimismo, los datos han sido introducidos en un software de tratamiento y análisis de datos meteorológicos para su completado y análisis estadístico, denominado TRASERO (Tratamiento y Gestión de Series Temporales Hidrológicas), desarrollado por el departamento Ciclo Hídrico de la Diputación de Alicante (España) con la colaboración de Azarbe Ingeniería.

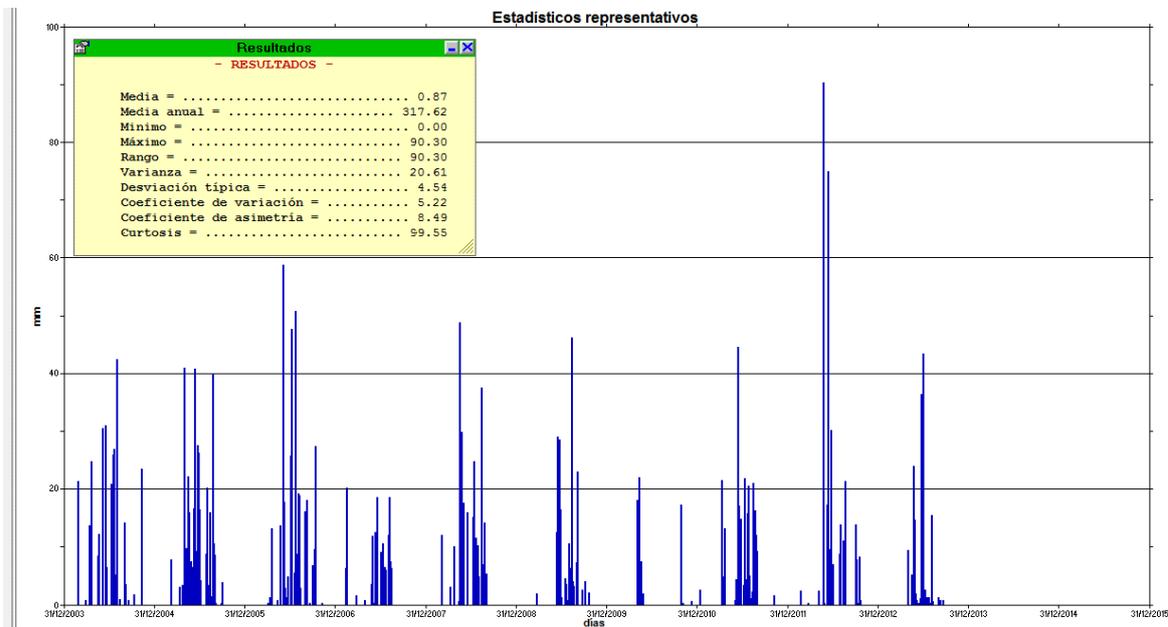


Figura 24. Registros y estadística de la estación Cachapoal

6.2.9. FLUVIOMETRÍA

Las estaciones fluviométricas analizadas han sido las siguientes:

Tabla 18. Estaciones fluviométricas VI Región

Nombre Estación	Coordenadas PSAD56 Huso 19		Cota (msnm)	Fuente de datos	Datos utilizados	
	X UTM	Y UTM			Desde	Hasta
Río Cachapoal en Punete Arqueado	282145	6204769	115	DGA	02/01/2012	31/03/2014
Río Tinguiririca en los Olmos	281897	6180333	223	DGA	11/12/2012	31/03/2014

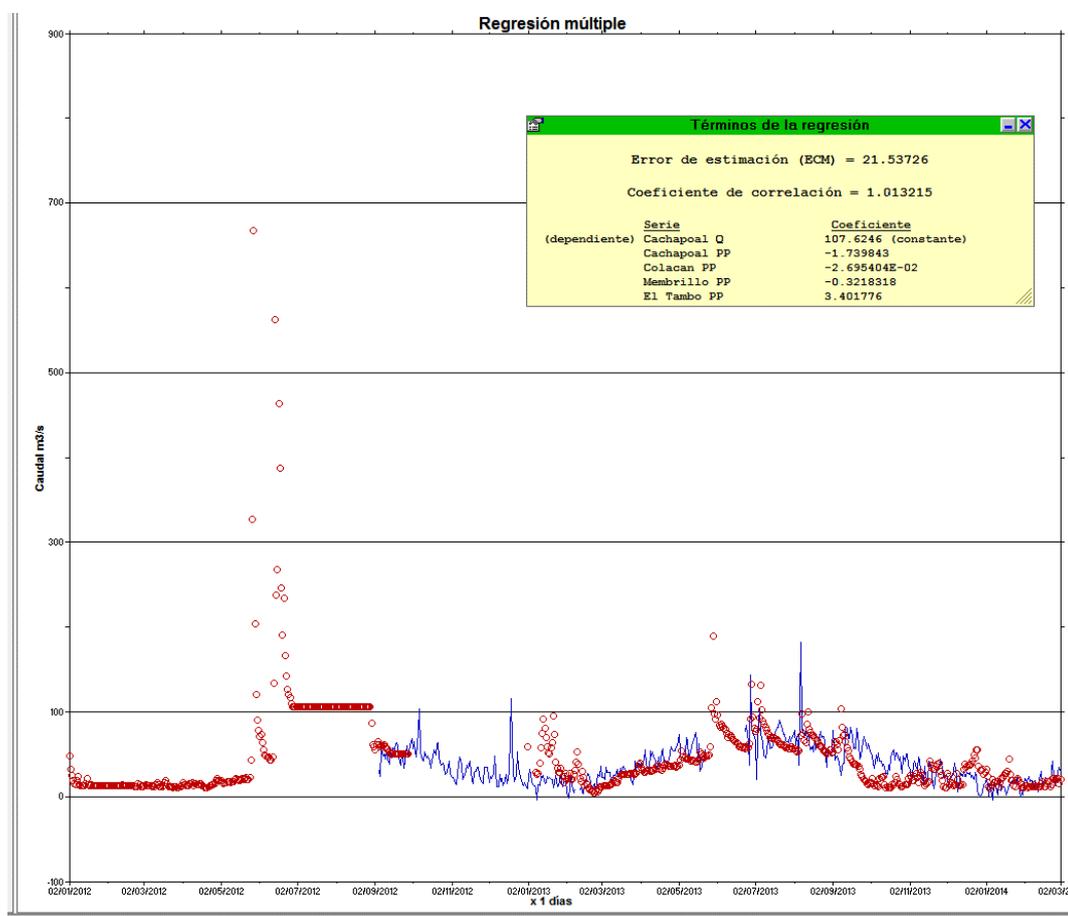


Figura 25. Simulación del caudal en la estación de Cachapoal a partir de la regresión múltiple entre los datos de ésta y los de precipitación.

6.2.10. CALCULO DE LA ESCORRENTIA E INFILTRACION

Previo al cálculo de la infiltración y escorrentía, tal y como se ha mencionado anteriormente, se ha obtenido un valor de P_0 por cuenca atendiendo a las características del suelo (grupo suelo, pendiente y uso), tal y como se expone a continuación:

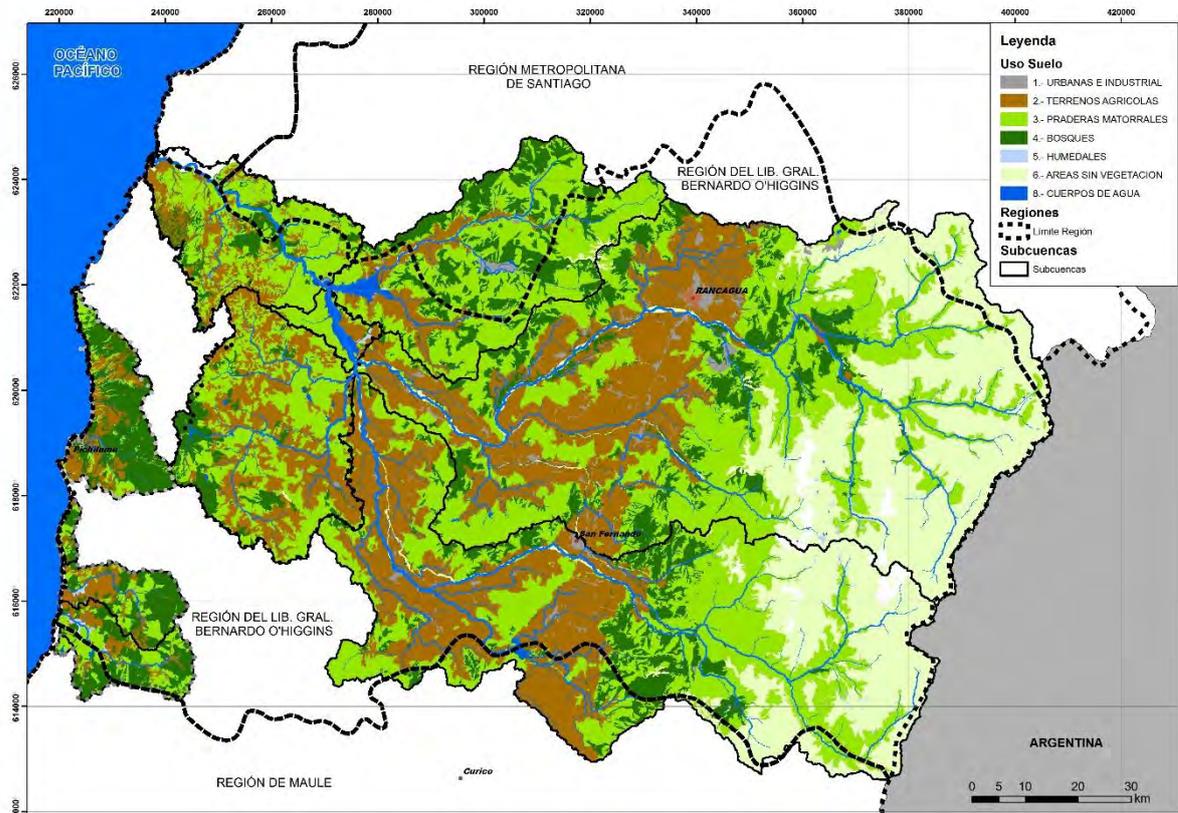


Figura 26. Usos del suelo en cuencas de la VI Región

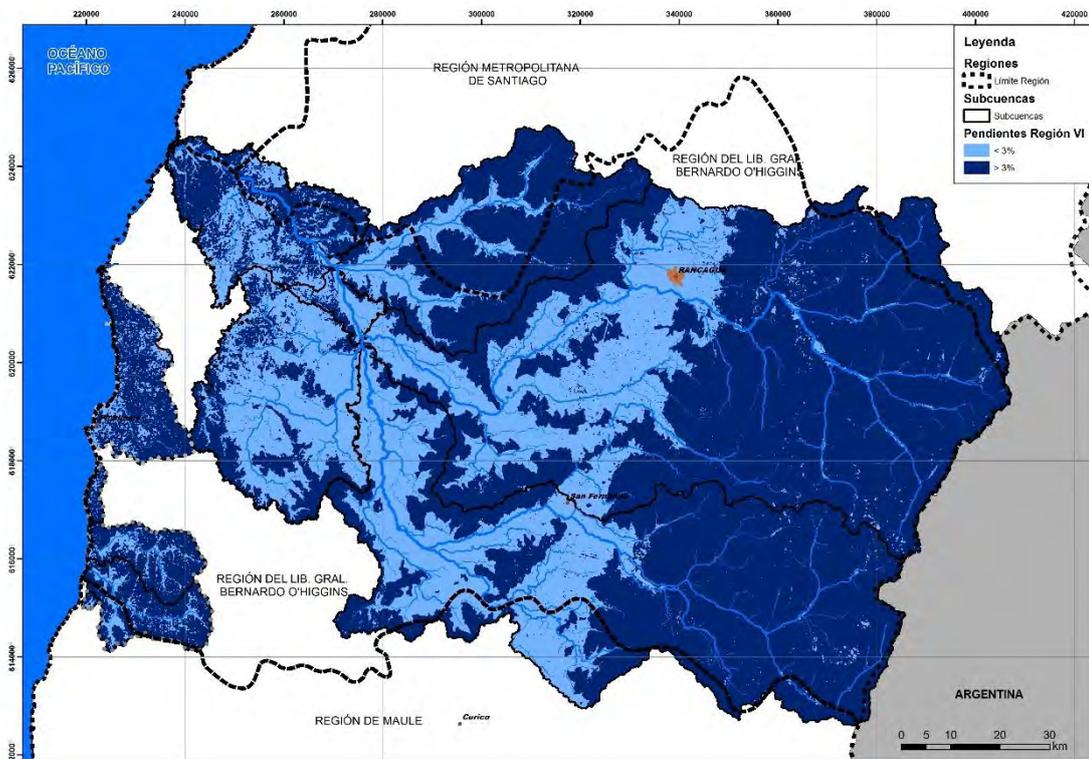


Figura 27. Clasificación de pendientes en cuencas de la VI Región

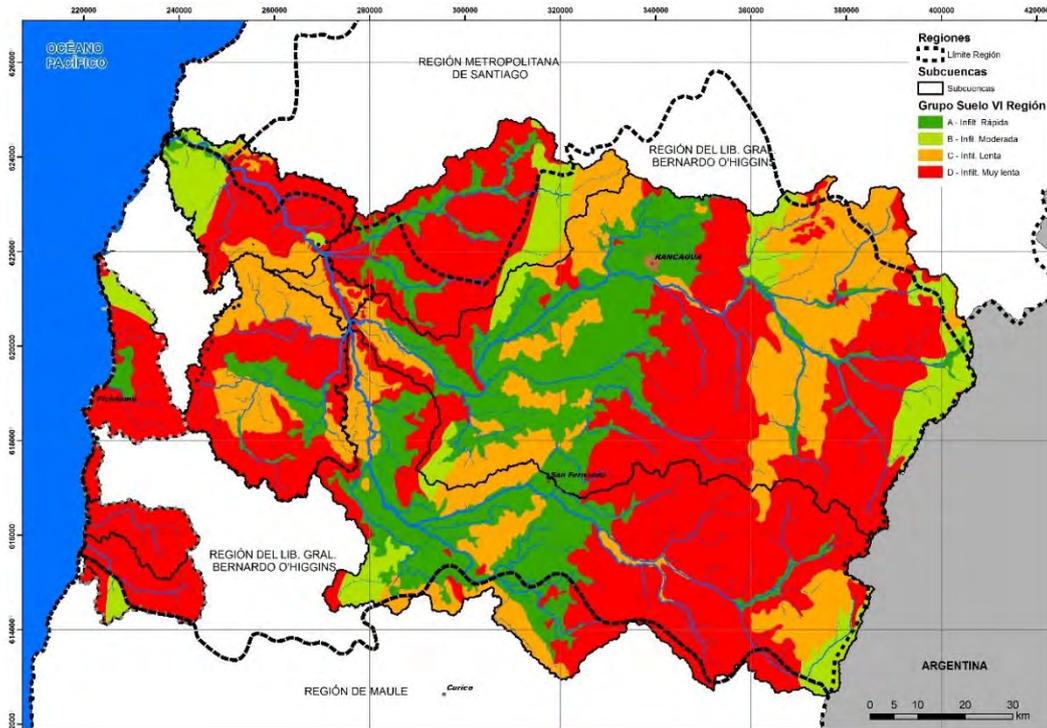


Figura 28. Grupos de suelo en cuencas de la VI Región

Intersectando los tres parámetros obtenidos y aplicando los valores incluidos en el capítulo de metodología se obtiene la siguiente zonificación del umbral de escorrentía (P_o):

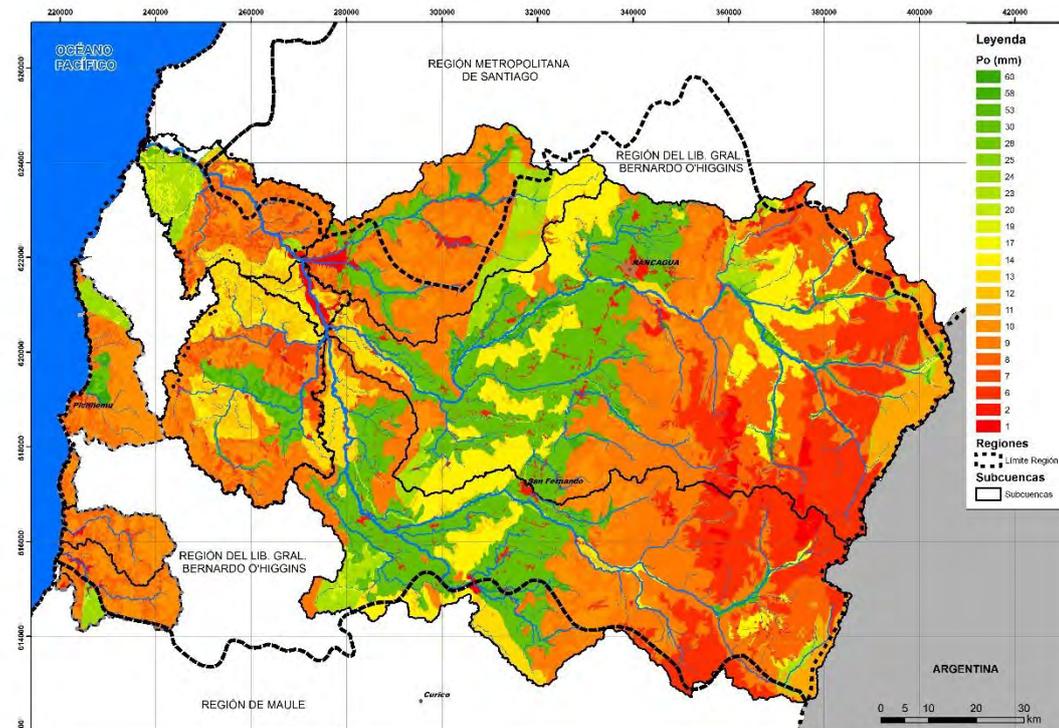


Figura 29. Zonificación obtenida del umbral de escorrentía (P_o) de la VI Región

Posteriormente, haciendo una media ponderada a la superficie en cada cuenca se ha obtenido el valor medio del umbral de escorrentía:

Tabla 19. Umbral de escorrentía por subcuenca en VI Región

Código Cuenca	Subcuenca	Po
604	Estero Alhué	15,48
614	Interna 1 Nilahue Limite Región	9,17
614	Interna 2 Nilahue Limite Región	9,18
614	Interna 3 Nilahue Limite Región	10,63
614	Interna 4 Nilahue Limite Región	8,22
612	Interna entre Topocalma y Nilahue	14,36
605	Interna Rapel 1	13,65
605	Interna Rapel 2	12,09
601	Río Claro	15,38
603	Río Tinguiririca	15,24

Los valores de infiltración y generación de escorrentía procedente de precipitación, en hm³/mes, por cuenca se presentan a continuación:

Tabla 20. Generación sintética de infiltración y escorrentía procedente de infiltración.
Cuenas VI Región (1 de 3)

	Estero Alhué		Interna 1 Nilahue Limite Región		Interna 2 Nilahue Limite Región		Interna 3 Nilahue Limite Región	
	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC
may-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jun-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jul-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ago-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
sep-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
oct-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
nov-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
abr-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
may-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jun-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jul-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ago-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
sep-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
oct-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
nov-11	0.00	24.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-12	5.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

	Estero Alhué		Interna 1 Nilahue Limite Región		Interna 2 Nilahue Limite Región		Interna 3 Nilahue Limite Región	
	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC
mar-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
abr-12	11.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
may-12	7.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jun-12	19.77	44.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jul-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ago-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
sep-12	0.00	0.00	0.00	2.34	0.00	17.36	0.00	21.03
oct-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
nov-12	13.49	20.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
abr-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
may-13	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.37	0.00	0.05
jun-13	0.00	0.00	0.00	1.75	0.00	13.00	0.00	15.54
jul-13	0.00	0.00	0.00	2.39	0.00	17.75	0.00	20.25
ago-13	0.00	0.00	0.00	1.39	0.00	10.31	0.00	12.57
sep-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
oct-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
nov-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-13	5.56	38.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 21. Generación sintética de infiltración y escorrentía procedente de infiltración. Cuencas VI Región (2 de 3)

	Interna 4 Nilahue Limite Región		Interna entre Topocalma y Nilahue		Interna Rapel 1		Interna Rapel 2	
	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC
may-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jun-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jul-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ago-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
sep-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
oct-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
nov-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
abr-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
may-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jun-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jul-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ago-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
sep-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
oct-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

	Interna 4 Ñilahué Limite Región		Interna entre Topocalma y Ñilahué		Interna Rapel 1		Interna Rapel 2	
	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC
nov-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
abr-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
may-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jun-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jul-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ago-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
sep-12	0.00	0.63	0.00	26.66	0.00	81.23	0.00	62.03
oct-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
nov-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
abr-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
may-13	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jun-13	0.00	0.48	0.00	18.90	0.00	58.09	0.00	45.15
jul-13	0.00	0.67	6.11	21.83	6.06	68.56	0.00	55.74
ago-13	0.00	0.37	1.01	16.23	2.16	49.26	0.00	37.32
sep-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
oct-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
nov-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 22. Generación sintética de infiltración y escorrentía procedente de infiltración.
Cuencas VI Región (3 de 3)

	Río Claro		Río Tinguiririca	
	INF	ESC	INF	ESC
may-10	13.30	0.00	3.18	0.00
jun-10	292.20	382.50	198.84	264.29
jul-10	122.96	166.51	83.82	114.87
ago-10	8.84	0.00	6.07	0.00
sep-10	0.00	0.00	0.00	0.00
oct-10	0.00	0.00	0.00	0.00
nov-10	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-10	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-11	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-11	0.00	0.00	0.00	0.00

	Río Claro		Río Tinguiririca	
	INF	ESC	INF	ESC
mar-11	0.00	0.00	0.00	0.00
abr-11	0.00	284.87	0.00	196.69
may-11	0.00	0.00	0.00	0.00
jun-11	0.00	184.91	0.00	128.08
jul-11	82.51	71.64	64.45	50.91
ago-11	191.06	97.74	129.99	68.25
sep-11	16.52	0.00	11.34	0.00
oct-11	0.00	0.00	0.00	0.00
nov-11	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-11	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-12	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-12	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-12	0.00	0.00	0.00	0.00
abr-12	0.00	0.00	0.00	0.00
may-12	0.00	471.39	0.00	324.73
jun-12	3.13	864.37	8.23	596.78
jul-12	47.85	0.00	32.84	0.00
ago-12	0.00	53.75	0.00	37.47
sep-12	0.00	0.00	0.00	0.00
oct-12	0.00	6.20	0.00	4.83
nov-12	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-12	0.00	36.07	0.00	25.34
ene-13	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-13	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-13	0.00	0.00	0.00	0.00
abr-13	0.00	0.00	0.00	0.00
may-13	0.00	250.23	0.00	173.50
jun-13	0.00	97.13	0.00	67.83
jul-13	65.95	37.29	52.50	26.17
ago-13	0.00	178.09	0.00	122.82
sep-13	0.00	0.00	0.00	0.00
oct-13	0.00	0.00	0.00	0.00
nov-13	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-13	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-14	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-14	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-14	0.00	0.00	0.00	0.00

Respecto a la infiltración por retornos de riego, y siguiendo la metodología expuesta en capítulos anteriores, se han obtenido los siguientes resultados:

Tabla 23. Infiltración por retorno de riegos en cuencas de la VI Región

Subcuenca	Superficie riego (ha)	Superficie riego neta (ha)	Infiltración (hm ³ /año)
Estero Alhué	17.768,9	10.661,3	37,09
Interna 1 Nilahue Limite Región	483,1	289,8	1,01
Interna 2 Nilahue Limite Región	6.320,4	3.792,2	13,19
Interna 3 Nilahue Limite Región	4.786,3	2.871,8	9,99
Interna 4 Nilahue Limite Región	8,4	5,0	0,02
Interna Rapel 1	52.186,3	31.311,8	108,94
Interna Rapel 2	21.480,9	12.888,5	44,84
Interna entre Topocalma y Nilahue	9.724,0	5.834,4	20,30
Río Claro	142.053,0	85.231,8	296,54
Río Tinguiririca	121.999,0	73.199,4	254,68

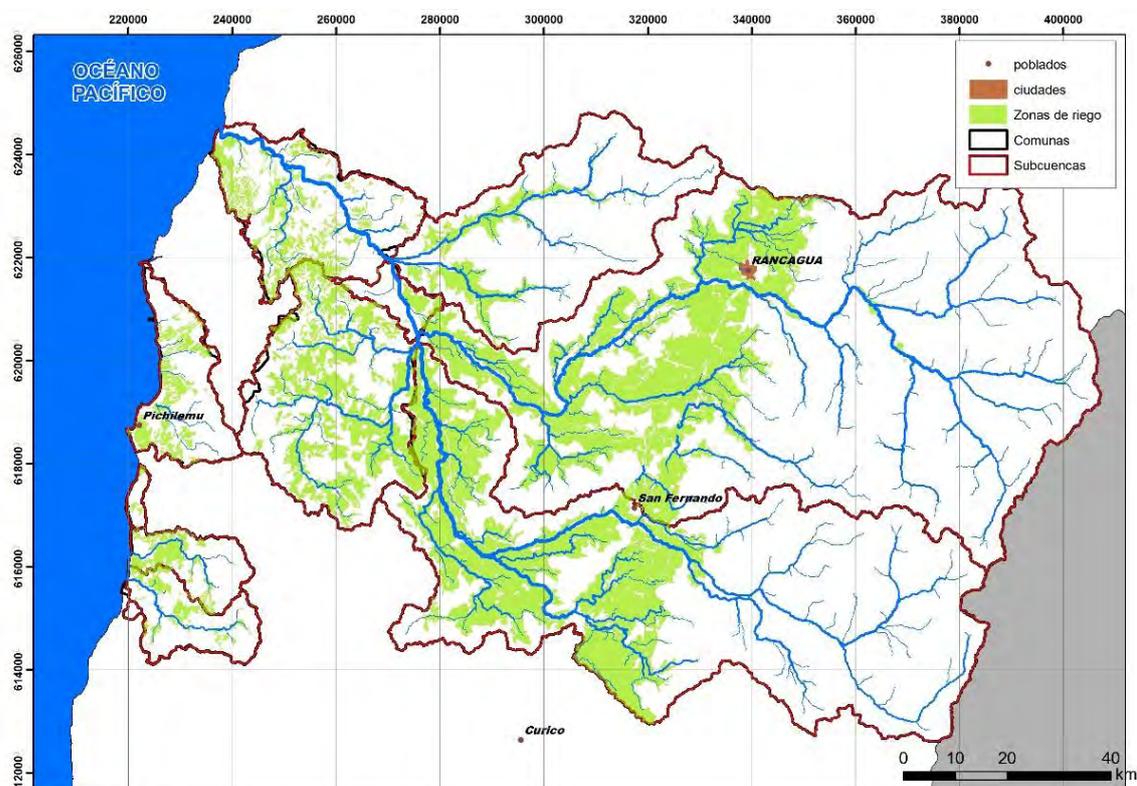


Figura 30. Áreas de regadío de la VI Región

6.3. CARACTERIZACION HIDROLÓGICA CUENCAS VII REGIÓN

La cuenca de mayor importancia en la VII Región es la cuenca hidrográfica del río Maule. Los principales tributarios al Río Maule son los ríos Loncomilla, Melado, Perquilauquén, Claro, Putagán, Achibueno, Longaví, Ancoa y Cauquenes.

6.3.1. RÍO MAULE

Se ubica entre los paralelos 35°05' y 36°30' de latitud sur y los meridianos 70°25' y 72°30' de longitud oeste. En sus primeros tramos, el río Maule escurre en dirección noroeste. Luego, a unos 40 Km de su nacimiento, recibe por el norte al río Cipreses que nace en la laguna Invernada. Más abajo, a unos 30 Km del punto anterior recibe su principal afluente cordillerano, el Melado, el cual le entrega los aportes de toda la zona alta de la parte sur de la cuenca.

El río Melado nace en la laguna del Dial y a través de los ríos Troncase y de La Puente capta las aguas del cordón divisorio, de modo que su caudal es poco menor al Maule mismo. Luego de atravesar la depresión intermedia y junto a las primeras estribaciones de la Cordillera de la Costa, el Maule recibe como afluentes al río Loncomilla desde el sur y al río Claro desde el norte.

6.3.2. RÍO LONCOMILLA

El Loncomilla se forma por la unión de los ríos Longaví y Perquilauquén, siendo este último el que se ubica más al sur en el sistema hidrográfico. A su vez, el Perquilauquén capta las aguas de los contrafuertes de la Cordillera de la Costa a través de los ríos Cauquenes y Purapel. El río Loncomilla recibe más tarde los aportes de los ríos Achibueno, que a su vez recibe los aportes del río Ancoa, y Putagán.

6.3.3. REDEFINICIÓN DE CUENCAS

Se ha realizado una redefinición de las cuencas de la zona de estudio a partir del análisis hidrológico en base al modelo digital de elevaciones. El objetivo es actualizar el trazado de las cuencas de estudio y definir qué otras tienen relación con estas y poder así cuantificar las aportaciones al sistema hidrológico que se puedan producir.

En la figura siguiente se muestran en negro las 3 comunas de estudio de la VII Región (Constitución, Empedrado y San Javier), y en rojo la redefinición de cuencas llevada a cabo para el presente estudio.

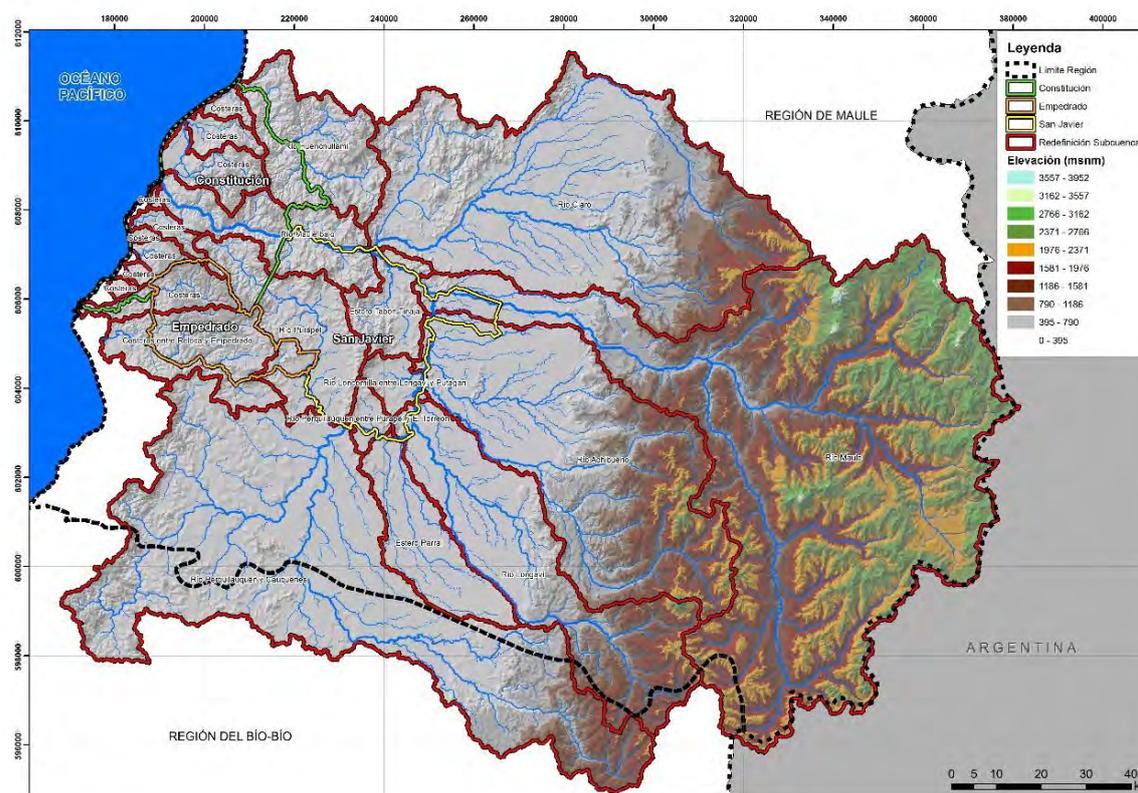


Figura 31. Cuencas y cauces de la Región VII

Las cuencas delimitadas y sus áreas son los siguientes:

Tabla 24. Subcuencas VII Región

Subcuenca	Área (km ²)
Río Maule	6.181
Río Perquillauquen y Cauquenes	4.213
Río Claro	3.553
Río Achibueno	2.632
Río Longaví	1.637
Río Purapel	771
Río Huenchullami	728
Río Maule bajo	600
Costeras entre Reloca y Empedrado	587
Estero Parral	586
Estero Tabón Tinaja	310
Costeras	232
Costeras	231
Río Loncomilla entre Longaví y Putagan	134
Costeras 1	113
Río Perquillauquen entre Purapel y E. Torreón	98
Costeras 2	78

Tabla 24. Subcuencas VII Región

Subcuenca	Área (km ²)
Costeras 3	69
Costeras 4	58
Costeras 5	24
Costeras 6	21
Costeras 7	19
Costeras 8	10

Asimismo se han numerado los cauces según el esquema de clasificación de Horton-Strahler, los cuales, al igual que las cuencas definidas, se encuentran en archivo digital (shapefile).

6.3.4. PLUVIOMETRÍA

Las estaciones empleadas para la caracterización pluviométrica de la VII Región han sido las siguientes:

Tabla 25. Estaciones pluviométricas VII Región

Nombre Estación	Coordenadas DATUM WGS84 Huso 19		Cota (msnm)	Fuente de datos	Datos utilizados	
	X UTM	Y UTM			Desde	Hasta
Cauquenes	203047	6015620	167	INIA	06/01/2010	13/07/2014
Chanco	182090	6042600	121	INIA	15/09/2009	13/07/2014
Constitución	189895	6085300	12	INIA	01/01/2004	03/03/2014
Coronel de Maule	186516	6003590	175	INIA	20/08/2009	12/08/2014
Huerta del Maule	233096	6049230	200	DGA	01/01/2004	03/03/2014
Los Despachos	196101	6003590	170	INIA	20/08/2009	12/08/2014
Nirivilo	219514	6062420	210	DGA	01/01/2004	03/03/2014
Putu	200924	6097430	14	INIA	01/01/2004	03/03/2014
Río Loncomilla	249106	6054630	68	DGA	01/01/2004	03/03/2014
Río Maule en Forel	208431	6076720	16	INIA	01/01/2004	03/03/2014
San Javier	259055	6057340	122	DGA	01/01/2004	03/03/2014
Santa Sofía	196821	6013000	138	INIA	11/08/2009	12/08/2014
Sauzal	218311	6042900	148	INIA	18/08/2009	12/08/2014

Parte de los registros han sido solicitados a la DGA (Ministerio de Obras Públicas), y otros han sido obtenidos a partir del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Ministerio de Agricultura).

Los registros se adjuntan en formato digital al presente informe.

Asimismo, los datos han sido introducidos en un software de tratamiento y análisis de datos meteorológicos para su completado y análisis estadístico, denominado TRASERO (Tratamiento y Gestión de Series Temporales Hidrológicas), desarrollado por el departamento Ciclo Hídrico de la Diputación de Alicante (España) con la colaboración de Azarbe Ingeniería.

6.3.5. FLUVIOMETRÍA

Las estaciones fluviométricas analizadas han sido las siguientes:

Tabla 26. Estaciones pluviométricas VII Región

Nombre Estación	Coordenadas DATUM PSAD1956 Huso 19		Cota (msnm)	Fuente de datos	Datos utilizados	
	X UTM	Y UTM			Desde	Hasta
Río Maule En Forel	208528	6077000	30	DGA	01/01/2012	31/03/2014
Canal De Evacuación C. Pehuenche	303831	6043736		DGA	01/01/2012	31/03/2014
Canal Maule Norte Alto en Paso Nevado	302543	6045126		DGA	01/01/2012	31/03/2014

Maule en Forel Caudal:

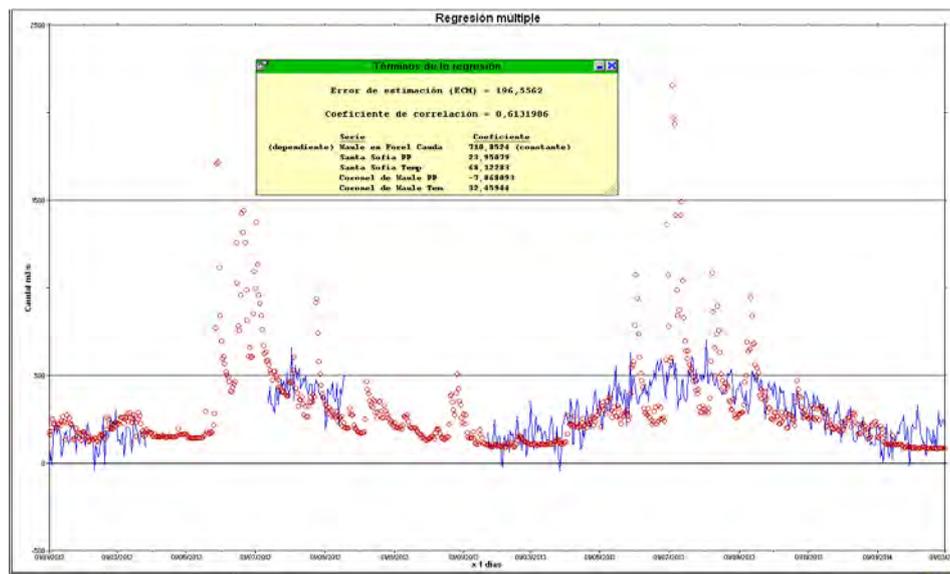


Figura 32. Simulación del caudal en la estación Río Maule en Forel partir de la regresión múltiple entre los datos de ésta y los de precipitación.

6.3.6. CÁLCULO DE LA INFILTRACIÓN Y ESCORRENTÍA

Previo al cálculo de la infiltración y escorrentía, tal y como se ha mencionado anteriormente, se ha obtenido un valor de P_o por cuenca atendiendo a las características del suelo (grupo suelo, pendiente y uso), tal y como se expone a continuación:

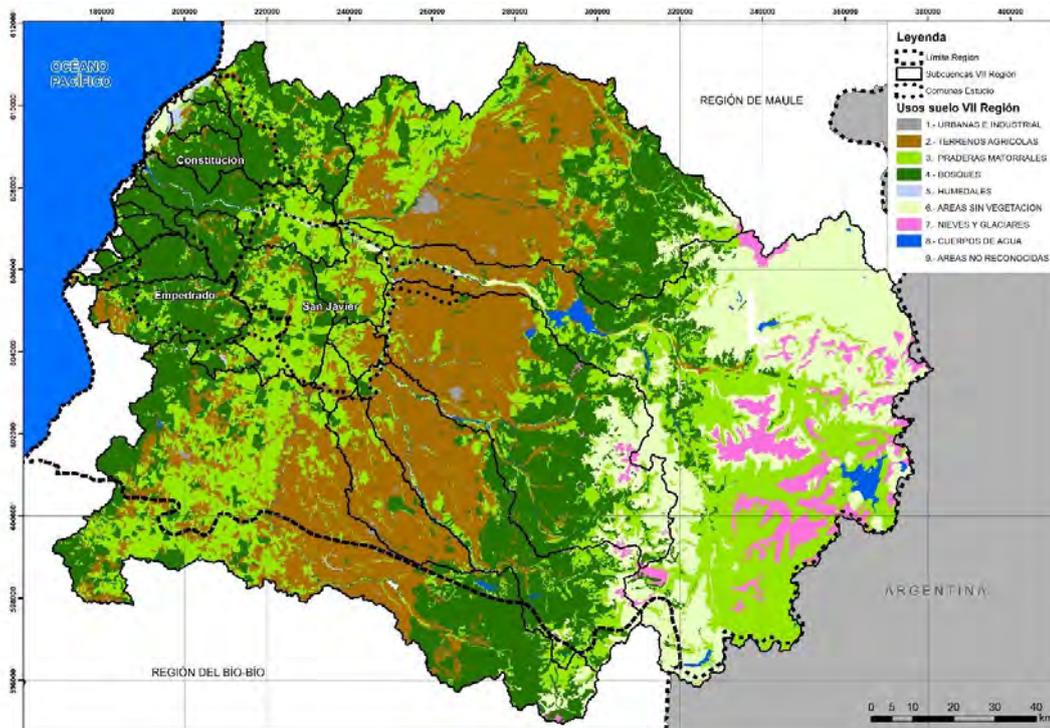


Figura 33. Usos del suelo en cuencas de la VII Región

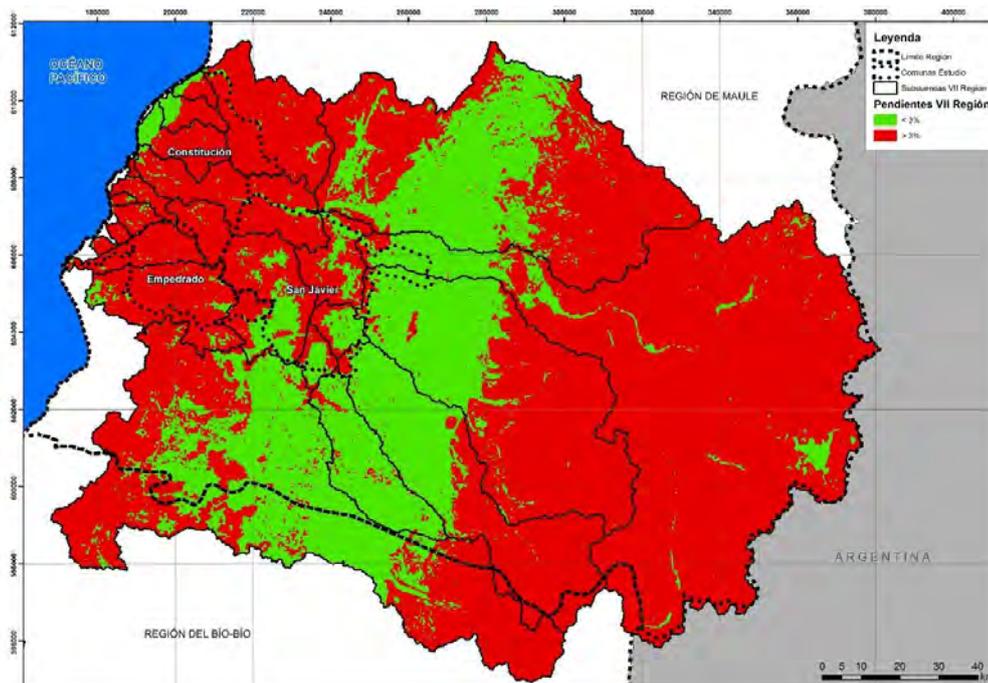


Figura 34. Clasificación de pendientes en cuencas de la VII Región

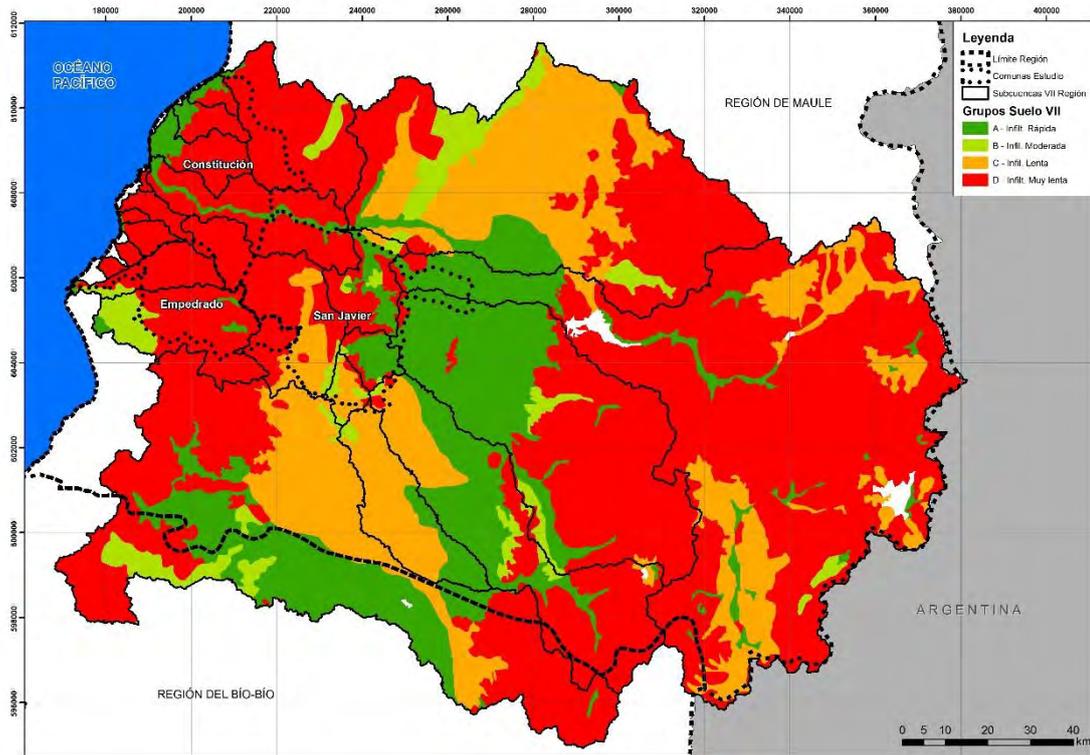


Figura 35. Grupos de suelo en cuencas de la VII Región

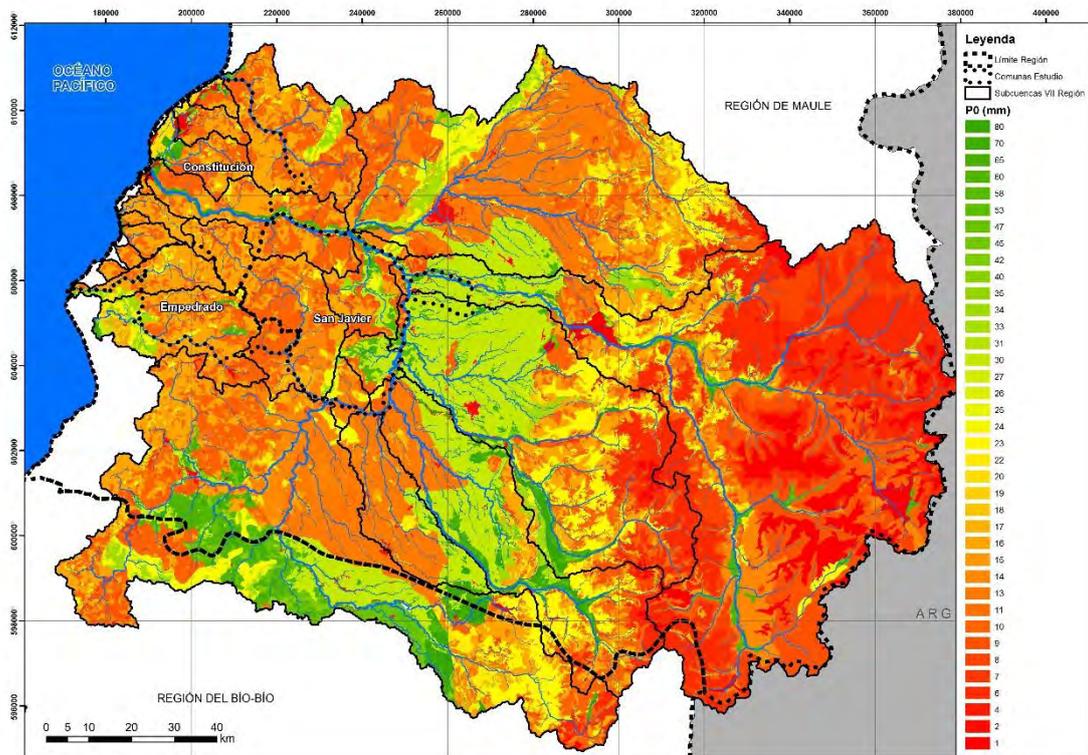


Figura 36. Zonificación obtenida del umbral de escorrentía (P_0) de la VII Región

Posteriormente, haciendo una media ponderada a la superficie en cada cuenca se ha obtenido el valor medio del umbral de escorrentía:

Tabla 27. Umbral de escorrentía por subcuenca en VII Región

Subcuenca	Po	Área (km ²)
Río Maule	11,00	6.181
Río Perquillauquen y Cauquenes	24,40	4.213
Río Claro	16,79	3.553
Río Achibueno	22,86	2.632
Río Longaví	24,06	1.637
Río Purapel	13,78	771
Río Huenchullami	14,61	728
Río Maule bajo	17,99	600
Costeras entre Reloca y Empedrado	18,24	587
Estero Parral	19,43	586
Estero Tabón Tinaja	22,60	310
Costeras	20,04	232
Costeras	16,98	232
Río Loncomilla entre Longavi y Putagan	32,62	134
Costeras 1	15,16	113
Río Perquillauquen entre Purapel y E. Torreon	16,36	98
Costeras 2	15,33	78
Costeras 3	14,53	69
Costeras 4	17,97	58
Costeras 5	13,56	24
Costeras 6	14,12	21
Costeras 7	17,52	19
Costeras 8	11,69	10

Los valores de infiltración y generación de escorrentía procedente de precipitación, en hm³/mes, por cuenca se presentan a continuación:

Tabla 28. Generación sintética de infiltración y escorrentía procedente de infiltración.
Cuencas VII Región (1 de 5)

Cuenca	Río Maule		Río Perquillauquen y Cauquenes		Río Claro		Río Achibueno		Río Longaví	
Sup. (km ²)	6181		4213		3553		2632		1637	
Fecha	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC
may-10	0.00	0.00	11.47	0.00	0.00	0.00	36.65	0.00	15.87	0.00
jun-10	144.21	385.06	244.65	0.00	182.76	137.97	223.27	56.01	142.81	30.90
jul-10	213.64	448.10	158.42	9.25	209.72	170.66	203.29	78.49	132.35	42.91
ago-10	38.09	107.54	202.87	149.55	79.72	3.99	62.01	0.00	38.57	0.00
sep-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Cuenca	Río Maule		Río Perquilauquen y Cauquenes		Río Claro		Río Achibueno		Río Longaví	
Sup. (km ²)	6181		4213		3553		2632		1637	
Fecha	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC
oct-10	0.00	40.79	0.00	0.00	0.00	2.88	0.00	0.00	0.00	0.00
nov-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
abr-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
may-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jun-11	0.00	151.43	0.00	0.00	0.00	45.91	0.00	9.06	0.00	3.66
jul-11	176.16	340.56	44.08	109.10	197.21	113.50	271.69	35.48	166.16	18.13
ago-11	87.89	0.00	328.59	26.95	50.52	0.00	37.43	0.00	23.28	0.00
sep-11	0.00	120.53	34.38	0.00	0.00	48.72	0.00	20.11	0.00	10.54
oct-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
nov-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-12	0.00	70.46	0.00	23.58	0.00	18.51	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
abr-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
may-12	0.00	0.00	30.47	104.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jun-12	0.00	0.00	416.61	72.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jul-12	0.00	35.23	89.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ago-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
sep-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
oct-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
nov-12	0.00	0.00	0.00	127.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
abr-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
may-13	0.00	0.00	80.69	24.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jun-13	0.00	0.00	234.76	44.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jul-13	0.00	0.00	229.20	24.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ago-13	0.00	0.00	112.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
sep-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
oct-13	0.00	65.51	32.41	8.41	0.00	17.09	0.00	0.00	0.00	0.00
nov-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 29. Generación sintética de infiltración y escorrentía procedente de infiltración.
Cuencas VII Región (2 de 5)

Cuenca	Río Purapel		Río Huenchullami		Río bajo Maule		Costeras entre Reloca y Empedrado		Estero Parral	
Sup. (km ²)	771		728		600		587		586	
Fecha	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC
may-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jun-10	22.08	37.37	24.52	33.03	32.73	21.14	31.46	17.84	43.47	18.11
jul-10	37.37	45.17	37.78	40.16	37.58	26.66	44.51	22.01	39.23	23.50
ago-10	11.18	6.98	12.36	4.79	14.14	0.00	11.63	10.13	13.81	0.00
sep-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
oct-10	0.00	2.94	0.00	2.18	0.00	0.00	0.00	4.42	0.00	0.00
nov-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.20	0.00	0.00
abr-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.34	0.00	0.00
may-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.38	0.00	0.00
jun-11	0.00	14.60	0.00	12.58	0.00	6.31	0.00	72.47	0.00	4.48
jul-11	31.95	33.90	37.89	29.61	45.97	16.28	27.64	31.36	40.08	12.72
ago-11	10.96	0.00	10.35	0.00	8.53	0.00	64.57	23.37	8.33	0.00
sep-11	0.00	12.89	0.00	11.57	0.00	7.51	8.72	0.00	0.00	6.49
oct-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
nov-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-12	0.00	6.34	0.00	5.38	0.00	2.41	0.00	37.72	0.00	1.51
mar-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
abr-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
may-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.74	0.00	0.00
jun-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jul-12	0.00	2.25	0.00	1.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ago-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
sep-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
oct-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
nov-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.81	0.00	0.00
dic-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.03	0.00	0.00
ene-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
abr-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
may-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.24	0.00	0.00
jun-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.11	18.51	0.00	0.00
jul-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	37.57	14.07	0.00	0.00
ago-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	38.19	0.80	0.00	0.00
sep-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.80	0.39	0.00	0.00
oct-13	0.00	6.03	0.00	5.09	0.00	2.17	5.67	2.74	0.00	1.27
nov-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 30. Generación sintética de infiltración y escorrentía procedente de infiltración.
Cuencas VII Región (3 de 5)

Cuenca	Estero Tabón Tinaja		Costeras		Costeras		Río Loncomilla entre Longavi y Putagan		Costeras 1	
	Sup. (km ²)	310	232		232		134		113	
Fecha	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC
may-10	2.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.22	0.00	0.00	0.00
jun-10	26.13	6.76	17.06	5.80	9.59	7.93	13.98	0.24	6.31	4.48
jul-10	23.70	9.49	18.85	7.44	16.72	9.57	13.65	0.69	7.47	5.34
ago-10	7.30	0.00	5.02	3.59	4.31	4.30	3.16	0.00	1.79	2.40
sep-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
oct-10	0.00	0.00	0.00	1.31	0.00	2.33	0.00	0.00	0.00	1.55
nov-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-11	0.00	0.00	0.00	2.82	0.00	3.53	0.00	0.00	0.00	1.93
abr-11	0.00	0.00	0.00	3.65	0.00	5.07	0.00	0.00	0.00	2.88
may-11	0.00	0.00	0.00	1.31	0.00	2.02	0.00	0.00	0.00	1.19
jun-11	0.00	1.15	0.00	26.97	0.00	29.81	0.00	0.00	0.00	15.34
jul-11	30.56	4.34	15.44	11.56	9.38	12.98	17.07	0.00	4.13	6.73
ago-11	4.41	0.00	27.61	7.15	24.06	10.70	1.91	0.00	10.51	6.42
sep-11	0.00	2.45	3.45	0.00	3.45	0.00	0.00	0.00	1.68	0.00
oct-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
nov-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-12	0.00	0.00	0.00	14.49	0.00	15.20	0.00	0.00	0.00	7.61
mar-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
abr-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
may-12	0.00	0.00	0.00	0.66	0.00	1.37	0.00	0.00	0.00	0.87
jun-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jul-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ago-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
sep-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
oct-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
nov-12	0.00	0.00	0.00	9.39	0.00	10.10	0.00	0.00	0.00	5.12
dic-12	0.00	0.00	0.00	1.17	0.00	1.88	0.00	0.00	0.00	1.12
ene-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Cuenca	Estero Tabón Tinaja		Costeras		Costeras		Río Loncomilla entre Longavi y Putagan		Costeras 1	
Sup. (km ²)	310		232		232		134		113	
Fecha	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC
abr-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
may-13	0.00	0.00	0.00	1.63	0.00	3.05	0.00	0.00	0.00	1.90
jun-13	0.00	0.00	8.86	6.48	4.22	7.90	0.00	0.00	2.03	4.26
jul-13	0.00	0.00	15.27	5.14	14.56	5.85	0.00	0.00	6.82	3.12
ago-13	0.00	0.00	15.41	0.00	14.80	0.61	0.00	0.00	6.88	0.63
sep-13	0.00	0.00	5.61	0.00	5.16	0.45	0.00	0.00	2.31	0.42
oct-13	0.00	0.00	2.66	0.66	1.95	1.37	0.00	0.00	0.74	0.87
nov-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 31. Generación sintética de infiltración y escorrentía procedente de infiltración.
Cuencas VII Región (4 de 5)

Cuenca	Río Perquillauquen entre Purapel y E. Torreon		Costeras 2		Costeras 3		Costeras 4		Costeras 5	
Sup. (km ²)	98		78		69		58		24	
Fecha	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC
may-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68	0.00	0.00	0.00
jun-10	4.77	3.53	2.38	3.05	2.08	2.86	4.02	1.81	0.59	1.07
jul-10	6.88	4.22	5.21	3.63	4.38	3.43	4.35	2.22	1.42	1.30
ago-10	1.76	1.88	1.26	1.63	1.00	1.56	1.13	1.02	0.30	0.59
sep-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
oct-10	0.00	1.10	0.00	1.04	0.00	1.03	0.00	0.47	0.00	0.41
nov-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.03
dic-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-11	0.00	1.55	0.00	1.32	0.00	1.22	0.00	0.83	0.00	0.45
abr-11	0.00	2.26	0.00	1.96	0.00	1.84	0.00	1.15	0.00	0.69
may-11	0.00	0.92	0.00	0.81	0.00	0.77	0.00	0.45	0.00	0.29
jun-11	0.00	12.83	0.00	10.54	0.00	9.54	0.00	7.22	0.00	3.41
jul-11	1.84	5.60	2.48	4.62	1.89	4.20	3.32	3.13	0.49	1.52

Cuenca	Río Perquillauquen entre Purapel y E. Torreon		Costeras 2		Costeras 3		Costeras 4		Costeras 5	
Sup. (km2)	98		78		69		58		24	
Fecha	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC
ago-11	9.82	4.86	7.33	4.35	6.16	4.18	6.30	2.39	2.00	1.59
sep-11	1.46	0.00	1.16	0.00	1.02	0.00	0.86	0.00	0.33	0.04
oct-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
nov-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-12	0.00	6.48	0.00	5.24	0.00	4.69	0.00	3.74	0.00	1.65
mar-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
abr-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
may-12	0.00	0.64	0.00	0.59	0.00	0.58	0.00	0.29	0.00	0.22
jun-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jul-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ago-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
sep-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
oct-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
nov-12	0.00	4.33	0.00	3.52	0.00	3.17	0.00	2.47	0.00	1.13
dic-12	0.00	0.86	0.00	0.76	0.00	0.73	0.00	0.41	0.00	0.28
ene-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
abr-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
may-13	0.00	1.41	0.00	1.28	0.00	1.24	0.00	0.65	0.00	0.48
jun-13	0.00	3.46	1.00	2.91	0.69	2.69	1.92	1.86	0.13	0.98
jul-13	5.87	2.53	4.74	2.12	4.08	1.99	3.70	1.41	1.35	0.76
ago-13	6.19	0.32	4.77	0.41	4.11	0.47	3.76	0.09	1.38	0.21
sep-13	2.12	0.25	1.61	0.28	1.37	0.30	1.35	0.05	0.45	0.13
oct-13	0.76	0.64	0.53	0.59	0.41	0.58	0.54	0.29	0.12	0.22
nov-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 32. Generación sintética de infiltración y escorrentía procedente de infiltración.
Cuencas VII Región (5 de 5)

Cuenca	Costeras 6		Costeras 7		Costeras 8	
Sup. (km ²)	21		19		10	
Fecha	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC
may-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jun-10	0.57	0.90	0.91	0.62	0.20	0.52
jul-10	1.30	1.08	1.40	0.75	0.50	0.63
ago-10	0.29	0.49	0.36	0.34	0.09	0.28
sep-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
oct-10	0.00	0.33	0.00	0.17	0.00	0.21
nov-10	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03
dic-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
feb-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-11	0.00	0.38	0.00	0.28	0.00	0.21
abr-11	0.00	0.58	0.00	0.39	0.00	0.34
may-11	0.00	0.24	0.00	0.16	0.00	0.14
jun-11	0.00	2.94	0.00	2.40	0.00	1.50
jul-11	0.51	1.30	0.90	1.04	0.08	0.69
ago-11	1.82	1.32	2.02	0.82	0.72	0.78
sep-11	0.30	0.01	0.28	0.00	0.12	0.06
oct-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
nov-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-12	0.00	1.44	0.00	1.23	0.00	0.71
mar-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
abr-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
may-12	0.00	0.18	0.00	0.10	0.00	0.13
jun-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jul-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ago-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
sep-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
oct-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
nov-12	0.00	0.97	0.00	0.82	0.00	0.50
dic-12	0.00	0.23	0.00	0.14	0.00	0.14
ene-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
abr-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
may-13	0.00	0.40	0.00	0.23	0.00	0.24
jun-13	0.17	0.84	0.46	0.63	0.00	0.45
jul-13	1.22	0.63	1.20	0.47	0.49	0.38
ago-13	1.23	0.16	1.22	0.04	0.52	0.14
sep-13	0.41	0.10	0.43	0.03	0.17	0.07
oct-13	0.12	0.18	0.17	0.10	0.03	0.11
nov-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Cuenca	Costeras 6		Costeras 7		Costeras 8	
Sup. (km ²)	21		19		10	
Fecha	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC
dic-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Respecto a la infiltración por retornos de riego, y siguiendo la metodología expuesta en capítulos anteriores, se han obtenido los siguientes resultados:

Tabla 33. Infiltración por retorno de riego en subcuencas de la VII Región

Subcuenca	Superficie riego (ha)	Superficie riego neta (ha)	Infiltración por riego (hm ³ /año)
Costeras	3.107,5	1.864,5	5,66
Costeras entre Reloca y Empedrado	8.231,4	4.938,8	14,98
Estero Parral	45.737,4	27.442,4	83,24
Estero Tabón Tinaja	6.729,1	4.037,5	12,25
Río Achibueno	90.844,9	54.506,9	165,34
Río Claro	155.359,0	93.215,4	282,76
Río Huenchullami	5.567,4	3.340,4	10,13
Río Loncomilla entre Longavi y Putagan	6.214,3	3.728,6	11,31
Río Longaví	62.453,9	37.472,3	113,67
Río Maule	31.391,5	18.834,9	57,13
Río Maule bajo	2.639,5	1.583,7	4,80
Río Perquilauquen entre Purapel y E. Torreón	2.935,6	1.761,4	5,34
Río Perquilauquen y Cauquenes	139.523,0	83.713,8	253,94
Río Purapel	6.992,4	4.195,5	12,73

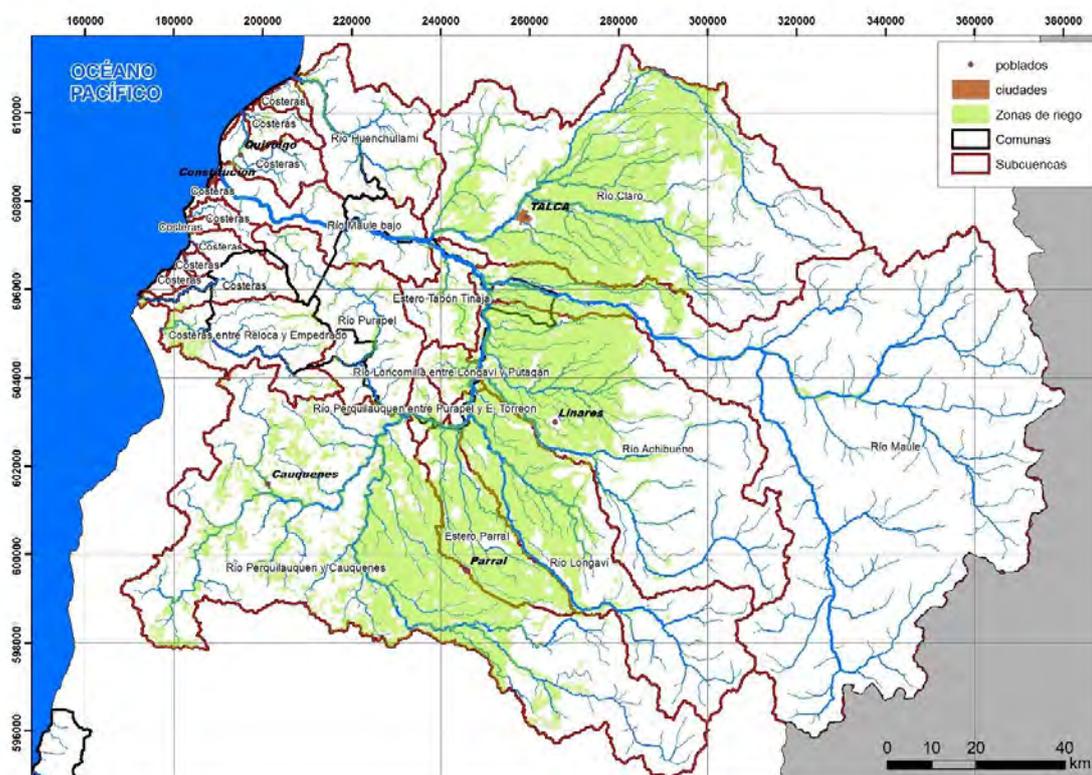


Figura 37. Áreas de riego de la VII Región

6.4. CARACTERIZACION HIDROLÓGICA CUENCAS VIII REGIÓN

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

6.4.1. CUENCA COSTERA ENTRE LÍMITE NORTE DE LA REGIÓN Y EL RÍO ITATA

Ubicada al norte de la cuenca del río Itata con una extensión aproximada de 620 km². En el área existen una serie de ríos y esteros (Cobquecura, Careo, Talicu Mella) los que desembocan, casi en su mayoría al mar. El régimen hidrológico es netamente pluvial.

6.4.2. CUENCA COSTERA ENTRE RÍO ITATA Y RÍO BIOBÍO

Esta cuenca drena gran parte de la zona costera entre las comunas de Tomé y la parte norte de Talcahuano, con una extensión aproximada de 1500 km². La red de drenaje se

presenta ramificada y sus ríos principales son el Colcura, Pichilo, Las Animas y Quiapo. Esta cuenca presenta un régimen pluvial.

6.4.3. CUENCA COSTERA ENTRE EL RÍO BIOBÍO Y CARAMPANGUE

El área aproximada de la cuenca es de 370 km². El drenaje de la cuenca se presenta en general orientado al oeste, los cursos principales de agua corresponden a los ríos Manco, Colcura y Chivilingo, los que drenan el sector costero de las comunas Coronel, Lota y la parte norte de la comuna de Arauco. El régimen hidrológico es netamente pluvial.

6.4.4. CUENCA DEL RÍO CARAMPANGUE

La cuenca tiene un área aproximada de 1270 km² caracterizada por una serie de ríos como el Cabrera, Cifuentes y Las Ánimas, los que confluyen hacia el río Carampangue, el que le entrega el nombre a la cuenca. Drena, en gran parte a la comuna de Arauco. El régimen que presenta la cuenca es de tipo pluvial.

6.4.5. CUENCA COSTERA ENTRE EL RÍO CARAMPANGUE Y LEBU

Presenta un área aproximada de 650 km². La red de drenaje presenta direcciones preferenciales aproximadas norte y sur, las que representan la geomorfología del sector. Los principales esteros que drenan la parte sur de la provincia de Arauco corresponden a los Esteros Llico, Huilingo y Quidico. El régimen hidrológico es netamente pluvial.

6.4.6. CUENCA RÍO LEBU

Cubre un área aproximada de 860 km². El río principal corresponde al río Lebu, el que le otorga el nombre a la cuenca. Los afluentes al río principal son los ríos Trongol, Curanilahue y Curihuillin. El régimen hidrológico es netamente pluvial.

6.4.7. CUENCA COSTERA ENTRE EL RÍO LEBU Y PAICAVÍ

Abarca un área aproximada de 630 km², incluyendo parte de las comunas de Lebu, Los Álamos y Cañete. Presenta una red de drenaje paralela en el sector costero, donde se ubican en esa disposición una serie de esteros como el Curaco, Quinahue, Yeneco, entre otros. Aguas arriba, la red de drenaje se presenta dendrítica, definida por los ríos Cayucupil, Conhueco, Caramávida, Tucapel y Calebu. En el sector sur, en el límite con la cuenca costera entre el río Paicaví y límite regional sur, la confluencia de los esteros Provoque, Calebu, Peral y Buchoco generan el Lago Lanalhue. El régimen que presenta la cuenca corresponde a pluvial.

6.4.8. CUENCA COSTERA ENTRE EL RÍO PAICAVÍ Y LÍMITE REGIONAL SUR

Esta cuenca abarca un área aproximada de 1350 km², drenando la comuna de Tirúa, en la provincia de Arauco.

La red de drenaje se presenta dendrítica, generando lagunas como la Lleu Lleu, formada por la confluencia de los ríos Mahuilque, Huilingo y los esteros Coihueco y Medihueco. En el sector sur el principal río es el Tirúa. El régimen hidrológico es netamente pluvial.

6.4.9. REDEFINICIÓN DE CUENCAS

Se ha realizado una redefinición de las cuencas de la zona de estudio a partir del análisis hidrológico en base al modelo digital de elevaciones. El objetivo es actualizar el trazado de las cuencas de estudio y definir qué otras tienen relación con estas y poder así cuantificar las aportaciones al sistema hidrológico que se puedan producir.

En la figura siguiente se muestran en negro las 6 cuencas de estudio de la VIII Región, y en rojo la subdivisión de éstas en otras menores (en los casos en los que haya procedido) y la redefinición de cuencas aportantes al sistema hidrológico de estudio.

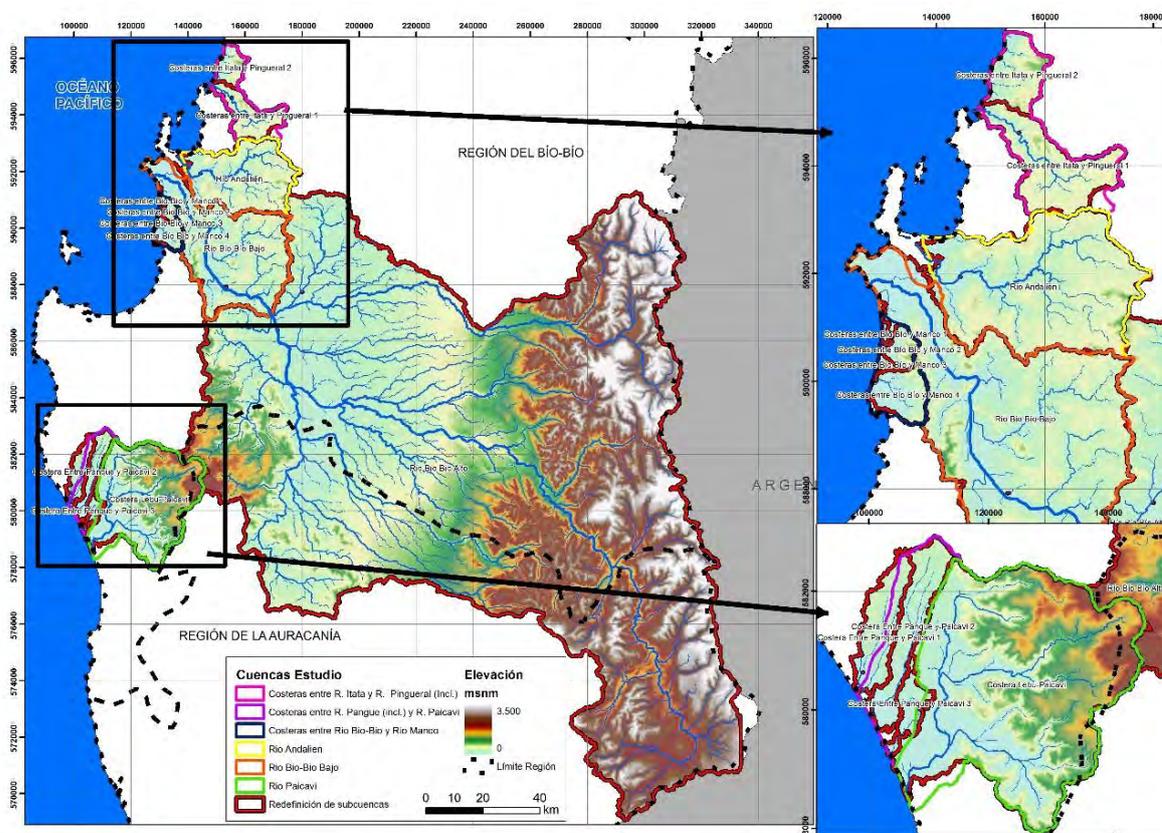


Figura 38. Cuencas y cauces de la Región VIII

Las cuencas delimitadas y sus áreas son los siguientes:

Tabla 34. Subcuencas VIII Región

Nombre	Área (km ²)
Río Bío Bío Alto	22.881
Río Bío Bío Bajo	1.375
Costera Lebu-Paicavi	1.195
Río Andalién	804
Costeras entre Itata y Pingueral 1	249
Costera Entre Panque y Paicavi 2	145
Costera Entre Panque y Paicavi 1	121
Costeras entre Itata y Pingueral 2	116
Costeras entre Bío Bío y Manco 4	85
Costera Entre Panque y Paicavi 3	49
Costeras entre Bío Bío y Manco 2	36
Costeras entre Bío Bío y Manco 3	10
Costeras entre Bío Bío y Manco 1	5

Asimismo se han numerado los cauces según el esquema de clasificación de Horton-Strahler, los cuales, al igual que las cuencas definidas, se encuentran en archivo digital (shapefile).

6.4.10. PLUVIOMETRÍA

Las estaciones empleadas para la caracterización pluviométrica de la VIII Región han sido las siguientes:

Tabla 35. Estaciones pluviométricas VIII Región

Nombre Estación	Coordenadas DATUM WGS84 Huso 19		Cota (msnm)	Fuente de datos	Datos utilizados	
	X UTM	Y UTM			Desde	Hasta
Cañete	111780	5796670	17	INIA	04/11/2009	12/08/2014
Chiquayante	140230	5906810	16	INIA	21/08/2014	31/03/2014
Concepción DGA	133463	5914750	8	DGA	01/01/2004	31/03/2014
Contulmo	128504	5784130	30	DGA	01/01/2004	31/03/2014
Coronel	131317	5896260	31	INIA	03/09/2009	12/08/2014
Dichato	147759	5948120	21	DGA	01/01/2004	31/03/2014
Estero Bellavista	146908	5937890	20	DGA	01/06/2009	31/03/2014
Estero Nonguén	141762	5917540	20	DGA	01/01/2008	31/03/2014
Hualqui	148944	5899430	27	DGA	01/01/2011	31/03/2014
Human	212747	5851780	184	INIA	06/12/2014	12/08/2014
Laja	169871	5869330	65	DGA	01/01/2004	31/03/2014
Lebu	100936	5819470	193	INIA	10/01/2012	29/07/2014

Tabla 35. Estaciones pluviométricas VIII Región

Nombre Estación	Coordenadas DATUM WGS84 Huso 19		Cota (msnm)	Fuente de datos	Datos utilizados	
	X UTM	Y UTM			Desde	Hasta
Navidad	238256	5911080	319	INIA	17/03/2010	12/08/2014
Ninhue	195268	5966230	89	INIA	17/03/2010	12/08/2014
Nueva Aldea	185672	5938010	86	INIA	11/03/2010	11/08/2014
Pataguas	152947	5925260	276	DGA	01/01/2004	31/03/2014
Portezuelo	198204	5951450	104	INIA	15/10/2009	12/08/2014
Punta Parra	145427	5933830	159	INIA	09/08/2009	17/07/2014
Río Bio Bio	135339	5915010	33	DGA	01/01/2004	31/03/2014
Sta. Rosa	238706	5952420	185	INIA	18/03/2010	12/08/2014
Yungay	232264	5884890	246	INIA	18/03/2010	12/08/2014

Parte de los registros han sido solicitados a la DGA (Ministerio de Obras Públicas), y otros han sido obtenidos a partir del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Ministerio de Agricultura).

Los registros se adjuntan en formato digital al presente informe.

Asimismo, los datos han sido introducidos en un software de tratamiento y análisis de datos meteorológicos para su completado y análisis estadístico, denominado TRASERO (Tratamiento y Gestión de Series Temporales Hidrológicas), desarrollado por el departamento Ciclo Hídrico de la Diputación de Alicante (España) con la colaboración de Azarbe Ingeniería.

6.4.11. FLUVIOMETRÍA

Las estaciones fluviométricas analizadas han sido las siguientes:

Tabla 36. Estaciones fluviométricas VIII Región

Nombre Estación	Coordenadas DATUM PSAD1956 Huso 19		Cota (msnm)	Fuente de datos	Datos utilizados	
	X UTM	Y UTM			Desde	Hasta
Río Andalién en Puente Trinitarias	147419	5920152	25	DGA	01/01/2012	31/03/2014
Río BioBio en Desembocadura	135367	5915012	5	DGA	01/01/2012	31/03/2014
Río BioBio En Coihue	182976	5836984	60	DGA	22/12/2010	01/04/2014

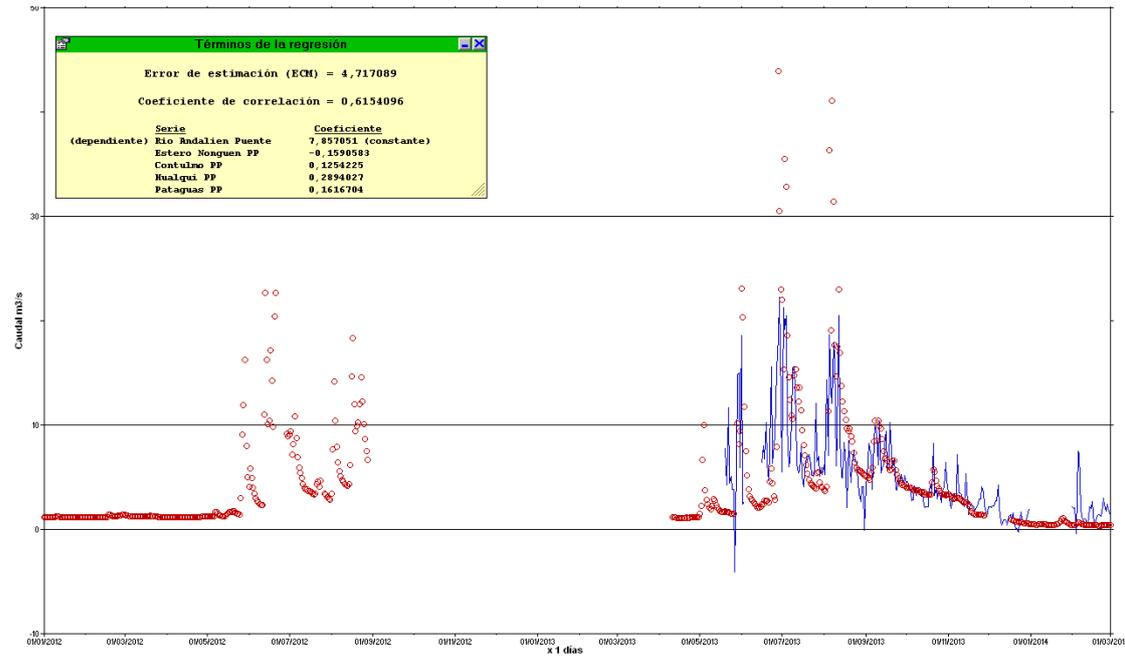


Figura 39. Simulación del caudal en la estación de Río Andalién en Puente Trinitarias partir de la regresión múltiple entre los datos de ésta y los de precipitación.

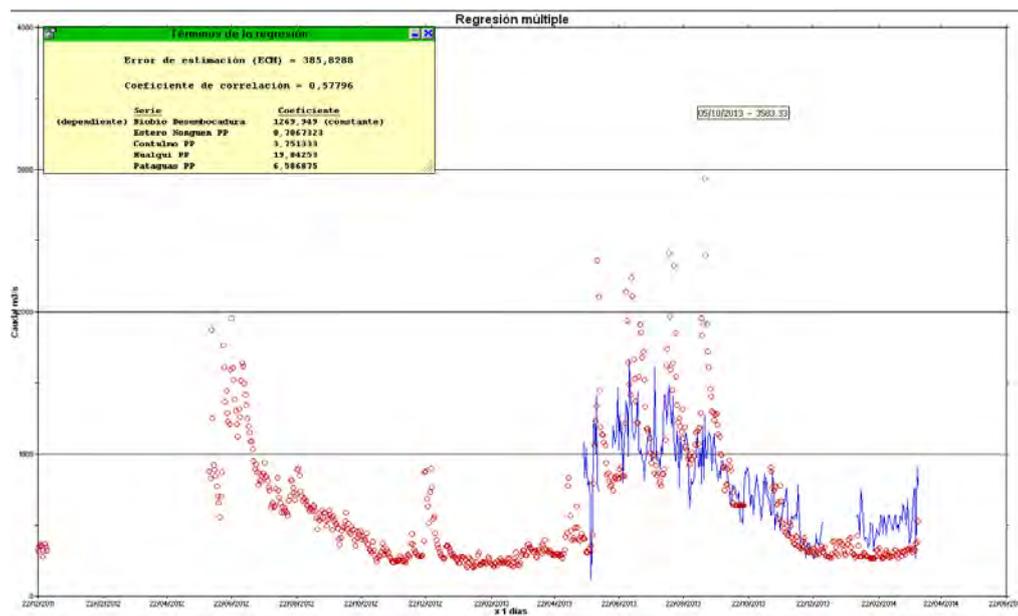


Figura 40. Simulación del caudal en la estación de BioBio desembocadura a partir de la regresión múltiple entre los datos de ésta y los de precipitación.

6.4.12. CÁLCULO DE LA INFILTRACIÓN Y ESCORRENTÍA

Previo al cálculo de la infiltración y escorrentía, tal y como se ha mencionado anteriormente, se ha obtenido un valor de P_0 por cuenca atendiendo a las características del suelo (grupo suelo, pendiente y uso), tal y como se expone a continuación:

En función de la clasificación realizada se puede obtener un valor de umbral de escorrentía atendiendo a la Tabla 12.

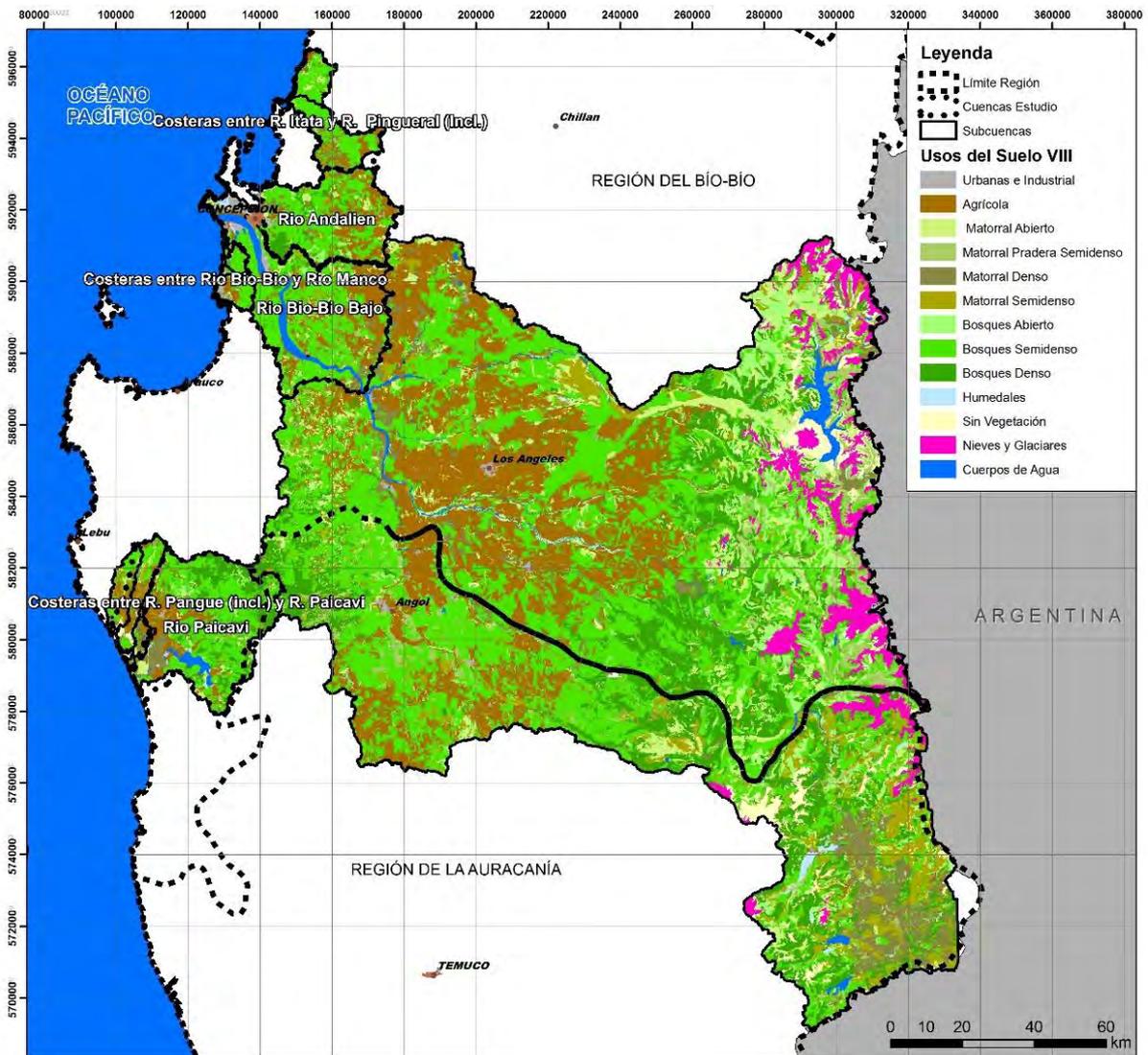


Figura 41. Usos del suelo en cuencas de la VIII Región

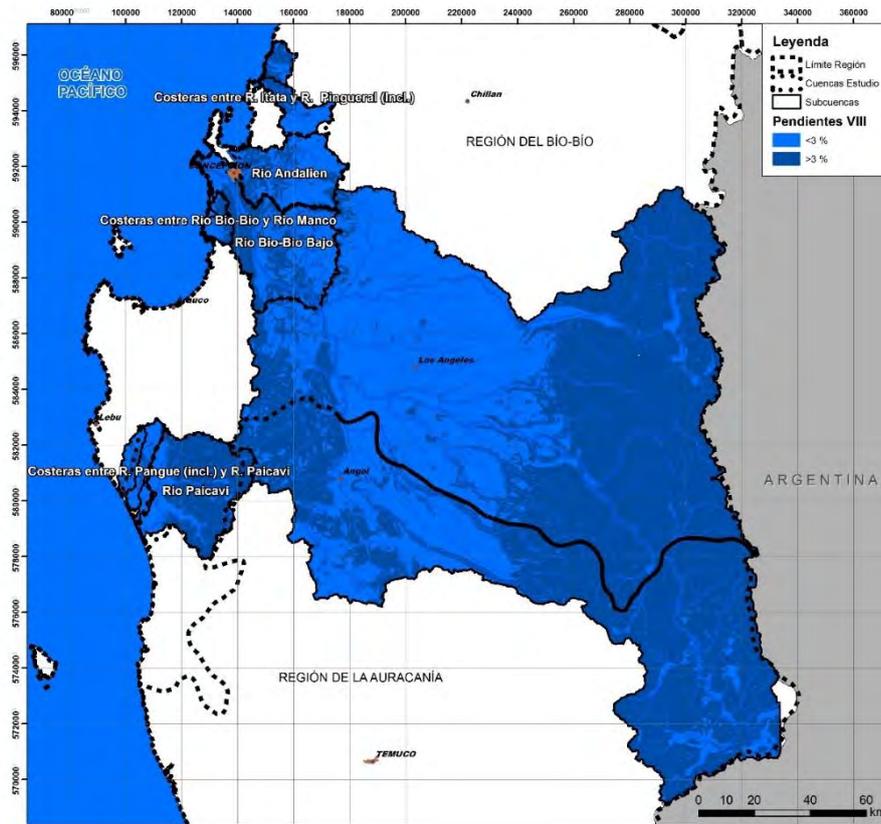


Figura 42. Clasificación de pendientes en cuencas de la VIII Región

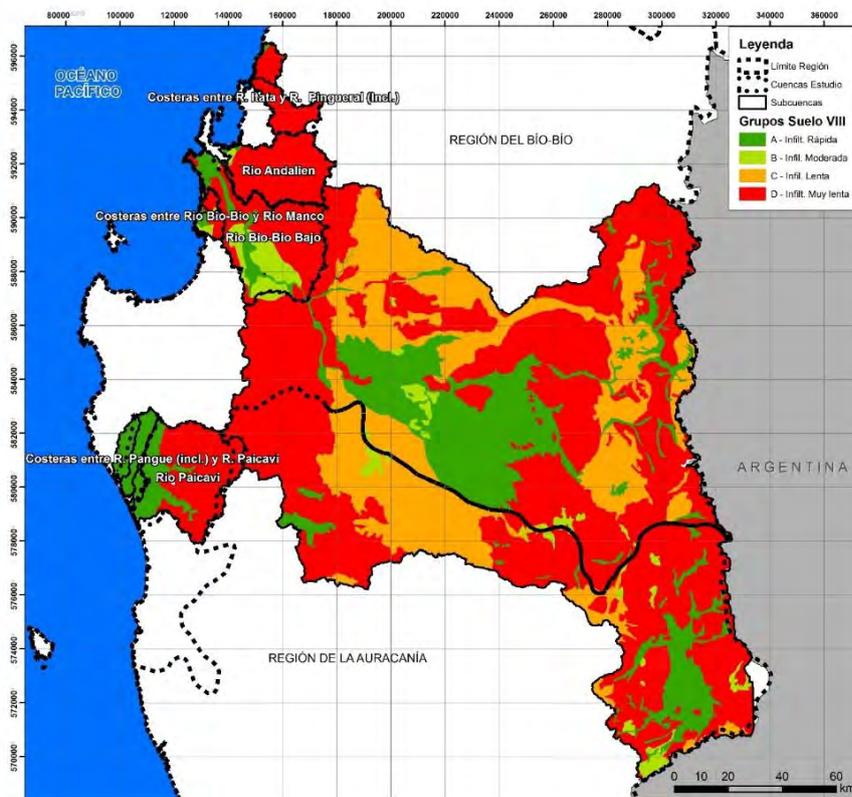


Figura 43. Grupos de suelo en cuencas de la VIII Región

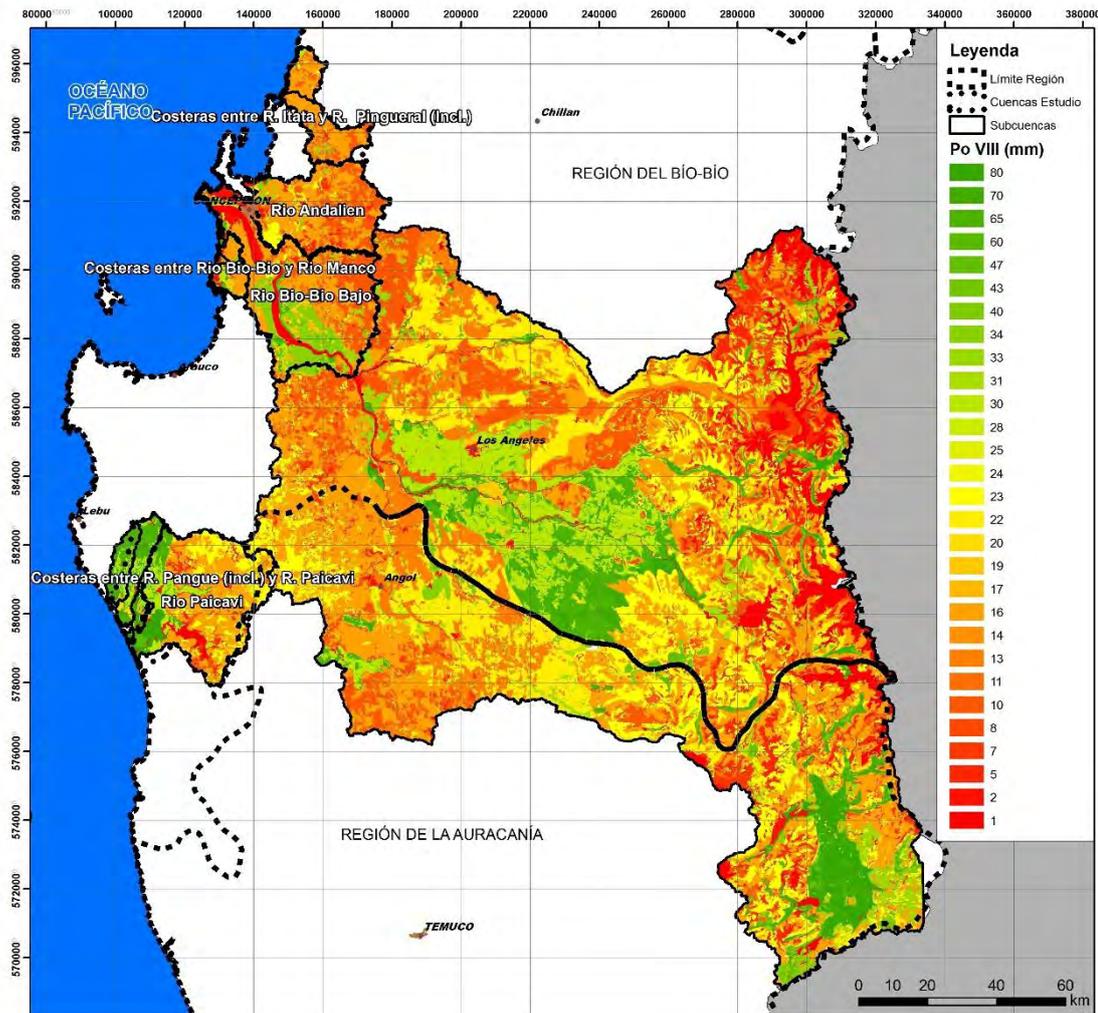


Figura 44. Zonificación obtenida del umbral de escorrentía (P_o) de la VIII Región

Posteriormente, haciendo una media ponderada a la superficie en cada cuenca se ha obtenido el valor medio del umbral de escorrentía:

Tabla 37. Umbral de escorrentía por subcuenca en VIII Región

Subcuenca	P_o	Área (km ²)
Río Bío Bío Alto	22,18	22.881
Río Bío Bío Bajo	19,52	1.375
Costera Lebu-Paicavi	24,28	1.195
Río Andalién	14,67	804
Costeras entre Itata y Pingueral 1	15,17	249
Costera Entre Panque y Paicavi 2	51,47	145
Costera Entre Panque y Paicavi 1	55,17	121
Costeras entre Itata y Pingueral 2	16,93	116

Tabla 37. Umbral de escorrentía por subcuenca en VIII Región

Subcuenca	Po	Área (km ²)
Costeras entre Bío Bío y Manco 4	22,14	85
Costera Entre Panque y Paicavi 3	48,89	49
Costeras entre Bío Bío y Manco 2	19,11	36
Costeras entre Bío Bío y Manco 3	21,23	10
Costeras entre Bío Bío y Manco 1	56,22	5

Los valores de infiltración y generación de escorrentía procedente de precipitación, en hm³/mes, por cuenca se presentan a continuación:

Tabla 38. Generación sintética de infiltración y escorrentía procedente de infiltración. Cuencas VIII Región (1 de 3)

Cuenca	Río Bío Bío Alto		Río Bío Bío Bajo		Costera Lebu-Paicavi		Río Andalién	
Sup. (km ²)	22881		1375		1195		804	
Fecha	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC
may-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jun-10	1694.36	518.24	78.37	0.00	101.88	22.03	25.78	36.34
jul-10	1720.90	728.74	44.99	9.73	97.40	30.53	41.91	44.17
ago-10	539.08	0.00	59.50	55.52	28.15	0.00	13.80	5.15
sep-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
oct-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.36
nov-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
abr-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
may-11	0.00	0.00	0.00	1.62	0.00	0.00	0.00	0.00
jun-11	0.00	94.19	0.00	0.00	0.00	2.41	0.00	13.80
jul-11	2051.72	339.39	6.61	42.32	125.08	12.71	42.83	32.51
ago-11	325.37	0.00	100.53	15.51	16.99	0.00	11.43	0.00
sep-11	0.00	190.29	11.22	0.00	0.00	7.43	0.00	12.73
oct-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
nov-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-12	0.00	0.00	0.00	14.41	0.00	0.00	0.00	5.90
mar-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
abr-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 38. Generación sintética de infiltración y escorrentía procedente de infiltración. Cuencas VIII Región (1 de 3)

Cuenca	Río Bío Bío Alto		Río Bío Bío Bajo		Costera Lebu-Paicavi		Río Andalién	
Sup. (km2)	2281		1375		1195		804	
Fecha	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC
may-12	0.00	0.00	0.52	43.94	0.00	0.00	0.00	0.00
jun-12	0.00	0.00	120.79	38.96	0.00	0.00	0.00	0.00
jul-12	0.00	0.00	29.09	0.00	0.00	0.00	0.00	1.63
ago-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
sep-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
oct-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
nov-12	0.00	0.00	0.00	48.23	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
abr-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
may-13	0.00	0.00	15.18	19.82	0.00	0.00	0.00	0.00
jun-13	0.00	0.00	69.91	21.28	0.00	0.00	0.00	0.00
jul-13	0.00	0.00	68.09	14.54	0.00	0.00	0.00	0.00
ago-13	0.00	0.00	36.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
sep-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
oct-13	0.00	0.00	3.87	9.46	0.00	0.00	0.00	5.57
nov-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 39. Generación sintética de infiltración y escorrentía procedente de infiltración. Cuencas VIII Región (2 de 3)

Cuenca	Costeras entre Itata y Pingueral 1		Costera Entre Panque y Paicavi 2		Costera Entre Panque y Paicavi 1		Costeras entre Itata y Pingueral 2	
Sup. (km2)	249		145		121		116	
Fecha	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC
may-10	0.00	0.00	11.41	0.00	9.51	0.00	0.00	0.00
jun-10	7.76	10.88	15.39	0.00	12.84	0.00	5.06	4.46
jul-10	13.49	13.17	15.52	0.00	12.95	0.00	6.90	5.52
ago-10	4.65	1.21	3.42	0.00	2.85	0.00	2.64	0.10
sep-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
oct-10	0.00	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08
nov-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 39. Generación sintética de infiltración y escorrentía procedente de infiltración. Cuencas VIII Región (2 de 3)

Cuenca	Costeras entre Itata y Pingueral 1		Costera Entre Panque y Paicavi 2		Costera Entre Panque y Paicavi 1		Costeras entre Itata y Pingueral 2	
	Sup. (km2)							
Fecha	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC	INF	ESC
mar-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
abr-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
may-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jun-11	0.00	4.02	1.04	0.00	0.86	0.00	0.00	1.47
jul-11	14.02	9.56	18.66	0.00	15.57	0.00	7.95	3.64
ago-11	3.54	0.00	2.06	0.00	1.72	0.00	1.65	0.00
sep-11	0.00	3.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.57
oct-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
nov-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-12	0.00	1.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.59
mar-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
abr-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
may-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jun-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jul-12	0.00	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ago-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
sep-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
oct-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
nov-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
abr-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
may-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jun-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jul-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ago-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
sep-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
oct-13	0.00	1.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54
nov-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 40. Generación sintética de infiltración y escorrentía procedente de infiltración. Cuencas VIII Región (3 de 3)

Cuenca	Costeras entre Bío Bío y Manco 4		Costera Entre Panque y Paicavi 3		Costeras entre Bío Bío y Manco 2		Costeras entre Bío Bío y Manco 3		Costeras entre Bío Bío y Manco 1	
	Sup. (km2)									
Fecha	INF	ESC								
may-10	0.52	0.00	3.86	0.00	0.00	0.00	0.48	0.00	0.39	0.00
jun-10	6.96	1.59	5.20	0.00	1.87	1.15	0.79	0.21	0.50	0.00

Tabla 40. Generación sintética de infiltración y escorrentía procedente de infiltración. Cuencas VIII Región (3 de 3)

Cuenca	Costeras entre Bío Bío y Manco 4		Costera Entre Panque y Paicavi 3		Costeras entre Bío Bío y Manco 2		Costeras entre Bío Bío y Manco 3		Costeras entre Bío Bío y Manco 1	
Sup. (km ²)	85		49		36		10		5	
Fecha	INF	ESC								
jul-10	7.44	2.19	5.25	0.00	2.38	1.48	0.85	0.29	0.57	0.00
ago-10	2.02	1.14	1.15	0.00	0.85	0.00	0.23	0.14	0.19	0.00
sep-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
oct-10	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00
nov-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-11	0.00	0.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00
abr-11	0.00	1.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.01	0.00
may-11	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00
jun-11	0.41	9.17	0.35	0.00	0.00	0.30	0.15	1.11	0.64	0.09
jul-11	6.14	3.88	6.30	0.00	2.88	0.82	0.70	0.47	0.58	0.01
ago-11	10.98	1.76	0.70	0.00	0.51	0.00	1.25	0.25	0.75	0.00
sep-11	1.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.15	0.00	0.07	0.00
oct-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
nov-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-12	0.00	5.13	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.61	0.02	0.13
mar-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
abr-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
may-12	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
jun-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
jul-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ago-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
sep-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
oct-12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
nov-12	0.00	3.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39	0.08	0.02
dic-12	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00
ene-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
abr-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
may-13	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.03	0.00
jun-13	3.64	2.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54	0.26	0.43	0.00
jul-13	5.77	1.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.67	0.21	0.44	0.00
ago-13	5.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.66	0.00	0.33	0.00
sep-13	2.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	0.12	0.00
oct-13	1.15	0.06	0.00	0.00	0.00	0.09	0.13	0.02	0.07	0.00
nov-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
dic-13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ene-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
feb-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
mar-14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Respecto a la infiltración por retornos de riego, y siguiendo la metodología expuesta en capítulos anteriores, se han obtenido los siguientes resultados:

Tabla 41. Infiltración por retorno de riego en subcuencas de la VIII Región

Subcuenca	Superficie riego (ha)	Superficie riego neta (ha)	Infiltración (hm ³ /año)
Costera Entre Panque y Paicavi 1	3.458,0	2.074,8	5,97
Costera Entre Panque y Paicavi 2	4.136,5	2.481,9	7,14
Costera Entre Panque y Paicavi 3	1.746,9	1.048,1	3,02
Costera Lebu-Paicavi	17.484,7	10.490,8	30,19
Costeras entre Bío Bío y Manco 1	3,1	1,8	0,01
Costeras entre Bío Bío y Manco 2	46,7	28,0	0,08
Costeras entre Bío Bío y Manco 3	63,5	38,1	0,11
Costeras entre Bío Bío y Manco 4	2.100,6	1.260,3	3,63
Costeras entre Itata y Pingueral 1	5.918,0	3.550,8	10,22
Costeras entre Itata y Pingueral 2	984,1	590,5	1,70
Río Andalién	21.343,6	12.806,2	36,85
Río Bío Bío Alto	431.084,0	258.650,4	744,34
Río Bío Bío Bajo	30.245,4	18.147,2	52,22

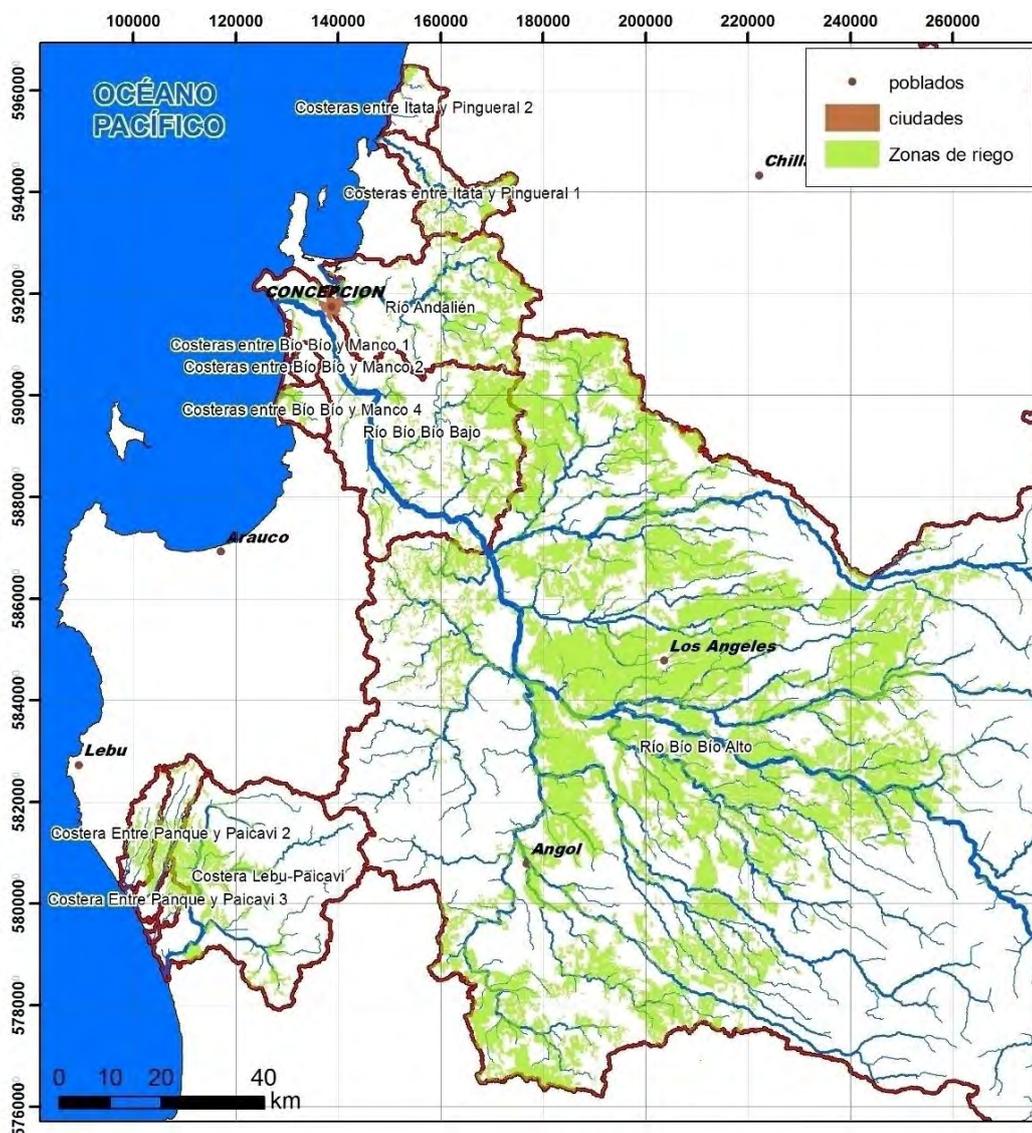


Figura 45. Áreas de riego de la VIII Región



7. RECONOCIMIENTO DE TERRENO

A los efectos de aclarar y mejorar el conocimiento de los procesos hidrológicos que tienen lugar en el acuífero, permitiendo de esta forma obtener un modelo conceptual más próximo a la realidad, además de estimar correctamente los usos y demandas y trazar las isopiezas del acuífero, se ha realizado una campaña exhaustiva de terreno y catastro de las captaciones subterráneas existentes en la zona de estudio (sondajes, norias, etc.).

Además, se ha comenzado a tratar toda la información recopilada junto con la correspondiente a los Antecedentes, de forma que pueda incorporarse a una base de datos GIS para su análisis y utilización posterior en la caracterización hidrogeológica.

Durante el catastro realizado se obtuvo información técnica de las captaciones de agua, del uso del agua y de las características hidráulicas. En concreto los parámetros recopilados han sido los siguientes:

- Número de Pozo mediante código interno del proyecto
- Comuna
- Coordenadas UTM con Datum WGS 84 y Huso
- Tipo de captación
- Uso
- Estado (Reserva, etc.)
- PNP Estático
- PNP Dinámico
- Caudal
- Código de fotografía

Se ha tomado una fotografía de cada punto inventariado como registro gráfico del mismo.



Figura 46. Ejemplo de fotografía de un punto inventariado en el catastro de campo.

7.1. CATASTRO DE CAPTACIONES VI REGIÓN

En esta Región se catastraron 342 puntos de agua y se hizo una estimación de los usos y demandas de la zona.

Se tomaron un total de 188 medidas de niveles, 122 del nivel estático y 67 del nivel dinámico. Los datos de niveles estáticos muestran un mínimo de 0 metros y un máximo de 81,69 metros de profundidad. Los niveles dinámicos se sitúan en el rango de 1,4 a 100 metros de profundidad.

El caudal de bombeo se reparte en un rango de 0,3 a 96,3 l/s, con un valor total estimado de 1.919,37 l/s.

7.1.1. IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS CATASTRADOS

En el Anexo II se incluyen los datos básicos identificativos de los puntos catastrados en la VI Región cuya ubicación y profundidad del nivel estático medido se grafían en la figura siguiente:

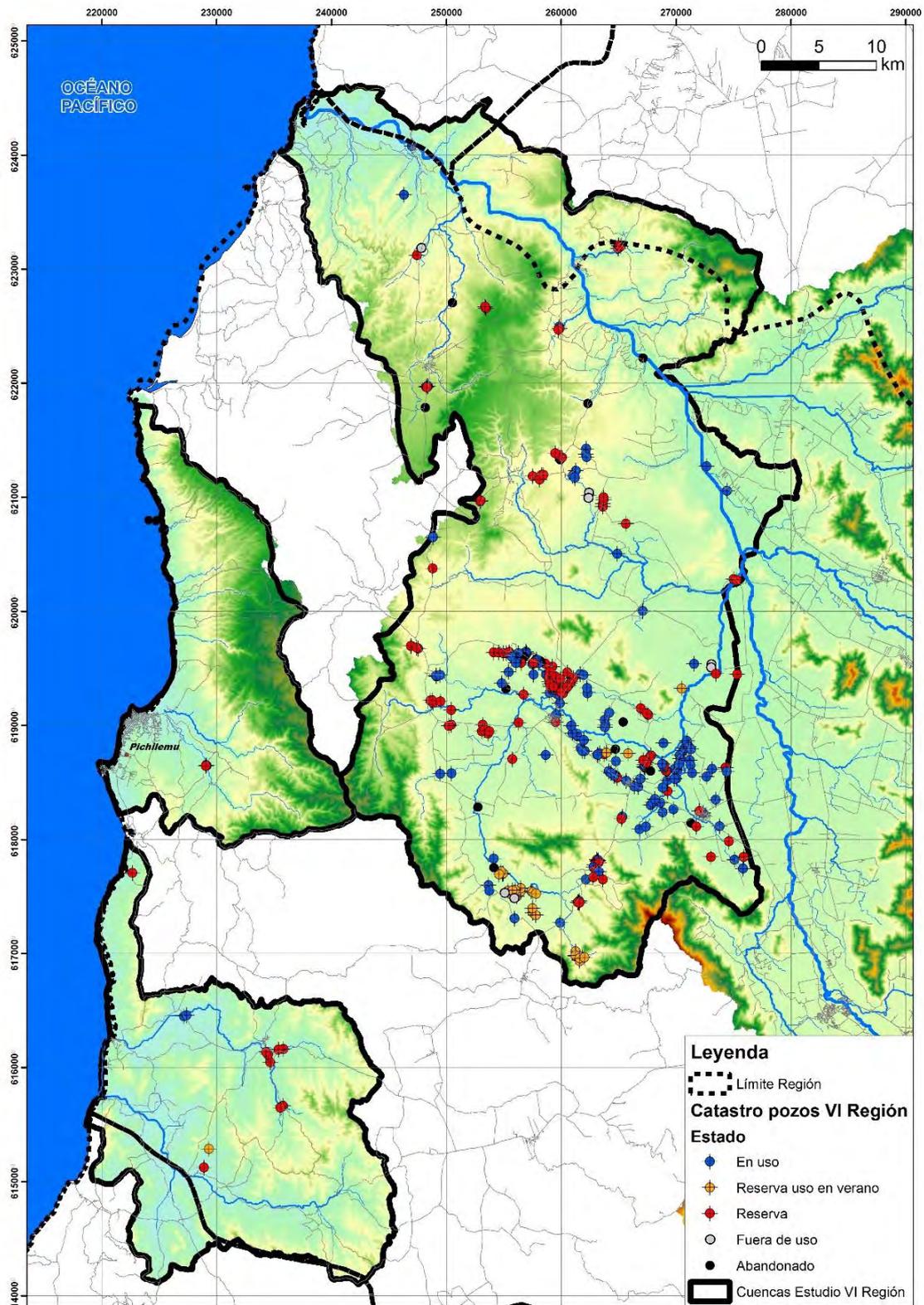


Figura 47. Distribución de los puntos catastrados en VI Región

7.1.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS PUNTOS CATASTRADOS

Los datos del catastro de esta Región se recogen en el Anexo II. En la primera se han recogido los datos descriptivos y ubicación, mientras que en la segunda se recogen los parámetros físicos como niveles estáticos, dinámicos, caudal, etc.

El principal uso del agua en la zona de estudio es el regadío, concretamente para viñedos, y en menor proporción pero también importante para los frutales. Otros usos son para abastecimiento y ganado.

Se incluye en Anexo II los tipos de usos del agua en los puntos catastrados, así como la distribución del uso en meses de verano e invierno, la tipología y hectáreas de cultivos existentes y los volúmenes de explotación anuales. El estado de las captaciones puede ser en Uso (U), Abandonado (FU) o Reserva (RS). Los tipos de uso son: Abastecimiento (A), Riego (R) y Ganado (G).

7.2. CATASTRO DE CAPTACIONES VII REGIÓN

En esta Región se catastraron 52 puntos de agua y se hizo una estimación de los usos y demandas de la zona.

Se tomaron un total de 31 medidas de niveles estáticos, no pudiéndose medir el nivel dinámico en ninguno de ellos. Los datos de niveles estáticos muestran un mínimo de 0 metros y un máximo de 21,5 metros de profundidad.

El caudal de bombeo se reparte en un rango de 0,5 a 107 l/s, con un valor total estimado de 269,65 l/s.

7.2.1. IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS CATASTRADOS

En el Anexo II se incluyen los datos básicos identificativos de los puntos catastrados en la VII Región cuya ubicación y clasificación por estado (uso, reserva, etc.) se grafían en la figura siguiente.

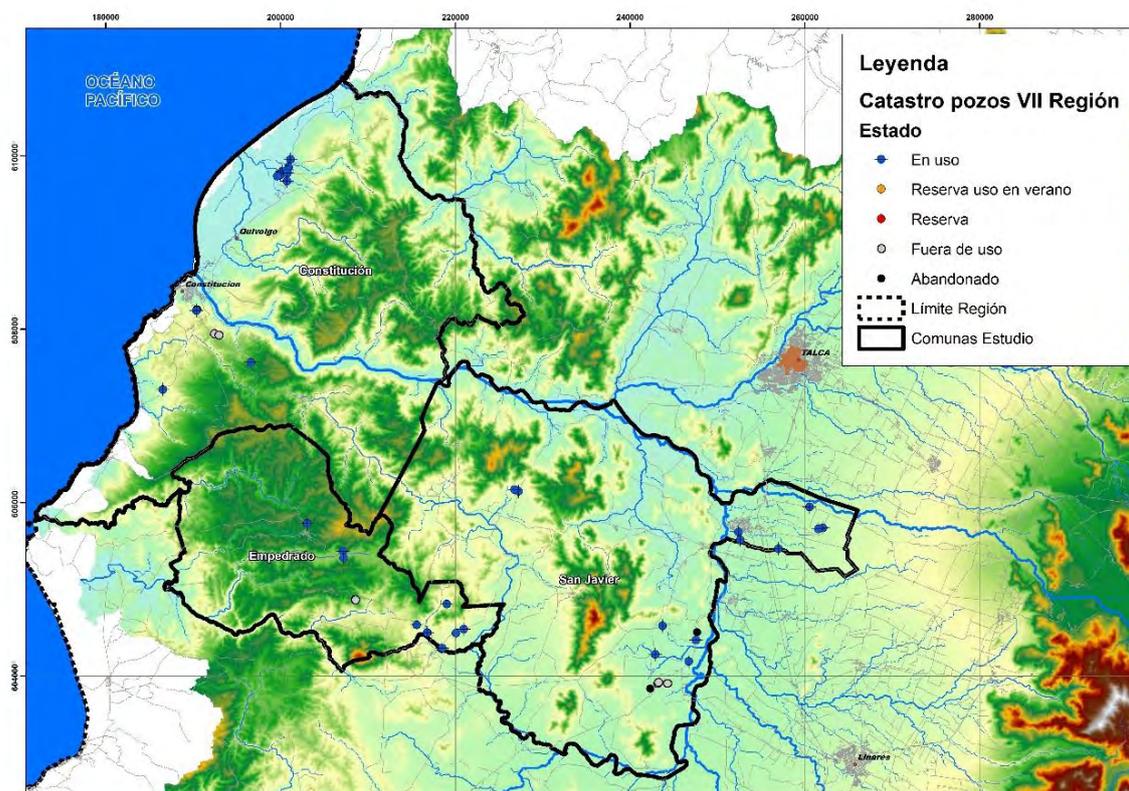


Figura 48. Distribución de los puntos catastrados en comunas de la VII Región, y clasificación por estado.

7.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS PUNTOS CATASTRADOS

Los datos del catastro de esta Región se recogen en el Anexo II. En la primera tabla se han recogido los datos descriptivos y ubicación, mientras que en la segunda se recogen los parámetros físicos como niveles estáticos, dinámicos, caudal, etc.

El principal uso del agua en la zona de estudio es el regadío y el abastecimiento de agua potable.

7.3. CATASTRO DE CAPTACIONES VIII REGIÓN

En esta Región se catastraron 360 puntos de agua y se hizo una estimación de los usos y demandas de la zona.

Se midieron un total de 118 datos de nivel estático y 28 del nivel dinámico. Los datos de niveles estáticos muestran un mínimo de 0 metros y un máximo de 20,8 metros de profundidad. Los niveles dinámicos medidos se sitúan en el rango de 0,05 a 18,4 metros de profundidad.

El caudal de bombeo se reparte en un rango de 0,3 a 71,06 l/s, con un valor total estimado de 1.299,32 l/s.

7.3.1. IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS CATASTRADOS

En el Anexo II se incluyen los datos básicos identificativos de los puntos catastrados en la VIII Región cuya ubicación y registro de nivel estático obtenido se grafían en las 2 figuras siguientes.

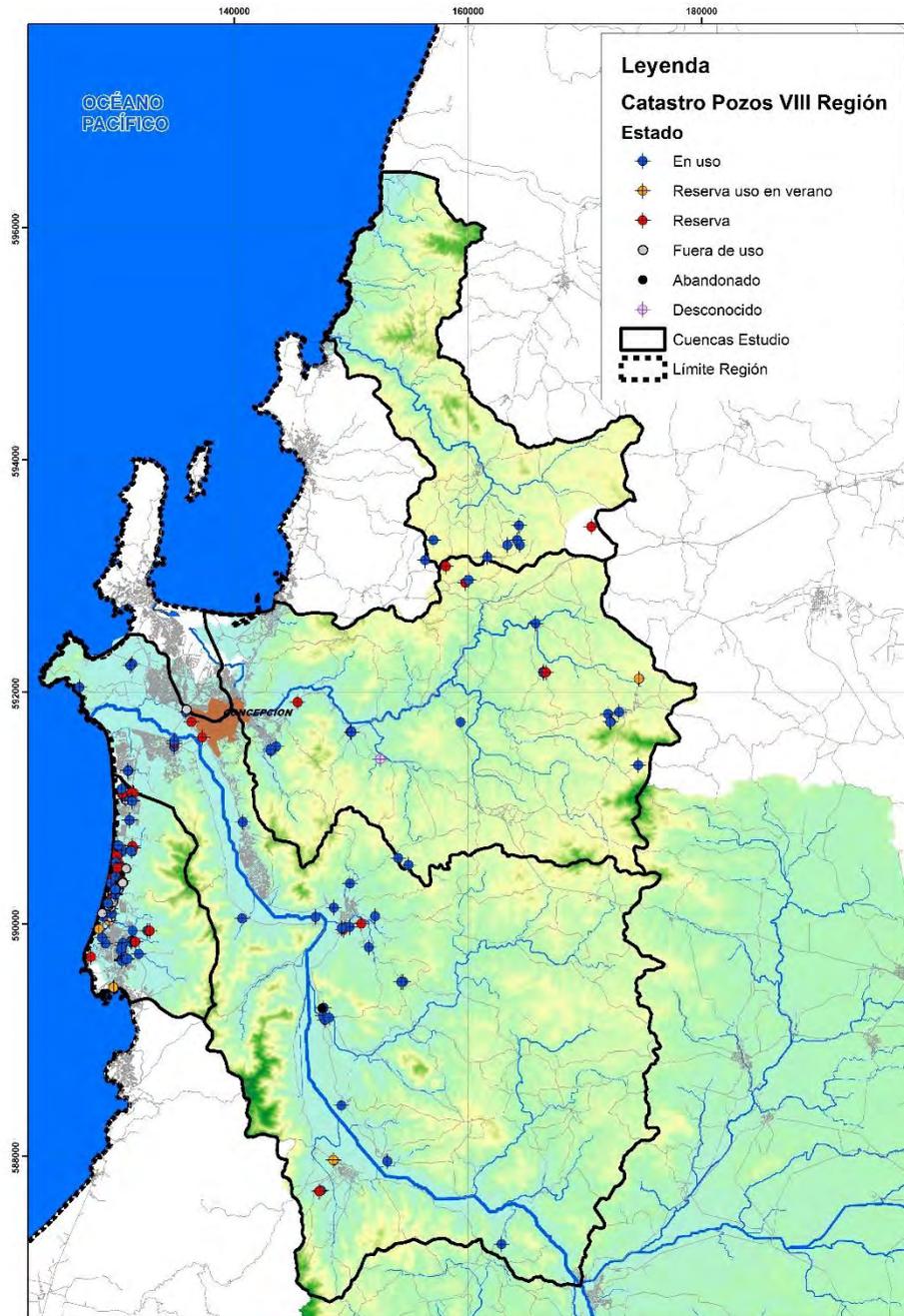


Figura 49. Distribución de los puntos catastrados en cuencas de la VIII Región, zona Norte, y clasificación según estado

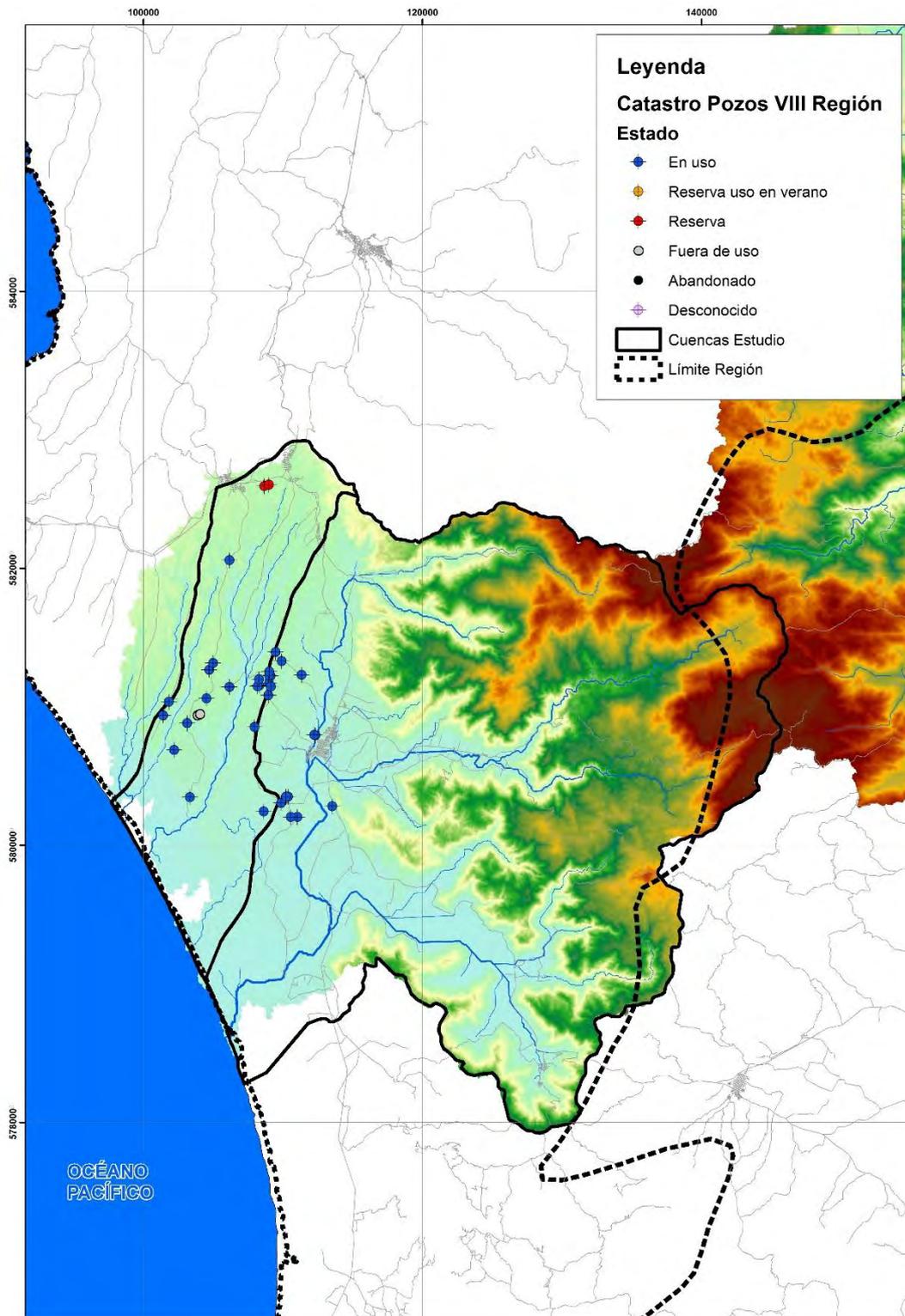


Figura 50. Distribución de los puntos catastrados en cuencas de la VIII Región, zona Sur, y clasificación según estado.

7.3.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS PUNTOS CATASTRADOS

Los datos del catastro de esta Región se recogen en el Anexo II. En la primera tabla se han recogido los datos descriptivos y ubicación, mientras que en la segunda se recogen los parámetros físicos como niveles estáticos, dinámicos, caudal, etc.

El principal uso del agua en la zona de estudio es el regadío, concretamente para viñedos, y en menor proporción pero también importante para los frutales. Otros usos son para abastecimiento y ganado.

Se incluye en Anexo II los tipos de usos del agua en los puntos catastrados.



Figura 51. Ejemplo de fotografía tomada en captación de la Región VIII.

7.4. ESTUDIO DE PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

7.4.1. INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de servir de apoyo para la caracterización geológica y geométrica, que permita una mejor elaboración de los modelos conceptuales de los acuíferos de las cuencas de estudio, se está llevando a cabo un estudio de prospección geofísica con los métodos Electromagnético (TEM) y Gravimétrico.

En dicho estudio se pretende localizar la profundidad del basamento rocoso de los acuíferos en los distintos puntos investigados, además de detectar distintas formaciones geológicas que conforman el relleno sedimentario suprayacente.

7.4.2. CAMPAÑA DE TERRENO

7.4.2.1. GRAVIMETRÍA

Para llevar a cabo la campaña de gravimetría se ha procedido a la medición de 505 puntos con la metodología expuesta a continuación.

La realización del trabajo de campo siguió estos pasos:

- Cálculo de las constantes de nivelación y sensibilidad del gravímetro, así como de la deriva instrumental (Calibración y Nivelación del Gravímetro).
- Medida de apertura del punto que se va a utilizar como base (número -9999).
- Medidas de los puntos que cubren el estudio. Al finalizar el día se cierra la base (se vuelve a medir el punto -9999), para calcular la deriva externa.
- Volcado de las medidas del Gravímetro a un ordenador para su posterior procesado.

Se puede afirmar que el trabajo de campo no presentó grandes dificultades y que las desviaciones estándar están por debajo de 0.050, menos en las zonas cercanas a carreteras donde ha sido imposible bajar la desviación estándar, pero se han repetido medidas suficientes para obtener un nivel de calidad alto. Los niveles están cercanos a cero y fueron rechazadas muy pocas medidas por mala calidad y por punto medido.

Una vez realizada la toma de datos en campo se ha procedido al procesado e interpretación en gabinete. Dentro de esta etapa se han seguido los siguientes puntos:

- Se chequean los datos para buscar valores que por su desviación estándar, por malas nivelaciones o por tener un nivel de rechazos por punto alto, pudieran no tener la calidad suficiente para utilizarlos con el resto de medidas (la mala calidad debida a condiciones ambientales adversas, zonas con mucho ruido ambiental, **seísmos que afectan a los datos...etc.**)
- Se corrigen los datos por la deriva externa, y se asigna a cada punto un número de estación y su posición. Mediante la comparación de los valores de las medidas relativas de gravedad con el valor de la base se calcula el valor de gravedad observada de cada punto del estudio.
- Una vez creado el fichero con la información de la localización del punto y su valor de gravedad se calcula las anomalías de Bouguer completas (aplicando las correcciones de topografía). Para calcular la anomalía de Bouguer se ha utilizado la fórmula de la corrección de latitud de 1984 y como elipsoide de referencia para la anomalía de Aire-Libre el WGS 84. Para calcular la anomalía de Bouguer se ha elegido la densidad 2.6g/cc como la más adecuada, en base a la geología de la zona de trabajo.
- Para calcular las correcciones topográficas se ha utilizado un Modelo Digital de Terreno ASTER DEM.

- Una vez creado el fichero con la información de la localización del punto y su valor de anomalía de Bouguer, se interpolan los datos para crear una malla, asignando colores a los distintos valores para su visualización en forma de imagen bidimensional.

Para la realización del estudio gravimétrico se empleó un gravímetro Scintrex CG3, con una precisión instrumental de 0.005mGales nivelado los días previos a la campaña de campo.

Como control de calidad se han repetido el 10% de las medidas totales realizadas, siendo la repetitividad muy buena.

7.4.2.2. ESTUDIO TRANSIENTE ELECTROMAGNÉTICO

El TEM (Transiente Electro Magnético), es un método electromagnético en el dominio de tiempos, esto quiere decir que se mide en diferentes ventanas o aperturas de la antena en el tiempo. El equipo necesario consiste en un transmisor que inyecta corriente en un bucle (una antena hecha con un cuadrado de cable) de distintas dimensiones (dependiendo de la profundidad a la que se quiere llegar en el estudio, el área a cubrir y los niveles de ruido ambiental) y un receptor (una antena).

La corriente que se inyecta en el bucle es una corriente en forma de ciclo alternando la polaridad. Las medidas en el receptor se miden durante el tiempo en que no se está inyectando corriente, de forma que solo están presentes los campos secundarios. Se crea un campo magnético por la inyección de corriente en el bucle, y durante el tiempo en que no hay corriente se mide con la antena receptora el voltaje generado por la difusión de la energía inducida.

En general los TEM presentan menos influencia lateral que los métodos eléctricos en corriente continua. Además se necesita menos espacio físico en campo para la realización de los TEM al utilizar bucles que no son comparables en tamaño a los dispositivos de los SEV. En los SEV para alcanzar centenares de metros se necesitan dispositivos exageradamente grandes con longitudes de alas de hasta cinco veces el valor esta profundidad. Otra ventaja de los TEM respecto a los SEV es que las capas muy resistivas que pueden ser pantalla en los SEV no lo son en los TEM.

El desarrollo de la campaña ha consistido en la medición de 117 puntos mediante la metodología expuesta a continuación.

Proceso seguido en el trabajo de campo:

- Localización del punto a medir de acuerdo a la planificación prevista
- Despliegue de equipo

- Se sincroniza el receptor y el transmisor, para medir los datos siempre en ausencia de campo primario.
- Se localiza en el campo el cuadrado de cable que hace las funciones de antena emisora (en este caso el tamaño es de 100x100 metros)
- Se mide en la primera posición, para comprobar si con un bucle transmisor de tamaño 100mx100m es suficiente para alcanzar el objetivo. Se mide con distintas frecuencias (4Hz, 8Hz y 16Hz).
- La visualización de los datos en el campo permite determinar con cierta precisión si los datos medidos son lo suficientemente limpios para llegar a una profundidad determinada, aunque la determinación de la profundidad del estudio puede variar respecto a la estimada en campo de manera notable después de depurar los datos y modelarlos con algoritmos más precisos que los que usa el receptor.
- Todas las coordenadas de las medidas se presentan en UTM Huso 19 Sur DATUM WGS84.

Posteriormente a la campaña de campo se ha procedido al tratamiento e interpretación de datos.

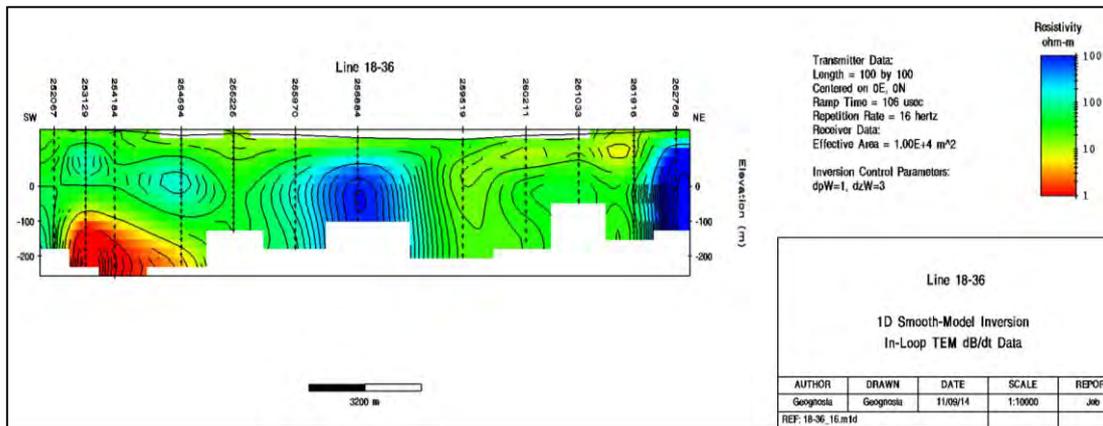


Figura 52. Ejemplo de perfil TEM interpretado en el desarrollo del estudio.

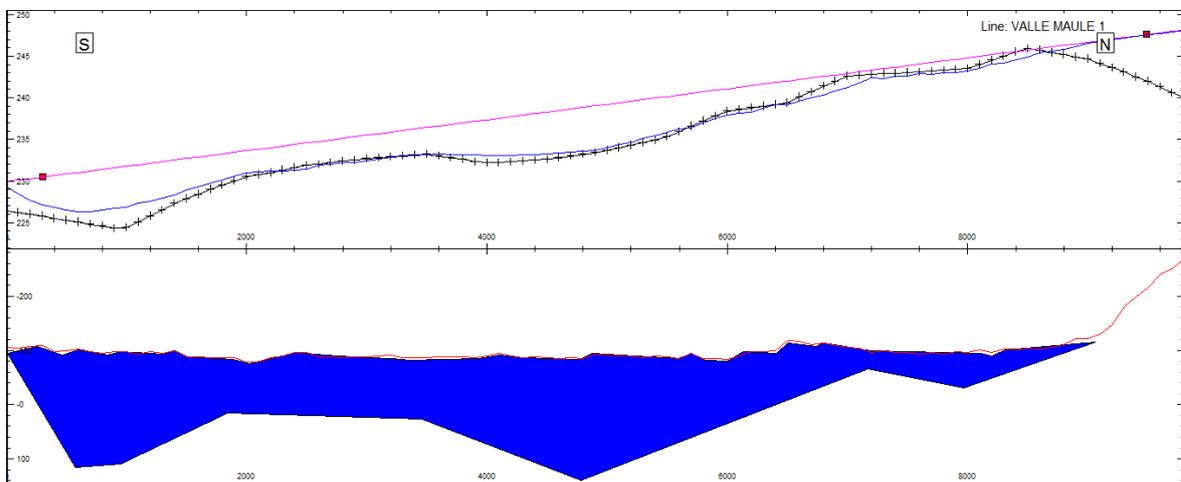


Figura 53. Ejemplo de perfil Gravimétrico interpretado en el desarrollo del estudio.

El equipo utilizado en las mediciones corresponde al modelo ZONGE GDP-3211, el cual es la cuarta generación de receptores GDP de la marca ZONGE ENGINEERING AND RESEARCH ORGANIZATION. Es un receptor multicanal en el dominio de tiempos o frecuencias para campos eléctricos y magnéticos de fuente natural o controlada.

La antena corresponde al modelo TEM-3 de la misma marca, con $F_0 > 20 \text{ kHz}$ y dB/dt respuesta $A_e = 10.000 \text{ m}^2$.

Como transmisor se ha utilizado el modelo ZT-30, el cual utiliza una fuente de corriente continua (24-120 V) generando corrientes que pueden superar los 30 A. Dos o más baterías de coche pueden conectarse en serie de forma que pueden utilizarse como fuente de energía para estudios TEM con un transmisor ZT-30. El ZT-30 puede también utilizarse como transmisor para estudios de PI/resistividad que necesiten poca energía en estudios en los que la intensidad no requiera ser regulada (PI en Dominio de Tiempos) o en los que la forma de la curva de corriente pueda ser medida directamente.



Figura 54. Equipo Zonge GDP-3211



Figura 55. Antena TEM-3 (izquierda) y transmisor ZT-30 (derecha)

7.4.2.3. UBICACIÓN DE LAS INVESTIGACIONES REALIZADAS

La ubicación concreta de los puntos investigados se ha basado en la propuesta de campaña aprobada por la Inspección Fiscal, no obstante, debido a la realidad física ésta ha sido ligeramente modificada, guardando en todo caso las zonas a investigar propuestas inicialmente.

En las figuras siguientes se incluye la ubicación de la campaña geofísica.

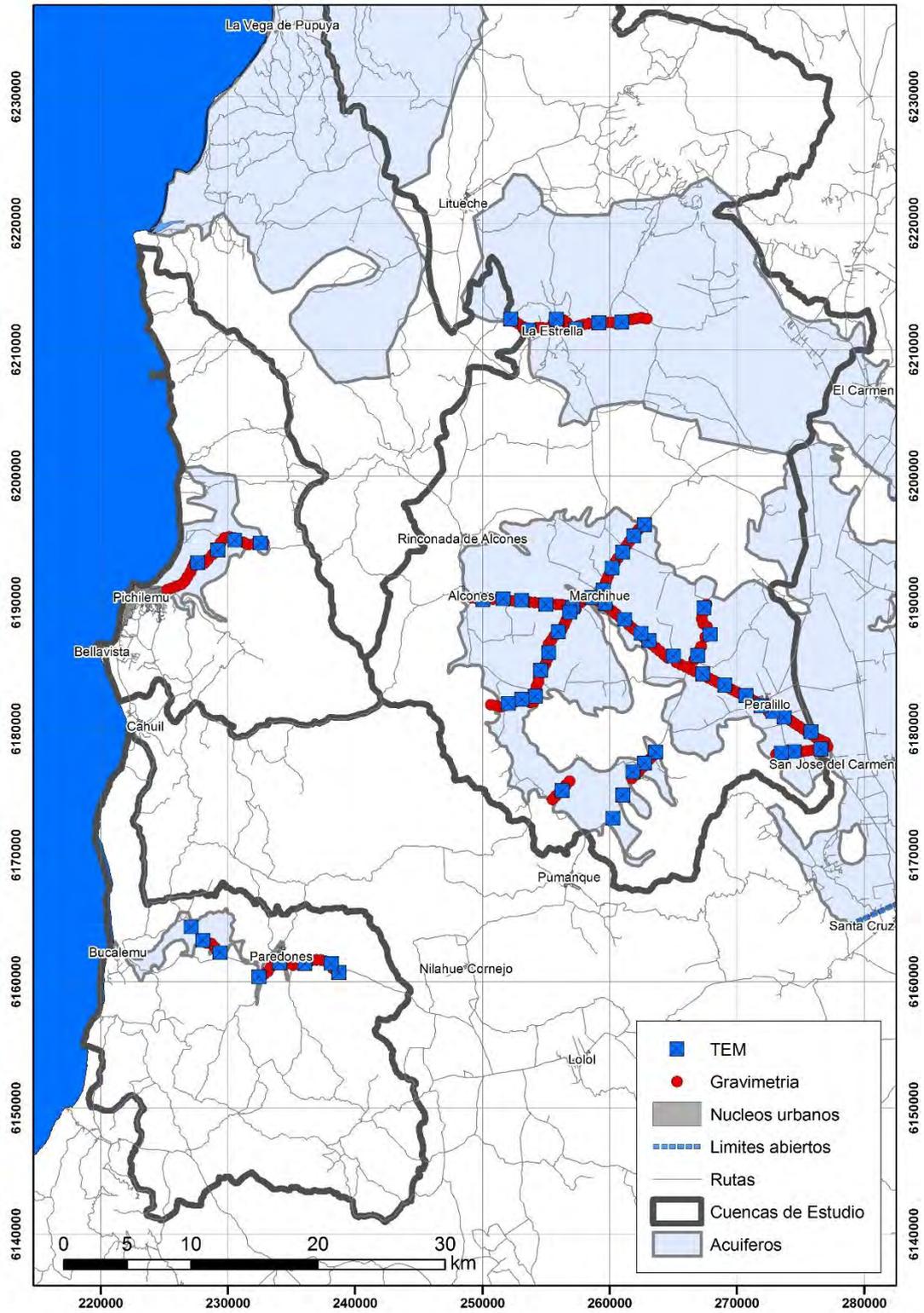


Figura 56. Ubicación campaña geofísica VI Región

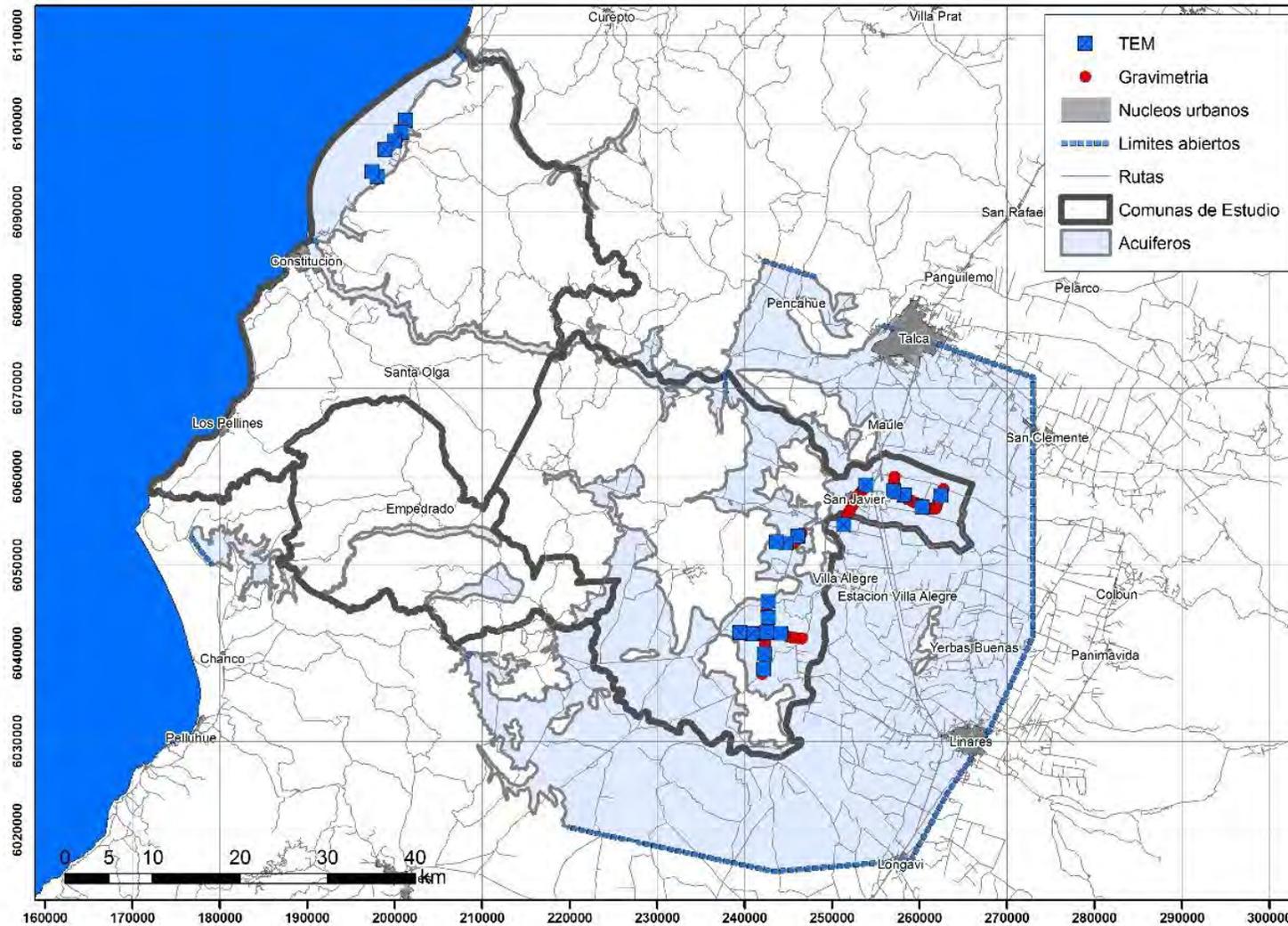


Figura 57. Ubicación campaña geofísica VII Región

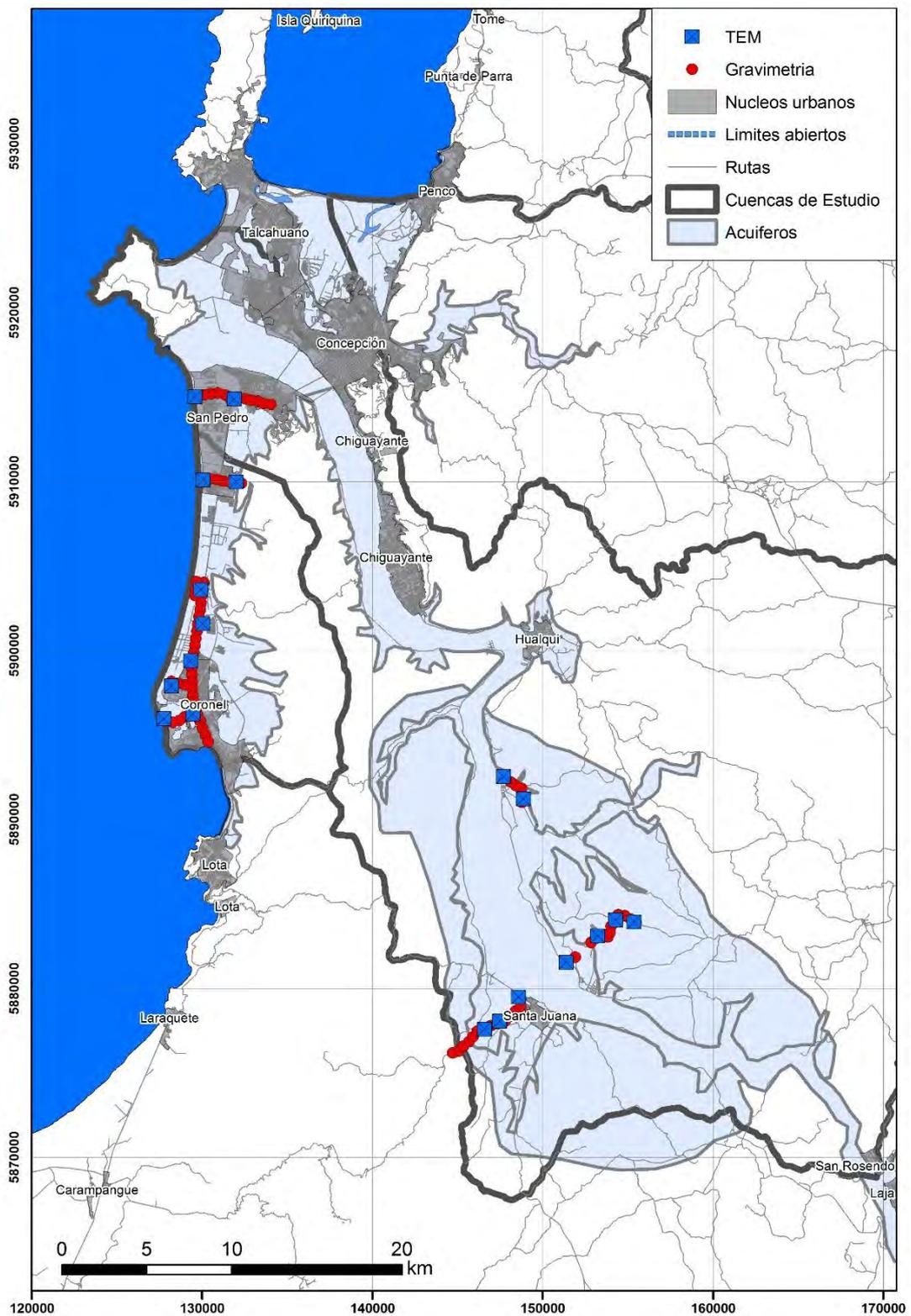


Figura 58. Ubicación campaña geofísica VIII Región, zona norte

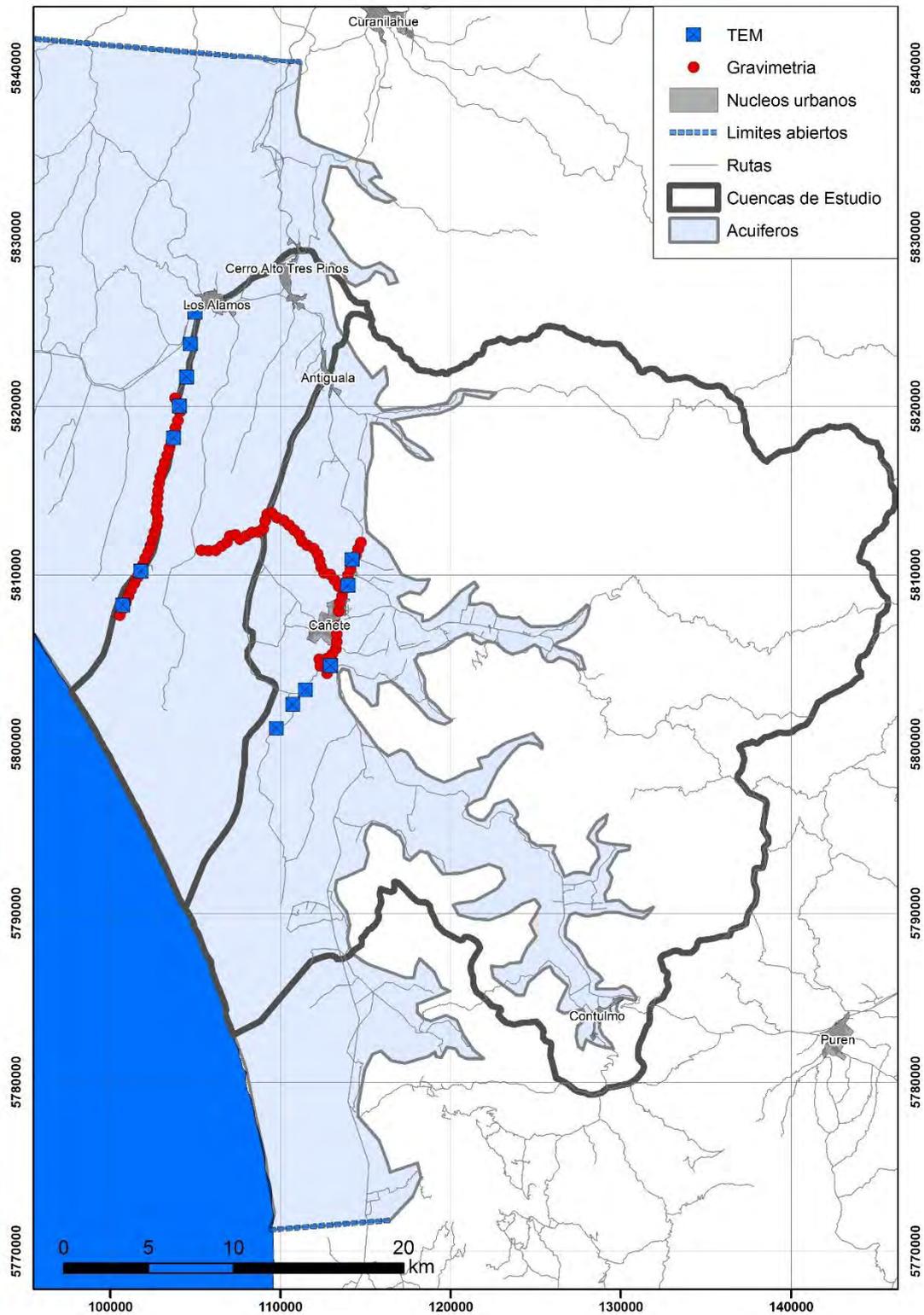


Figura 59. Ubicación campaña geofísica VIII Región, zona sur

7.4.2.4. RESULTADOS

7.4.2.4.1. TEM

Se incluyen en el Anexo III los resultados obtenidos en los TEM, con una interpretación preliminar, cuya interpretación hidrogeológica se encuentra en el capítulo de geometría de acuíferos de cada uno de aquellos investigados.

7.4.2.4.2. GRAVIMETRÍA

Los resultados obtenidos durante la campaña de terreno se incluyen en el Anexo III del presente informe, cuya interpretación hidrogeológica se encuentra en el capítulo de geometría de acuíferos de cada uno de aquellos investigados.

8. INTEPRETACIÓN DE AFOROS

Se ha realizado, a partir de la revisión de expedientes, una serie de interpretación de ensayos de bombeo con la finalidad de obtener los parámetros elásticos de las diferentes zonas de estudio. De los escasos datos de aforo disponibles, se ha interpretado aquellos que por su ubicación aportan información sobre un acuífero de los delimitados en el presente estudio.

En cada capítulo de los acuíferos descritos se detallan las curvas y los resultados obtenidos en el subcapítulo de Parámetros Elásticos. A modo de resumen, se muestran en la siguiente tabla los valores obtenidos.

Tabla 42. Resumen de parámetros elásticos obtenidos

Expte.	T (m ² /d)	S
ND-0602-3226	26	0.01
ND-0603-2254	40	0.005
ND-0702-1500	23.7	0.4
ND-0702-3524	0.46	0.008
ND-0703-2932	727	0.002
ND-0803-601	1813	0.01
ND-0803-1249	310	0.01
ND-2230	145	0.01



9. HIDROGEOLOGIA

9.1. DEFINICION DE ACUIFEROS

Se han definido una serie de acuíferos en cada región atendiendo, por una parte, a los antecedentes previos existentes y, por otra, a los siguientes criterios establecidos en el presente estudio:

- o Delimitación de formaciones permeables en base a la información geológica disponible y revisión de la misma en fotografía aérea. La mayoría de datos geológicos se ha obtenido del Mapa Geológico de Chile a escala 1: 1.000.000.
- o Delimitación de bordes impermeables o de baja permeabilidad en base a la geología. En este sentido, los materiales paleozoicos del zócalo plutónico y metamórfico se han considerado como constituyentes de límites de acuífero a efectos de definir los de mayor permeabilidad, a pesar de que suelen presentar, con una permeabilidad muy baja, cierta conexión hidráulica con los acuíferos que limita.
- o Homogeneidad en las características hidráulicas y parámetros elásticos.
- o Homogeneidad en la distribución y características de la piezometría observada.
- o Las formaciones definidas a nivel geológico que presentan diversos tramos litológicos con una variación considerable de los valores de permeabilidad se han considerado, a efectos de definir los acuíferos, como una única unidad al no disponerse de información geológica de detalle que permita la diferenciación tramo a tramo. Esto es particularmente aplicable a las formaciones miocenas y cuaternarias donde frecuentemente aparecen alternancias de materiales de baja a altas permeabilidades. De forma general, los cambios laterales de facies, tan frecuentes en estas formaciones, ocasionan que los tramos impermeables intercalados en las mismas no lleguen a aislar del todo a los tramos permeables, ocasionando un comportamiento hidráulico de la formación a escala global similar.
- o Las formaciones aluviales del cuaternario de cierta entidad, correspondientes a los principales cauces de la zona de estudio, se han diferenciado como acuíferos con entidad propia y diferenciada de otras formaciones acuíferas sobre las que se disponen. El propósito de esto es el de evitar la agrupación en un mismo acuífero de unidades separadas espacialmente y con características hidrogeológicas propias al discurrir un mismo cauce sobre las mismas. En este caso, el acuífero aluvial podrá tener una conexión hidráulica con varios acuíferos pero manteniendo la diferenciación de cada uno de ellos. Los depósitos aluviales

de poca entidad, cuando se disponen en continuidad sobre un único acuífero de mayor extensión, se han incluido en el mismo por no producirse el efecto anterior mencionado.

Mediante la aplicación de estos criterios se han diferenciado un total de 13 acuíferos, los cuales se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 43. Acuíferos diferenciados por Regiones

Región	Acuífero
Región VI	Costero Navidad
	Detrítico de Marchihue
	Cuaternario Costero Pichilemu
	Estero Paredones
Región VII	Costero Dunas de Putú
	Aluvial Río Maule
	Valle del Maule
	Aluvial Reloca
	Aluvial Huenchullamí
Región VIII	San Pedro-Talcahuano
	Aluvial del Río Bio-Bio
	Triásico Quilacoya-Santa Juana
	Costero de Lebu

9.2. MODELO CONCEPTUAL DE BALANCES

Para el cálculo de los balances de cada acuífero se ha utilizado el modelo representado en la Figura 60, describiéndose a continuación en detalle los parámetros constituyentes del mismo.

El modelo conceptual utilizado para la obtención de los balances se ha adaptado a las particularidades propias de las cuencas y acuíferos de la zona de estudio, de forma que, siguiendo los cálculos normalizados y aceptados en este tipo de balances, puedan reflejarse aquellos procesos característicos implicados en el funcionamiento hidrológico e hidrogeológico.

Cabe resaltar que al tratarse en algunos casos de acuíferos estudiados de forma parcial por los límites geográficos del estudio, resulta difícil establecer en estos casos los balances de forma precisa, teniéndose que valorar algunos de los parámetros implicados en los balances de forma estimada, como puedan ser entradas y salidas laterales, salidas al mar, afloramientos, etc.

Partiendo de las entradas por precipitación en las cuencas superficiales, se calcularon en apartados anteriores los valores hidrológicos de las mismas, como son la lluvia útil, evapotranspiración y escorrentía. A partir de aquí, la lluvia útil se considera que se reparte entre la escorrentía superficial, escorrentía subsuperficial e infiltración directa a acuífero. Atendiendo a los parámetros relacionados con el balance, estos son:

Entradas

Infiltración directa: fracción de lluvia útil que percola al acuífero de forma directa.

Escorrentía Subsuperficial: % de Lluvia Útil que debido a las características del terreno circula de forma somera (manto freático), y que finalmente se incorpora a caudales superficiales, subterráneos, o ambos. Esta diferenciación se ha realizado con el fin de reflejar el mecanismo de circulación de aguas producido en cierto tipo de terrenos en los cuales, y debido a una baja permeabilidad general y a la existencia de una cobertera superficial más permeable, se produce una circulación subsuperficial. Especialmente se aplica a las zonas donde existen materiales paleozoicos en los cuales se da una baja permeabilidad por fisuración, y al mismo tiempo una cobertera de alteración somera, más permeable, y que permite la circulación freática.

Infiltración Subsuperficial: Fracción de la Escorrentía Subsuperficial que percola finalmente al acuífero. Se calcula en base a:

- ***Coefficiente de Afloramiento Subsuperficial:*** % de la escorrentía subsuperficial que aflora.

Infiltración Retorno de riego: fracción de caudales de riego que percola al acuífero. Se calcula teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- ***Superficie de riego:*** superficie total de riego sobre el acuífero en Km²
- ***Dotación:*** dotación de riego media en m³/Ha/año
- ***Improductivos:*** % de la Superficie de Riego que se considera ocupada por terrenos auxiliares o de servicio (caminos, pistas, instalaciones, etc.) y que no es productiva.
- ***Rotación de cultivos en km²:*** % de la superficie de riego en periodo inactivo debido a la rotación de cultivos.
- ***% Infiltración de Riego:*** % del caudal destinado a riego (caudal neto teniendo en cuenta los valores anteriores) que infiltra finalmente en el acuífero.

Infiltración de cauces: caudales infiltrados al acuífero desde cauces, cuando estos son cauces dadores.

Entradas laterales: caudales subterráneos circulantes que provienen de otro acuífero o sector de acuífero.

Salidas

Captaciones de aguas (bombeos): extracciones de caudales desde el acuífero.

Salidas laterales: circulación subterránea a otro sector del acuífero, o acuífero diferente, cuando hay conexión hidráulica.

Salidas al mar: descarga de caudales al mar cuando el acuífero tiene conexión con el nivel de base del mar (acuíferos costeros o aluviales en su desembocadura).

Afloramientos: salidas de caudales del acuífero por incorporación de los mismos a masas de agua como lagos o embalses.

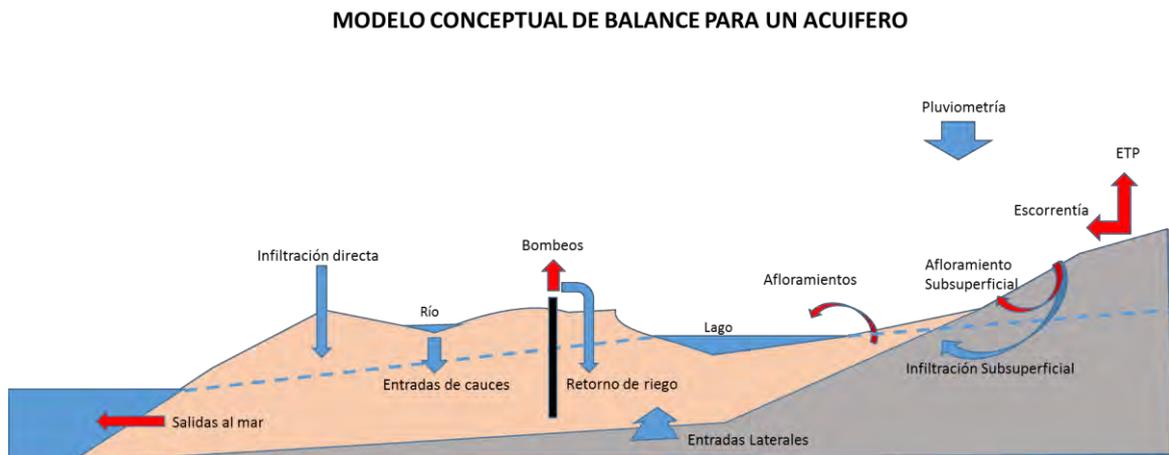


Figura 60. Esquema conceptual del balance hídrico

9.3. REGION VI

9.3.1. ACUÍFERO COSTERO DE NAVIDAD

El acuífero Costero de Navidad se extiende a lo largo de una franja costera desde la población de Virivilo al sur, hasta la de Matanzas al norte dentro de la región VI. Desde esta población todavía se extiende hacia el norte ya fuera de la región hasta la población de San Antonio.

Dentro de la región tiene una extensión de 36 km. de sur a norte, y desde la costa al interior de unos 27 km. máximos.

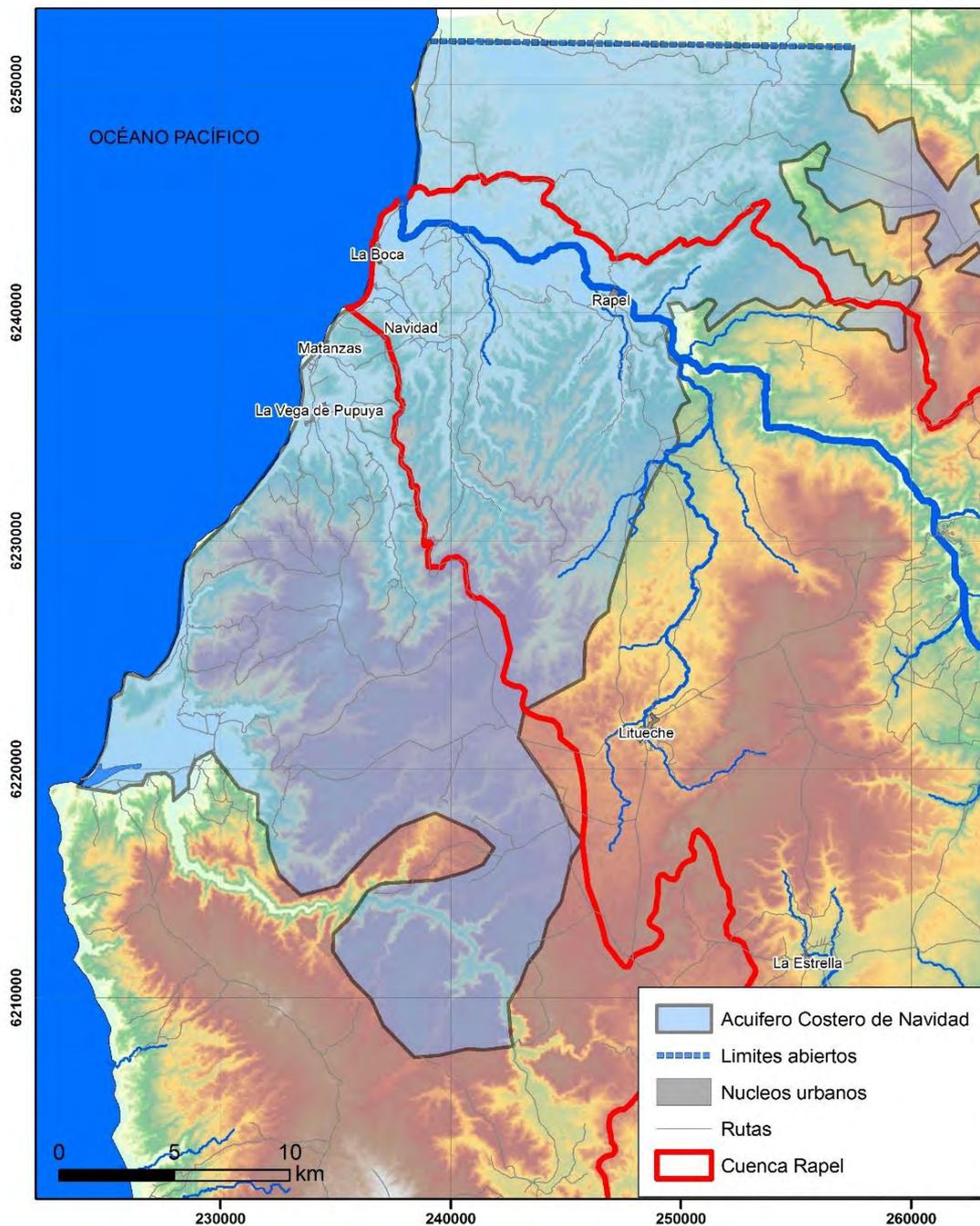


Figura 61. Situación geográfica del Acuífero Costero Navidad

9.3.1.1. GEOLOGIA

En la zona de extensión del acuífero aparecen formaciones del Mioceno superior, Plioceno y Holoceno que se disponen paralelas a la costa principalmente. El mioceno superior, representado por la serie MP1m, está constituido por secuencias sedimentarias marinas transgresivas: areniscas, limolitas, coquinas, conglomerados, calizas y fangolitas. En el área del acuífero Navidad se ha diferenciado para estos materiales una formación característica con su mismo nombre. Su espesor, de acuerdo con los trabajos

de Alfonso Encinas et al (Nuevo esquema estratigráfico para los depósitos marinos mio-pliocenos del área de Navidad (33°00'-34°30'S), Chile central), es de 120 a 220 metros máximos. La característica distintiva más importante de esta formación es la predominancia de alternancias de areniscas y limolitas en capas de potencias que varían entre centímetros y metros. Las capas de areniscas presentan colores variables entre el ocre y el gris, mientras que el de las limolitas varía entre gris oscuro y blanquecino. Esta unidad presenta frecuentes variaciones verticales y laterales de facies lo que hace difícil correlacionar los distintos afloramientos, incluso aquellos relativamente cercanos entre sí.

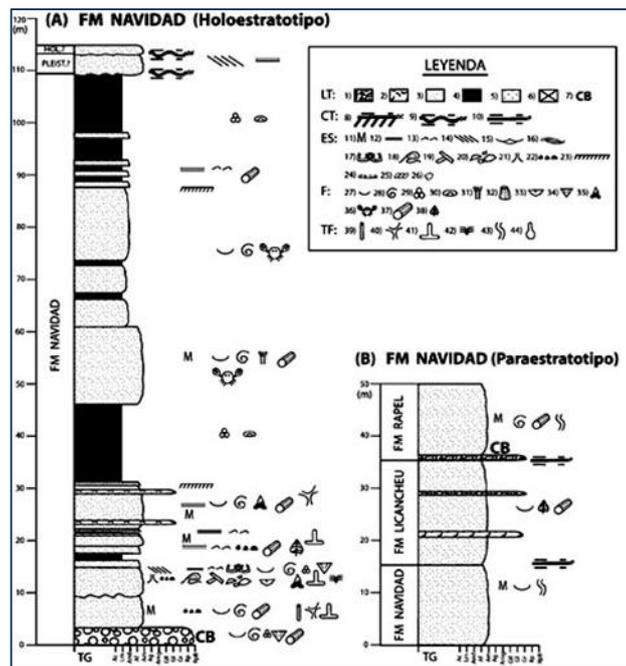


Figura 62. Holoestratotipo de la formación Navidad.

El cuaternario (término Q1), se extiende al sur, parte central y este del acuífero, coincidiendo con los aluviales de los cauces principales. Está formado por depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa; en menor proporción fluvio-glaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados. En la Depresión Central, regiones Metropolitana a IX: abanicos mixtos de depósitos aluviales y fluvio-glaciales con intercalación de depósitos volcanoclásticos. Su espesor es muy variable en función de la morfología de los cauces donde aparece.

Estas formaciones quedan limitadas por materiales plutónicos del Cámbrico-Pérmico y del Triásico-Jurásico. La formación más extensa de este grupo es la correspondiente al término CPg (Carbonífero-Pérmico) formada por granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas, de hornblenda y biotita, localmente de muscovita. Se distribuyen como una franja continua de dirección general NNE-SSO, conformando gran parte de la Cordillera de la Costa. Está formado por un complejo plutónico cuya composición petrográfica varía entre tonalita y granodiorita, con sectores menos extensos de diorita cuarcífera y

granito. Este complejo plutónico fue definido por González-Bonorino, 1970; Hervé et al. 1976, como el Batolito de la Costa. Tiene una relación de contacto intrusivo con las rocas del basamento metamórfico e infrayace, con discordancia de erosión, a las series sedimentarias y sedimentario-volcánicas del Triásico.

Los materiales del triásico-jurásico corresponden a la formación TrJg, constituida por granodioritas, monzogranitos, monzodioritas, dioritas y gabros de piroxeno y hornblenda, apareciendo en un afloramiento único al sureste del acuífero.

Los materiales plutónicos forman los relieves principales de la zona, sobre los cuales se han depositado las series del mioceno, plioceno y cuaternario rellenando los paleorelieves erosivos de los materiales anteriores.

Respecto a la tectónica, los sistemas de fallas principales son N-S a NNE-SSO y NNO-SSE. El primero controla, fundamentalmente, tanto los acantilados costeros, como los quiebres de pendiente locales entre la Cordillera de la Costa y la Depresión Central, manifestándose también en la Cordillera Andina. El segundo sistema (NNO-SSE) controla, mediante estructuras de mayor desarrollo aparente, los cauces principales y tributarios que atraviesan estas cordilleras, los cuales tienen una dirección general semejante y son sensiblemente paralelos entre sí. Por otra parte, estas estructuras que permitieron el levantamiento relativo de la Cordillera de la Costa respecto de la Depresión Central, son las responsables de las grandes acumulaciones sedimentarias que existen al oriente de la Cordillera de la Costa, debiendo los ríos, abrirse paso a través de ésta mediante llanos relativamente estrechos.

9.3.1.2. FORMACIONES PERMEABLES

En relación con la permeabilidad de las formaciones que constituyen este acuífero, y con base en la geología expuesta anteriormente, se pueden considerar las siguientes:

Tramos permeables

Cuaternario Aluvial: formación Q1

Se trata de arenas, gravas y conglomerados que suelen presentar permeabilidades medias a altas.

Plioceno:

Formación PP11c

Conglomerados, areniscas, limolitas y arcillolitas, generalmente consolidados, de facies principalmente aluviales, subordinadamente lacustres y eólicas. En las regiones I a III

forman abanicos aluviales inactivos mientras en Chile central (Estratos de Potrero Alto) son niveles aterrizados adosados al sustrato de la zona costera.

Formación PP11m

Secuencias sedimentarias marinas litorales o fluviales estuarinas: coquinas, conglomerados coquináceos, areniscas y conglomerados dispuestos en niveles aterrizados emergidos.

Mioceno-Plioceno: Formación MP1m

Aunque no toda la serie presenta tramos permeables, los correspondientes a areniscas, conglomerados y calizos constituyen tramos permeables que en conjunto le dotan a esta formación la consideración como acuífero.

Tramos de baja a muy baja permeabilidad

Triásico-Jurásico y cámbrico-Pérmico: Formaciones TrJg y CPg

Como todos los materiales de carácter plutónico, estas formaciones presentan una permeabilidad muy baja de carácter secundario; por fisuración y alteración. Esta última presente en zonas donde los materiales han sufrido una alteración importante por meteorización transformándose en arcosas que pueden presentar localmente una permeabilidad media.

9.3.1.3. GEOMETRIA

Los límites de este acuífero vienen determinados por los contactos de las series miocenas y cuaternarias con materiales plutónicos paleozoicos y triásico-jurásicos. Dicho límite no es del todo impermeable al presentar estos últimos materiales una permeabilidad muy baja por fisuración y alteración local. Al tratarse de rellenos de un paleorelieve sobre las formaciones plutónicas, los espesores son muy variables. El acuífero incluye los materiales miocenos y el aluvial del río Rapel que se dispone sobre los mismos. Este aluvial desaparece aguas arriba del río por encajamiento del mismo y la ausencia de dicho aluvial. Por esta razón, y al haber conexión hidráulica entre el aluvial y el mioceno se ha considerado un único acuífero.

Respecto a los límites norte-sur, el acuífero se extiende en diferentes cuencas hidrográficas (Rapel, Topocalma, Estero Yalí, etc) de mayor o menor importancia. No obstante, y siguiendo los criterios establecidos en el presente estudio para la catalogación de acuíferos, como formación permeable, continuidad geológica, conexión hidráulica, y parámetros elásticos similares, se considera un único acuífero independientemente de las cuencas superficiales que lo incluyen.

En el estudio "Diagnóstico Potencial Hídrico Acuíferos Costeros Región VI" se realizaron una serie de trabajos de geofísica en la cuenca del Rapel, en los cuales se aportan valores de entre 50 y 100 m. para los sedimentos cuaternarios, llegando a 150 m. en la desembocadura del río, mientras que para la formación Navidad, del mioceno, se reconocen espesores de 220-230 metros en Litueche y de 500 m. al sur del río Rapel.

El comportamiento hidrogeológico del acuífero, a gran escala, es como acuífero libre, si bien, la existencia de niveles limolíticos en la formación Navidad puede ocasionar la existencia de varios tramos en la vertical de acuíferos confinados. Los tramos inferiores de esta serie son en principio los más transmisivos por cuanto corresponden a los sedimentos detríticos costeros de una secuencia transgresiva.

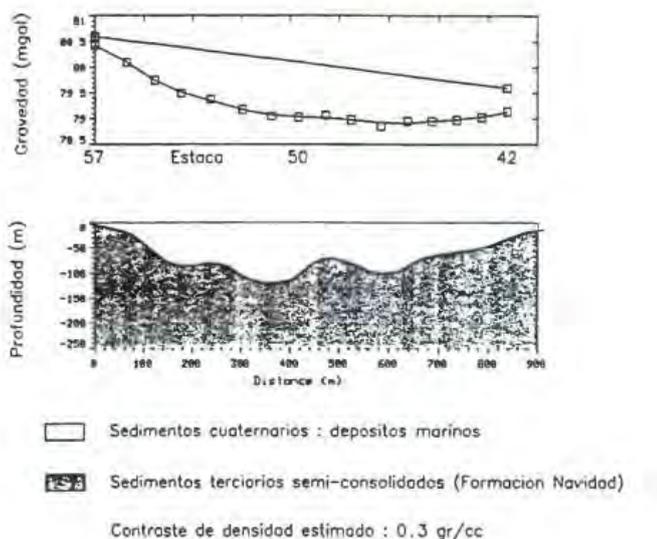


Figura 63. Perfil de geofísica gravimétrica del estudio de referencia.

9.3.1.4. PARAMETROS ELASTICOS

Los datos disponibles sobre parámetros elásticos del acuífero son escasos. Por una parte, se dispone de 4 expedientes de pozos en dicho acuífero pero sin datos de aforos.

En los antecedentes cabe considerar los valores aportados por el estudio "Diagnostico potencial hídrico acuíferos costeros región VI", los cuales se reflejan en la tabla adjunta. Para el área de este acuífero se mencionan valores de transmisividades entre 7,3 y 61,1 m²/día, y entre 2,5 y 8,4 m/día las permeabilidades.

Para la formación cuaternaria se cita un valor de caudal específico de 3,2 l/s/m. Igualmente se cita en dicho trabajo valores de transmisividades de dos norias de 61,1 y 7,1 m²/día, siendo las permeabilidades correspondientes de 8,4 y 2,5 m/día.

La formación miocena presenta unas características hidráulicas de menor valía. En general los pozos someros en esta unidad muestran caudales específicos muy bajos, en torno a 0,1 l/s/m. Respecto a niveles más profundos, se ha captado un tramo semiconfinado que aportó 2 l/sg. al norte de Litueche.

Pozo	Comuna	Cuenca	Sector	Transmis. m ² /d	Permeabilidad m/d
30	Navidad	Rapel	La Pataguilla	61,1	8,4
208	Navidad	Rapel	San Vicente	7,3	2,5
95	Litueche	Topocalma	Paso del Soldado	46,2	29,4
105	Litueche	Topocalma	Cartagena	17,1	12,3
201	Lolol	Nilahue	Est. Lolol	13,6	3,9
156	Lolol	Nilahue	Ranguili	12,5	3,3
126	Paredones	Nilahue	El Potrero	30,7	17,5
417	Lolol	Nilahue	Ranguil	46,8	0,8
552	Lolol	Nilahue	Est. Quiahue	170	2,4

Figura 64. Valores de T y K del estudio "Diagnostico potencial hídrico acuíferos costeros región VI".

9.3.1.5. PIEZOMETRIA

En los puntos inventariados en el presente estudio sólo se disponen de dos puntos ubicados en este acuífero, lo que no ha permitido delimitar la piezometría general para el mismo.

De acuerdo a la geometría de los acuíferos costeros, la distribución de isopiezas debe de ajustarse a líneas pseudoparalelas a la costa con un gradiente hidráulico disminuyendo hacia la misma. Las direcciones de flujo en este acuífero han de ser hacia el oeste o línea de costa.

Dada la escasa presencia de captaciones, el régimen se debe de aproximar al régimen natural sin modificaciones de los niveles por bombeos.

9.3.1.6. BALANCE

En el balance de este sector del acuífero se han tenido en cuenta, por su geometría, unas salidas al mar de 169,11 l/sg. y unos afloramientos a la parte baja del río Rapel de 310,86 l/sg. Aunque el acuífero se prolonga al norte y sur de la zona de estudio, no se han computado salidas ni entradas laterales por las direcciones de flujo, que son perpendiculares a la costa y no generan transferencias laterales. El balance es coherente con una explotación real del cómputo de concesiones del 60 %.

Tabla 44. Balance hídrico acuífero Costero de Navidad

ACUIFERO NAVIDAD	l/s
Entradas laterales	0,00
Infiltración Subsuperficial	18,79
Infiltración cauce	0,00
Infiltración Directa	455,05
Infiltración Retorno de Riego	235,77
Salidas por Bombeos	229,62
Salidas laterales	0,00
Afloramientos	310,86
Salidas al Mar	260,90

9.3.2. DETRITICO DE MARCHIHUE

El acuífero Detrítico de Marchihue se extiende de norte a sur desde la población de Los Manantiales hasta Santa Cruz, con una longitud total de 66,2 kilómetros. De oeste a este se extiende desde las poblaciones de Cardonal, Pumanque y La Quebrada al oeste, hasta las de Balsas, Los Yuyos y Santa Sara en el este, con un ancho de 42,4 km. Su extensión es de 1.441,4 km². Es un gran acuífero constituido por materiales detríticos principalmente, aunque pertenecientes a diferentes formaciones geológicas. En el presente estudio se ha recogido la extensión correspondiente al área objeto del mismo, aunque dada la geología de la zona, el acuífero se prolonga hacia el este ya fuera de los límites de estudio.

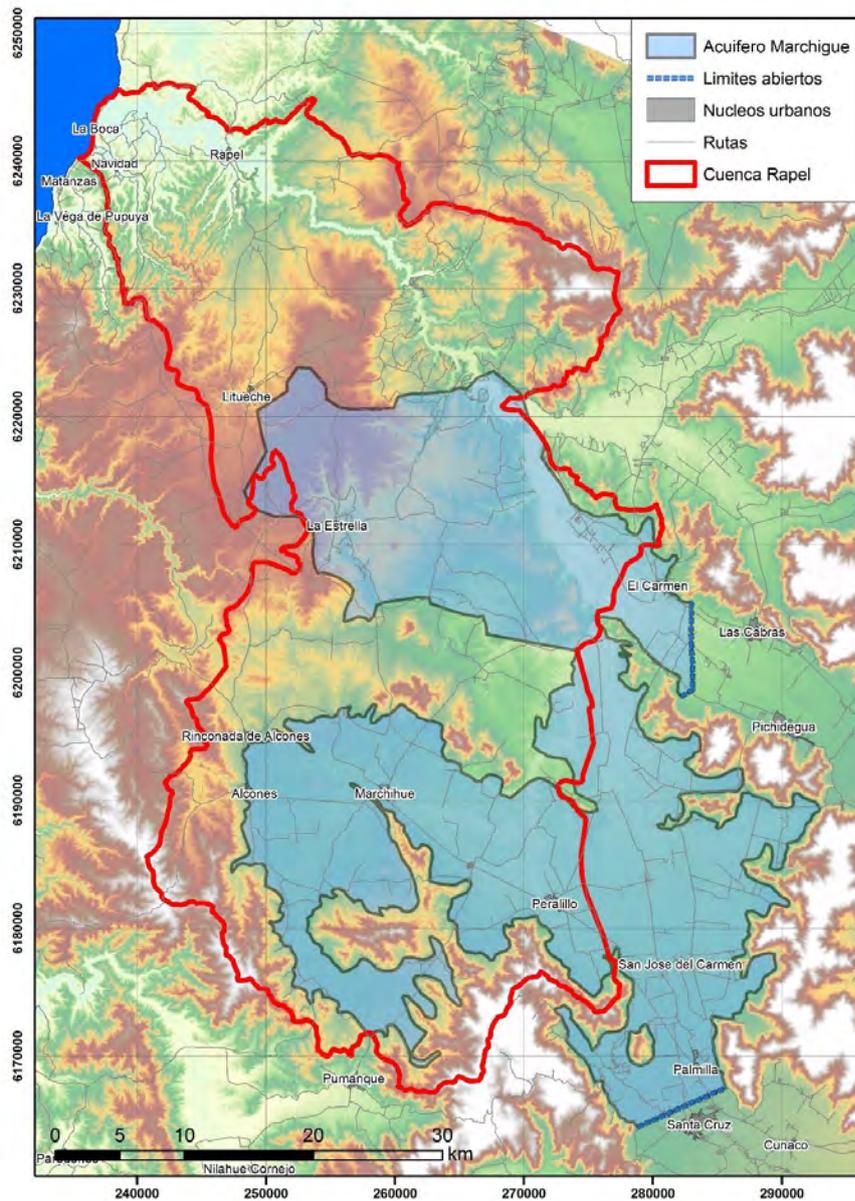


Figura 65. Situación Geográfica del Acuífero Detrítico de Marchihue

9.3.2.1. GEOLOGIA

En el área de este acuífero afloran una gran variedad de materiales correspondientes a formaciones cronológicas muy dispares. Desde materiales cuaternarios y pliocenos de naturaleza detrítica, formaciones volcano-sedimentarias del plioceno, cretácico y jurásico, y materiales intrusivos del cretácico, triásico y paleozoico.

El cuaternario está presente en formaciones aluviales y de relleno constituido por conglomerados, gravas, arenas y limos. Se dispone en los cauces de los ríos a veces con gran desarrollo en función de la geomorfología (formación Q1).

El pleistoceno (PI3t) se presenta con una facies de lavas piroclásticas de naturaleza riolítica correspondientes a calderas de colapso, principalmente en la parte norte y este del acuífero. Su espesor, de acuerdo con los trabajos de Alfonso Encinas et al (Nuevo esquema estratigráfico para los depósitos marinos mio-pliocenos del área de Navidad (33°00'-34°30'S), Chile central), es de 120 a 220 metros máximos. La característica distintiva más importante de esta formación es la predominancia de alternancias de areniscas y limolitas en capas de potencias que varían entre centímetros y metros. Las capas de areniscas presentan colores variables entre el ocre y el gris, mientras que el de las limolitas varía entre gris oscuro y blanquecino. Esta unidad presenta frecuentes variaciones verticales y laterales de facies lo que hace difícil correlacionar los distintos afloramientos, incluso aquellos relativamente cercanos entre sí.

El Plioceno-Pleistoceno se dispone en formaciones marinas y sedimentarias de estuarios con litologías generalmente consolidadas, de facies principalmente aluviales, subordinadamente lacustres y eólicas. En las regiones I a III forman abanicos aluviales inactivos mientras en Chile central (Estratos de Potrero Alto) son niveles aterrazados adosados al sustrato de la zona costera. Aparece esta formación en la parte sur del acuífero.

Por debajo de las series anteriores afloran materiales del cretácico inferior de tres naturalezas distintas; sedimentarias, volcánicas e intrusivas. Del primer y segundo grupo (formación Ki2m) afloran secuencias volcánicas y sedimentarias marinas: lavas andesíticas y basálticas, tobas y brechas volcánicas y sedimentarias, areniscas y calizas fosilíferas. Del segundo grupo se presenta la formación Kiag con litologías correspondientes a dioritas y monzodioritas de piroxeno y hornblenda, granodioritas, monzogranitos de hornblenda y biotita. Ambas formaciones descritas aparecen al este del acuífero, conformando los límites impermeables del mismo en esta zona.

El jurásico también aflora en formaciones volcano-sedimentarias, en concreto la formación J3i, constituida por secuencias volcánicas continentales y marinas: lavas y aglomerados basálticos a andesíticos, tobas riolíticas, con intercalaciones de areniscas, calizas marinas y conglomerados continentales. Se trata de una serie compleja, bien identificada en la formación Nacientes de Bio-Bio, donde se produce una evolución de ambientes sedimentarios progresivos, desde las lavas almohadilladas depositadas en medios marinos con intercalaciones turbidíticas, hasta depósitos pelíticos en planicies submarinas, medios deltáicos con deposición de materiales volcánicos transportados, carbonatos de plataforma costera y otros términos menores. Todo el conjunto aflora al sur y noreste de los límites del acuífero.

El triásico aflorante es intrusivo con litologías de granodioritas, monzogranitos, monzodioritas, dioritas y gabros de piroxeno y hornblenda; sienogranitos.

Los materiales paleozoicos están representados por la formación Cpg, correspondiente al carbonífero-permico con términos litológicos de granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas, de hornblenda y biotita, localmente de muscovita. Aparecen en la parte central, norte y sur del acuífero, constituyendo un importante límite impermeable del mismo.

La tectónica del área es compleja debida a los diferentes procesos sufridos a lo largo de la evolución geológica. Los materiales cuaternarios y pliocenos rellenan por lo general un paleorelieve desarrollado sobre las series mesozoicas y paleozoicas, presentando cambios de espesores importantes y cambios de laterales de facies muy irregulares. Las series mesozoica y paleozoica es la que presenta mayor plegamiento y tectonización, siempre de naturaleza imbricada.

9.3.2.2. FORMACIONES PERMEABLES

Para el establecimiento de los límites del acuífero, uno de los criterios seguidos ha sido el de la identificación de tramos permeables e impermeables en base a la geología. En general, los tramos cuaternarios pliocuaternarios y pliocenos son los constituyentes en su conjunto de este acuífero. A continuación se detallan las formaciones presentes según sus características hidrogeológicas.

Tramos Permeables

El cuaternario (formación Q1) formado por aluviones y depósitos de rellenos, asociados a los cauces de la zona, presenta unas permeabilidades muy variables de medias a altas al tratarse de materiales detríticos sin consolidar.

El pleistoceno volcánico (PI3t), al tratarse de materiales piroclásticos, se considera permeable por cuanto para este tipo de materiales es aceptada una alta porosidad efectiva.

El Plioceno-Pleistoceno (PPI1c) está formado por litologías detríticas, a veces con cierto grado de consolidación, de naturaleza permeable claramente.

Tramos de baja permeabilidad

Las formaciones correspondientes a las series volcano-sedimentarias del mesozoico se han incluido en este grupo debido a la presencia mayoritaria de basaltos y lavas, en los cuales se intercalan niveles de calizas y areniscas. En su conjunto, se considera su transmisividad muy baja. Se incluyen las formaciones Ki2m y J3i.

Tramos de muy baja permeabilidad

En este grupo se incluyen las formaciones del cretácico (Kiag), triásico (TrJg) y del carbonífero-pérmico (Cpg), todos ellos de naturaleza intrusiva granitoide. La permeabilidad de estos materiales es de carácter secundario por fisuración y, en ocasiones, por meteorización, conformando en este último caso niveles arcósicos que pueden presentar una permeabilidad algo más elevada.

9.3.2.3. GEOMETRIA

El acuífero definido está formado por el conjunto de las formaciones de carácter predominantemente detrítico, correspondientes a materiales del cuaternario, pleistoceno y plioceno. Estas formaciones se superponen en contacto una con otra definiendo un gran tramo que en conjunto se considera hidrogeológicamente homogéneo. A nivel local, la gran variedad de litologías y cambios laterales puede originar la existencia de ciertas áreas no conectadas hidráulicamente, aunque en las piezometrías existentes en trabajos anteriores se observa una distribución coherente de la misma a lo largo de todo el acuífero.

Los límites del mismo vienen marcados de la siguiente forma:

Norte; al norte las formaciones graníticas son las que determinan el límite impermeable (formación Cpg).

Sur: forman los límites la formación granítica anterior en su mayor parte, y los materiales jurásicos volcano-sedimentarios de la formación J3i en menor cuantía.

Oeste: igualmente la formación granitoide Cpg sigue marcando mayoritariamente los límites en esta parte del acuífero, junto con un afloramiento menor del triásico (TrJg) de la misma naturaleza.

Este: en esta parte del acuífero son numerosas las formaciones que cierran el mismo, desde los granitos (formaciones Kiag y Cpg) hasta las formaciones volcano-sedimentarias del jurásico y cretácico (Ki2m y J3i). No obstante, el acuífero se prolonga fuera del área de estudio en los materiales del cuaternario que afloran en dicha dirección.

Durante la realización del presente estudio se han realizado una serie de perfiles gravimétricos y geoelectrónicos cuyos resultados delimitan la geometría del acuífero con bastante precisión.

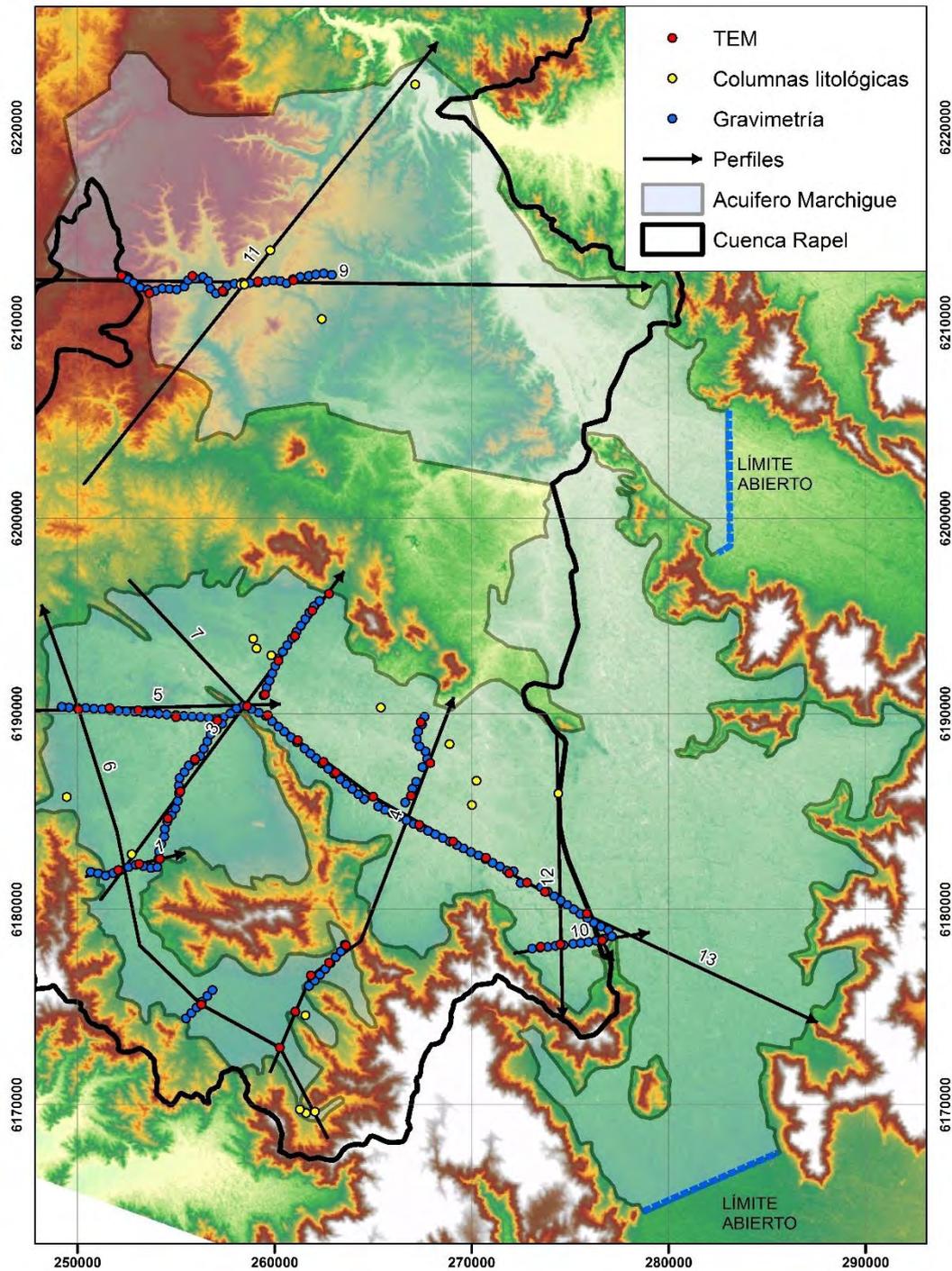


Figura 66. Perfiles elaborados en el acuífero Detrítico de Marchihue.

En la parte norte, en base al perfil 9, se observa que el acuífero está formado en esta área por la formación piroclástica del Pleistoceno, con una profundidad máxima en torno a los 450 m., adelgazándose dicha formación en dirección este hasta aflorar el basamento granítico.

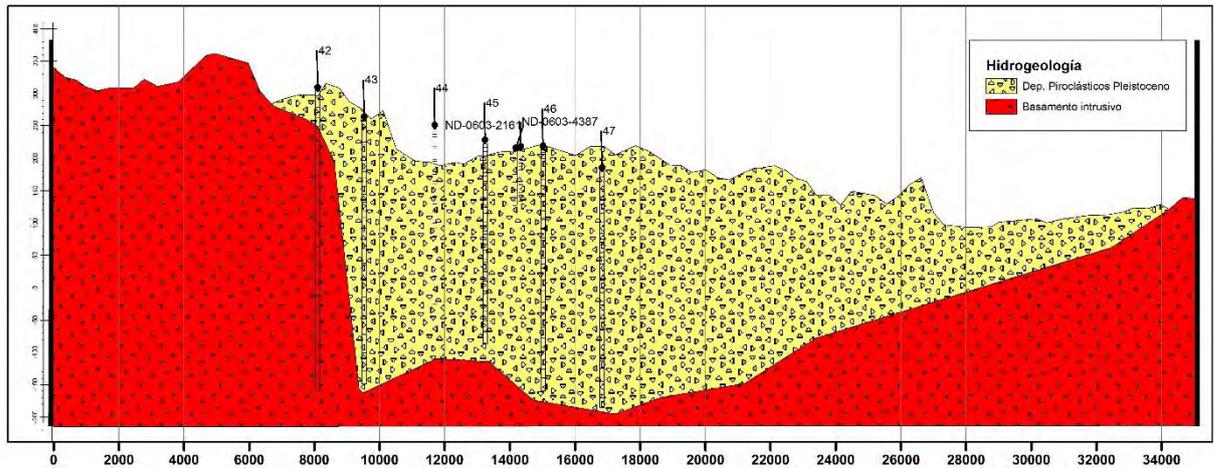


Figura 67. Perfil 9. Acuífero Detrítico de Marchihue, sector norte.

En la parte sur del acuífero, y en base a los numerosos perfiles realizados, se configura claramente la geometría del acuífero. En sentido sur-norte aparece primero la serie detrítica del plioceno sobre el basamento granítico, y posteriormente esta serie se encuentra infrayacente sobre la serie cuaternaria también detrítica. (Fig. 70).

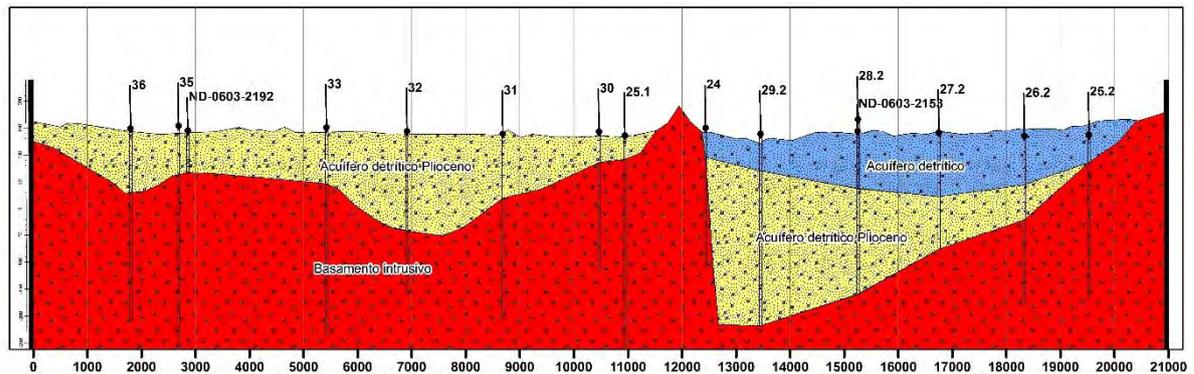


Figura 68. Perfil 3. Acuífero Detrítico de Marchihue, sector sureste.

Más hacia el este de la parte sur del acuífero, aparece como basamento la formación jurásica J3i, identificada como la formación Nacientes de Bio-Bio, la cual se apoya sobre el basamento granítico. Esta formación contiene niveles detríticos y calizos, aunque en su mayor parte está constituida por niveles lutíticos y volcánicos que le confieren una baja permeabilidad, por lo que a todos los efectos se ha considerado con el impermeable de base en este sector (Fig. 71).

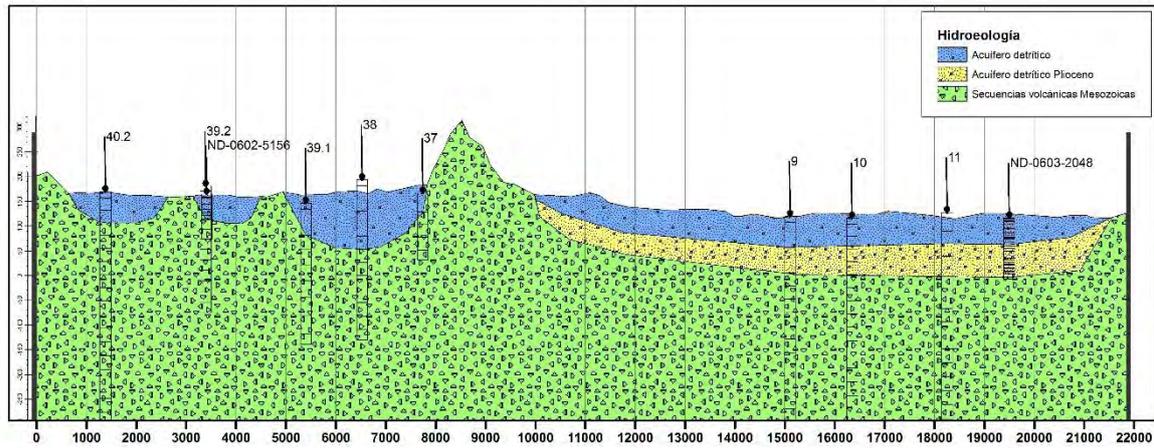


Figura 69. Perfil 4. Acuífero Detrítico de Marchihue, sector centro sur.

En el perfil 7 se identifica claramente la constitución del acuífero en este sector, formado por el plioceno y cuaternario, y el basamento formado por la serie jurásica y paleozoica.

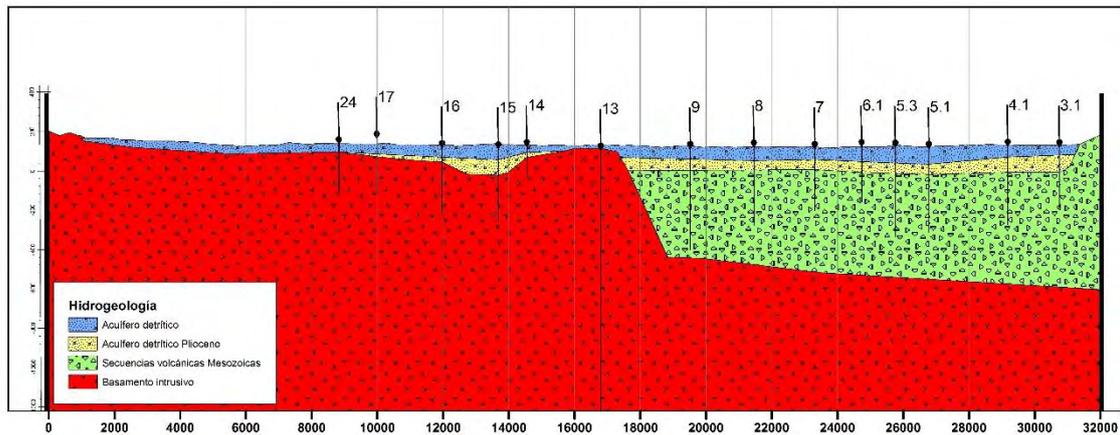


Figura 70. Perfil 7. Acuífero Detrítico de Marchihue, sector centro sur.

Respecto a la geometría de la base impermeable del acuífero, viene condicionada por el contacto de las series pliocenas y cuaternarias sobre el basamento, o bien jurásico, o bien paleozoico. Atendiendo a la profundidad de dicho basamento (Fig. 73), reconstruida con los datos de geofísica, el acuífero muestra sus máximos espesores en la parte norte, con una media de 220 m. y máximo de 420 m., mientras que en la parte sur el espesor medio es de 100 m. y máximo de 300 m.

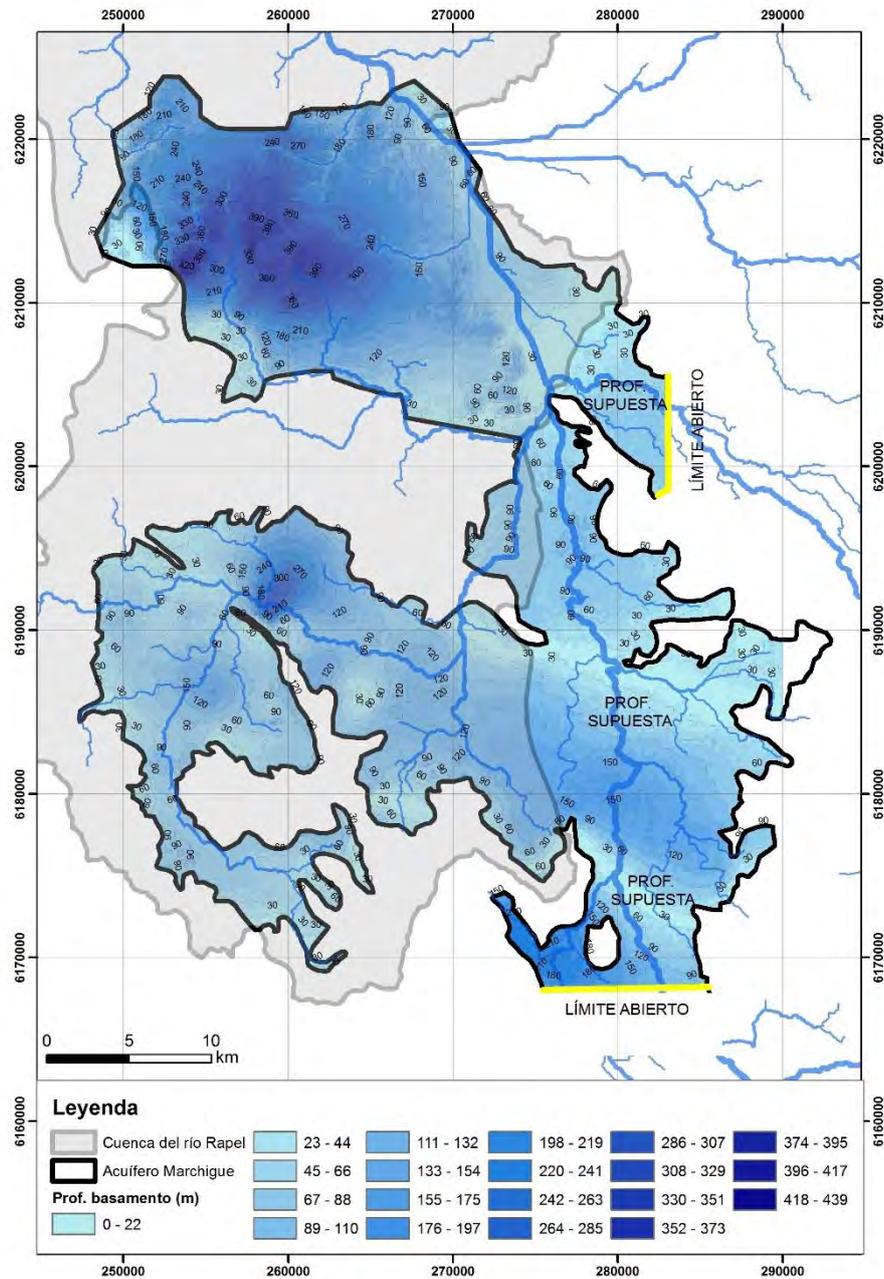


Figura 73. Profundidad del basamento del acuífero Marchihue.

9.3.2.4. PARAMETROS ELÁSTICOS

Para la valoración de los parámetros elásticos se cuenta, como datos, directos, con la interpretación de dos ensayos de bombeo cuyos datos originales corresponden a los recogidos de los expedientes de la DGA.

El primero de ellos corresponde al pozo inventariado con número 0602-3226. Los datos de descenso y tiempo son:

Tabla 45. Aforo en expediente ND-0602-3223

Tiempo (min)	Prof. (m)	Descenso (m)	Q (l/s)
0	5,10	0	4,2
1	8,30	3,2	4,2
2	8,67	3,57	4,2
3	8,99	3,89	4,2
4	9,22	4,12	4,2
5	9,45	4,35	4,2
6	9,50	4,4	4,2
7	9,52	4,42	4,2
8	9,53	4,43	4,2
9	9,53	4,43	4,2
10	9,53	4,43	4,2
15	9,53	4,43	4,2
20	9,53	4,43	4,2
25	9,53	4,43	4,2
30	9,53	4,43	4,2
35	9,53	4,43	4,2
40	9,53	4,43	4,2
45	9,53	4,43	4,2
50	9,53	4,43	4,2
55	9,53	4,43	4,2
60	9,53	4,43	4,2
70	9,53	4,43	4,2
80	9,53	4,43	4,2
90	9,53	4,43	4,2
100	9,53	4,43	4,2
110	9,53	4,43	4,2
120	9,53	4,43	4,2
130	9,53	4,43	4,2
140	9,53	4,43	4,2
150	9,53	4,43	4,2
160	9,53	4,43	4,2
170	9,53	4,43	4,2
180	9,53	4,43	4,2
210	9,53	4,43	4,2
240	9,53	4,43	4,2
270	9,53	4,43	4,2
300	9,53	4,43	4,2
330	9,53	4,43	4,2
360	9,53	4,43	4,2
390	9,53	4,43	4,2
420	9,53	4,43	4,2
480	9,53	4,43	4,2
540	9,53	4,43	4,2
600	9,53	4,43	4,2
660	9,53	4,43	4,2
720	9,53	4,43	4,2
780	9,53	4,43	4,2
840	9,53	4,43	4,2
900	9,53	4,43	4,2
960	9,53	4,43	4,2
1020	9,53	4,43	4,2
1080	9,53	4,43	4,2
1140	9,53	4,43	4,2
1200	9,53	4,43	4,2

Tabla 45. Aforo en expediente ND-0602-3223

Tiempo (min)	Prof. (m)	Descenso (m)	Q (l/s)
1260	9,53	4,43	4,2
1320	9,53	4,43	4,2
1380	9,53	4,43	4,2
1440	9,53	4,43	4,2
1441	9,53	4,43	4,2
1442	9,00	3,9	0
1443	8,75	3,65	0
1444	8,46	3,36	0
1445	8,12	3,02	0
1446	7,65	2,55	0
1447	7,33	2,23	0
1448	7,09	1,99	0
1449	6,69	1,59	0
1450	6,45	1,35	0
1455	6,06	0,96	0
1460	5,40	0,3	0
1465	5,14	0,04	0
1470	5,12	0,02	0
1475	5,12	0,02	0

La curva ajustada es la siguiente:

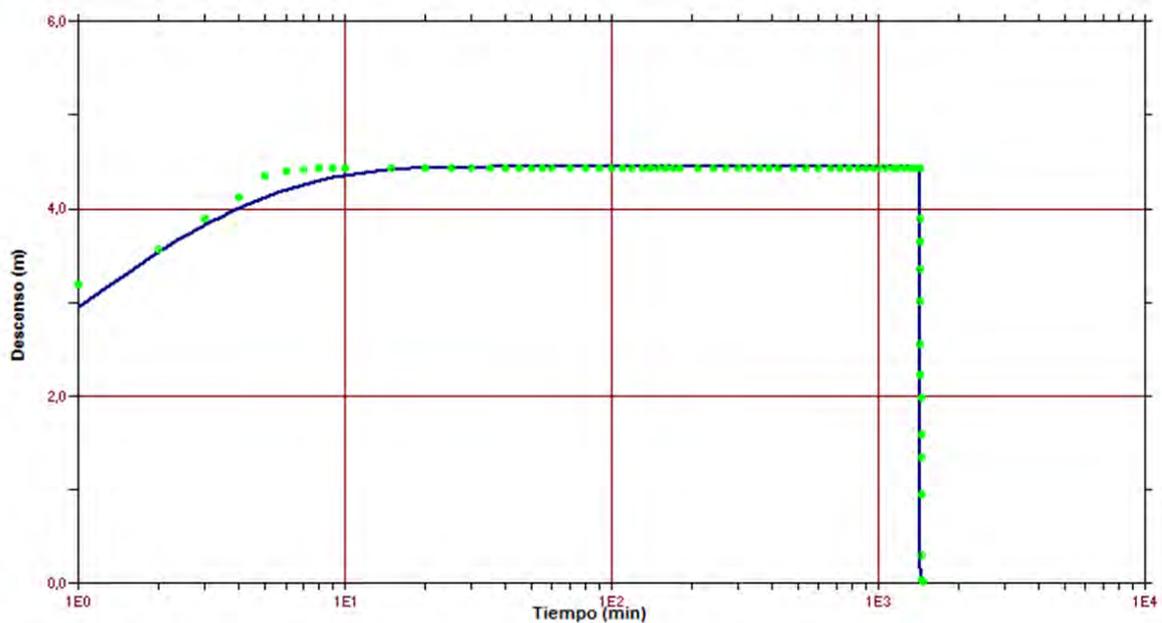


Figura 71. Ajuste de la curva obtenida en el aforo del expediente ND-0602-3223.

Los valores obtenidos para dicha curva son:

Tabla 46. Resultados obtenidos aforo expediente ND-0602-3223

Transmisividad m ² /día	Coefficiente de Almacenamiento (S)
26	0.01

El segundo ensayo de bombeo interpretado corresponde al pozo con número 0603-2254, siendo los datos de descensos y tiempo los siguientes:

Tabla 47. Segundo aforo expediente ND-0602-3223

Tiempo (min)	Prof. (m)	Descenso (m)	Q (l/s)
0	3.00	0	6
1	8.45	5.45	6
2	9.23	6.23	6
3	9.98	6.98	6
4	10.38	7.38	6
5	10.79	7.79	6
6	11.06	8.06	6
7	11.59	8.59	6
8	11.85	8.85	6
9	12.12	9.12	6
10	12.45	9.45	6
15	12.60	9.6	6
20	12.77	9.77	6
25	12.89	9.89	6
30	13.00	10	6
35	13.34	10.34	6
40	13.44	10.44	6
45	13.53	10.53	6
50	13.64	10.64	6
55	13.72	10.72	6
60	13.84	10.84	6
70	13.97	10.97	6
80	14.12	11.12	6
90	14.20	11.2	6
100	14.29	11.29	6
110	14.37	11.37	6
120	14.46	11.46	6
130	14.52	11.52	6
140	14.60	11.6	6
150	14.65	11.65	6
160	14.67	11.67	6
170	14.70	11.7	6
180	14.72	11.72	6
210	14.75	11.75	6
240	14.77	11.77	6
270	14.79	11.79	6
300	14.82	11.82	6
330	14.83	11.83	6
360	14.84	11.84	6
390	14.84	11.84	6
420	14.84	11.84	6
480	14.84	11.84	6
540	14.84	11.84	6
600	14.84	11.84	6
660	14.84	11.84	6

Tabla 47. Segundo aforo expediente ND-0602-3223

Tiempo (min)	Prof. (m)	Descenso (m)	Q (l/s)
720	14.84	11.84	6
780	14.84	11.84	6
840	14.84	11.84	6
900	14.84	11.84	6
960	14.84	11.84	6
1020	14.84	11.84	6
1080	14.84	11.84	6
1140	14.84	11.84	6
1200	14.84	11.84	6
1260	14.84	11.84	6
1320	14.84	11.84	6
1380	14.84	11.84	6

La curva interpretada es la siguiente:

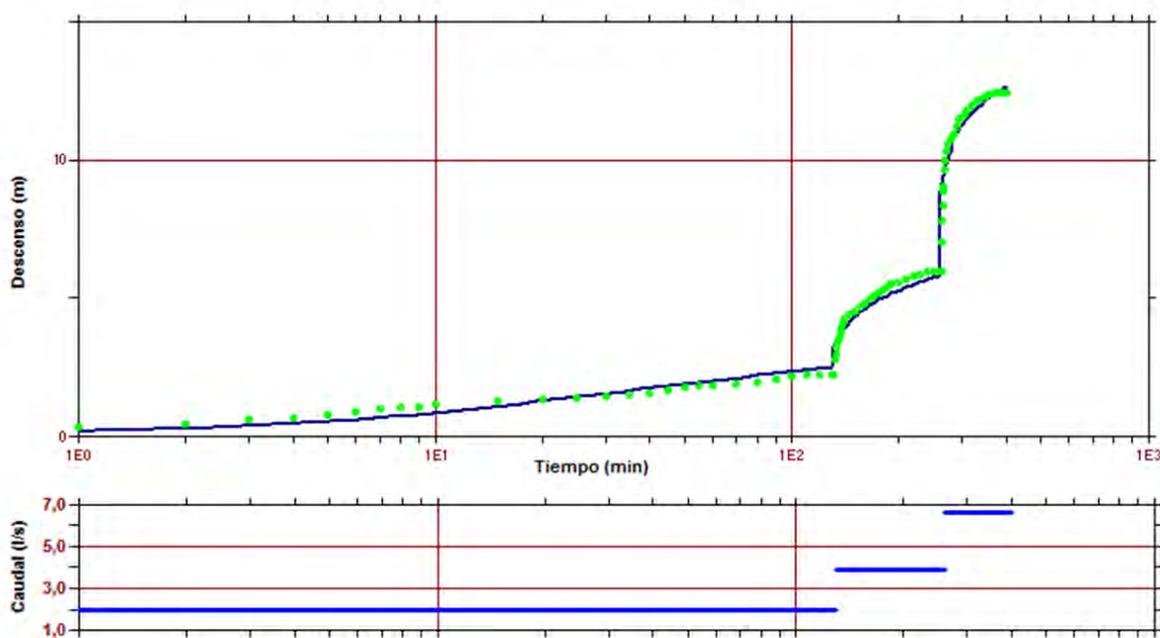


Figura 72. Ajuste de la curva obtenida en el segundo aforo del expediente ND-0602-3223.

Los parámetros obtenidos son:

Tabla 48. Resultados obtenidos segundo aforo expediente ND-0602-3223

Transmisividad m ² /día	Coefficiente de Almacenamiento (S)
40	0.005

Los valores obtenidos son coherentes con las formaciones donde se ubican los pozos ensayados. El primero se ubica sobre la formación cuaternaria y el segundo en la

pliocena, ambos en la parte sur del acuífero. Por la naturaleza de dichas formaciones cabe esperar una variabilidad frente a los valores obtenidos relativamente amplia, ya que se trata de alternancias de niveles de arenas, conglomerados o arcillas.

Respecto a valores recabados de los antecedentes, en el trabajo "Diagnostico potencial hídrico acuíferos costero región VI" se recogen los siguientes valores de transmisividad, permeabilidad y coeficiente de almacenamiento:

Tabla 49. Valores obtenidos en "Diagnostico potencial hídrico acuíferos costeros región VI"

Pozo	Comuna	Cuenca	Sector	Transmis. m ² /d	Permeabilidad m/d
30	Navidad	Rapel	La Pataguilla	61,1	8,4
208	Navidad	Rapel	San Vicente	7,3	2,5
95	Litueche	Topocalma	Paso del Soldado	46,2	29,4
105	Litueche	Topocalma	Cartagena	17,1	12,3
201	Lolol	Nilahue	Est. Lolol	13,8	3,9
156	Lolol	Nilahue	Ranguilli	12,5	3,3
126	Paredones	Nilahue	El Potrero	30,7	17,5
417	Lolol	Nilahue	Ranguil	46,8	0,8
552	Lolol	Nilahue	Est. Quiahue	170	2,4

Permeabilidad y Coeficiente de Almacenamiento			
Cuenca	Sector	K m/d	S %
Rapel	Pueblo Litueche (Form. Navidad)	3	3
	Pueblo Rapel (Form. Navidad)	13	5
	Río Rapel (puente)	60	12
	Est. Rapel (puente)	50	10
	Est. Licancheu (salida)	55	10
	Río Rapel sector Licancheu	65	15
Topocalma	Sector Norte Hda. Topocalma	30	15
	Sector Centro Hda. Topocalma	25	15
	Sector Sur Hda. Topocalma	30	15
	Hda. Topocalma en La Junta	20	12
	Desembocadura	30	15
Nilahue	Junta Quillayes-Nilahue	40	10
	La Palmilla	60	15
	Pumanque (Qfi)	3	3
	La Palma (E. Lolol)	60	10
	La Palma (Qfi)	5	5
	Portezuelo (Lolol)	65	12
	Portezuelo (Qfi)	8	5
	E. Quiahue (Rinconada)	55	10
	E. Quiahue (Qfi)	3	3
Est. Ranguilli	35	8	

Los valores obtenidos en la interpretación de los ensayos de bombeo se encuentran dentro del rango de los mencionados en antecedentes, por lo que cabe considerar que son representativos.

9.3.2.5. PIEZOMETRIA

Cabe diferenciar dos sectores bien diferenciados en este acuífero; el norte y el sur, separados por una zona estrecha de las formaciones permeables.

El sector norte presenta una dirección de flujo marcada NW-SE con un gradiente hidráulico medio del 0,006. Las cotas piezométricas oscilan entre los 300 metros y los 130 m.s.n.m. en la parte sureste. En la parte central de este sector se observa un mínimo piezométrico o cono de bombeos de unos 3,6 km de radio debido a la alta concentración de explotaciones en dicha zona.

Para el sector sur, el esquema de flujo no es tan marcado como en el norte, observándose un patrón más afectado por los bombeos existentes. En la zona sur de este sector las direcciones de flujo son marcadamente SW-NW, pero más al norte estas direcciones se distorsionan debido al efecto mencionado de los bombeos. Así, se observan varios mínimos piezométricos coincidentes con la mayor concentración de captaciones. Las cotas piezométricas van desde los 240 a los 120 m.s.n.m, y el gradiente hidráulico es muy variable; del 0,003 en la parte sur, al 0,01 en la parte norte.

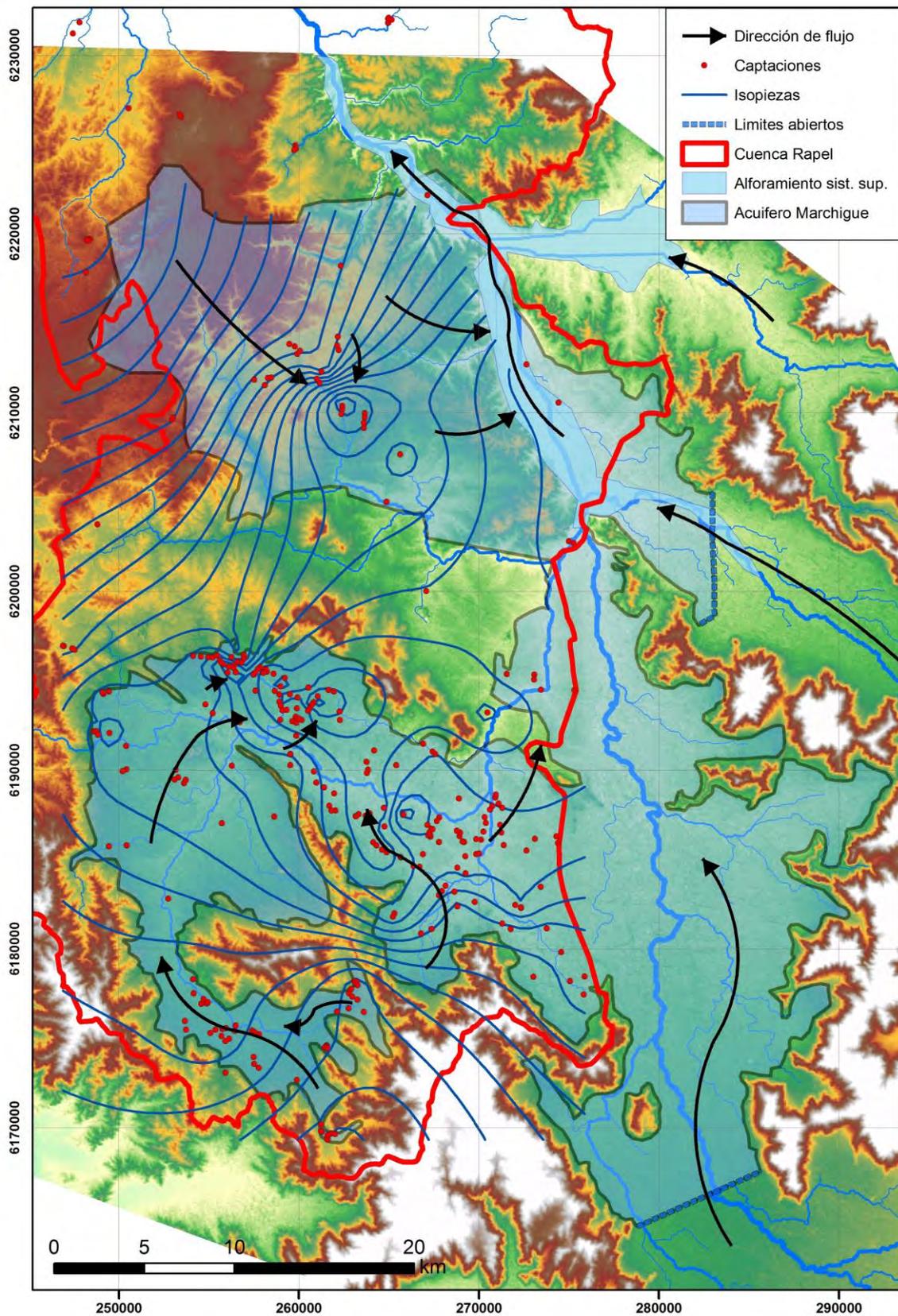


Figura 73. Piezometría del Acuífero Detrítico de Marchihue.

9.3.2.6. BALANCE

Las entradas laterales computadas en este acuífero corresponden a los dos límites abiertos situados al este del mismo. Los valores asignados se han estimado de forma que el balance sea coherente teniendo en cuenta los valores de entradas y salidas correspondientes al sector estudiado. Igualmente se han computado afloramientos al Embalse de Rapel y Río Rapel a la salida del sistema. El total de salidas se distribuye entre bombeos y afloramientos.

Tabla 50. Balance hídrico acuífero Marchihue

ACUIFERO MARCHIHUE	l/s
Entradas laterales	2.513,56
Infiltración Subsuperficial	259,28
Infiltración cauce	0,00
Infiltración Directa	308,92
Infiltración Retorno de Riego	2.513,55
Salidas por Bombeos	12.051,66
Salidas laterales	0,00
Afloramientos	51,54
Salidas al Mar	0,00

9.3.3. CUATERNARIO COSTERO DE PICHILEMU

El acuífero así denominado en el presente estudio se ubica en la zona costera de la población de Pichilemu, en concreto al norte de la misma, desde la población de los Ranchones hasta el norte de la anterior. Su longitud es de 10.8 km de norte a sur y su área de 37 km². Es un acuífero simple formado por materiales cuaternarios dispuestos en la franja costera y suprayacentes a formaciones de pizarras y fillitas.

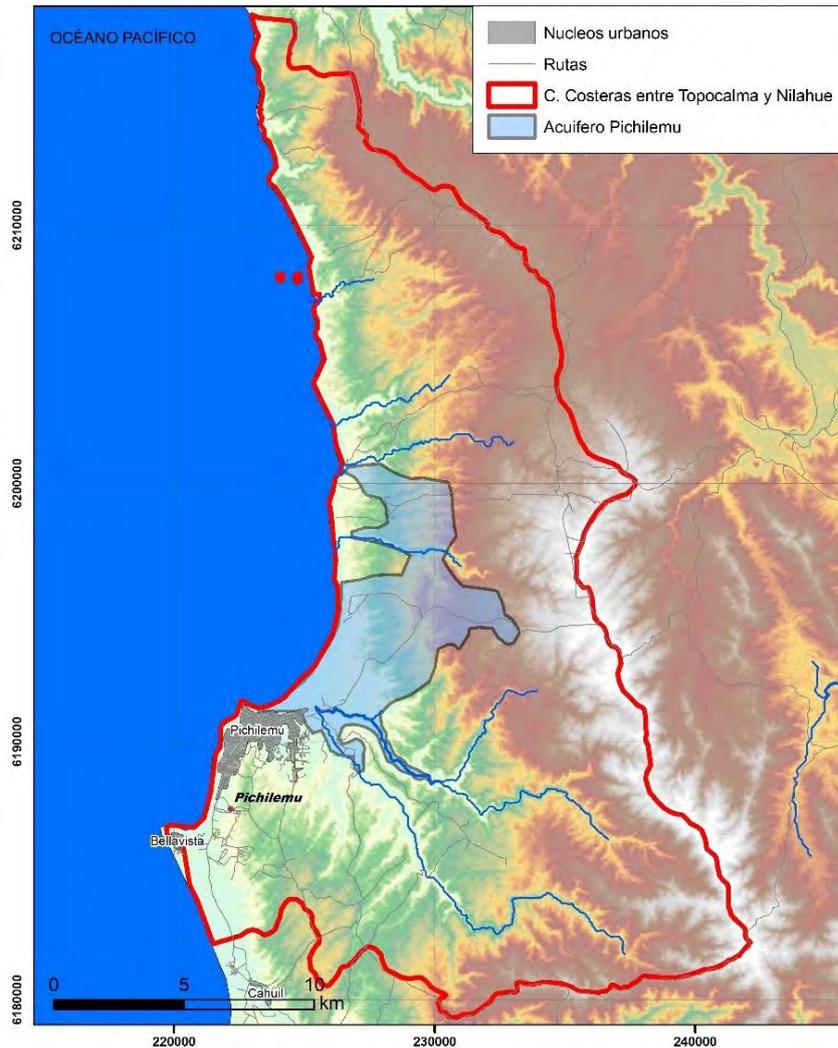


Figura 74. Situación geográfica del Acuífero Cuaternario de Pichilemu.

9.3.3.1. GEOLOGIA

Geológicamente corresponde a la formación cuaternaria Q1, constituida por sedimentos aluviales y de relleno, con litologías de gravas, conglomerados, arenas y limos. Esta formación se dispone sobre materiales filíticos y de pizarras pertenecientes a la unidad Pz4b. Los materiales cuaternarios rellenan un paleorelieve del paleozoico, posiblemente controlado por el sistema de fracturación existente de direcciones E-W y NW-SE.

9.3.3.2. FORMACIONES PERMEABLES

En función de su permeabilidad, los tramos en este acuífero son:

Tramos Permeables

La única formación permeable es la correspondiente al Q1, con litologías de gravas, conglomerados, arenas y limos. Con valores muy variables, en conjunto es un tramo

muy permeable. Su espesor se desconoce, aunque debe de no ser muy profundo por la escasa área y morfología que presenta el afloramiento.

Tramos de muy baja permeabilidad

En este grupo se presenta la formación de pizarras y filitas Pz4b, cuya permeabilidad primaria es nula, y debido a la fisuración y fracturación, puede presentar una permeabilidad secundaria muy baja.

9.3.3.3. GEOMETRIA

La geometría del acuífero corresponde a una monocapa de espesores irregulares dispuesta de forma longitudinal a la línea de costa.

Los límites vienen definidos por los contactos con las pizarras y filitas que rodean por completo a la formación, siendo su impermeable de base igualmente. Dichos contactos pueden ser de carácter estructural por el sistema de fracturación existente en la formación paleozoica.

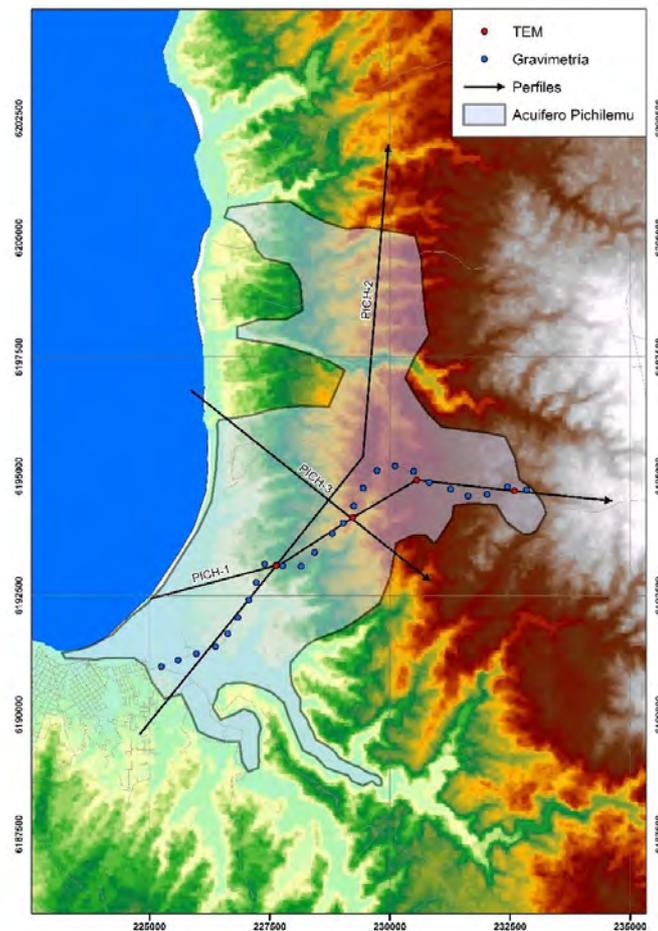


Figura 75. Perfiles de geofísica realizados en el acuífero Cuaternario de Pichilemu.

La profundidad del basamento oscila entre los 25 y 100 m., aunque los valores medios se sitúan en los 50 metros. Las máximas profundidades se localizan en las zonas de cauces correspondiendo a la erosión fluvial sobre el basamento antes de su relleno.

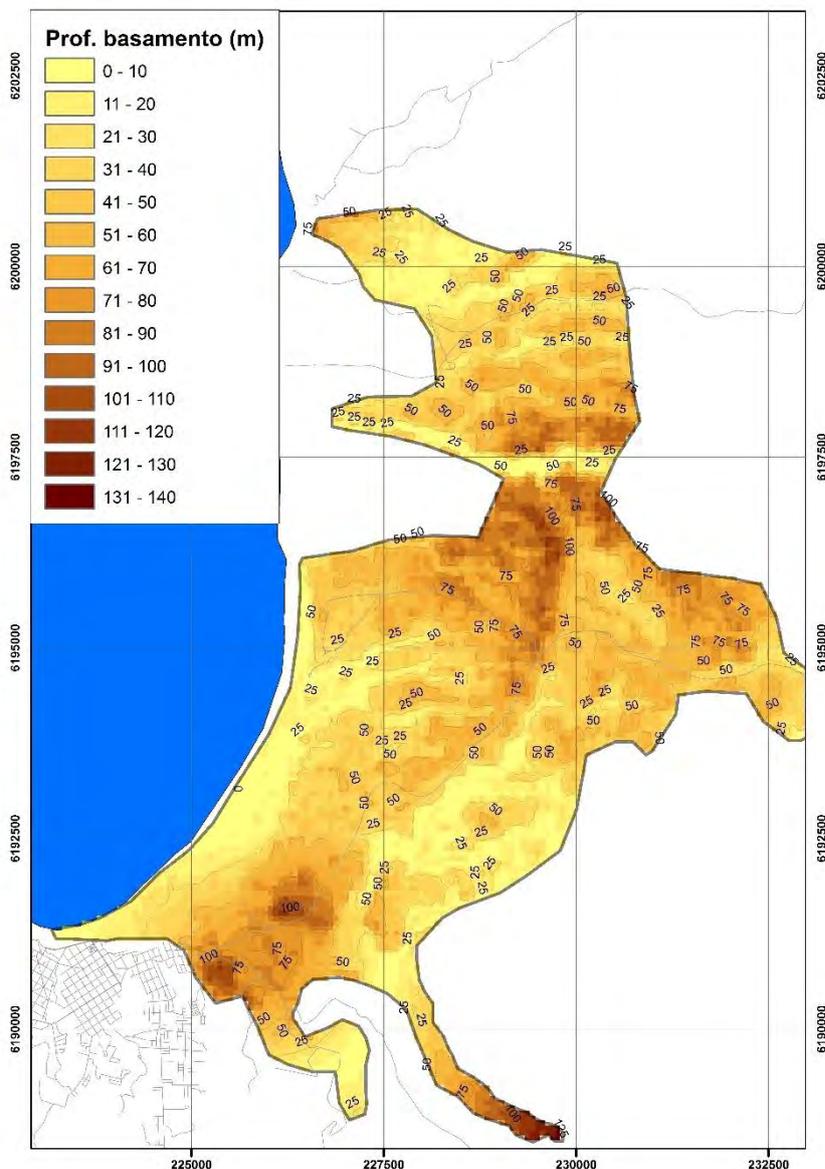


Figura 76. Profundidades del basamento acuífero Cuaternario de Pichilemu.

Respecto a la formación cuaternaria, se dispone sobre los materiales metamórficos de forma muy variable. De acuerdo a los resultados obtenidos en los perfiles de geofísica el espesor es muy variable, presentando valores medios del orden de 30 metros, con un máximo de 100 metros en el relleno aluvial de la desembocadura del río, tal y como se aprecia en los perfiles adjuntos.

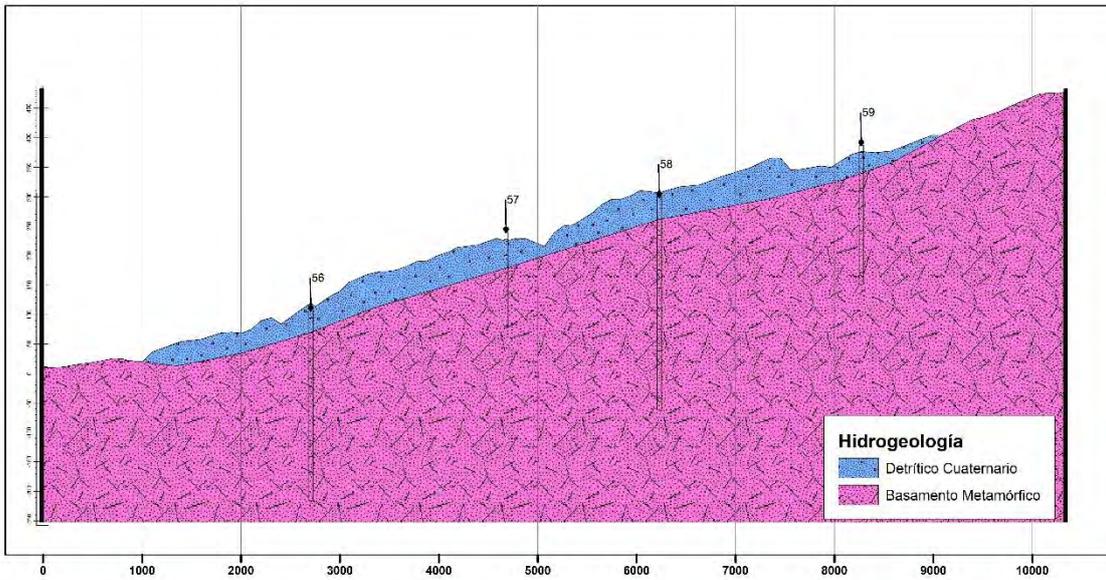


Figura 77. Perfil n° 1 acuífero Cuaternario de Pichilemu.

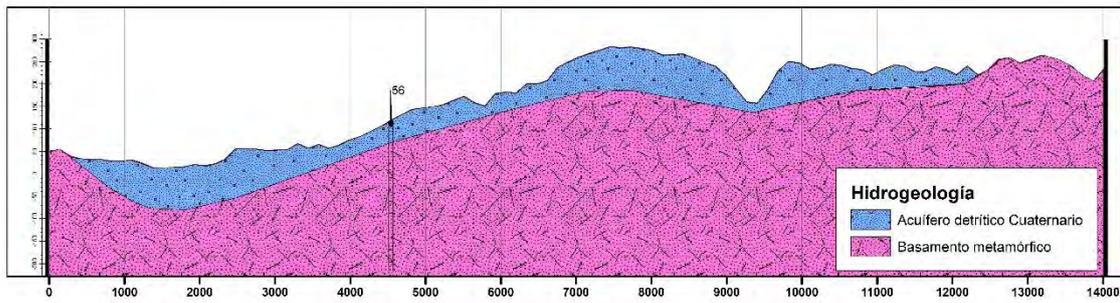


Figura 78. Perfil n° 2 acuífero Cuaternario de Pichilemu.

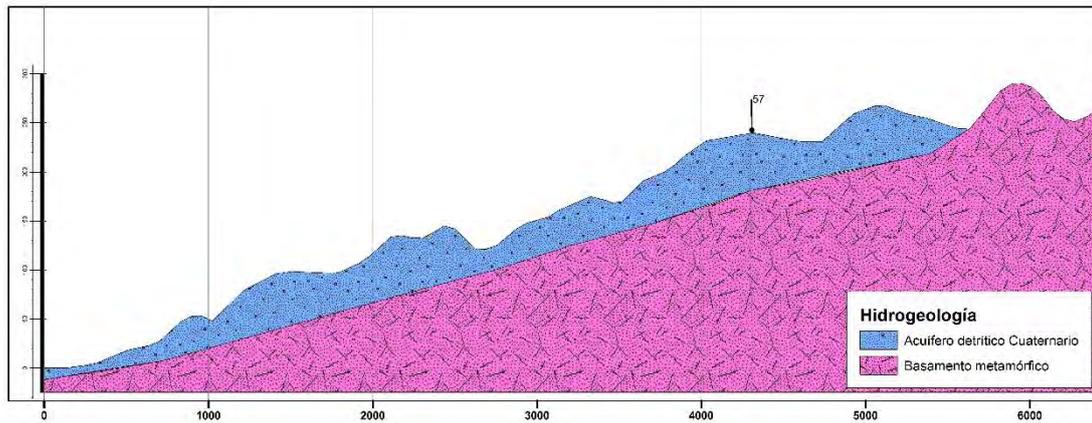


Figura 79. Perfil n° 3 acuífero Cuaternario de Pichilemu.

9.3.3.4. PARAMETROS ELÁSTICOS

No se dispone de datos relativos a ensayos de bombeo en los expedientes recopilados, por lo que resulta imposible realizar una interpretación de los mismos por ajustes de curvas.

Respecto a los valores mencionados en antecedentes, cabe mencionar para estas cuencas los valores recogidos en el estudio "Diagnóstico potencial hídrico acuíferos costero región VI" (ver Tabla 49).

9.3.3.5. PIEZOMETRIA

No se dispone de datos de expedientes o del catastro para el análisis y representación de la piezometría de este acuífero.

Como distribución conceptual, cabe considerar que las direcciones de flujo se orientan hacia el SW, drenando los flujos hacia el estero donde limita el acuífero. La parte norte del acuífero se haya desconectada de la costa al tratarse de niveles cuaternarios aislados sobre las formaciones inferiores, por lo que a nivel local, y en función de la geometría irregular del basamento, cabría esperar pequeñas surgencias o rezumes en el escarpe que separa esta formación de la costa.

9.3.3.6. BALANCE

En el balance de este acuífero se han considerado como entradas las correspondientes a la infiltración directa, infiltración subsuperficial procedente del basamento y retorno de riego. Como salidas se computan las salidas por bombeo al 100 %, afloramientos al estero situado al sur, donde el acuífero entra en contacto con el aluvial del río, y salidas a la mar.

Tabla 51. Balance hídrico acuífero Costero Pichilemu

ACUIFERO PICHILEMU	l/s
Entradas laterales	-
Infiltración Subsuperficial	7,28
Infiltración cauce	-
Infiltración Directa	1,01
Infiltración Retorno de Riego	14,65
Salidas por Bombeos	7,23
Salidas laterales	-
Afloramientos	10,13
Salidas al Mar	5,58

9.3.4. ESTERO PAREDONES

El acuífero así definido en el presente estudio se ubica en la localidad de Bucalemu, donde desemboca el estero Paredones cuyo aluvial forma dicho acuífero. Desde esta población, se extiende hacia el este a través de la localidad de Cabecera, y llega a sobrepasar la de Paredones en 2 km. La longitud total del acuífero de oeste a este es de 15,8 km, y su anchura oscila entre los pocos metros en los tramos más encajados del río, hasta los 3,6 km. máximos.

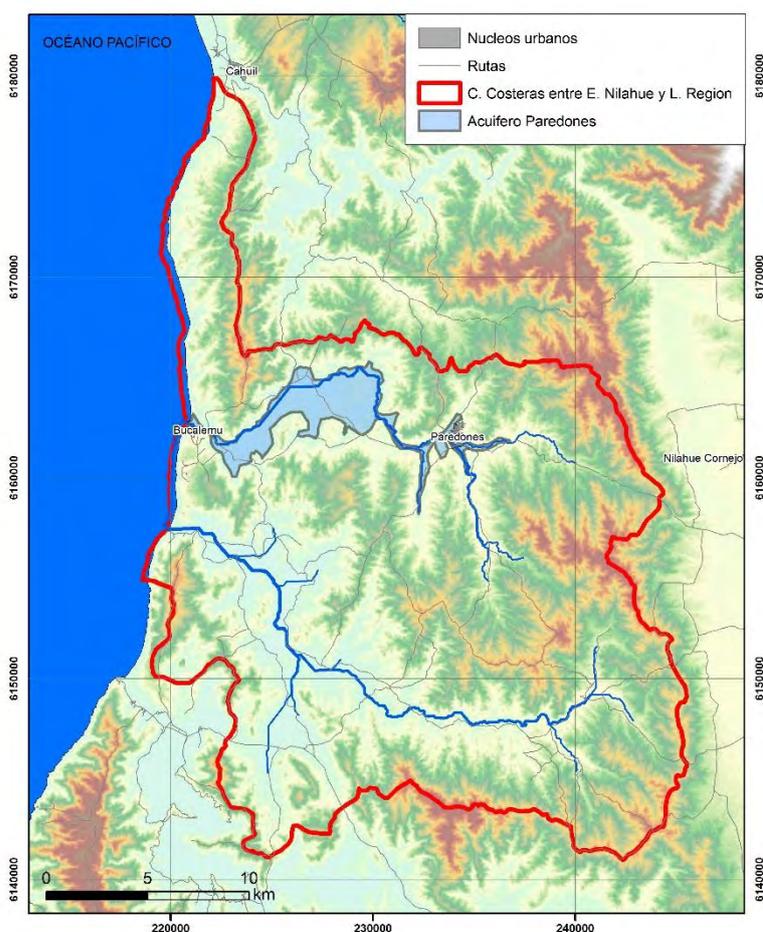


Figura 80. Situación geográfica del acuífero Estero de Paredones

9.3.4.1. GEOLOGIA

El aluvial del estero Paredones está constituido por sedimentos detríticos típicos de formaciones aluviales cuaternarias y formadas por arenas, limos y conglomerados dispuestos en cuerpos lenticulares. Estos sedimentos se disponen sobre materiales del paleozoico, en concreto sobre las formaciones denominadas Pz4a, Pz4b y CPg. Las dos primeras están formadas por esquistos, metabasitas, pizarras y filitas. La segunda formación está constituida por granitos y granodioritas.

9.3.4.2. FORMACIONES PERMEABLES

Tramos permeables

La única formación permeable a considerar es el aluvial del estero, formado por materiales detríticos. Dentro de la variabilidad de permeabilidades que cabe esperar en este tipo de formaciones, se consideran valores de medios a altos.

Tramos de baja y muy baja permeabilidad

Los tramos representados por las formaciones paleozoicas en su conjunto se consideran de muy baja permeabilidad, siendo de carácter secundaria por fisuración y diaclasado.

9.3.4.3. GEOMETRIA

Para la definición de la geometría del acuífero se cuenta con los perfiles de geofísica realizados en esta zona, tanto de gravimetría como los TEM, los cuales se detallan en la figura adjunta.

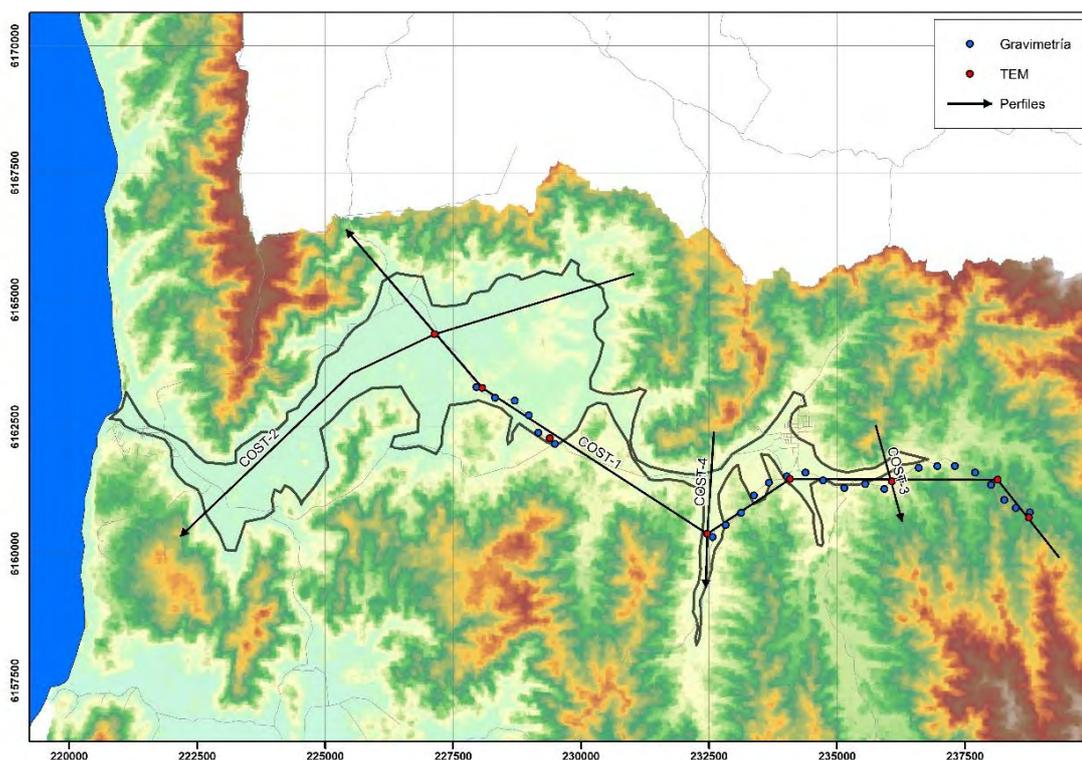


Figura 81. Perfiles de geofísica realizados en el acuífero Estero Paredones.

La profundidad del basamento máxima medida es de 90 metros coincidiendo con la zona central y más ancha de los aluviales del río. Hacia ambos extremos del acuífero dicha profundidad se reduce presentando profundidades de entre 10 y 30 metros.

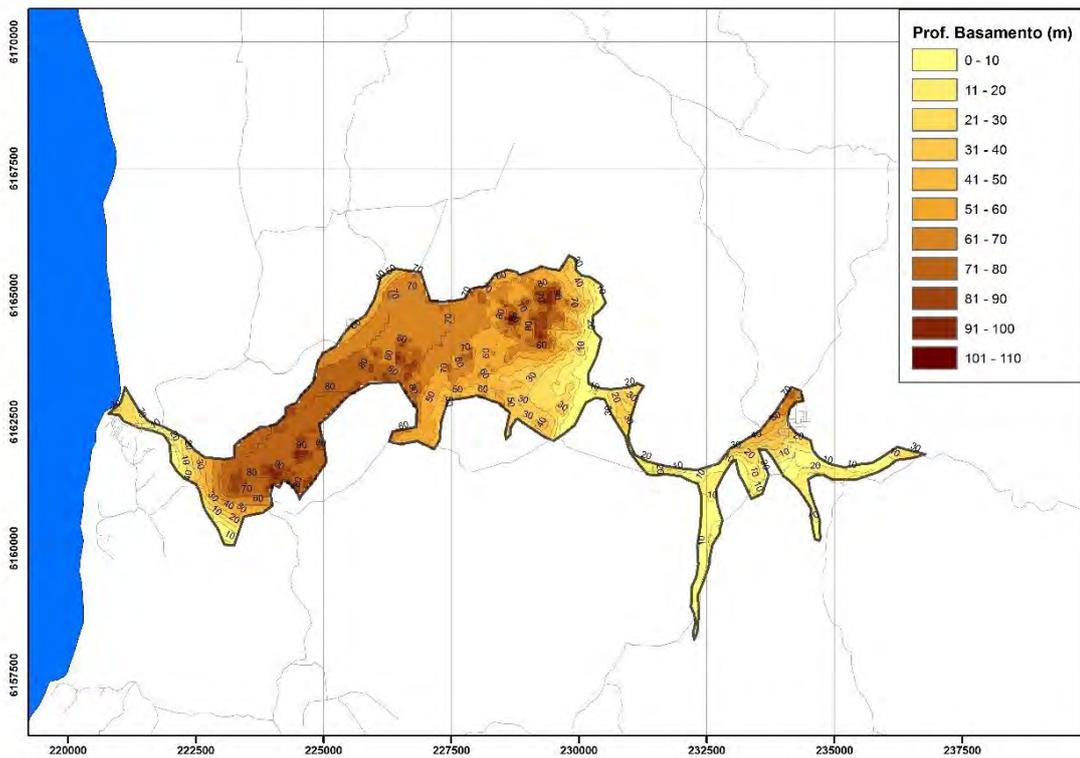


Figura 82. Profundidad del basamento.

Respecto a las cotas del mismo, la zona de mayor profundidad presenta valores negativos de -50 m.s.n.m., pasando a valores positivos en ambos extremos del estero. En el extremo este se dan las cotas de mayor altitud con valores de 100 m.

En cuanto a los espesores de la formación acuífera, de acuerdo a los perfiles obtenidos oscilan entre los pocos metros y un máximo de 100 metros en algún punto muy localizado.

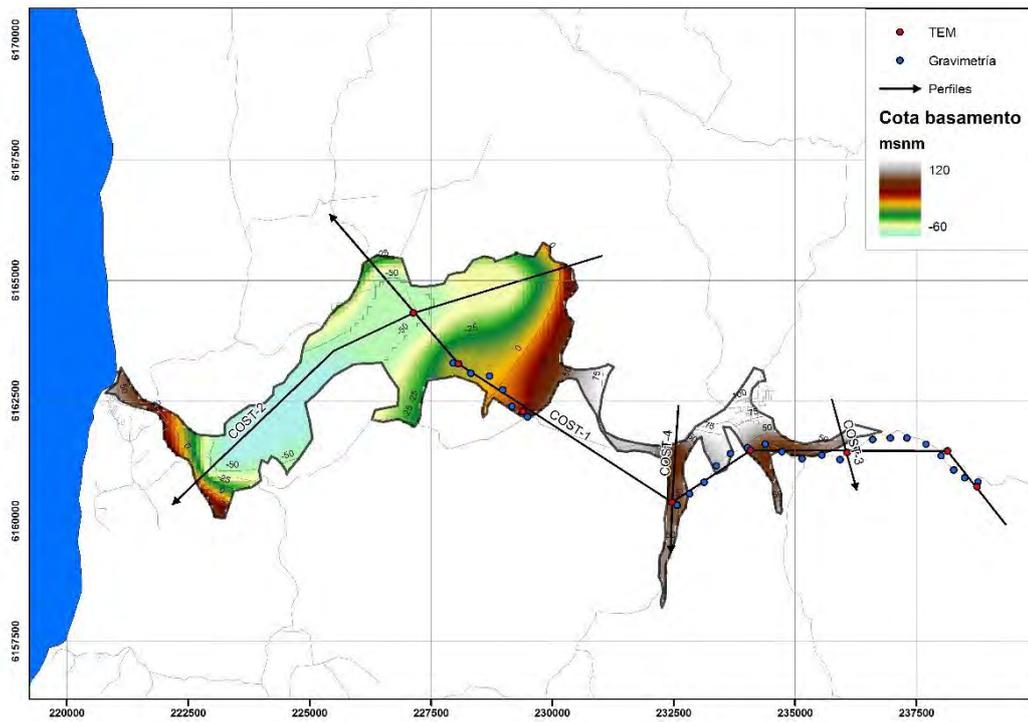


Figura 83. Cotas del basamento del acuífero Estero Paredones.

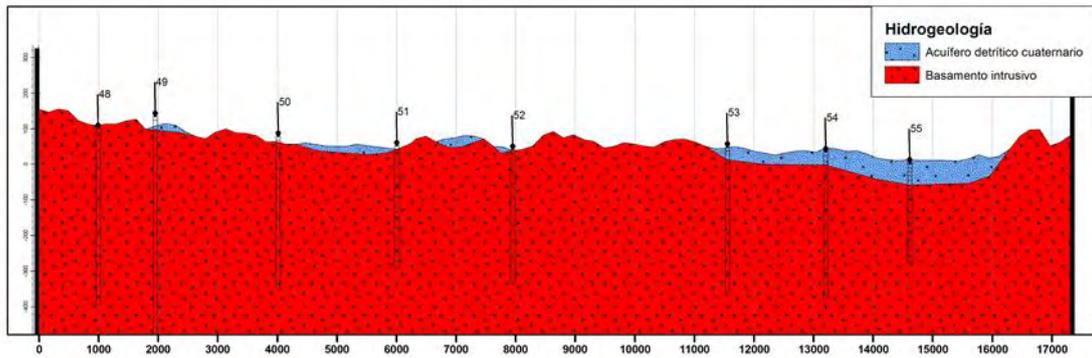


Figura 84. Perfil del acuífero Estero Paredones.

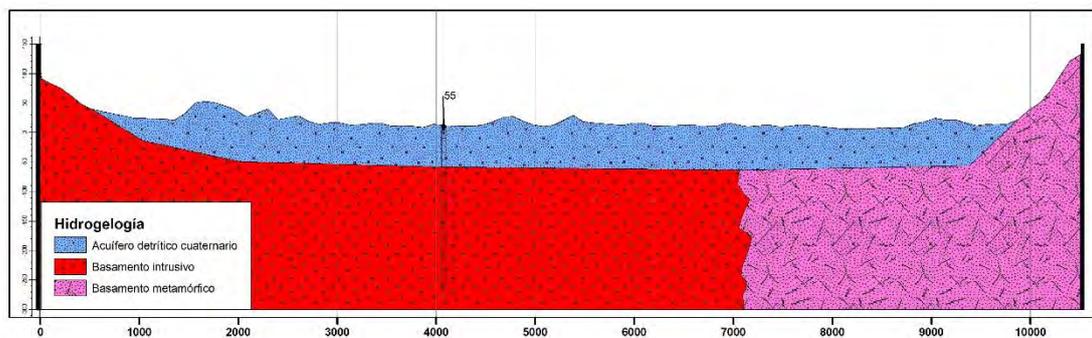


Figura 85. Perfil del acuífero Estero Paredones.

9.3.4.4. PARAMETROS ELASTICOS

No se dispone de datos aportados por expedientes que permitan valorar los parámetros hidráulicos de estos acuíferos con detalle.

De acuerdo a los antecedentes (Diagnóstico de recursos hídricos en secano interior y costero en VI a VIII Región), se aportan valores de gasto específico de 1,0 l/m/s. Respecto a los valores de transmisividades, dada la formación acuífera, cabe esperar valores muy variables entre 5 y 1000 m²/día. El caudal máximo de explotación alcanzado por los sondajes es 23 l/s con una profundidad de 22 m. La máxima profundidad habilitada en el sector es de 40 m sondaje para el cual se ha logrado un rendimiento de sólo 3 l/s. Igualmente en el mismo trabajo se determina un indicador hidrogeológico mostrado en la tabla adjunta. En el caso de Paredones, se aportan valores de gasto específico de 0,5 l/m/sg.

9.3.4.5. PIEZOMETRIA

El esquema piezométrico corresponde a un freático fluvial con isopiezas casi perpendiculares al cauce. Las cotas piezométricas oscilan entre un máximo de 64 a 0 m.s.n.m en la desembocadura del estero. La influencia de los bombeos es notoria, creando conos de depresión en las zonas de mayor concentración de pozos como el sector aluvial de más anchura.

El gradiente hidráulico es más pronunciado en la zona este del estero, con valores de 0,009, que en la parte media y costera, donde se dan valores de 0,003 y 0,002.

Se ha incorporado en el cálculo de la piezometría algún dato de pozos cercanos situados sobre el basamento, mostrándose así la conexión hidráulica del mismo con el aluvial, y poniendo de relieve que los niveles drenan hacia el aluvial y cauce del estero.

9.3.4.6. BALANCE

Las entradas en este acuífero corresponden a la infiltración directa, infiltración subsuperficial procedente del basamento en los límites del aluvial y retorno de riego. Las salidas constan de salidas al mar, que se computan por la sección de la desembocadura en la cual el aluvial conecta con el nivel base del mar y los bombeos.

Tabla 52. Balance hídrico acuífero Estero Paredones

ACUIFERO PAREDONES	l/s
Entradas laterales	-
Infiltración Subsuperficial	30,92

Tabla 52. Balance hídrico acuífero Estero Paredones

ACUIFERO PAREDONES	l/s
Infiltración cauce	6,84
Infiltración Directa	0,52
Infiltración Retorno de Riego	37,74
Salidas por Bombeos	155,74
Salidas laterales	-
Afloramientos	1,50
Salidas al Mar	23,13

9.4. REGION VII

9.4.1. COSTERO DUNAS DE PUTU

El acuífero definido como Cuaternario de Concepción se extiende en una franja costera desde el norte de la población de Constitución, en el río Maule, hasta Las Lomas. Longitudinalmente tiene una extensión de 27,12 km. Desde la costa se prolonga hacia el interior hasta las poblaciones de Junquillar, Putú y Chanquiuque. Cerca de esta última el acuífero limita y conecta con el correspondiente al río Huenchullami. Su extensión es de 126 km².

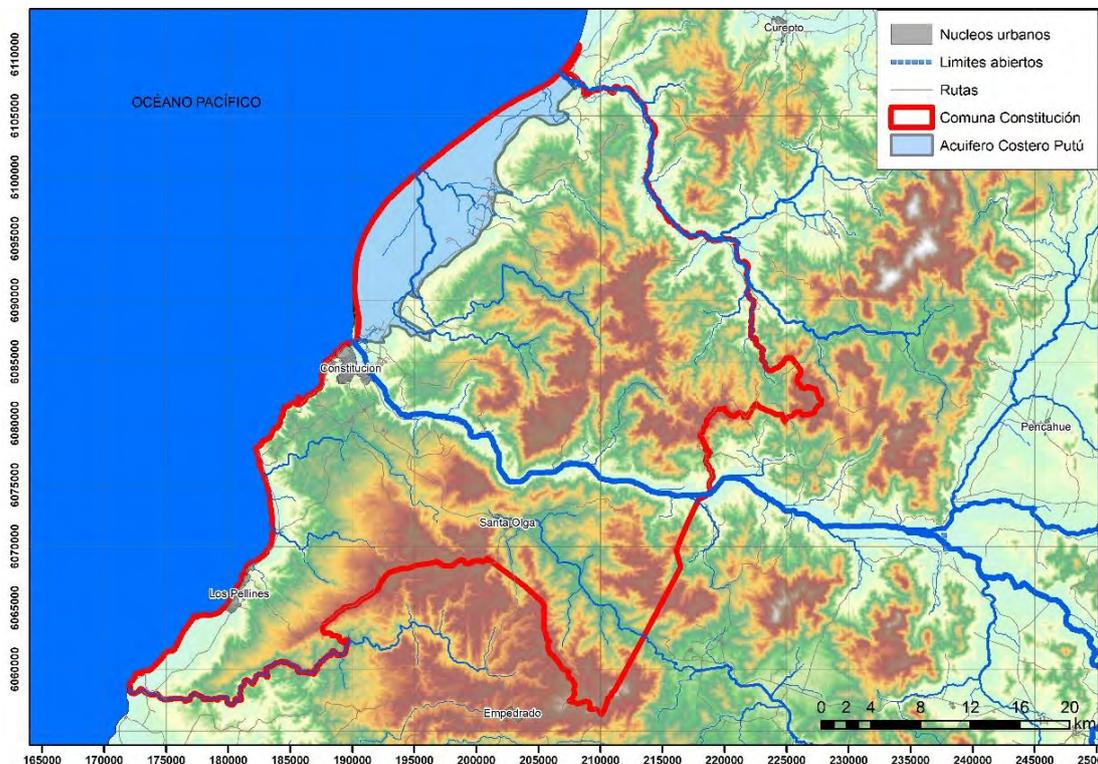


Figura 86. Situación geográfica del acuífero Costero Dunas de Putú.

9.4.1.1. GEOLOGIA

Geológicamente se trata de la zona costera donde afloran materiales cuaternarios rodeados de formaciones paleozoicas constituidas por pizarras, filitas, esquistos y metabasitas.

Los materiales cuaternarios corresponden a las formaciones Q1 y Qe. La primera se caracteriza por depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa; en menor proporción fluvioglaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados. Los segundos son depósitos eólicos: arenas finas a medias con intercalaciones bioclásticas en dunas y barjanes tanto activos como inactivos. Estos últimos forman la gran extensión dunar de Putú.

Los materiales paleozoicos están representados por las formaciones Pz4a y Pz4b. La primera está formada por esquistos muscovíticos y metabasitas, metachert y serpentinitas con metamorfismo de alto gradiente P/T. La segunda por pizarras, filitas y metaareniscas con metamorfismo de bajo gradiente P/T del Carbonífero temprano.

9.4.1.2. FORMACIONES PERMEABLES

Atendiendo a la permeabilidad de las formaciones presentes en el área, se distinguen:

Tramos de permeabilidad media-alta

Se incluyen en este grupo las dos formaciones cuaternarias mencionadas anteriormente (Q1 y Qe). Son de naturaleza detrítica y permeabilidad primaria.

Tramos de permeabilidad baja a muy baja

En este grupo se incluyen los materiales paleozoicos presentes en el área; las formaciones Pz4a y Pz4b. Su permeabilidad es secundaria por fracturación principalmente.

9.4.1.3. GEOMETRIA

La geometría del acuífero es sencilla; una banda de sedimentos detríticos limitada por una base impermeable y límites laterales conformados por los materiales de muy baja permeabilidad del paleozoico. Se dispone de 4 perfiles de geofísica realizados en la zona para el establecimiento de la geometría del acuífero.

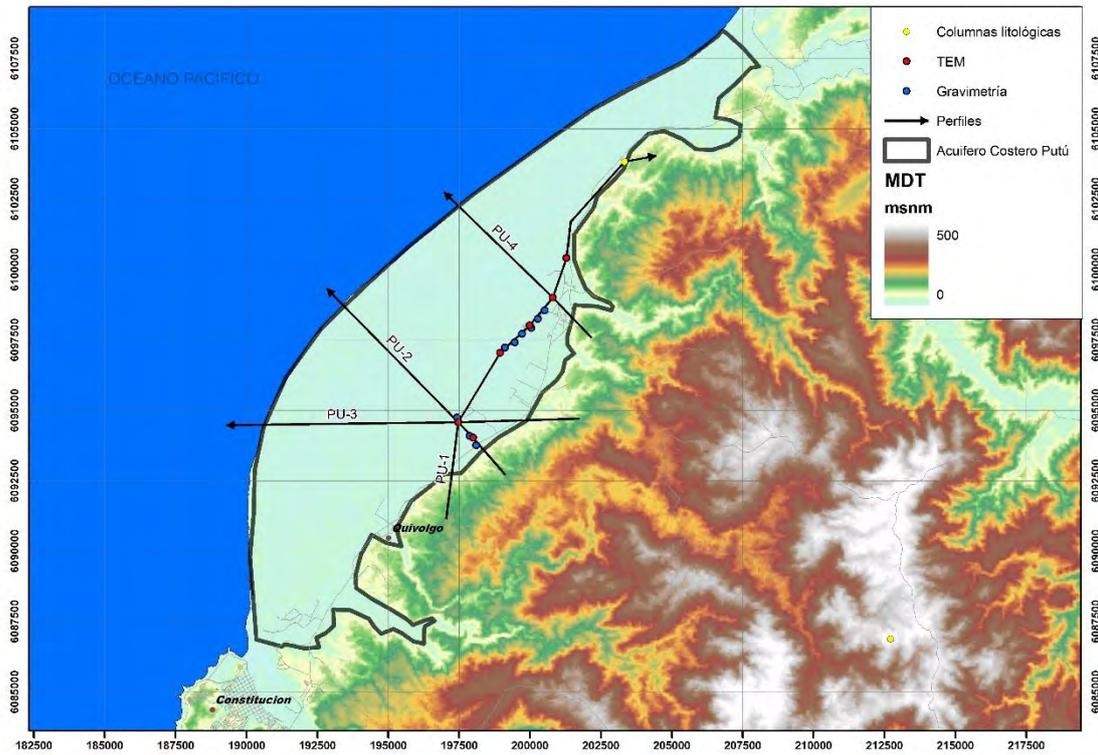


Figura 87. Perfiles de geofísica en el acuífero Costero Dunar de Putú.

En su transversal, el relleno cuaternario se acuña al este sobre los materiales paleozoicos, pasando hacia la costa a alcanzar los 240 metros de profundidad máximos medidos.

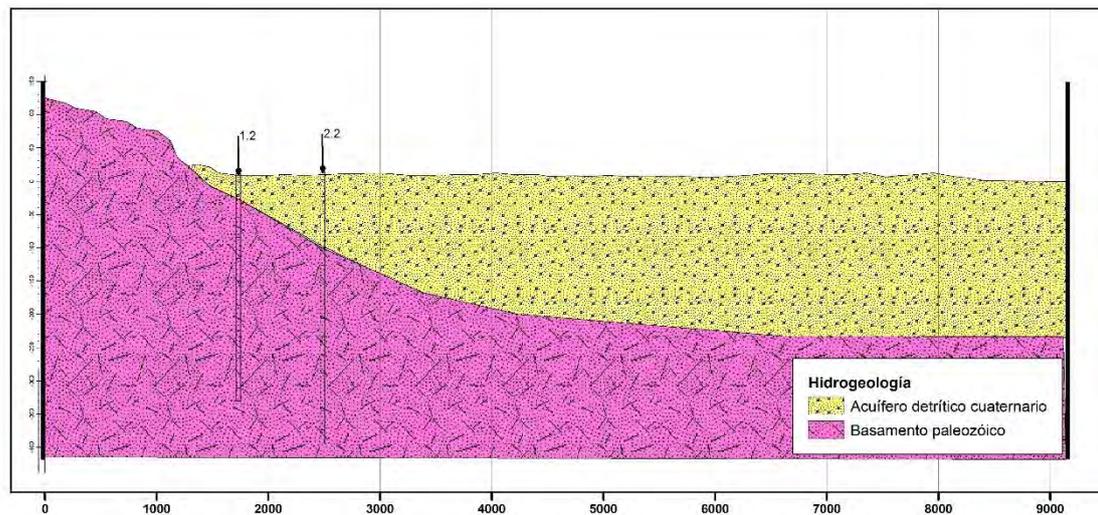


Figura 88. Perfil de geofísica transversal W-E en el acuífero Costero Dunar de Putú.

El contacto de dicho relleno con la formación de base impermeable es de carácter irregular al tratarse de un paleorelieve marcado en el paleozoico, tal y como se aprecia en el perfil N-S adjunto.

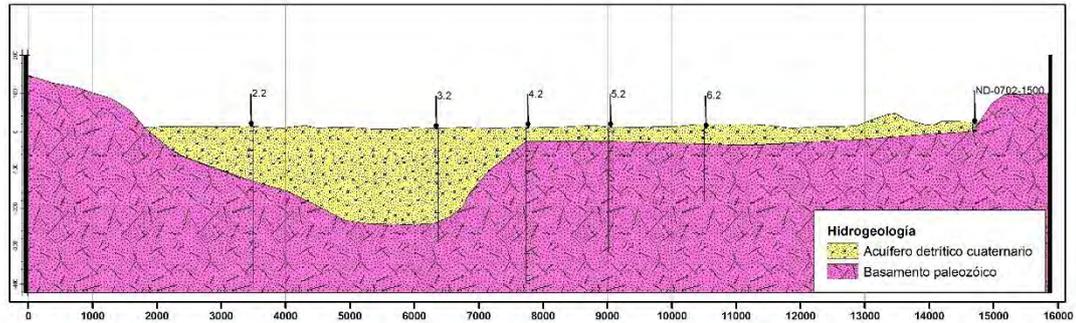


Figura 89. Perfil N-S de geofísica en el acuífero Costero Dunar de Putú.

La distribución y espesores de la formación acuífera vienen condicionados por el basamento, para el cual se han obtenido profundidades máximas de 240 metros. Los máximos espesores de la formación cuaternaria se dan en la zona central del acuífero, donde se configura una depresión en forma de cubeta abierta hacia la costa.

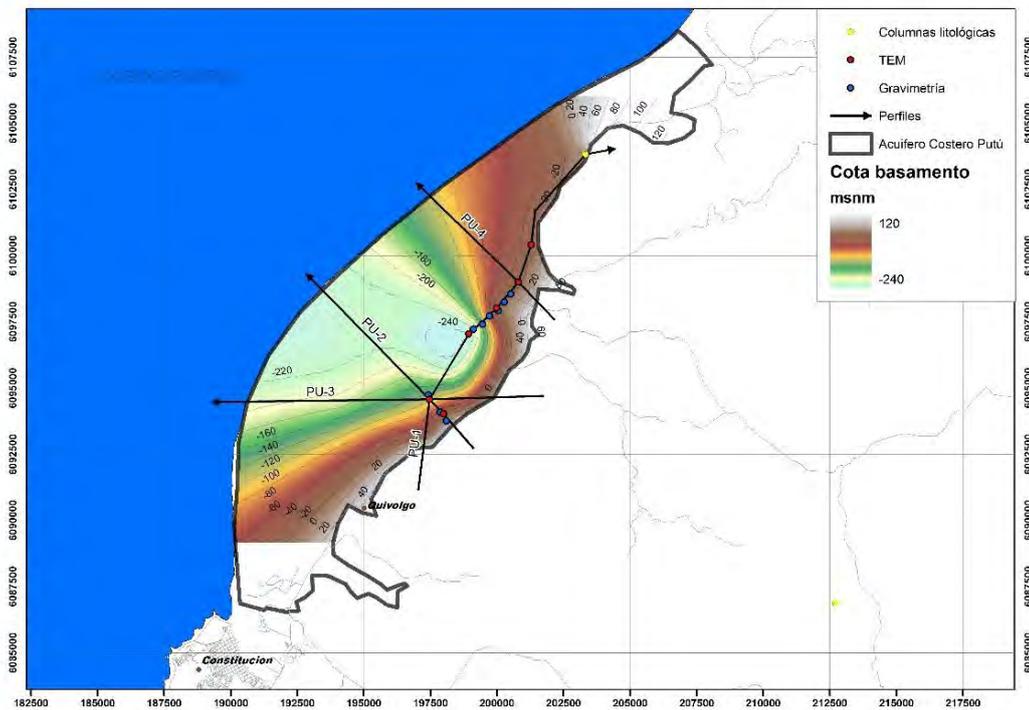


Figura 90. Cota del basamento en el acuífero Costero Dunar de Putú.

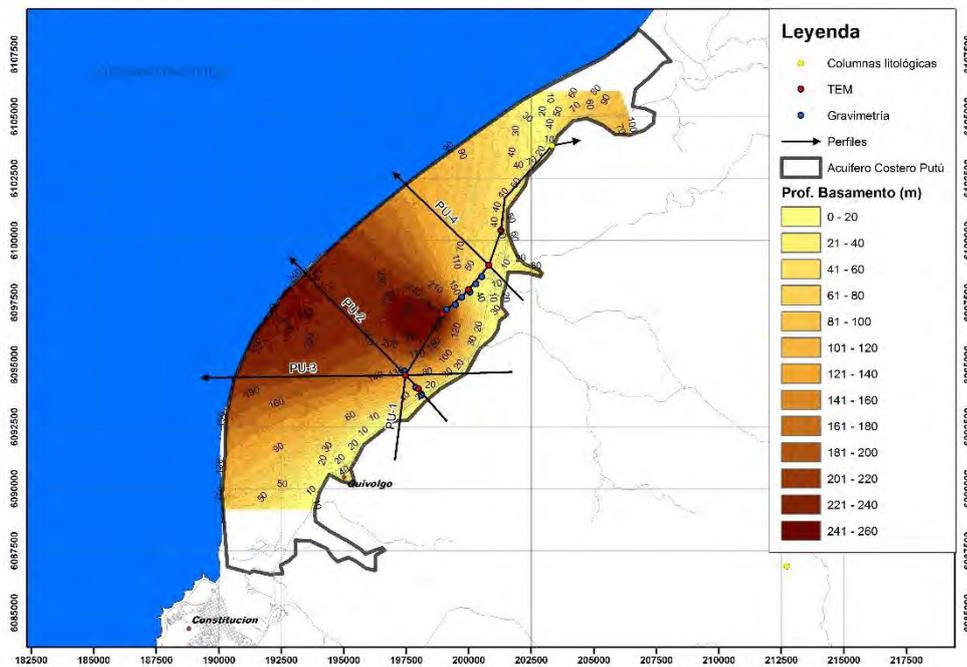


Figura 91. Profundidad del basamento en el acuífero Costero Dunar de Putú.

9.4.1.4. PARAMETROS ELASTICOS

Se han realizado dos interpretaciones de ensayos de bombeo en este acuífero con los datos correspondientes a dos expedientes situados en el mismo. A continuación se detallan los resultados obtenidos.

- o ND-0702-1500

En este pozo se realizó una prueba de gasto constante a 9 l/s durante 24 horas. Los datos obtenidos durante la misma fueron los siguientes:

Tabla 53. Prueba de gasto constante expte. ND-0702-1500

Tiempo (min)	Prof. (m)	Descenso (m)	Q (l/s)
0	8.46	0	9
1	8.63	0.17	9
2	8.96	0.5	9
3	9.13	0.67	9
4	9.53	1.07	9
5	9.87	1.41	9
6	9.93	1.47	9
7	10.20	1.74	9
8	10.31	1.85	9
9	10.46	2	9
10	10.62	2.16	9
11	10.76	2.3	9
12	10.88	2.42	9

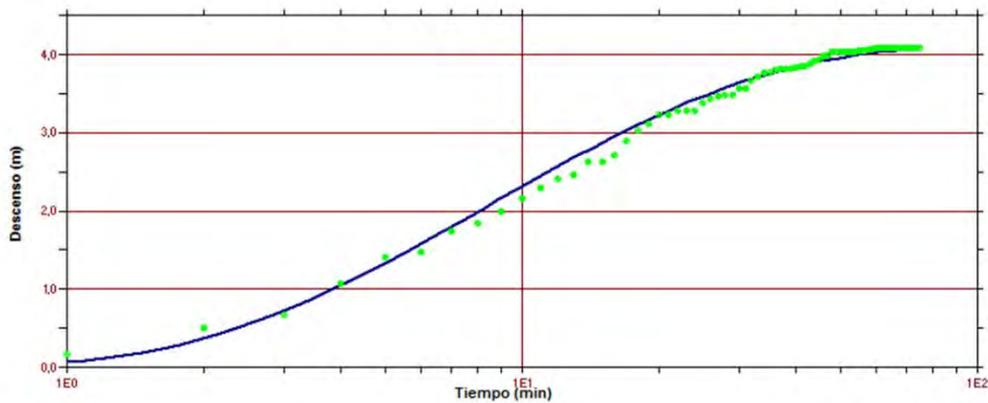
Tabla 53. Prueba de gasto constante expte. ND-0702-1500

Tiempo (min)	Prof. (m)	Descenso (m)	Q (l/s)
13	10.92	2.46	9
14	11.09	2.63	9
15	11.09	2.63	9
16	11.17	2.71	9
17	11.35	2.89	9
18	11.49	3.03	9
19	11.58	3.12	9
20	11.69	3.23	9
21	11.69	3.23	9
22	11.75	3.29	9
23	11.75	3.29	9
24	11.75	3.29	9
25	11.85	3.39	9
26	11.89	3.43	9
27	11.92	3.46	9
28	11.95	3.49	9
29	11.95	3.49	9
30	12.03	3.57	9
31	12.03	3.57	9
32	12.12	3.66	9
33	12.17	3.71	9
34	12.23	3.77	9
35	12.23	3.77	9
36	12.27	3.81	9
37	12.28	3.82	9
38	12.28	3.82	9
39	12.28	3.82	9
40	12.29	3.83	9
41	12.31	3.85	9
42	12.31	3.85	9
43	12.35	3.89	9
44	12.38	3.92	9
45	12.40	3.94	9
46	12.45	3.99	9
47	12.45	3.99	9
48	12.49	4.03	9
49	12.49	4.03	9
50	12.49	4.03	9
51	12.49	4.03	9
52	12.50	4.04	9
53	12.50	4.04	9
54	12.50	4.04	9
55	12.52	4.06	9
56	12.52	4.06	9
57	12.52	4.06	9
58	12.53	4.07	9
59	12.53	4.07	9
60	12.54	4.08	9
61	12.54	4.08	9
62	12.54	4.08	9
63	12.54	4.08	9
64	12.54	4.08	9
65	12.54	4.08	9
66	12.54	4.08	9

Tabla 53. Prueba de gasto constante expte. ND-0702-1500

Tiempo (min)	Prof. (m)	Descenso (m)	Q (l/s)
67	12.54	4.08	9
68	12.54	4.08	9
69	12.54	4.08	9
70	12.54	4.08	9
71	12.54	4.08	9
72	12.54	4.08	9
73	12.54	4.08	9
74	12.54	4.08	9
75	12.54	4.08	9
58	12.53	4.07	9
59	12.53	4.07	9
60	12.54	4.08	9
61	12.54	4.08	9
62	12.54	4.08	9
63	12.54	4.08	9
64	12.54	4.08	9
65	12.54	4.08	9
66	12.54	4.08	9
67	12.54	4.08	9
68	12.54	4.08	9
69	12.54	4.08	9
70	12.54	4.08	9
71	12.54	4.08	9
72	12.54	4.08	9
73	12.54	4.08	9
74	12.54	4.08	9
75	12.54	4.08	9

La curva interpretada es la siguiente:



Mediante le ajuste de esta curva se obtienen los valores:

Transmisividad m ² /día	Coefficiente de Almacenamiento (S)
23.79	0.4

- o ND-0702-3524

En este pozo se realizó una prueba de gasto constante a 0,2 l/s durante 24 horas. Los datos obtenidos durante la misma fueron los siguientes:

Tabla 54. Prueba de gasto constante expte. ND-0702-3524

Tiempo (min)	Prof. (m)	Descenso (m)	Q (l/s)
0	0.50	0	0.2
1	3.60	3.1	0.2
2	7.00	6.5	0.2
3	8.40	7.9	0.2
4	10.30	9.8	0.2
5	10.50	10	0.2
6	11.10	10.6	0.2
7	11.30	10.8	0.2
8	11.60	11.1	0.2
9	11.80	11.3	0.2
10	12.01	11.51	0.2
15	13.50	13	0.2
20	14.00	13.5	0.2
25	14.60	14.1	0.2
30	15.70	15.2	0.2
35	15.90	15.4	0.2
40	16.10	15.6	0.2
45	16.25	15.75	0.2
50	16.60	16.1	0.2
55	16.90	16.4	0.2
60	17.00	16.5	0.2
70	17.00	16.5	0.2
80	17.60	17.1	0.2
90	17.80	17.3	0.2
100	18.00	17.5	0.2
110	18.20	17.7	0.2
120	18.45	17.95	0.2
130	18.60	18.1	0.2
140	18.75	18.25	0.2
150	19.00	18.5	0.2
160	19.35	18.85	0.2
170	19.55	19.05	0.2
180	19.70	19.2	0.2
210	20.00	19.5	0.2
240	20.25	19.75	0.2
270	20.55	20.05	0.2
300	20.85	20.35	0.2
330	21.00	20.5	0.2
360	21.80	21.3	0.2
390	21.95	21.45	0.2
420	22.00	21.5	0.2
450	22.15	21.65	0.2
540	22.20	21.7	0.2
600	22.25	21.75	0.2
660	22.35	21.85	0.2
770	22.37	21.87	0.2
780	22.50	22	0.2
840	22.50	22	0.2
900	22.50	22	0.2
960	22.50	22	0.2

Tiempo (min)	Prof. (m)	Descenso (m)	Q (l/s)
1020	22.50	22	0.2
1080	22.50	22	0.2
1140	22.50	22	0.2
1200	22.50	22	0.2
1260	22.50	22	0.2
1320	22.50	22	0.2
1380	22.50	22	0.2

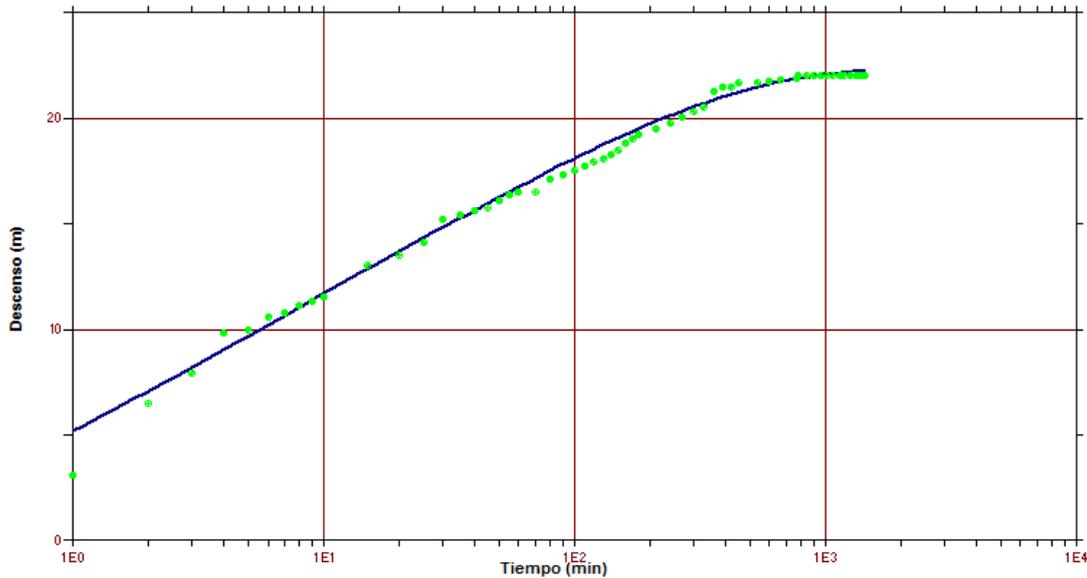


Figura 92. Interpretación de la prueba de gasto constante del pozo ND-0702-3524

Los resultados obtenidos son:

Transmisividad m ² /día	Coefficiente de Almacenamiento (S)
0.46	0.008

Este último punto, cuyos valores de T y S son bastante inferiores al anterior, se ubica en el borde este del acuífero, pudiendo corresponder a un pozo perforado en el basamento de esquistos y pizarras. Como valores representativos de las formaciones acuíferas se consideran los obtenidos en el primer ensayo de bombeo.

9.4.1.5. PIEZOMETRIA

La distribución piezométrica del acuífero de Lebu muestra un esquema muy definido con direcciones de flujo de sureste a noroeste y hacia la costa. En la zona dunar los gradientes son muy tendidos y con valores en torno a 0,004. Dicho gradiente aumenta en la zona de escarpe y transición hacia el basamento del interior, donde se ubica un pozo cuya cota piezométrica se sitúa a 170 m.s.n.m. frente a la cota 0 de la línea de costa.

9.4.1.6. BALANCE

El balance obtenido consta de unas entradas por una infiltración directa muy alta debido a la permeabilidad de la cobertera superficial, infiltración subsuperficial procedente del borde este del acuífero en contacto con el basamento, e infiltración de retorno de riego. Las salidas computan los bombeos escasos (90,88 l/sg), afloramientos en forma de masas de agua en arroyos y láminas de agua en la zona de dunas, y las salidas al mar.

Tabla 55. Balance hídrico acuífero Dunas de Putú

ACUIFERO DUNAS DE PUTU	l/s
Entradas laterales	-
Infiltración Subsuperficial	652,73
Infiltración cauce	-
Infiltración Directa	628,97
Infiltración Retorno de Riego	36,07
Salidas por Bombeos	90,88
Salidas laterales	
Afloramientos	1.148,36
Salidas al Mar	78,53

9.4.2. ALUVIAL HUENCHULLAMÍ

Este acuífero se ha definido en base a la distribución del aluvial del río Huenchullamí, el cual se extiende desde la costa, en la población de Las Lomas hasta el interior en Tabunco. Su longitud total es de 33,4 km y su anchura, muy variable, oscila entre 364 m y 3,5 km.

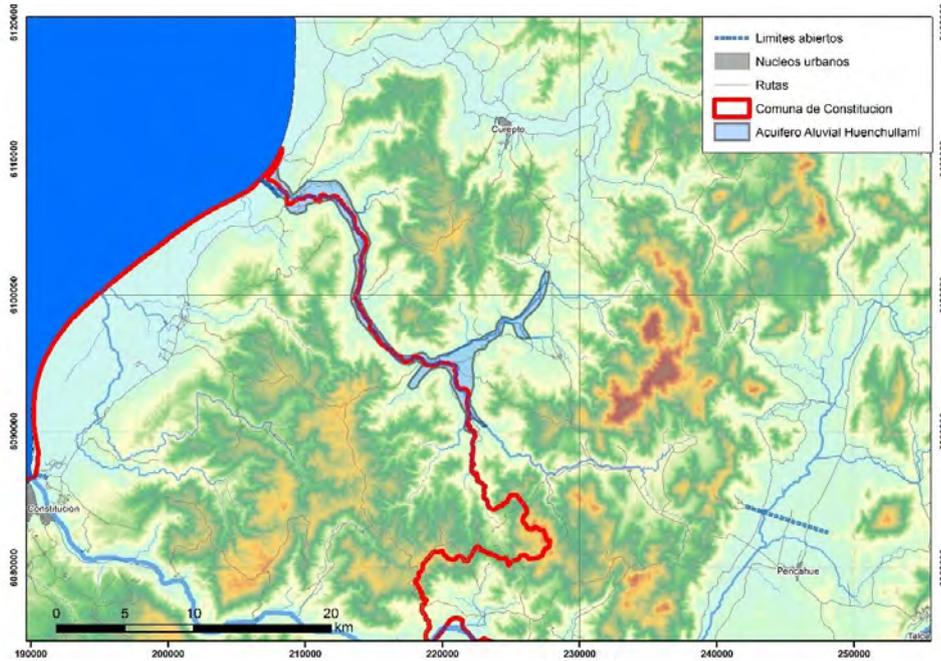


Figura 93. Situación del acuífero Aluvial de Huenchullamí.

Este acuífero, como se mencionó anteriormente conecta hidráulicamente con el correspondiente al costero Dunas de Putú, pero se ha diferenciado por su extensión hacia el interior y su morfología aluvial, bien distinta del anterior.

9.4.2.1. GEOLOGIA

La formación aluvial correspondiente al cuaternario y constituyente del acuífero, presenta materiales detríticos de arenas, conglomerados y limos. Esta formación se dispone suprayacente sobre un basamento paleozoico formado por pizarras, filitas, esquistos, metabasitas y granitoides pertenecientes a las formaciones Pz4a, Pz4b y CPg.

9.4.2.2. FORMACIONES PERMEABLES

Atendiendo a la permeabilidad de las formaciones se distinguen:

Tramos permeables

Únicamente se incluye en este grupo las formaciones cuaternarias del aluvial del río Huenchullamí, las cuales presentan un porosidad primaria con valores medios y altos de permeabilidad. Son las constituyentes del acuífero.

Tramos de baja y muy baja permeabilidad

En este grupo se incluyen las formaciones Pz4a, Pz4b y CPg. Son materiales con permeabilidades muy bajas de naturaleza secundaria por fisuración y diaclasado. Constituyen el impermeable de base del acuífero.

9.4.2.3. GEOMETRÍA

La geometría del acuífero se ajusta a las formaciones aluviales del río Huenchullamí. No se dispone de datos sobre espesores o profundidad que puedan caracterizar su geometría de forma más precisa. Más allá de su conexión hidráulica con el acuífero Costero Dunar de Putú, los límites impermeables viene marcados por la morfología del cauce y el basamento paleozoico sobre el cual se ha excavado el mismo.

9.4.2.4. PARAMETROS ELASTICOS

No se dispone de datos de aforos realizados en expedientes en este acuífero. Atendiendo a lo recogido en la bibliografía, en el trabajo "Diagnóstico actual del riego y drenaje en Chile y su proyección, Informe final Diagnóstico del riego, y drenaje en la VII región, febrero - 2003. Ayala, Cabrera y Asociados Ltda. ACc ingenieros consultores Ltda." Se cita;

En la cuenca del río Huenchullamí se observa una configuración morfológica semejante a la del resto de las cuencas de la Cordillera de la Costa, con un valle que sigue un trazado de dirección prácticamente sur-norte y con escasos rellenos sedimentarios cuaternarios, producto de procesos aluvionales. Únicamente en sectores específicos aparecen amplios rellenos de arenas de algún interés hidrogeológico, como por ejemplo en la confluencia de los dos esteros en un tramo de 2 Km, a la altura del estero Loma Blanca, en el sector denominado Macal ya la altura de Putú y Huenchullamí. En los tres primeros puntos, captaciones del tipo punteras o drenes podrían producir caudales de entre 15 y 20 l/s, mientras que en el último podría perforarse pozos de no más de 25 a 30 m para obtener caudales de 10 a 15 l/s por captación.

Lo anterior, corroborado por algunos ensayos específicos realizados en el lecho, es indicativo de que esta cuenca resulta interesante desde el punto de vista hidrogeológico.

9.4.2.5. PIEZOMETRÍA

No se dispone de datos de expedientes o catastro para representación de la piezometría de este acuífero.

A nivel conceptual, se puede considerar la distribución de niveles piezométricos como la correspondiente a un nivel freático conectado con la lámina de agua del río y sujeto a las variaciones estacionales de la misma.

Al tratarse de un aluvial encajado entre materiales del basamento, y como se ha observado en otros acuíferos similares, existe una conexión hidráulica de dicho basamento con el aluvial. Esto da lugar a un drenaje hacia el río de los niveles presentes en las formaciones del paleozoico, a pesar del bajo valor de permeabilidad que los caracteriza.

9.4.2.6. BALANCE

Para este acuífero se han computado entradas por infiltración directa, infiltración procedente del cauce en el tramo alto del cauce, infiltración subsuperficial procedente del basamento en los bordes del aluvial y retornos de riego. Las salidas computadas comprenden los bombeos al 100% y afloramientos a la zona de Putu y cauce bajo.

Tabla 56. Balance hídrico acuífero Aluvial Huenchullamí

ACUIFERO HUENCHULLAMÍ	l/s
Entradas laterales	-
Infiltración Subsuperficial	104,91
Infiltración cauce	45,82
Infiltración Directa	76,50
Infiltración Retorno de Riego	11,19
Salidas por Bombeos	96,10
Salidas laterales	-
Afloramientos	142,32
Salidas al Mar	-

9.4.3. ALUVIAL DEL RIO MAULE

El cuaternario denominado Aluvial del Río Maule, a pesar de estar en conexión hidráulica con otros acuíferos, se ha diferenciado por su gran extensión y entidad, evitando así unir en un mismo acuífero todos los que conectan con este y de características bastante diferentes, tal y como se expuso en los criterios de definición de acuíferos utilizados en el presente estudio. Se extiende desde la población de Constitución, desembocadura del río Maule, hasta las cercanías de Santa de Queri, aguas arriba y dentro de los límites de la Región VII, si bien se prolonga como acuífero todavía más hacia el este hasta la desaparición de los aluviales del río. Su extensión longitudinal es de 84,4 km., mientras que su anchura, coincidente con los depósitos aluviales del cauce, oscila entre 380 metros a 5,6 km. en el estuario de su desembocadura. Su superficie total es de 197 km².

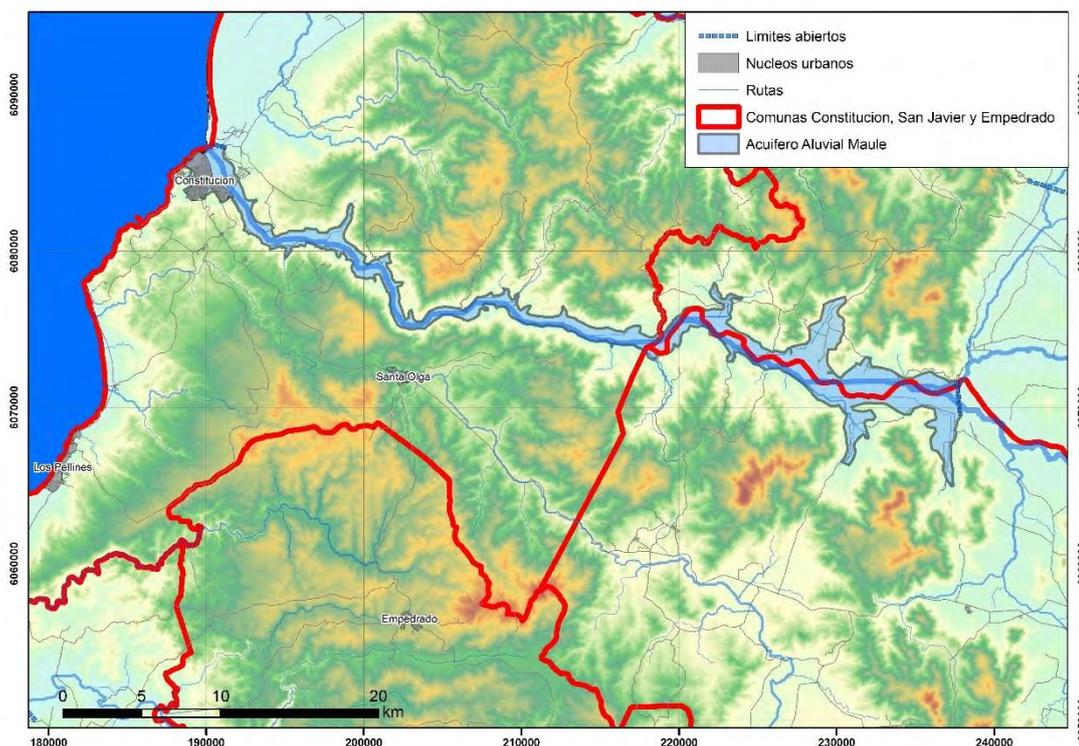


Figura 94. Situación geográfica del acuífero Aluvial del Río Maule.

9.4.3.1. GEOLOGIA

El río Maule atraviesa de forma transversal las distintas zonaciones geológicas de la cordillera costera hasta la depresión central. En su recorrido corta, hasta más allá de la mitad de los límites del acuífero definidos dentro de la región VII, materiales paleozoicos constituidos por litologías metamórficas e intrusivas; pizarras, esquistos, granitos y granodioritas. Igualmente, en tramos más reducidos, corta series del jurásico y cretácico de origen volcano-sedimentario (K12m y J13). Ya en la llanura central discurre sobre materiales cuaternarios detríticos que se han asociado en el presente estudio al acuífero Valle del Maule.

9.4.3.2. FORMACIONES PERMEABLES

Atendiendo a la permeabilidad de las formaciones se han distinguido:

Tramos permeables

Como se ha detallado anteriormente, la única formación a considerar como permeable a efectos de la definición de este acuífero es la correspondiente a los aluviones y rellenos cuaternarios del río Maule. Los materiales que afloran en la depresión central, correspondientes al cuaternario igualmente, son permeables pero se han asociado a otros acuíferos detallados más adelante.

Tramos de baja a muy baja permeabilidad

El resto de formaciones atravesadas (paleozoico y mesozoico), presentan una permeabilidad muy baja, principalmente por fisuración y diaclasado.

9.4.3.3. GEOMETRIA

La geometría del acuífero viene condicionada totalmente por la morfología del cauce del Maule, el cual, como se detalló anteriormente, oscila en su anchura entre los 380 m. y los 5,6 km. Los sedimentos aluviales se depositan sobre un basamento mayoritariamente paleozoico erosionado, por lo que los espesores de esta formación cabe considerarlos muy variables.

9.4.3.4. PARAMETROS ELASTICOS

No se dispone de datos de ensayos de bombeo en los expedientes que aporten valores de parámetros hidráulicos de este acuífero o que puedan ser interpretados.

Con referencia en los antecedentes, se cuenta con el estudio "Estudio e implementación de modelos hidrológicos acoplados a SIG para el manejo y planificación, cuencas de Maule, Mataquito e Itata, Informe final, GCF Ingenieros Consultores". En dicho trabajo, cuya área de estudio excede al cuaternario aluvial del río, se aportan valores de T, K y S, tal y como se recoge en la tabla adjunta. No obstante, estos valores corresponden al total de la cuenca estudiada y engloban formaciones hidrogeológicas de diferente naturaleza.

ÁREA	SUB-ÁREA	T (m ² /día)	K (m/s)	S
ÁREA NORTE				
Cumpeo	Panguilmo	400	$4,6 \cdot 10^{-5}$	10^{-3}
	Cumpeo	1.500	$1,7 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}
	Pelario	2.000	$2,3 \cdot 10^{-3}$	10^{-4}
San Clemente		2.000	$2,3 \cdot 10^{-4}$	10^{-2}
Talca		2.000	$2,3 \cdot 10^{-4}$	10^{-2}
ÁREA CENTRAL				
Maule Sur		3.500	$4,1 \cdot 10^{-4}$	10^{-2}
Linares	Rañi	200	$3,3 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}
	Yerbas Buenas	200	$2,3 \cdot 10^{-5}$	10^{-3}
	Linares	1.700	$7,9 \cdot 10^{-3}$	10^{-4}
	San Antonio	1.700	$7,9 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}
	Terminal Erap - Miraflores	1.000-3.500	$5,8 \cdot 10^{-5}$ $2 \cdot 10^{-4}$	$10^{-4} - 10^{-2}$
	Putagán	200	$2,3 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}
San Javier-Villa Alegre		3.500	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$10^{-3} - 10^{-4}$
Melozal		500	$5,8 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}
Villaseca		1.500	$1,7 \cdot 10^{-4}$	10^{-4}
ÁREA SUR				
	Área Longavi-Niquén	3.000	$9,9 \cdot 10^{-5}$	$10^{-2} - 10^{-4}$
	Área Perquiñauquén Superior	4.500	$1,7 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}
	Área Quella	1.500	$8,7 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}
	Área Purapel	500	$1,2 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}
	Área Valles Cordillera Costa	100	$2,3 \cdot 10^{-3}$	10^{-4}
	Área Perquiñauquén Inferior	2.500	$9,6 \cdot 10^{-5}$	10^{-4}
	Área Vaquería	100	$2,3 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}
	Área de Valles Andinos	7.800	-	10^{-3}

Fuente: "Estudio Integral de Riego de la Cuenca del Maule", CEDEC 1977

Figura 95. Parámetros hidráulicos de la cuenca del Maule por sectores. (Estudio e implementación de modelos hidrológicos acoplados a SIG para el manejo y planificación, cuencas de Maule, Mataquito e Itata, Informe final, GCF Ingenieros Consultores)

Atendiendo a los valores referenciados en los mapas adjuntos, los valores para los aluviales del río se encontrarían entre 23 y 2743 m²/día para la transmisividad, y de 10^{-3} para el coeficiente de almacenamiento.

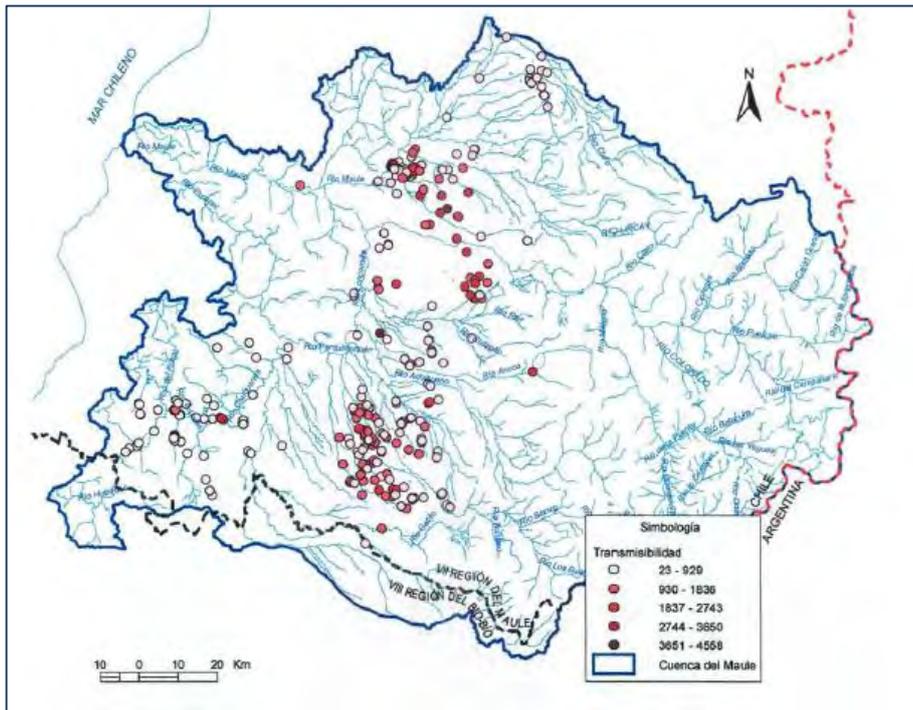


Figura 96. Valores de T en la cuenca del Maule por sectores. (Estudio e implementación de modelos hidrológicos acoplados a SIG para el manejo y planificación, cuencas de Maule, Mataquito e Itata, Informe final, GCF Ingenieros Consultores)

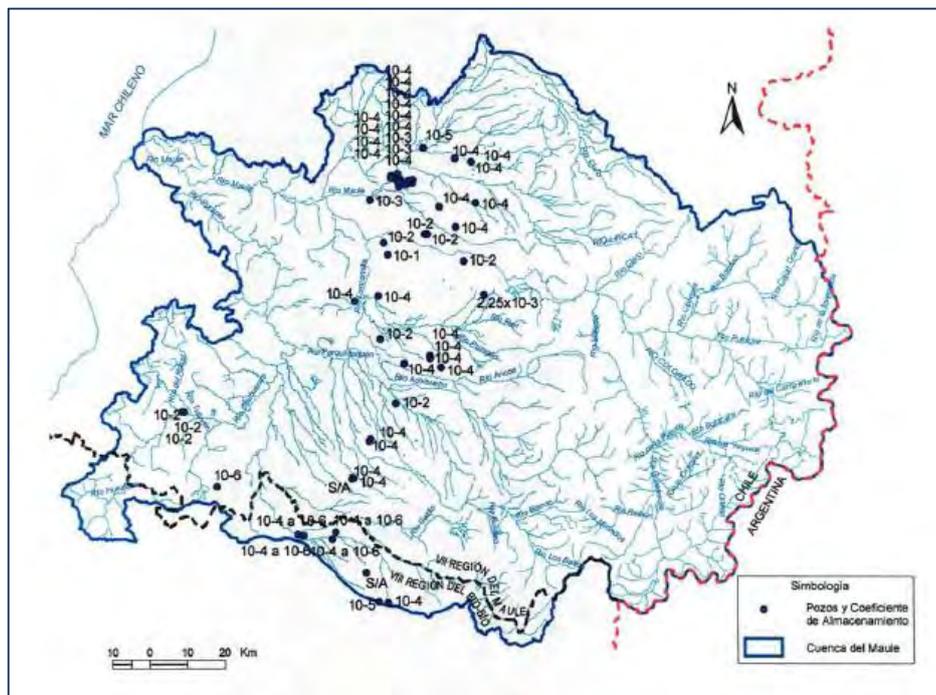


Figura 97. Valores de S en la cuenca del Maule por sectores. (Estudio e implementación de modelos hidrológicos acoplados a SIG para el manejo y planificación, cuencas de Maule, Mataquito e Itata, Informe final, GCF Ingenieros Consultores)

9.4.3.5. PIEZOMETRIA

Como se ha mencionado para otros acuíferos aluviales identificados en el presente estudio, no se dispone de datos de expedientes o catastro para representación de la piezometría de este acuífero.

A nivel conceptual, se puede considerar la distribución de niveles piezométricos como la correspondiente a un nivel freático conectado con la lámina de agua del río y sujeto a las variaciones estacionales de la misma.

Al tratarse de un aluvial encajado entre materiales del basamento, y como se ha observado en otros acuíferos similares, existe una conexión hidráulica de dicho basamento con el aluvial. Esto da lugar a un drenaje hacia el río de los niveles presentes en las formaciones del paleozoico, a pesar del bajo valor de permeabilidad que los caracteriza.

9.4.3.6. BALANCE

Tabla 57. Balance hídrico acuífero Aluvial del río Maule

ACUIFERO ALUVIAL MAULE	l/s
Entradas laterales	0,00
Infiltración Subsuperficial	119,86
Infiltración cauce	0,00
Infiltración Directa	529,99
Infiltración Retorno de Riego	18,15
Salidas por Bombeos	20,97
Salidas laterales	0,00
Afloramientos	600,16
Salidas al Mar	46,88

9.4.3.7. VALLE DEL MAULE

Atravesada por el río Maule, en la llanura central se ha definido un acuífero de gran identidad que ocupa el área de Talca. Debido a su complejidad geológica, y a que el río Maule lo corta por su parte central, dicho acuífero se ha subdividido en dos unidades que serán analizadas de forma separada; Talca Norte y Talca Sur. La correspondiente a Talca Norte queda fuera de la zona de estudio, coincidiendo su límite sur justo con el borde norte de esta. No obstante, por su conexión con la unidad de Talca Sur se ha incluido su descripción en el presente estudio. En general, todo el acuífero de Talca excede la

zona de estudio prolongándose al norte y este a comunas adyacentes, habiéndose dejado el límite abierto por dicha razón.

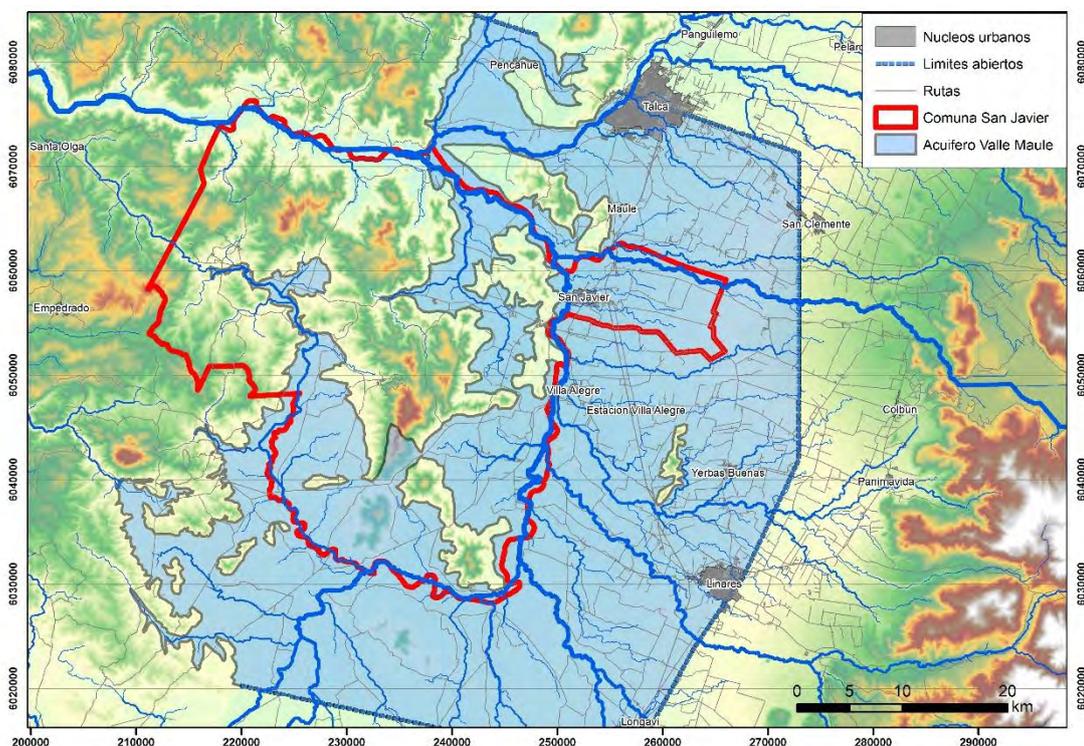


Figura 98. Situación geográfica del acuífero Valle del Maule

La unidad de Talca Norte se ubica centrada en la población de Talca. Se extiende hacia el oeste hasta la población de Poeta González Bastias, y hacia el este hasta la población de Huelquilemu, si bien por este lado, su límite es abierto prolongándose más hacia en la misma dirección. Por el norte su límite es abierto igualmente, y por el sur limita con el cauce del Maule. Su longitud norte-sur es de 24,2 km., y de este a oeste de 39 km. La superficie, entiendo la correspondiente a la incluida en la cartografía, sin incluir el área fuera de la zona de estudio es de 671 km².

9.4.3.7.1. GEOLOGIA

Geológicamente el área de este acuífero se ubica en la transición de la cordillera costera al valle central. Siguiendo la pauta normal en estas zonas, aparecen materiales paleozoicos y mesozoicos en los relieves, mientras que en la depresión central afloran rellenos de materiales terciarios y cuaternarios.

De oeste a este aparecen las siguientes formaciones:

Jurásico volcánico-sedimentario (Ji3) dispuesto en una banda norte sur, constituida por secuencias volcánicas continentales y marinas: lavas y aglomerados basálticos a

andesíticos, tobas riolíticas, con intercalaciones de areniscas, calizas marinas y conglomerados continentales. Se trata de una serie compleja, bien identificada en la formación Nacientes de Bio-Bio, donde se produce una evolución de ambientes sedimentarios progresivos, desde las lavas almohadilladas depositadas en medios marinos con intercalaciones turbidíticas, hasta depósitos pelíticos en planicies submarinas, medios deltáicos con deposición de materiales volcánicos transportados, carbonatos de plataforma costera y otros términos menores. Todo el conjunto aflora al sur y noreste de los límites del acuífero.

Un pleistoceno piroclástico (PI3t) de colapso de calderas que fosiliza los relieves preexistentes. Son materiales riolíticos.

Un cretácico (Ki2c) formado por 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. Dentro del cretácico también afloran los materiales de la formación Kiag, formada por dioritas y monzodioritas de piroxeno y hornblenda, granodioritas, monzogranitos de hornblenda y biotita.

Finalmente, y yacentes sobre los materiales anteriores aparecen los sedimentos detríticos del cuaternario rellenando las áreas topográficamente más planas. En concreto es la formación Q1, constituida por aluviales, coluviones y rellenos de valle.

9.4.3.7.2. FORMACIONES PERMEABLES

Atendiendo a las formaciones descritas en el capítulo anterior, a continuación se agrupan las mismas de acuerdo a su permeabilidad.

Tramos permeables

Se consideran en este grupo las siguientes formaciones:

Q1 como detrítico más permeable. Su permeabilidad es primaria.

PI3t. Al tratarse de una formación piroclástica se considera con una permeabilidad media-alta y primaria.

Ki2c. Esta formación cretácica presenta una variabilidad litológica considerable, si bien casi todos sus términos son permeables.

Tramos de baja a muy baja permeabilidad

En este grupo se han incluido las formaciones jurásicas (Ji3) y las dioritas del cretácico (Kiag). La primera presenta una variabilidad muy alta en su litología al agrupar facies de muy diversos ambientes sedimentarios. Su permeabilidad en conjunto se puede

considerar baja, aunque circunstancialmente, por la estructura y niveles concretos que afloran en una zona puede constituir niveles acuíferos.

9.4.3.7.3. GEOMETRIA

La geometría del acuífero es bastante compleja, especialmente atendiendo a su base impermeable. Esto se debe a que los rellenos plio-cuaternarios están en contacto con bloques o unidades de litologías diferentes, cuya disposición en profundidad viene condicionada por una fracturación intensa. En sus límites laterales se dan contactos netos con los materiales intrusivos, los cuales, con una permeabilidad secundaria por fisuración muy baja, tienen cierta conexión hidráulica con el acuífero.

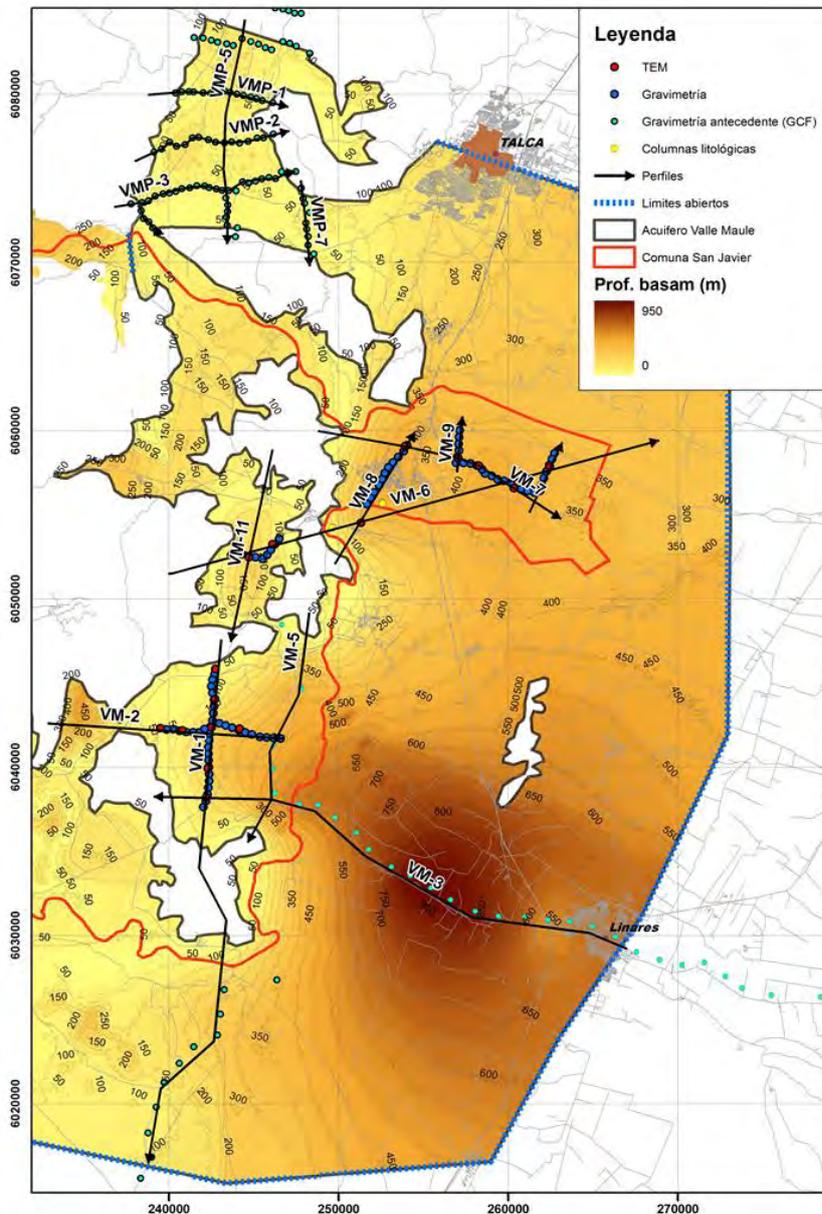


Figura 99. Situación de los perfiles de geofísica del Valle del Maule y profundidad del basamento.

Para el análisis de la geometría de este acuífero se cuenta con perfiles de gravimetría y TEM realizados en la zona, más los datos geofísicos de trabajos anteriores. En la figura adjunta se detallan el conjunto de perfiles para esta zona.

Atendiendo a la profundidad del basamento, se observa que los valores máximos se dan en la zona sur, donde se alcanzan profundidades de algo más de 900 metros. Hacia el oeste se dan profundidades medias de 150 metros. En general, la disposición del mismo muestra un hundimiento hacia el este, marcando así los máximos rellenos terciarios de la cuenca.

Analizando los perfiles obtenidos de norte a sur cabe describir la geometría de las unidades hidrogeológicas de la siguiente forma:

Sector Norte

El sector norte, aunque fuera del ámbito de estudio del presente trabajo, se caracteriza por la aparición de materiales detríticos coluviales de relleno del cuaternario y la serie piroclástica del plioceno. Ambas formaciones permeables se disponen sobre un basamento formado por la formación del jurásico (form. Nacientes de Bio Bio) y materiales del cretácico. **En base a los datos recogidos en el estudio "Modelación Hidrogeológica cuenca Estero Los Puercos. DGA, GCF Ingenieros, 2013 ", los espesores de la formación acuífera son de entre 50 y 130 metros.**

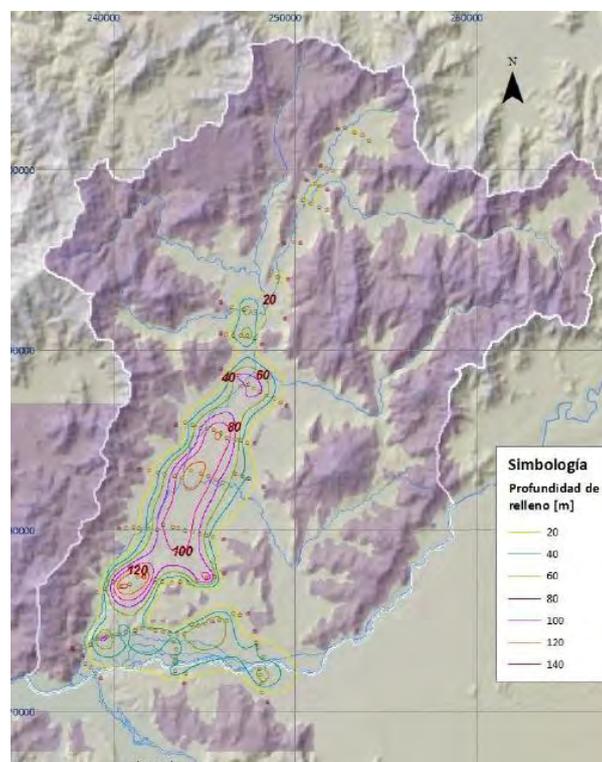


Figura 100. Espesores del relleno cuaternario sobre basamento en el sector norte del Valle del Maule.

Sector Central

En el sector central el relleno se produce sobre un basamento de rocas intrusivas del cretácico con espesores medios de 300 metros. Se han representado cuatro columnas de referencia de pozos que atraviesan la serie cuaternaria.

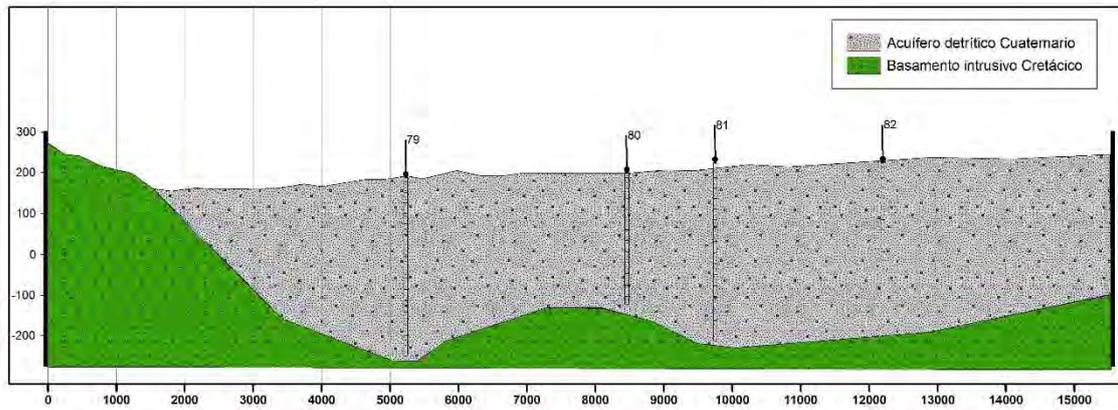


Figura 101. Relleno cuaternario sobre basamento cretácico en sector central.

Sector Sur

Los perfiles realizados en el presente trabajo se ubican sobre la zona oeste del acuífero cerca de los límites impermeables.

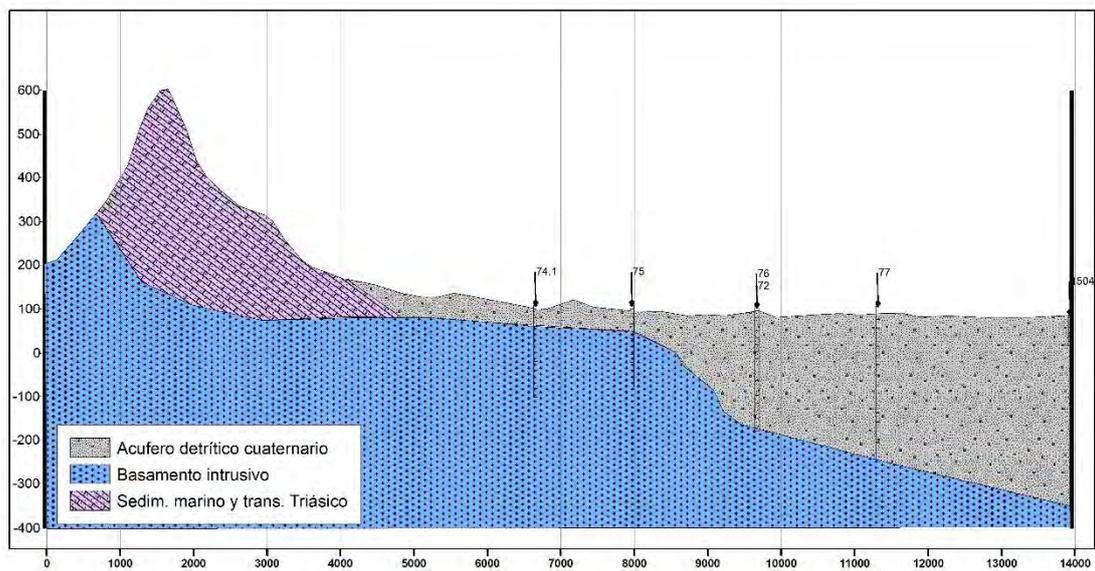


Figura 102. Relleno cuaternario sobre basamento cretácico en sector central.

En este sector los rellenos cuaternarios se disponen sobre un basamento intrusivo del jurásico, infrayaciendo a dichos rellenos la formación piroclástica del plioceno en algunos sectores. El espesor medido del cuaternario llega a un máximo de 450 m.

9.4.3.7.4. PARAMENTROS ELASTICOS

Se cuenta con los datos de un ensayo de bombeo realizado en un expediente de esta zona, le correspondiente al código 0703-2932. En este pozo se realizó una prueba de gasto constante a 6 l/s, durante 2 horas y media. Los datos obtenidos durante la misma fueron los siguientes:

Tabla 58. Prueba de gasto constante expte. ND-0703-2932

Tiempo (min)	Prof. (m)	Descenso (m)	Q (l/s)
0	8.58	0	6
1	9.22	0.64	
2	9.28	0.7	
3	9.33	0.75	
4	9.35	0.77	
5	9.36	0.78	
6	9.37	0.79	
7	9.37	0.79	
8	9.38	0.8	
9	9.38	0.8	
10	9.39	0.81	
12	9.42	0.84	
14	9.42	0.84	
16	9.42	0.84	
18	9.43	0.85	
20	9.43	0.85	
25	9.43	0.85	
30	9.43	0.85	
35	9.43	0.85	
40	9.43	0.85	
45	9.43	0.85	
50	9.43	0.85	
55	9.43	0.85	
60	9.43	0.85	
70	9.43	0.85	
80	9.43	0.85	
90	9.43	0.85	
100	9.43	0.85	
110	9.43	0.85	
120	9.43	0.85	
150	9.43	0.85	
0	8.58	0	6
1	9.22	0.64	
2	9.28	0.7	
3	9.33	0.75	
4	9.35	0.77	
5	9.36	0.78	
6	9.37	0.79	
7	9.37	0.79	
8	9.38	0.8	
9	9.38	0.8	
10	9.39	0.81	
12	9.42	0.84	
14	9.42	0.84	
16	9.42	0.84	

Tiempo (min)	Prof. (m)	Descenso (m)	Q (l/s)
18	9.43	0.85	
20	9.43	0.85	
25	9.43	0.85	
30	9.43	0.85	
35	9.43	0.85	
40	9.43	0.85	
45	9.43	0.85	
50	9.43	0.85	
55	9.43	0.85	
60	9.43	0.85	
70	9.43	0.85	
80	9.43	0.85	
90	9.43	0.85	
100	9.43	0.85	
110	9.43	0.85	
120	9.43	0.85	
150	9.43	0.85	

Se han incorporado estos datos al software de interpretación mencionado y se obtuvo el siguiente ajuste:

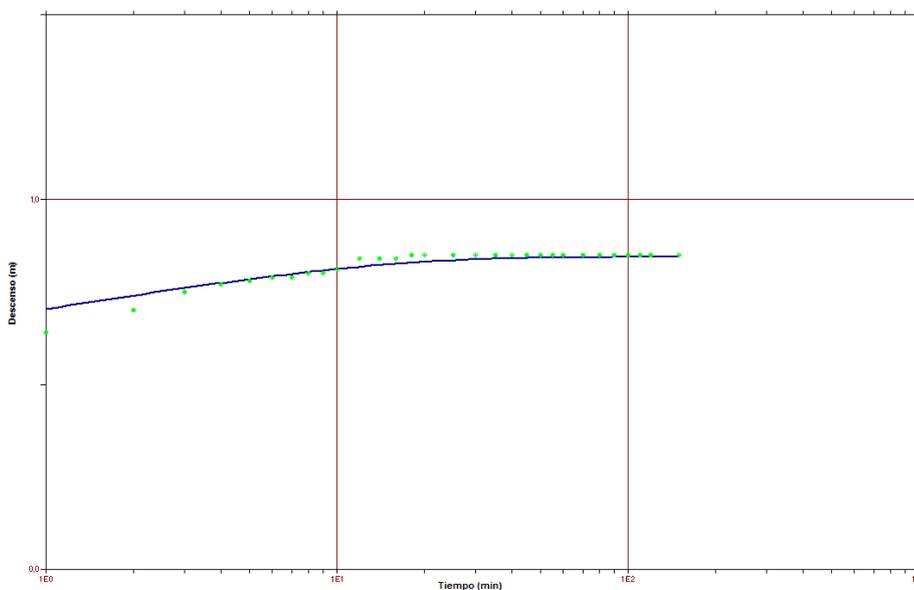


Figura 103. Interpretación de la prueba de gasto constante del pozo ND-0703-2932

Según el ajuste obtenido se obtienen los siguientes valores:

Transmisividad m ² /día	Coefficiente de Almacenamiento (S)
727	0.002

En el estudio "Estudio Integral de Riego de la Cuenca del Maule, CEDEC, 1977" se aportan valores de T, K y S para diferentes sectores de la cuenca del Maule. En concreto para la zona de Talca se asignan valores de 2.000 m²/día de transmisividad, $2,3 \times 10^{-4}$

m/día de permeabilidad y 10^{-2} de coeficiente de almacenamiento. En el área central se muestran valores de $3.500 \text{ m}^2/\text{día}$ de T, $4,1 \times 10^{-2}$ m/día de K, y un S igual a 10^{-2} .

ÁREA	SUB-ÁREA	T (m ² /día)	K (m/s)	S
ÁREA NORTE				
Cumpeo	Panguilemo	400	$4,6 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}
	Cumpeo	1.500	$1,7 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}
	Pelario	2.000	$2,3 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}
San Clemente		2.000	$2,3 \cdot 10^{-4}$	10^{-2}
Talca		2.000	$2,3 \cdot 10^{-4}$	10^{-2}
ÁREA CENTRAL				
Maule Sur		3.500	$4,1 \cdot 10^{-4}$	10^{-2}
Linares	Rarí	200	$3,3 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}
	Yerbas Buenas	200	$2,3 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}
	Linares	1.700	$7,9 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}
	San Antonio	1.700	$7,9 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}
	Terminal Enap - Miraflores	1.000-3.500	$5,8 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-4}$	$10^{-1} - 10^{-2}$
	Putagán	200	$2,3 \cdot 10^{-3}$	10^{-2}
San Javier-Villa Alegre		3.500	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$10^{-3} - 10^{-4}$
Melozal		500	$5,8 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}
Vilaseca		1.500	$1,7 \cdot 10^{-4}$	10^{-4}
ÁREA SUR				
	Área Longaví-Niquén	3.000	$9,9 \cdot 10^{-3}$	$10^{-2} - 10^{-4}$
	Área Perquillauquén Superior	4.500	$1,7 \cdot 10^{-1}$	10^{-4}
	Área Quella	1.500	$8,7 \cdot 10^{-3}$	10^{-4}
	Área Purapel	500	$1,2 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}
	Área Valles Cordillera Costa	100	$2,3 \cdot 10^{-1}$	10^{-4}
	Área Perquillauquén Inferior	2.500	$9,6 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}
	Área Vaquería	100	$2,3 \cdot 10^{-3}$	10^{-3}
	Área de Valles Andinos	7.800	-	10^{-2}

Fuente: "Estudio Integral de Riego de la Cuenca del Maule". CEDEC 1977

Otros valores de referencia recogidos en el "Estudio e implementación de modelos hidrológicos acoplados a SIG para el manejo y planificación, cuencas de Maule, Mataquito e Itata, Informe final, GCF Ingenieros Consultores" aportan valores de S de 0,03/0,08 para el Sector de Los Puercos, y de 0,18 a 0,25 para Maule sur.

Acuífero	Sector	Almacenamiento
AC-01	Claro	0,10 a 0,20
AC-02	Lircay Norte	0,15 a 0,22
AC-03	Lircay Sur	0,15 a 0,22
AC-04	Maule Norte	0,15 a 0,20
AC-05	Maule Sur	0,18 a 0,25
AC-06	Putagán Norte	0,10 a 0,20
AC-07	Putagán Sur	0,10 a 0,20
AC-08	Achibueno	0,12 a 0,20
AC-09	Liguay-Longaví	0,10 a 0,15
AC-10	Longaví Sur	0,12 a 0,15
AC-11	Perquillauquén Norte	0,08 a 0,12
AC-12	Niquén-Perquillauquén	0,05 a 0,09
AC-13	Cauquenes Norte	0,05 a 0,10
AC-14	Cauquenes Sur	0,09 a 0,15
AC-15	Purapel	0,03 a 0,08
AC-16	Los Puercos	0,03 a 0,08

RESUMEN TRANSMISIBILIDADES Y PERMEABILIDADES CUENCA DEL RÍO MAULE

SECTOR	T	K
	(m ² /d)	(m/s)
Río Claro desde San Rafael hacia agua arriba	360	1,8*10 ⁻⁴
Río Lircay - Talca	570	2,1*10 ⁻⁴
Estero Los Puercos	110	7,3*10 ⁻⁵
Río Maule desde conf. c/ río Claro hacia aguas arriba y río Loncomilla hasta Villa Alegre	760	2,9*10 ⁻⁴
Río Putagán – Linares –Yerbas Buenas – Colbún	380	1,6*10 ⁻⁴
Río Purapel	10	6,1*10 ⁻⁵
Río Loncomilla – Río Perquilauquén hasta conf. c/rio Purapel – Río Niquén (Longavi, Retiro Parral, San Gregorio)	360	1,4*10 ⁻⁴
Río Cauquenes	390	1,4*10 ⁻⁴

De acuerdo con el estudio "Diagnóstico actual del riego, y drenaje en Chile y su proyección informe final, diagnóstico del riego, y drenaje en la VII región febrero – 2003", al norte del río Maule, existen valores del coeficiente de transmisibilidad relativamente homogéneos. Tanto en Talca, San Clemente, Pelarco y Cumpeo, varían entre 1.500 y 2.000 m²/día. Este coeficiente es considerablemente menor en Panguilemu donde se ha calculado en torno a 200 m²/día. Las productividades específicas se han medido en 2,5 m³/h/m en Panguilemu y en 4,5 m³/h/m cerca de Talca, al sur de Panguilemu. En Talca se tiene un valor medido de 17 m³/h/m en un pozo de 60 m de profundidad.

En Pelarco se ha medido valores de productividad específica de 8 m³/h/m, mientras que en San Clemente, ha alcanzado 11,5 m³/h/m. En la parte central de la cuenca del río Maule, entre el río Maule y el río Lirguay, se ha individualizado una zona que tiene valores de coeficiente de transmisibilidad de 200 m²/día. En los primeros 50 m de espesor saturado, esta condición de baja transmisibilidad se prolonga hacia el sur, hasta abarcar San Antonio y Linares. Sin embargo, en profundidad, es probable encontrar VI1.37 transmisibilidades del orden de 1500 a 2000 m²/día, hecho comprobado con los sondeos de Linares y San Antonio.

En Maule sur, San Javier y Villa Alegre, la transmisibilidad es del orden de 3500 m²/día, considerando un espesor saturado de 100 m. En Melozal se ha calculado un coeficiente de transmisibilidad de 300 m²/día, para una potencia reconocida de 55 m. Para una potencia de 100 m se estima un valor de 500 m²/día. En Villaseca, para una potencia total de relleno sedimentario de unos 100 m, se considera una transmisibilidad de 1500 m²/día.

9.4.3.7.5. PIEZOMETRIA

Las direcciones de flujo en este acuífero muestran una dirección SE-NW con una diferencia de cota piezométrica desde 170 a 30 m.s.n.m. El gradiente es más tendido en la parte este, con un valor de 0,002, que en la parte oeste, donde se incrementa paulatinamente hasta valores de 0,007. Las direcciones de flujo se acomodan al drenaje efectuado por el río Maule, cuyos aluviales se conectan con este acuífero.

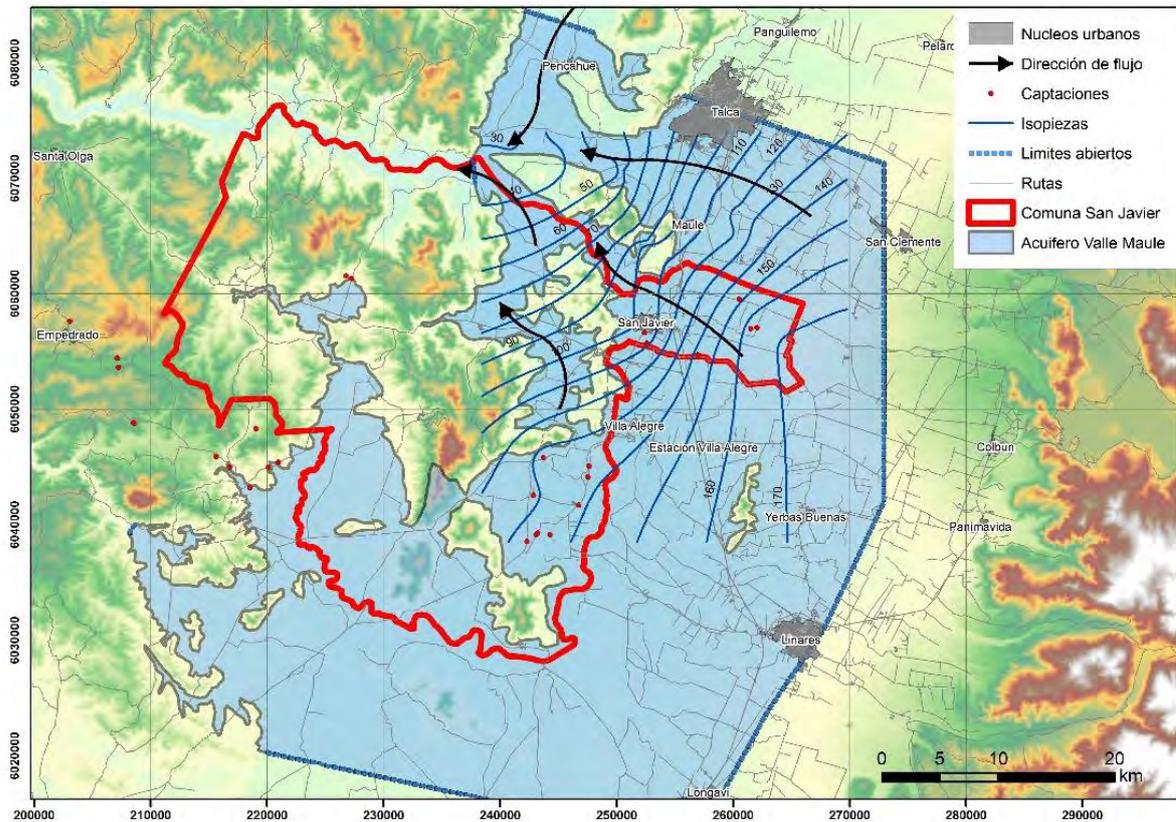


Figura 104. Piezometría del acuífero Valle del Maule

9.4.3.7.6. BALANCE

Al tratarse de un gran acuífero de distribución irregular y límites abiertos muy amplios por las restricciones de la zona de estudio, el balance resulta algo complejo. Por ello se han estimado algunos parámetros desconocidos a priori con el fin de dar coherencia al balance general. Las entradas están constituidas por la infiltración directa, entradas laterales de los márgenes abiertos al norte, sur y este del acuífero, infiltración subsuperficial procedente del basamento en los bordes y formaciones impermeables limítrofes y retorno de riego. Las salidas esta representadas por las cuantiosas extracciones por bombeo y los afloramientos, los cuales se deben al drenaje del acuífero por la red de cauces que en su límite oeste drenan hacia la costa, principalmente el río Maule. También se computan las salidas laterales al Aluvial del Río Maule.

Tabla 59. Balance hídrico acuífero Valle del río Maule

ACUIFERO VALLE MAULE	l/s
Entradas laterales	786,63
Infiltración Subsuperficial	1.676,50
Infiltración cauce	0,00
Infiltración Directa	5.482,22
Infiltración Retorno de Riego	2.176,07

ACUIFERO VALLE MAULE	l/s
Salidas por Bombeos	5.200,91
Salidas laterales	250,00
Afloramientos	4.920,52
Salidas al Mar	0,00

9.4.4. ALUVIAL RELOCA

Este acuífero así denominado se ha incluido por limitar con la parte sur del área de estudio de la VII región, aunque sólo un diez por cien del mismo se ubica dentro de dichos límites. Corresponde al aluvial del río Reloca y especialmente en aquellos sectores de mayor desarrollo de los aluviales, como el área próxima a la desembocadura y la zona de Empedrado.

Su extensión comprende desde su desembocadura hasta la desaparición de la formación aluvial donde el cauce se encaja morfológicamente. Esta extensión longitudinal es de unos 24 km. El área delimitada es de 65 km².

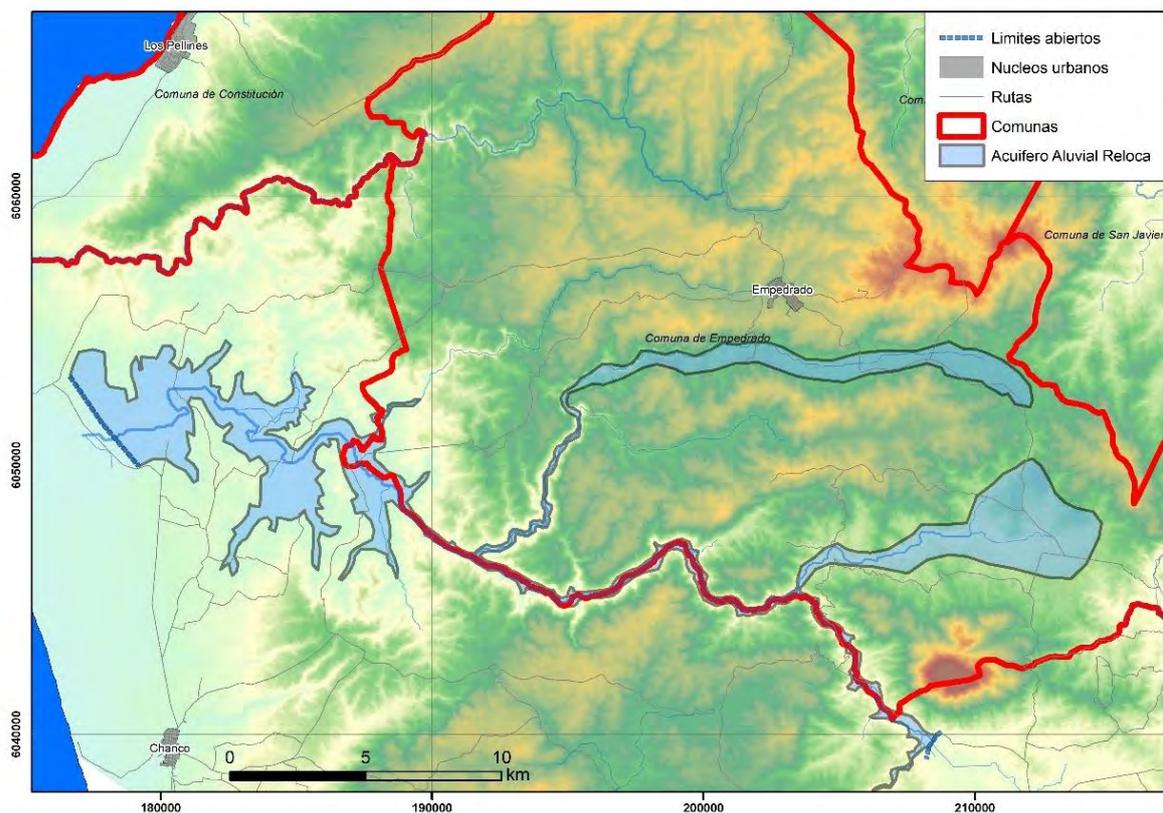


Figura 105. Situación del acuífero Aluvial Reloca.

9.4.4.1.1. GEOLOGIA

La geología viene representada por una formación aluvial del cuaternario depositada sobre el cretácico marino de la formación Ks1m. Esta última está constituida por

secuencias sedimentarias marinas de plataforma, litorales o transicionales: areniscas, conglomerados, lutitas, calizas extraclásticas y oolíticas y sucesiones turbidíticas. En esta zona corresponde a la formación Quiriquina, la cual ha sido profusamente estudiada. En concreto está compuesta por un conglomerado basal de un metro de espesor con clastos centimétricos del basamento. Sobre el conglomerado existe una secuencia de aproximadamente 25 m de areniscas pardas de grano fino a grueso y un alto contenido de fósiles. Sobre las areniscas pardas, se encuentran las areniscas glauconíticas con una potencia de 20 m, de grano fino, color verde y sin fósiles. Estas rocas se encuentran en estado fresco sólo en cortes de caminos, en otros lugares aflora meteorizada, argilizada en varios grados y con alto contenido de minerales ferrosos. Los fósiles en la arenisca parda han permitido datar esta Formación como Cretácico Superior.

En el último tramo de la desembocadura del río, aparecen materiales del cuaternario marino formados por arenas y conglomerados de playa.

En el límite este del acuífero afloran las pizarras y filitas de la formación Pz4b del silúrico-carbonífero.

9.4.4.1.2. FORMACIONES PERMEABLES

Atendiendo a la permeabilidad de los materiales aflorantes, se han distinguido los siguientes grupos;

Tramos Permeables

Como tramos permeables se consideran las formaciones aluviales del río y cuaternarias marinas de la desembocadura. Igualmente la formación Ks1m, como se ha descrito en el capítulo anterior, presenta un conjunto de litologías que le confieren una permeabilidad aceptable.

Tramos de baja y muy baja permeabilidad

Dentro de este grupo afloran en el entorno del acuífero únicamente las pizarras de la formación Pz4b, las cuales deben de disponerse inferiormente a la formación cretácica, y por tanto representa la base impermeable del conjunto acuífero.

9.4.4.1.3. PARÁMETROS ELÁSTICOS

No se dispone de datos aportados por expedientes que permitan valorar los parámetros hidráulicos de estos acuíferos con detalle.

De acuerdo a los antecedentes (Diagnóstico de recursos hídricos en secano interior y costero en VI a VIII Región), se aportan valores de gasto específico de 1,0 l/m/s. Respecto a los valores de transmisividades, dada la formación acuífera, cabe esperar valores muy variables entre 5 y 1000 m²/día. El caudal máximo de explotación alcanzado por los sondajes es 23 l/s con una profundidad de 22 m. La máxima profundidad habilitada en el sector es de 40 m sondaje para el cual se ha logrado un rendimiento de sólo 3 l/s. Igualmente en el mismo trabajo se determina un indicador hidrogeológico mostrado en la tabla adjunta. En el caso de Empedrado, se aportan valores de gasto específico de 0,5 l/m/sg.

9.4.4.1.4. PIEZOMETRIA

Como se ha mencionado para otros acuíferos aluviales identificados en el presente estudio, no se dispone de datos de expedientes o catastro para la representación de la piezometría de este acuífero.

A nivel conceptual, se puede considerar la distribución de niveles piezométricos como la correspondiente a un nivel freático conectado con la lámina de agua del río y sujeto a las variaciones estacionales de la misma.

Al tratarse de un aluvial encajado entre materiales del basamento, y como se ha observado en otros acuíferos similares, existe una conexión hidráulica de dicho basamento con el aluvial. Esto da lugar a un drenaje hacia el río de los niveles presentes en las formaciones del paleozoico, a pesar del bajo valor de permeabilidad que los caracteriza.

9.4.4.1.5. BALANCE

Las entradas computadas en este acuífero corresponden a la infiltración directa, infiltración subsuperficial procedente del basamento de baja permeabilidad a través de los bordes del aluvial y el retorno de riego. Las salidas se producen por bombeos, muy escasos de acuerdo a los datos censados y probablemente mayores en la realidad, y el total de salidas naturales del acuífero computadas como salidas laterales a través del límite abierto al oeste en el que el acuífero continúa hasta el mar.

Tabla 60. Balance hídrico acuífero Aluvial Reloca

ACUIFERO ALUVIAL RELOCA	l/s
Entradas laterales	-
Infiltración Subsuperficial	250,42
Infiltración cauce	-
Infiltración Directa	353,38
Infiltración Retorno de Riego	51,53
Salidas por Bombeos	6,50

ACUIFERO ALUVIAL RELOCA	l/s
Salidas laterales	648,80
Afloramientos	-

9.5. REGION VIII

9.5.1. ALUVIAL DEL RIO BIO BIO

El acuífero así denominado comprende todo el cuerpo sedimentario del río Bio Bio y parte de sus afluentes principales, con un carácter litológico aluvial y desarrollado extensamente. Abarca desde su desembocadura hasta las comunas situadas al este, fuera ya de la zona de estudio. Su longitud computada dentro de la zona de estudio es de 70 km., con una anchura media de 3,5 km. El área ocupada por el mismo es de 235,5 km². Al tratarse de un aluvial de gran extensión longitudinal, el acuífero se superpone y conecta hidráulicamente con otros definidos en la zona; el Triásico de Quilacoja-Santa Juana y San Pedro de la Paz-Talcahuano.

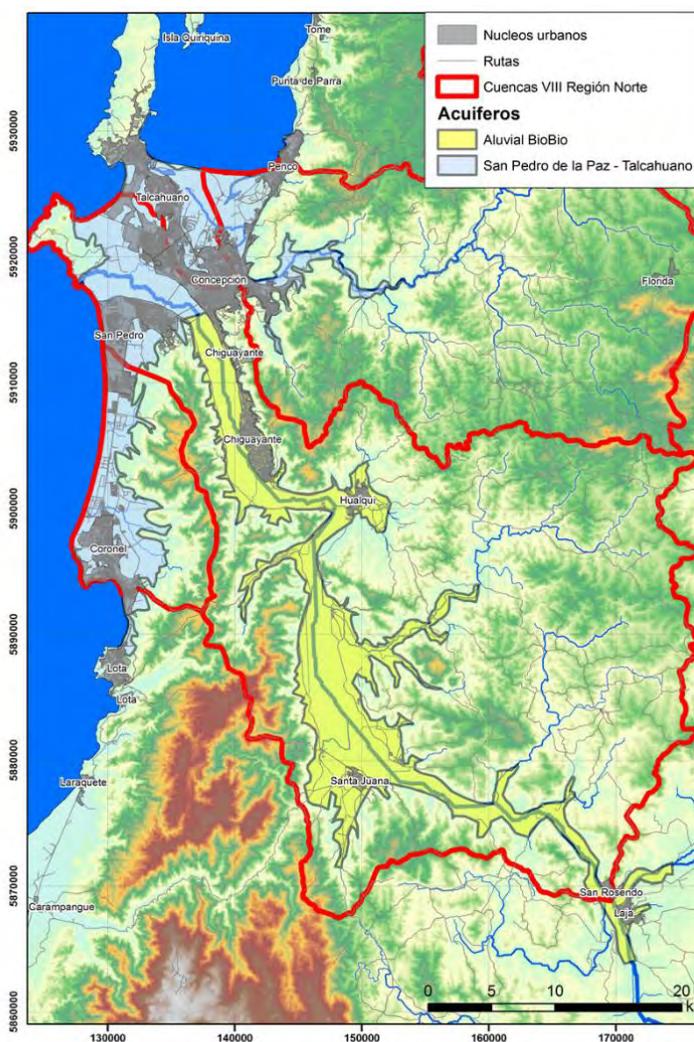


Figura 106. Situación geográfica del Acuífero Aluvial del Río Bio Bio.

9.5.1.1.1. GEOLOGIA

La geología del área viene condicionada por la transición estructural típica desde la costa hacia el interior a través de las cordilleras costeras. La formación atravesada por el cauce del Bio Bio, en el área de estudio, es principalmente la de un basamento de granitos donde encaja el cauce del mismo. En la zona de la costa el río discurre sobre materiales pleistocenos correspondientes a depósitos detríticos de costa.

9.5.1.1.2. FORMACIONES PERMEABLES

En base a los valores de permeabilidades estimadas se han agrupado las formaciones en los siguientes grupos:

Tramos permeables

Los tramos permeables de este acuífero se restringen a los aluviones cuaternarios del cauce del río, formados por gravas, conglomerados, arenas y limos.

Tramos de baja y muy baja permeabilidad

Respecto a los tramos de baja o nula permeabilidad, los cuales conforman los límites impermeables del acuífero, están representados por los materiales del zócalo paleozoico. Dichos materiales presentan una permeabilidad secundaria por fisuración de muy bajo valor, pero que permite la conexión hidráulica de los mismos con los aluviales del río.

9.5.1.1.3. GEOMETRIA

La geometría del acuífero corresponde a los aluviales sedimentados a lo largo del cauce del río y a sus afluentes principales. Se disponen de forma longitudinal sobre los granitos de base y laterales que constituyen sus límites impermeables.

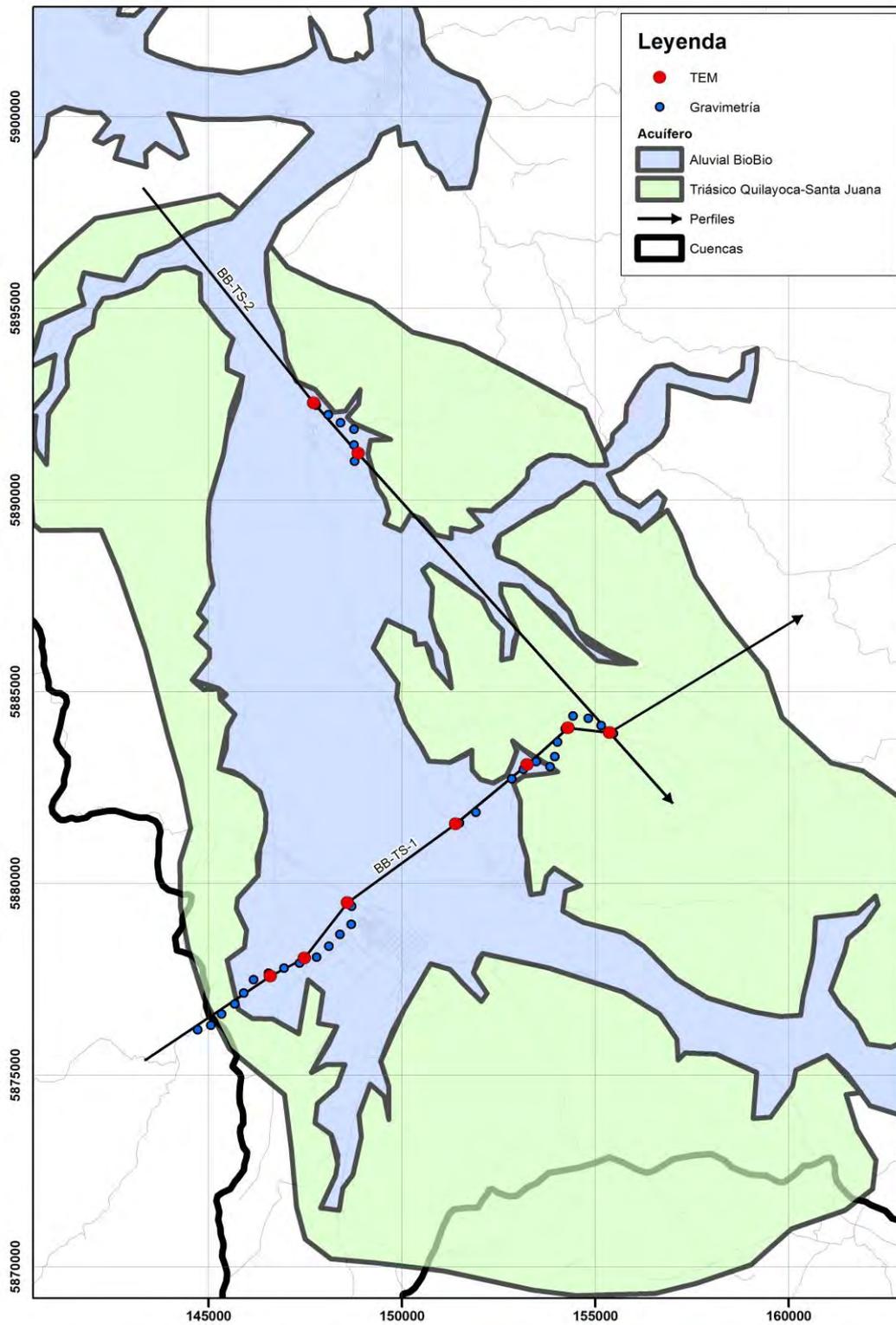


Figura 107. Planta de perfiles en Aluvial del Biobío y Triásico de Santa Juana-Quilacoya

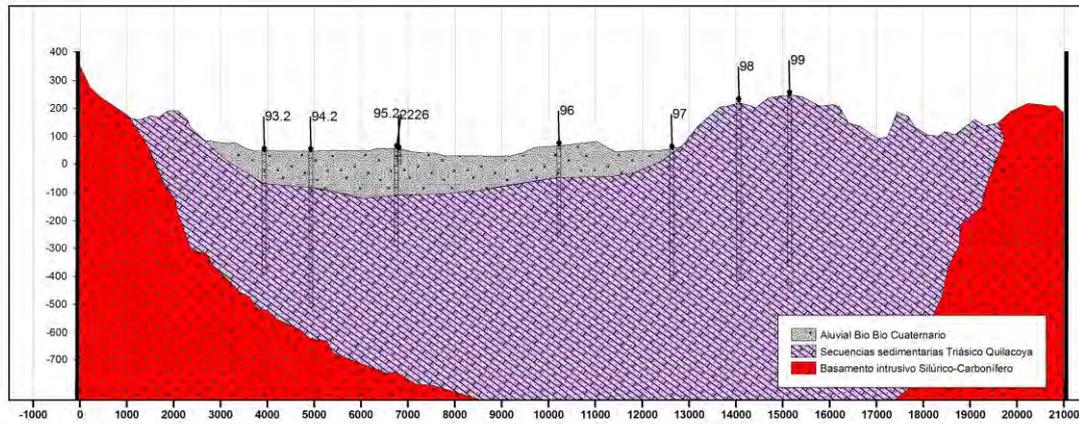


Figura 108. Perfil BB-TS-1

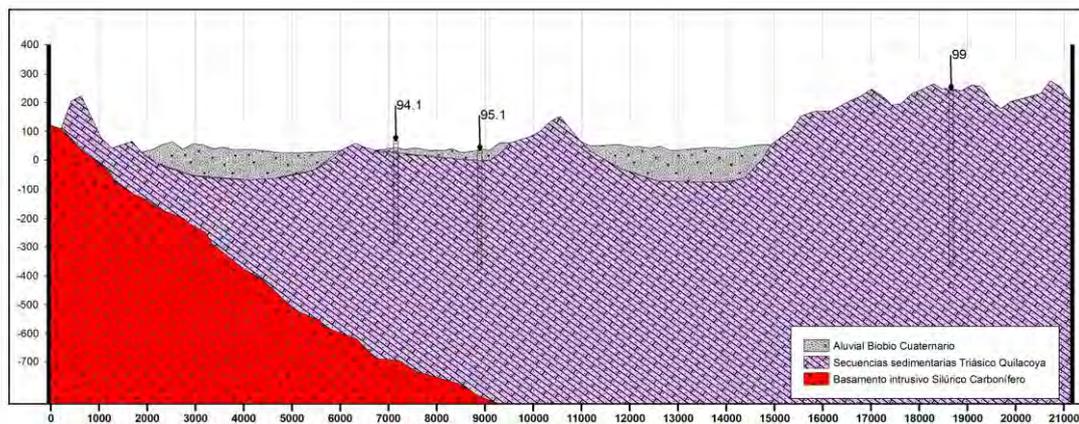


Figura 109. Perfil BB-TS-2

9.5.1.1.4. PARAMETROS ELASTICOS

No se dispone de datos de aforos en los expedientes recabados para poder evaluar la transmisividad y coeficiente de almacenamiento mediante la reinterpretación de curvas. Atendiendo a los datos existentes en los antecedentes, se dispone de lo recogido en el estudio "Estudio Hidrogeológico Cuencas Bio Bio e Itata. DGA", se aportan los siguientes datos de transmisividades.

Rango Transmisibilidad (m ² /día)	Cantidad de Pozos	% de pozos del Total
< 150	101	52,6 %
150-250	22	11,5%
250-350	23	12,0%
350-450	15	7,8%
>450	31	16,1 %
Totales	192	100 %

Figura 110. Valores de transmisividades para la cuenca de Bio Bio

Respecto a los valores de S, y teniendo en cuenta el carácter detrítico de la formación, cabe esperar valores entre 0.03 y 0.06.

En el estudio "Estudio hidrogeológico cuenca Bio Bio, DGA, Aquaterra Ingenieros" se calcularon valores de transmisividad para toda la cuenca, alguno de ellos en la zona del presente estudio. Los valores aportados, de acuerdo a la figura adjunta, oscilan entre una permeabilidad de 0.00045 a 0.02 m/día.

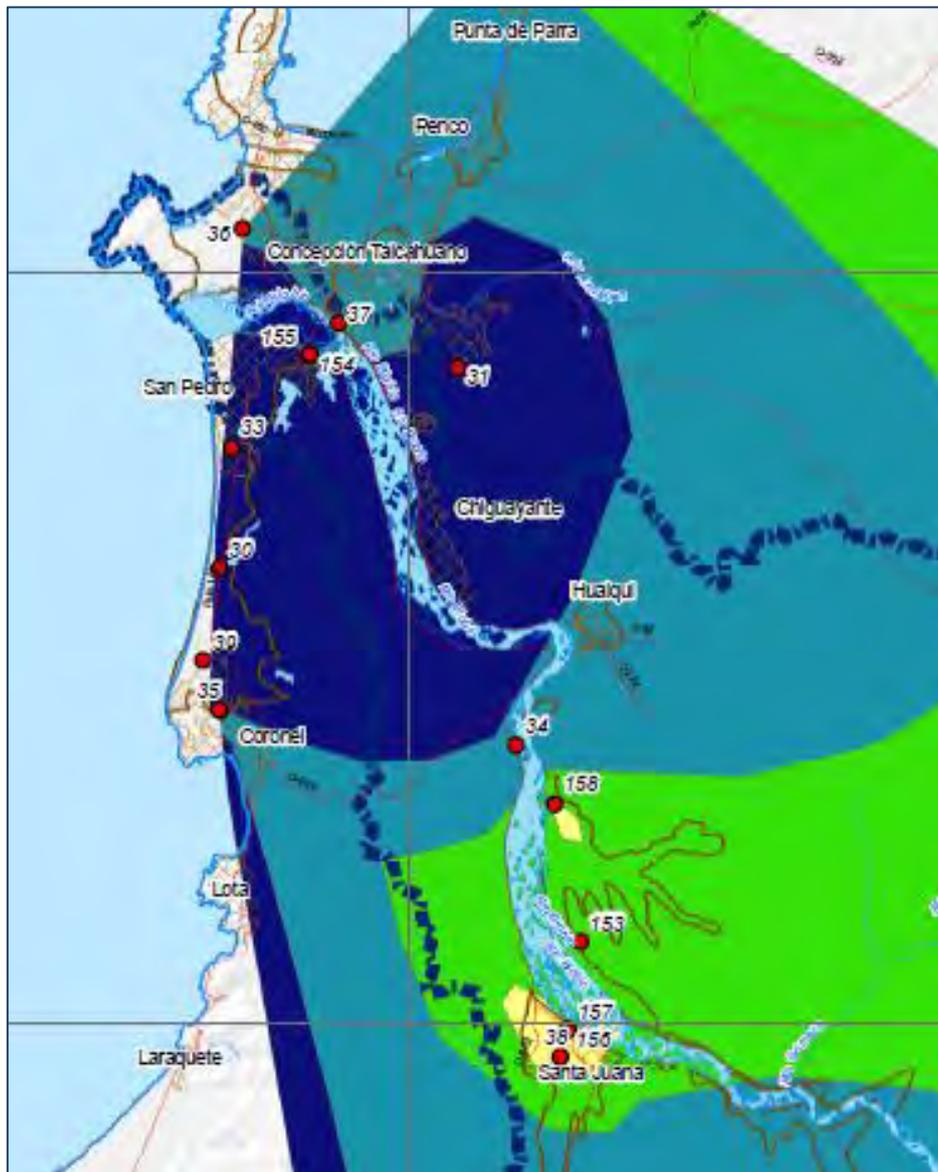


Figura 111. Valores de permeabilidades para la cuenca de Bio Bio. Fuente: "Estudio hidrogeológico cuenca Bio Bio, DGA, Aquaterra Ingenieros"

9.5.1.1.5. PIEZOMETRIA

La piezometría de este acuífero se ajusta a la distribución esperada en un aluvial, presentando isopiezas cuasi perpendiculares al cauce. Únicamente esta tendencia se rompe a la altura media del acuífero por la influencia de dos afluentes que drenan al río. Las cotas piezométricas van desde los 90 a los 25 m.s.n.m. casi en el límite del acuífero con el de San Pedro- Talcahuano, con el cual conectarse al prolongarse los aluviales del río

en el mismo. Los gradientes oscilan entre 0,003 en la parte alta del río hasta un valor de 0,001 cerca de la desembocadura.

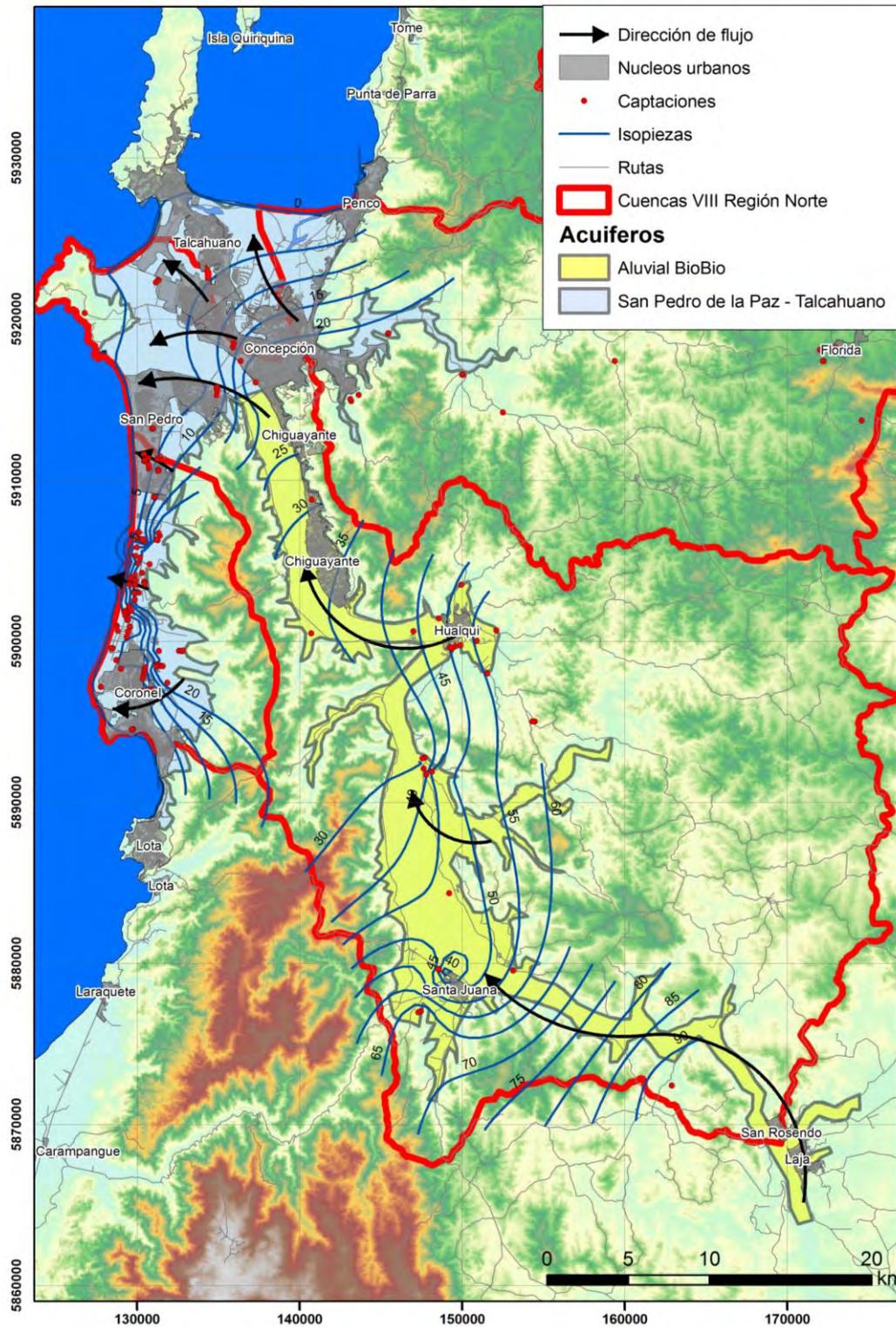


Figura 112. Piezometría aluvial del Biobío

9.5.1.1.6. BALANCE

En las entradas laterales de este acuífero se han computado las entradas laterales del acuífero Quilacoya-Santa Juana, el cual drena hacia el aluvial. Además se suman la infiltración subsuperficial procedente del basamento de baja permeabilidad, la infiltración directa, y retorno de riego. Las salidas comprenden los bombeos, afloramientos al río Bio Bio, los cuales de acuerdo al modelo aplicado en el presente estudio son las principales salidas, y salidas laterales al acuífero San Pedro-Talcahuano.

Tabla 61. Balance hídrico acuífero Aluvial BioBio

ACUIFERO ALUVIAL BIO BIO	
Entradas laterales (T-Quilacoya)	1.231,76
Infiltración Subsuperficial	811,75
Infiltración cauce	0,00
Infiltración Directa	2.243,10
Infiltración Retorno de Riego	287,45
Salidas por Bombeos	385,97
Salidas laterales	0,00
Afloramientos	4.135,50
Salidas al Mar	8,00

9.5.2. TRIÁSICO QUILACOYA – SANTA JUANA

El acuífero así denominado en el presente estudio está formado por un cuerpo de materiales triásicos encajados en el basamento granítico y ubicado entre las dos poblaciones elegidas para su denominación. Se extiende en forma lenticular con una longitud máxima de 32 km. y una anchura de 17 km. Su área es de 450 km².

9.5.2.1.1. GEOLOGIA

En la zona afloran los granitos del paleozoico que se extienden a lo largo de casi toda la cuenca del río Bio Bio, correspondiendo a la formación Cpg. Encajado entre las masas de granito afloran materiales del triásico, los constituyentes del acuífero, cuya formación es la Tr1c, y cuyas litologías son secuencias sedimentarias continentales aluviales, fluviales y lacustres, en parte transicionales: conglomerados, brechas, areniscas, lutitas e intercalaciones calcáreas.

A estas rocas estratificadas se les ha dado informalmente varios nombres de unidades litoestratigráficas, como el de Formación Santa Juana y otros, pero no existe una proposición formal, ni una sección estratigráfica tipo.

La estratigrafía de los afloramientos de rocas triásicas del valle del Biobío corresponde a secuencias sedimentarias constituidas por arcosas y litarenitas feldespáticas, con intercalaciones acuñaadas de lutitas negras y presencia subordinada de ruditas. Existen, además, en un par de localidades restringidas, intercalaciones de rocas volcánicas que alcanzan los 500 m de espesor, correspondientes a andesitas y tobas, informadas, por primera vez, por Abad y Figueroa (2003). Las potencias de estas sucesiones sedimentarias varían desde 10 a 700 m de acuerdo a la continuidad de los afloramientos, dispuestos discordantemente sobre rocas metamórficas y granitoides del Paleozoico. Su techo no aflora en el área.

Las arcosas y litarenitas feldespáticas son de granulometría muy variada encontrándose desde muy gruesas a muy finas en estructura maciza, principalmente, y con buena estratificación sólo en algunas localidades con estratos de 10 a 70 cm. Se observan estructuras de estratificación cruzada, laminación cruzada, laminación plana y 'ripple marks', en ambiente lacustre.

Las intercalaciones de lutitas son fisibles, de variados espesores desde 1 cm a 10 m y extensiones laterales de centímetros a decenas de metros, donde la geometría acuñaada es muy común, de color gris oscuro a negro, que representan probables llanuras de inundación, canales abandonados y superficies de 'ripple marks'. Son estas lutitas las que poseen fundamentalmente el contenido orgánico y paleontológico. En algunos sectores son altamente carbonosas, por lo que en el pasado hubo pequeñas explotaciones de carbón.

Las ruditas son variadas, desde un conglomerado fino cuarcífero clasto soportado, de un par de metros de potencia y ocupa posiciones basales en ciertos sectores, a otro brechoso, macizo, con clastos centimétricos y decimétricos con niveles clasto soportados y otros matriz soportados, de potencia aproximada a los 200 m, a varios de geometría acuñaada de clastos centimétricos, clasto soportados, en las arenitas. En horizontes de areniscas macizas, de potencias superiores a tres metros se aprecian niveles conglomerádicos de contactos difusos. En general, los clastos son de rocas metamórficas y graníticas, las que conforman el zócalo de las rocas triásicas.

9.5.2.1.1. FORMACIONES PERMEABLES

Atendiendo a las permeabilidades de los materiales aflorantes en el área, se distinguen los siguientes grupos:

Tramos permeables

La formación Tr1c presenta en su conjunto unas permeabilidades medias por su carácter detrítico. Los niveles de lutitas pueden actuar como confinantes o semiconfinantes dentro de la unidad.

Tramos de baja a muy baja permeabilidad

La única formación en este grupo es la Cpg, constituida por granitos que presentan cierta permeabilidad muy baja por fisuración. Ocasionalmente puede formar niveles de alteración cuya permeabilidad esté dentro del rango de baja.

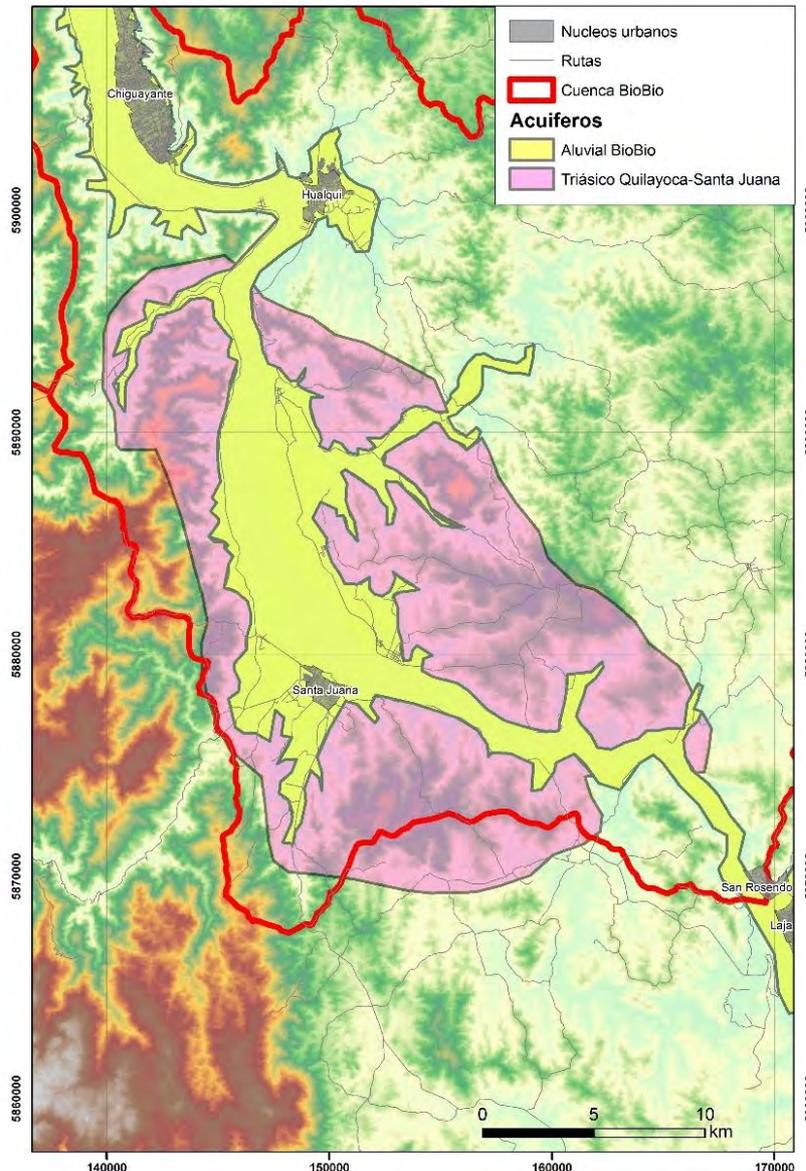


Figura 113. Situación geográfica del acuífero Triásico de Quilacoya-Santa Juana.

9.5.2.1.2. GEOMETRIA

La geometría del acuífero viene determinada por los contactos de la serie triásica con los granitos de caja. Son contactos discordantes y muchas veces tectónicos. La estructura interna de la serie se desconoce por no disponer de información específica de la zona, al igual que su espesor.

9.5.2.1.3. PARAMETROS ELASTICOS

No se dispone de datos de aforo para interpretar las curvas de gasto en esta zona. No obstante, en los antecedentes (Estudio Hidrogeológico Cuenca Bio Bio, DGA, Aquaterra Ingenieros) se aportan valores de permeabilidad en los alrededores de Santa Juana y Quilacoya, comprendidos entre 1×10^{-5} y 0.000045 m/día. El coeficiente de almacenamiento para esta formación mayoritariamente detrítica, aunque bastante consolidada, cabe estimarlo en valores entre 0.0005 y 0.001.

9.5.2.1.4. PIEZOMETRIA

No se dispone de datos para representar la piezometría de este acuífero. En principio debe de existir una conexión con el río Bio Bio y su acuífero aluvial, siendo cedente el acuífero triásico al aluvial. En este contexto, las direcciones de flujo drenan hacia el río.

9.5.2.1.5. BALANCE

Las entradas computadas suman la infiltración directa, la infiltración subsuperficial procedente del basamento de baja permeabilidad que rodea los afloramientos triásicos de este acuífero y un escaso retorno de riego. Las salidas del acuífero se producen por bombes, muy reducidos, afloramientos al cauce del Bio Bio y transferencia lateral al acuífero aluvial del Bio Bio.

Tabla 62. Balance hídrico acuífero Triásico Quilacoya-Santa Juana

ACUIFERO QUILACOYA-SANTA JUANA	l/s
Entradas laterales	-
Infiltración Subsuperficial	94,80
Infiltración cauce	-
Infiltración Directa	2.117,89
Infiltración Retorno de Riego	28,98
Salidas por Bombes	9,91
Salidas laterales	1.231,76
Afloramientos	1.000,00
Salidas al Mar	-

9.5.3. SAN PEDRO DE LA PAZ-TALCAHUANO

El acuífero así denominado se extiende desde el norte de la población de Lota hasta Penco y San Vicente al norte, ocupando una franja costera alargada de norte a sur. Su longitud de norte a sur es de 44 km. y de este a oeste de 14,8 km. en su parte más ancha. La superficie total es de 258.4 km². El río Bio Bio atraviesa este acuífero de este a oeste hasta su desembocadura, estando conectado el aluvial de dicho río con el acuífero.

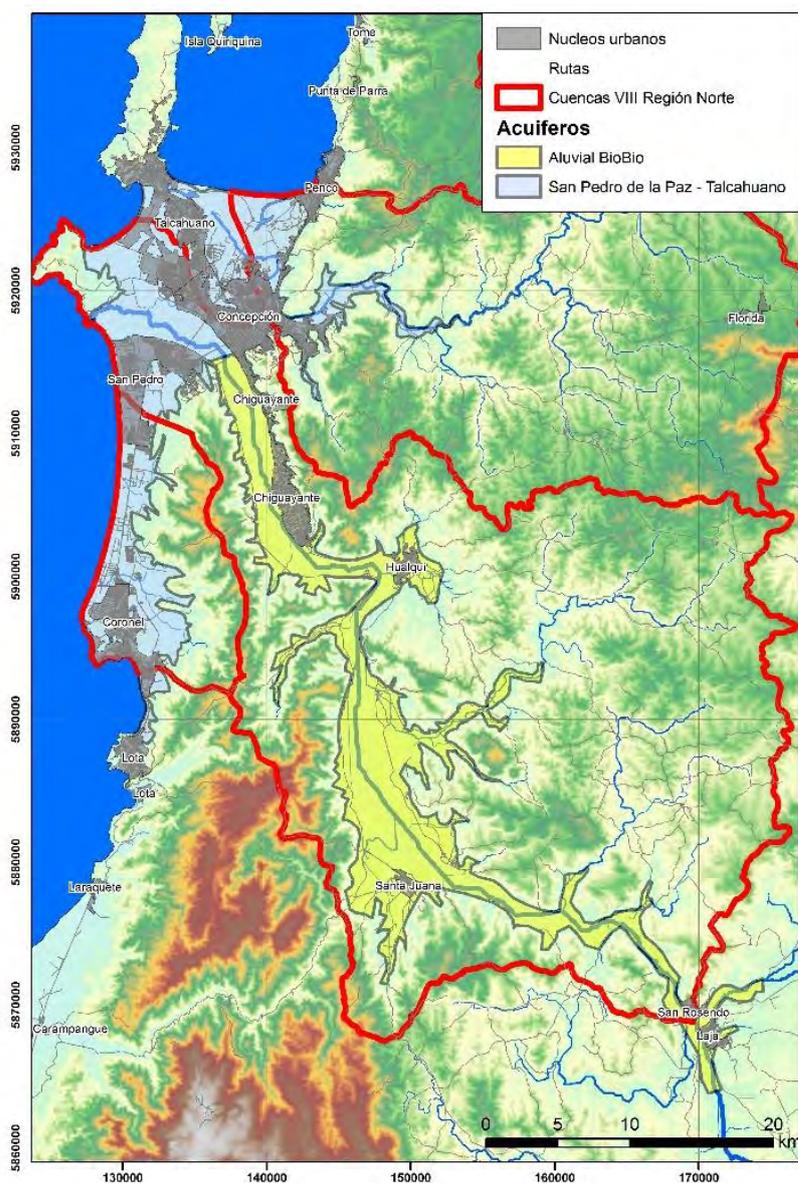


Figura 114. Situación geográfica del acuífero San Pedro de la Paz- Talcahuano

9.5.3.1.1. GEOLOGIA

La geología del acuífero corresponde a series sedimentarias marinas suprayacentes sobre los esquistos y pizarras del basamento paleozoico aflorantes hacia el interior (formaciones Pz4a, Pz4b, Cpg).

Los depósitos marinos (form. Qm) están formados por sedimentos de playa, mayoritariamente arenas. Por debajo se ubican series del Eoceno y Paleoceno. La formación del eoceno E1c, está constituida por secuencias sedimentarias continentales parálicas: areniscas, lutitas y mantos de carbón. El Paleoceno, representado por la formación PE1, está formado por secuencias sedimentarias marinas y transicionales: areniscas, limolitas calcáreas y mantos de carbón.

En contacto discordante sobre el basamento, aparecen niveles del cretácico (form. Ks1m) constituido por secuencias sedimentarias marinas de plataforma, litorales o transicionales: areniscas, conglomerados, lutitas, calizas extraclásticas y oolíticas, sucesiones turbidíticas.

9.5.3.1.2. FORMACIONES PERMEABLES

Tramos permeables

Como formación permeable se han considerado el conjunto de niveles de areniscas y conglomerados que aparecen en toda la serie terciaria y cretácica; formaciones Qm, E1c, PE1 y Ks1m. Dada la constitución en detalle de cada formación, cabe considerar la existencia de niveles de baja permeabilidad que puedan actuar como semiconfinantes en el conjunto de la serie.

Tramos de baja y muy baja permeabilidad

En este grupo se consideran los esquistos de la formación Pz4a, Pz4b y CPg. Estos materiales presentan una permeabilidad secundaria por fisuración y diaclasado.

9.5.3.1.3. GEOMETRIA

La geometría del sector de Talcahuano se conoce con precisión debido a los estudios previos (Levantamiento Hidrogeológico en Cuencas Pluviales Costeras en la Región del Libertador General Bernardo O´higgins y del Bio Bio).

Se incluye a continuación una serie de figuras con los perfiles más representativos del sistema:

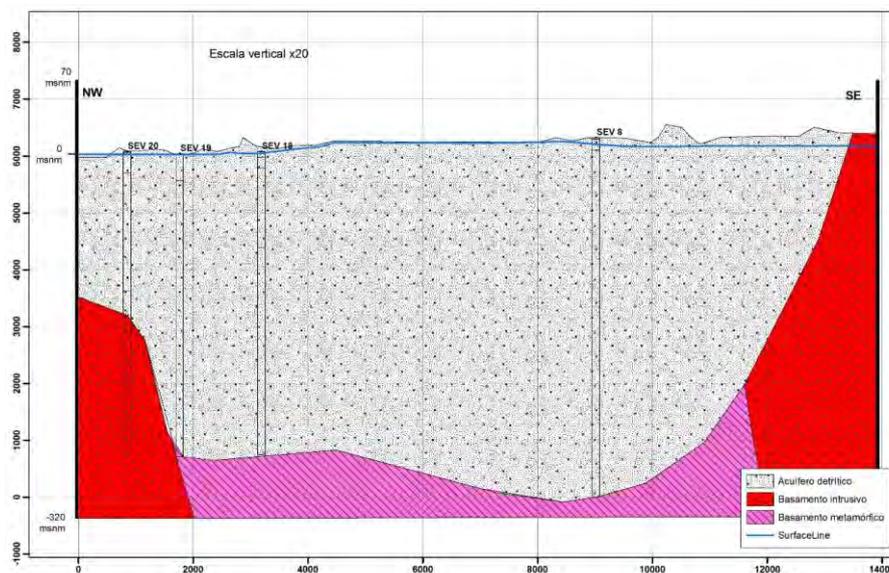


Figura 115. Perfil 1-1'. Sector Talcahuano

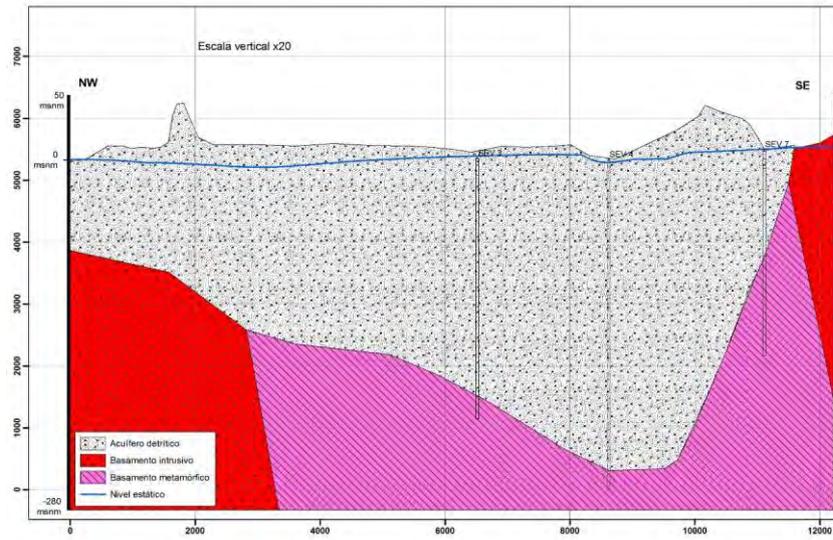


Figura 116. Perfil 4-4'. Sector Talcahuano

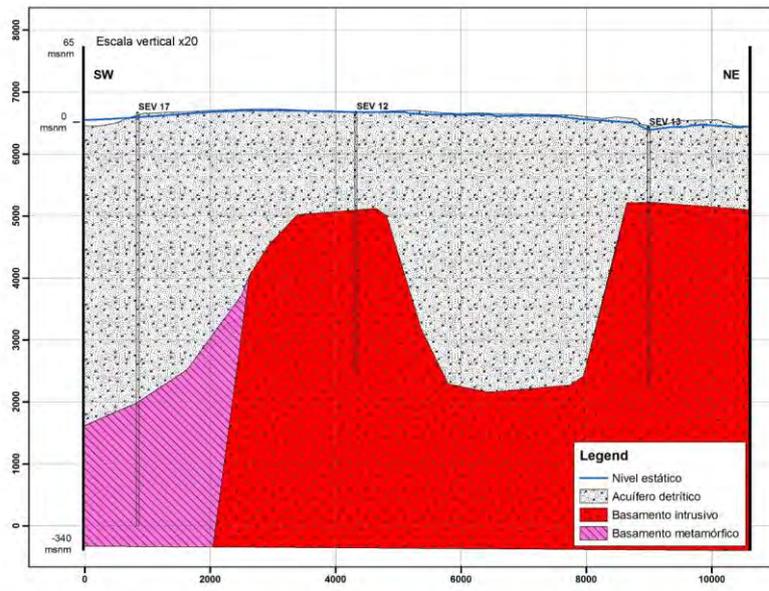


Figura 117. Perfil 5-5'. Sector Talcahuano

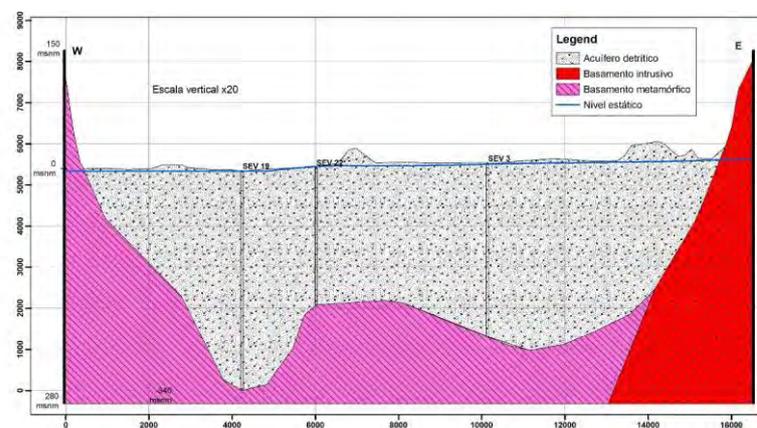


Figura 118. Perfil 10-10'. Sector Talcahuano

Este sector norte de Talcahuano se caracteriza por la existencia de un relleno detrítico sobre un basamento paleozoico formado por los materiales metamórficos e intrusivos. Las profundidades del relleno detrítico llegan a ser de 280 metros.

En el sector de San Pedro se han realizado una serie de perfiles geofísicos en el presente estudio, cuya ubicación se refleja en el mapa adjunto.

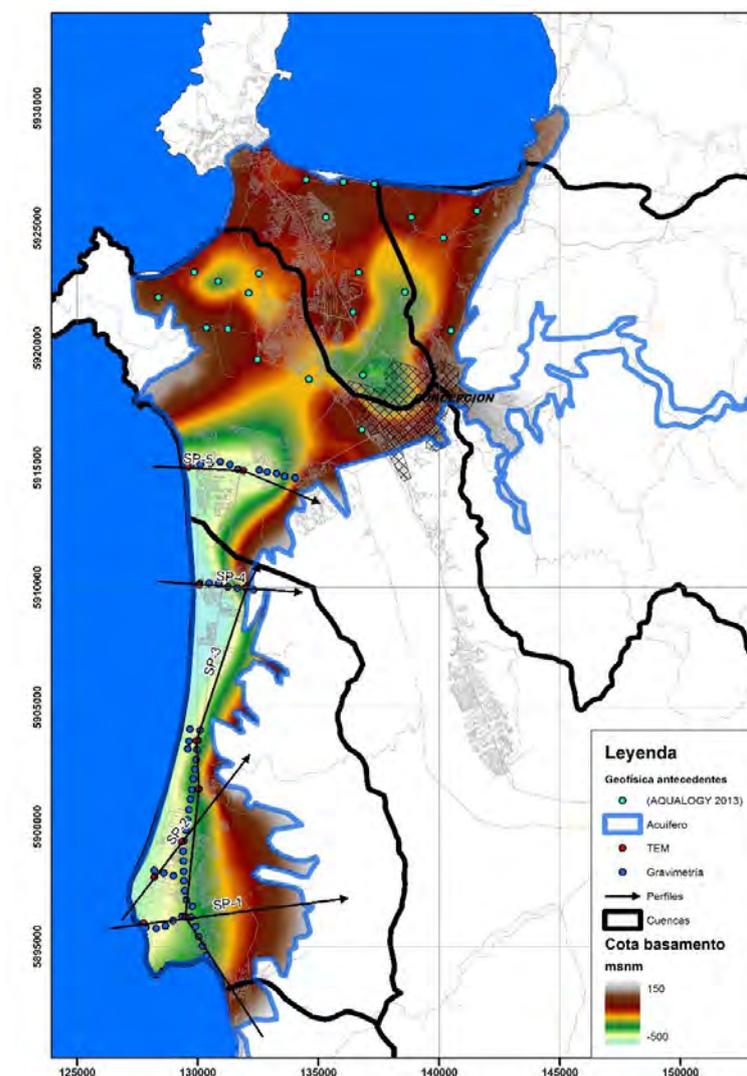


Figura 119. Perfiles de geofísica sector San Pedro.

La profundidad del basamento, reconstruida con datos previos y los obtenidos en el presente estudio, muestran un máximo de profundidad en el sector medio del área de San Pedro, con profundidades de 480 metros. En general, en esta área el basamento se hunde más respecto al sector de Talcahuano, pudiendo existir un sistema de fallas que marquen esta diferencia.

Respecto a la geometría de las formaciones acuíferas en las transversales E-W en la parte sur del sector de San Pedro, se aprecian los rellenos cuaternarios y eoceno-

paleocenos depositados sobre el basamento y buzantes hacia la costa. El cuaternario presenta espesores de 100 metros, mientras que las areniscas del eoceno-paleoceno tienen un espesor de 300 metros.

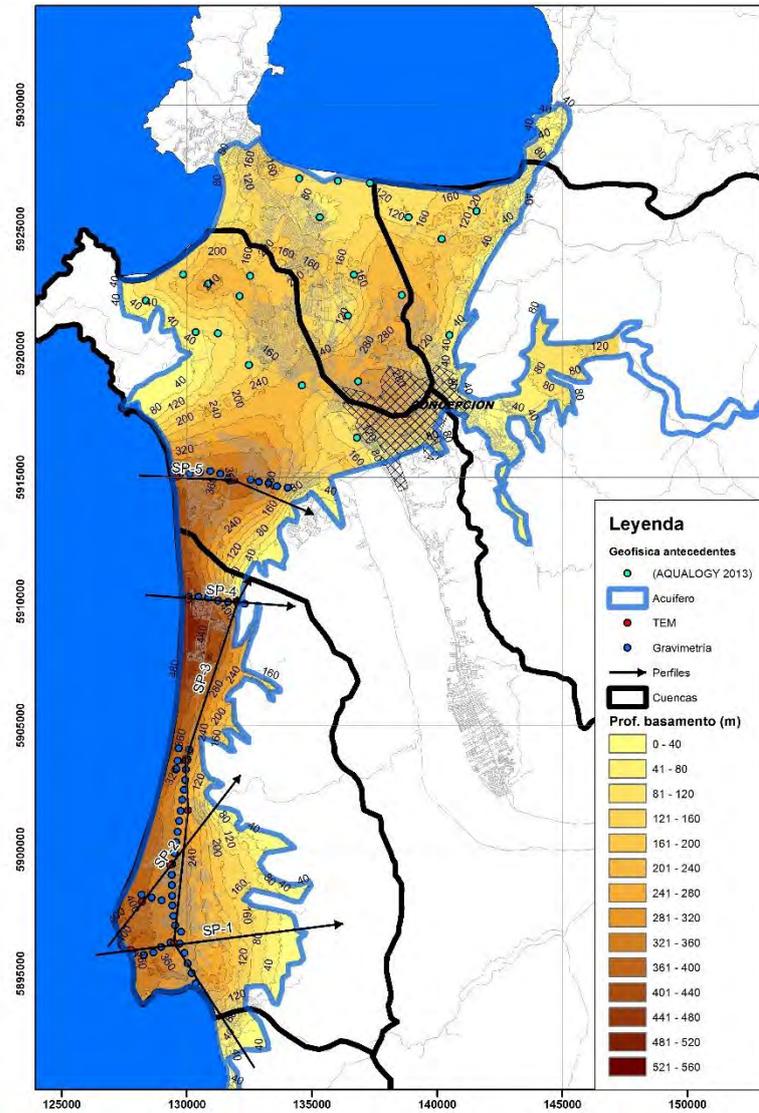


Figura 120. Profundidad del basamento en el acuífero San Pedro-Talcahuano

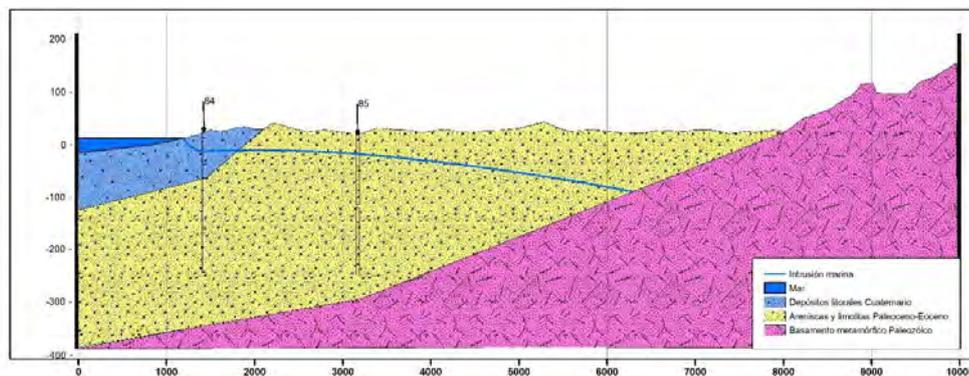


Figura 121. Corte transversal W-E del acuífero en el sur del sector de San Pedro.

En base a las resistividades medidas, se ha interpretado un cambio significativo dentro de las formaciones permeables que sería reflejo de la existencia de una cuña de intrusión marina en el acuífero.

En la parte norte del sector de San Pedro, el esquema geométrico es similar, aunque el basamento se hunde con una pendiente mucho mayor. Igualmente se ha detectado la cuña de intrusión marina observada en el área sur.

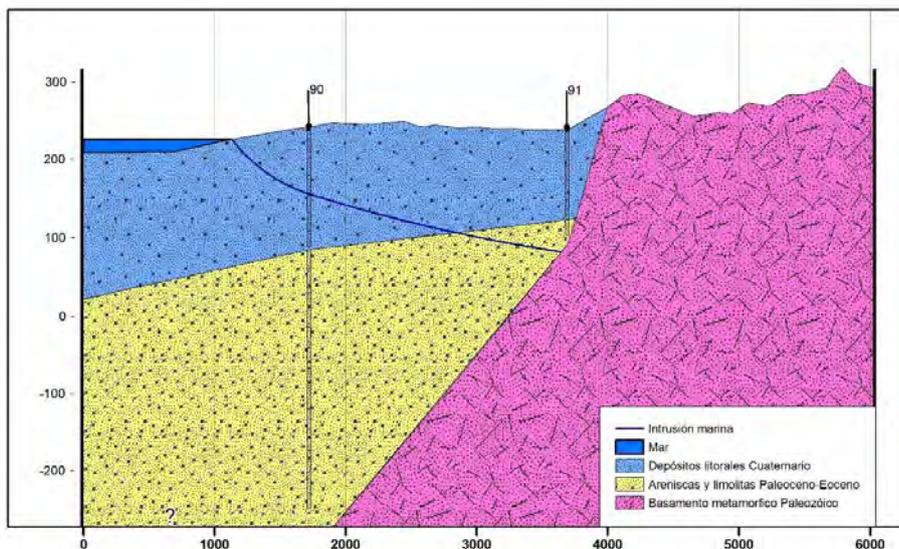


Figura 122. Corte transversal W-E del acuífero en el norte del sector de San Pedro.

9.5.3.1.4. PARAMETROS ELASTICOS

En base a los datos existentes en los expedientes de esta zona, se han podido interpretar tres ensayos de bombeo correspondientes a pozos que explotan este acuífero.

Los datos y curvas obtenidas son las siguientes:

- Exp. 0803-1249

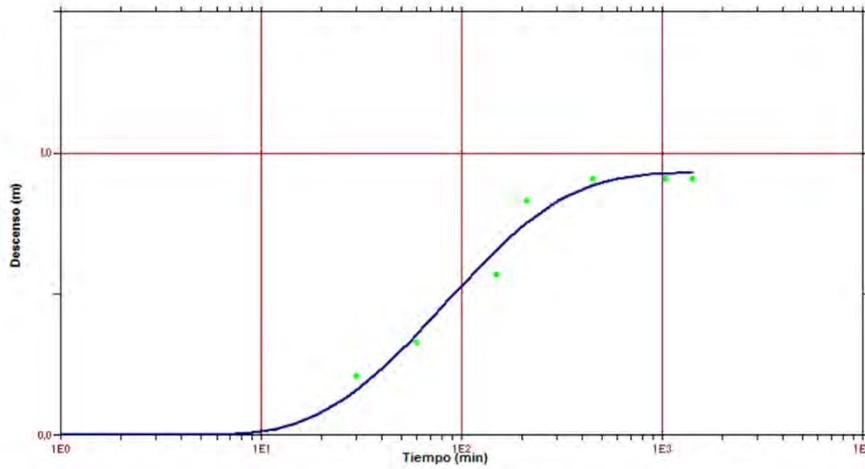
Los datos tratados de descenso tiempo-son:

Tabla 63. Prueba de gasto constante expte. ND-0803-1249

Tiempo (min)	Prof. Del Agua (m)	Descenso (m)	Q (l/s)
0	0.94	0	28.4
30	1.15	0.21	
60	1.27	0.33	
150	1.51	0.57	
210	1.77	0.83	

Tiempo (min)	Prof. Del Agua (m)	Descenso (m)	Q (l/s)
450	1.85	0.91	
1050	1.85	0.91	
1410	1.85	0.91	

El ajuste de la curva es el siguiente:



Los valores obtenidos para dicha curva son:

Transmisividad m ² /día	Coefficiente de Almacenamiento (S)
310	0.01

- o Exp. 0803-601

Los datos tratados de descensos –tiempo son:

Tabla 64. Prueba de gasto constante expte. ND-0803-601

Tiempo (min)	Prof. (m)	Descenso (m)	Q (l/s)
0	3.20	0	15
1	3.22	0.02	
2	3.23	0.03	
3	3.25	0.05	
4	3.26	0.06	
5	3.27	0.07	
6	3.28	0.08	
7	3.29	0.09	
8	3.30	0.1	

Tiempo (min)	Prof. (m)	Descenso (m)	Q (l/s)
9	3.31	0.11	
10	3.32	0.12	
12	3.33	0.13	
14	3.34	0.14	
16	3.35	0.15	
18	3.35	0.15	
20	3.36	0.16	
25	3.36	0.16	
30	3.37	0.17	
35	3.37	0.17	
40	3.37	0.17	

La curva ajustada es la siguiente:

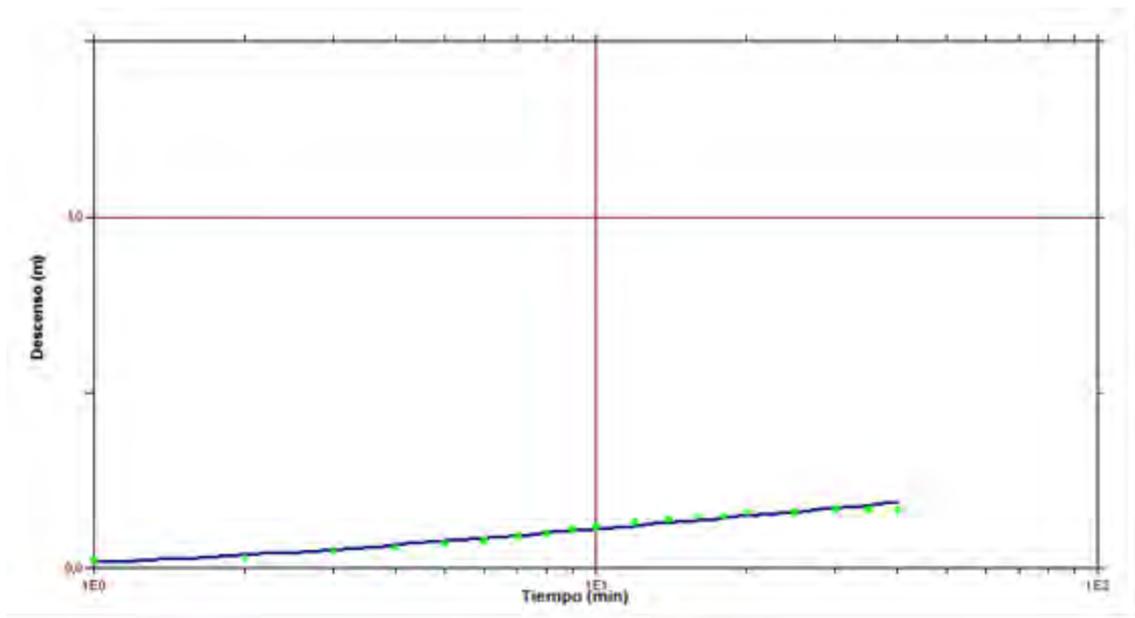


Figura 123. Interpretación de la prueba de gasto constante del pozo ND-0803-601

Los valores obtenidos para dicha curva son:

Transmisividad m ² /día	Coefficiente de Almacenamiento (S)
1813	0.01

- o Exp. 0803-2230

Los datos tratados de descensos-tiempo son:

Tabla 65. Prueba de gasto constante expte. ND-0803-2230

Tiempo (min)	Prof. Del Agua (m)	Descenso (m)	Q (l/s)
0	3.95	0	5
1	16.11	12.16	
2	16.55	12.6	
3	16.65	12.7	
4	16.67	12.72	
5	16.69	12.74	
6	16.71	12.76	
7	16.73	12.78	
8	16.74	12.79	
9	16.75	12.8	
10	16.76	12.81	
12	16.80	12.85	
14	16.82	12.87	
16	16.83	12.88	
18	16.84	12.89	
20	16.85	12.9	
25	16.86	12.91	
30	16.80	12.85	
35	16.88	12.93	
40	16.90	12.95	
50	16.94	12.99	
60	16.98	13.03	
70	17.02	13.07	
80	17.04	13.09	
90	17.18	13.23	
100	17.29	13.34	
110	17.30	13.35	
120	17.31	13.36	
150	17.34	13.39	
180	17.35	13.4	
210	17.52	13.57	
240	17.58	13.63	
270	17.54	13.59	
300	17.56	13.61	
360	17.61	13.66	
420	17.70	13.75	
480	17.71	13.76	
540	17.74	13.79	
600	17.76	13.81	
660	17.77	13.82	
720	17.79	13.84	
780	17.79	13.84	
840	17.80	13.85	
900	17.82	13.87	
960	17.84	13.89	
1020	17.87	13.92	
1080	17.89	13.94	
1140	17.91	13.96	
1200	17.91	13.96	
1260	17.91	13.96	
1320	17.91	13.96	
1380	17.91	13.96	
1440	17.91	13.96	

La curva ajustada para los datos anteriores es:

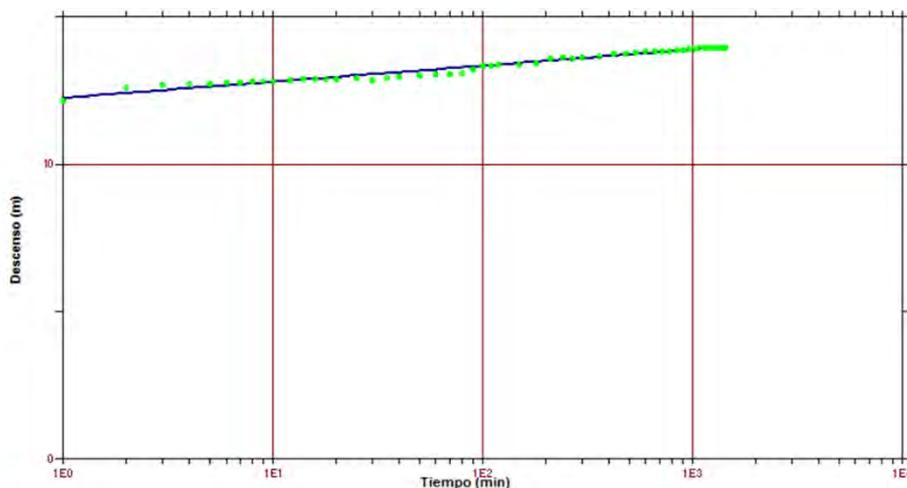


Figura 124. Interpretación de la prueba de gasto constante del pozo ND-0803-2230

Los valores obtenidos para dicha curva son:

Transmisividad m ² /día	Coefficiente de Almacenamiento (S)
145	0.01

Según datos facilitados por la DGA, en la cuenca costera entre Itata y Biobío se disponen de los siguientes parámetros elásticos:

Tabla 66. Parámetros elásticos. Cuenca entre Itata y Bío-Bío

X UTM	Y UTM	Prof. (m)	Cota (msnm)	Q esp (l/s/m)	T (m ² /d)	K (m/d)
668349	5933720	21	12	10,00	1800,00	181,82
668141	5933187	15	22	1,45	261,29	62,21
679948	5932505	14	71	0,36	64,80	37,24
669925	5932125	46	17	3,53	635,29	25,33
676440	5928463	40	21	0,43	77,14	6,59
676461	5926344	29	24	0,28	49,61	7,45
676126	5925165	24	21	0,45	80,60	20,05
671563	5925057	32	15	0,16	28,80	8,00
671564	5925073	25	16	6,82	1227,27	99,78
677236	5924084	80,6	73	1,17	210,28	6,28
677270	5924105	30,6	73	0,56	100,00	83,33
676959	5920058	30	74	5,68	1022,73	92,14

Los valores mostrados son coherentes con los obtenidos en la interpretación de las curvas de gasto.

9.5.3.1.5. PIEZOMETRIA

La piezometría realizada en el presente estudio para el total de este acuífero sigue un patrón claro de drenaje hacia la costa. En el sector norte de Talcahuano, las direcciones de flujo drenan hacia la línea de costa en este sector, y por tanto al norte. En el sector de San Pedro, con la costa orientada norte-sur, las direcciones de flujo son de este a oeste. Las cotas piezométricas oscilan entre los 36 m.s.n.m y la cota cero de la costa.

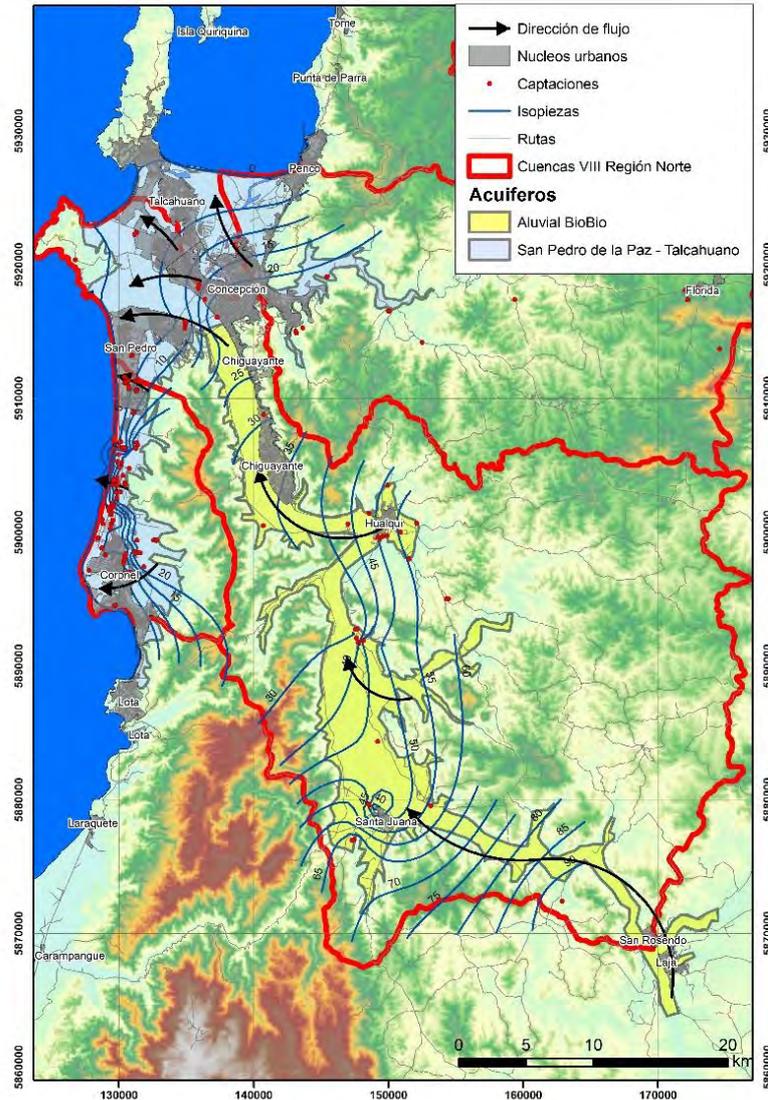


Figura 125. Piezometría del acuífero San Pedro de la Paz-Talcahuano.

Los gradientes hidráulicos del sector norte son más pronunciados en el interior, con valores en torno a 0,002, mientras que en la zona costera se tienden a valores en torno a 0,0005.

En la parte de San Pedro se observa un gradiente pronunciado desde el borde este del acuífero hasta la línea de costa, con un salto piezométrico de 32 metros en apenas

kilómetro y medio de distancia. Este salto tan pronunciado sugiere un cambio significativo de transmisividad que puede reflejar la conexión hidráulica del paleozoico, con un transmisividad muy baja, a las formaciones detríticas de la costa.

9.5.3.1.6. BALANCE

Las entradas computadas, de acuerdo al modelo realizado en el presente estudio para el acuífero Aluvial Bio Bio y este acuífero, son las entradas laterales del Bio Bio en su parte baja donde el aluvial discurre sobre este acuífero, infiltración subsuperficial de formaciones de baja permeabilidad limítrofes, infiltración directa y retornos de riego. Las salidas corresponden a los bombeos (computados en un 30% de los derechos concedidos) y salidas al mar.

Tabla 67. Balance hídrico acuífero San Pedro de la Paz-Talcahuano

ACUIFERO SAN PEDRO-TALCAHUANO	l/s
Entradas laterales	44,60
Infiltración Subsuperficial	308,68
Infiltración cauce	0,00
Infiltración Directa	1.745,86
Infiltración Retorno de Riego	202,37
Salidas por Bombeos	2.692,33
Salidas laterales	0,00
Afloramientos	0,00
Salidas al Mar	1.449,38

9.5.4. ACUIFERO COSTERO DE LEBU

El acuífero costero de Lebu se ubica en la zona costera desde la población de Lebu al norte hasta la parte norte del lago Lleulleu. Su longitud de norte a sur es de 46 km dentro de la zona de estudio, ya que el acuífero se prolonga al norte y sur de esta zona. El ancho medio es de 18 km. Hacia el interior sus límites se sitúan sobre Cañete y Caramavida. La superficie total computada en la cartografía es de 1165 km².

9.5.4.1. GEOLOGIA

Los materiales detríticos que afloran en esta cuenca corresponden a las formaciones PI1m y Qm. La primera se trata de secuencias litorales o fluviales con presencia de areniscas y gravas, mientras que la segunda corresponde a secuencias marinas litorales constituidas por arenas y gravas. Por debajo de estos materiales no se dispone de columnas de sondajes u otros datos que permitan establecer la serie, si bien, de acuerdo a los afloramientos cercanos en la zona de Lebu, podría considerarse la existencia de niveles del Paleoceno, Eoceno y Mioceno. El paleoceno aparece al norte con facies

correspondientes a depósitos de transición marino-continental con litologías de areniscas, limolitas y capas de carbón. (PE1). El Eoceno se presenta en facies marinas de areniscas y lutitas (E1m). El Mioceno se dispone en facies marinas transgresivas formadas por areniscas finas, arcillolitas y limolitas (M1m). Todo este conjunto puede constituir una unidad hidrogeológica con permeabilidades variables cuyo espesor se desconoce, siendo en todo caso mayor que el conjunto detrítico del acuífero costero en la zona sur (cuenca 089).

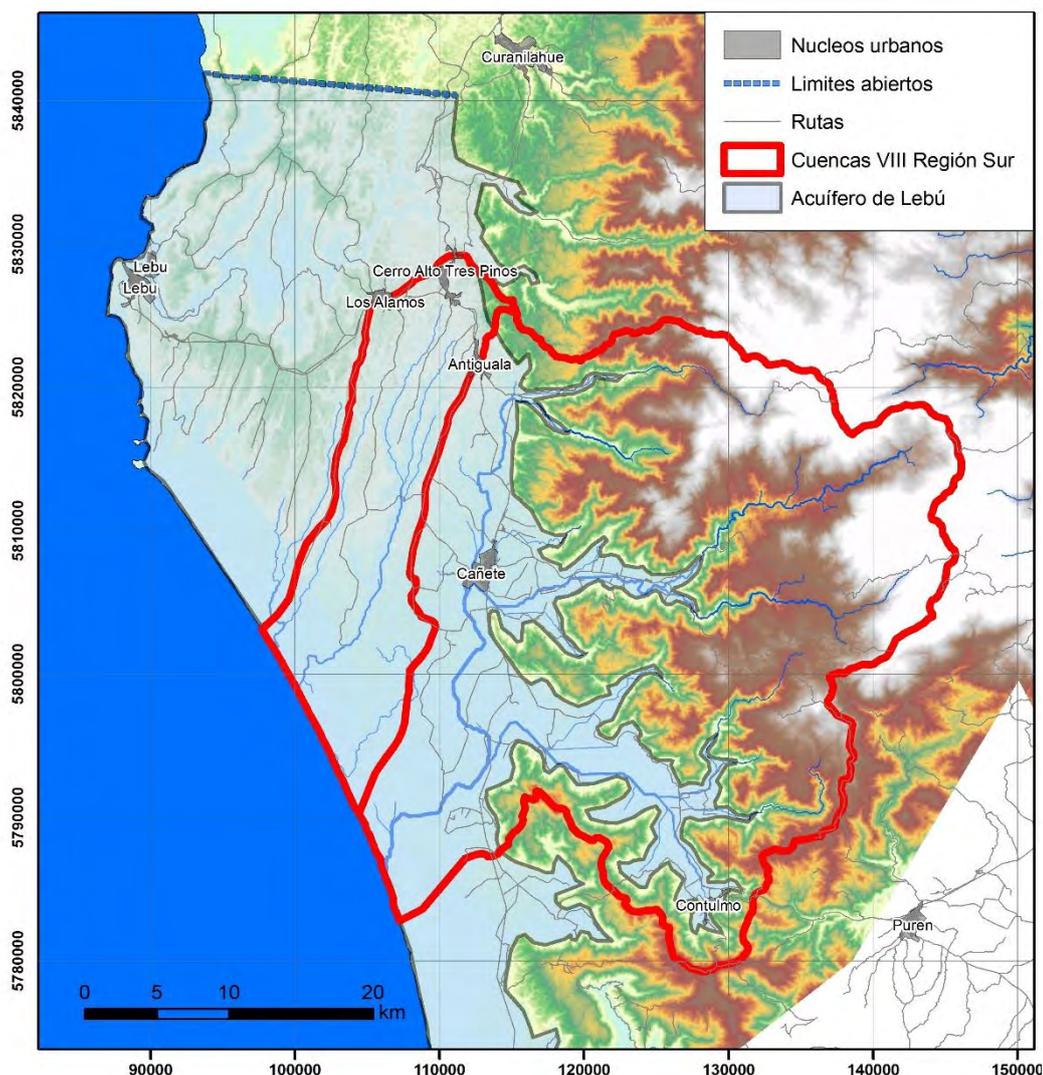


Figura 126. Ubicación del acuífero Costero de Lebu

9.5.4.2. FORMACIONES PERMEABLES

Tramos permeables

Esta unidad incluye depósitos litorales del cuaternario, dispuestos en forma de terrazas marinas y depósitos de playa, con importante desarrollo en la cuenca costera entre

límite regional norte y río Itata, cuenca entre el río Biobío y Carampangue, Cuenca entre el río Lebu y Paicaví y en la cuenca entre el río Paicaví y límite regional sur.

Estos depósitos agrupan a las siguientes unidades geológicas:

- Q: Depósitos fluviales, aluviales, coluviales y de remoción en masa. Cuaternario.
- Qm: Secuencias marinas litorales o fluviales estuarinas.

De Buen (1993) caracteriza los depósitos que corresponderían a esta unidad hidrogeológica, los cuales se presentan en la Tabla 69.

En el borde litoral, los depósitos de esta unidad forman terrazas marinas de espesor variable, entre 18 y 30 m; compuestos por estratos de arenas con escasa compactación y niveles de dunas.

En general, las terrazas marinas se caracterizan por una granulometría homogénea, compuestas por arenas finas a gruesas con escasos limos, que le confieren una alta permeabilidad y niveles de agua subterránea someros (AC Ingenieros Consultores, 1992).

Tramos de baja y muy baja permeabilidad

Esta unidad agrupa a las siguientes rocas (ver mapa geológico).

- Cpg: Rocas Ígneas conformada por granito, granodioritas tonalita, monzodiorita. Edad Carbonífero-cretácico.
- Pz: Rocas Metamórficas formada por pizarras, filitas, metaarenitas, metapelitas, esquistos. Edad Paleozoica.

En las rocas graníticas los intensos procesos de meteorización química han permitido la formación *in situ* de un suelo residual con gradación uniforme del tipo arena gruesa a **gravilla, denominado "maicillo"**. En la región se ha observado que estos suelos, de espesor variable, permiten la infiltración y formación de flujos locales de agua subterránea dirigidos hacia la Depresión Central (González *et al.*, 1999).

Las rocas graníticas, al estar alteradas generan una porosidad que les permite almacenar pequeños volúmenes de agua (porosidad 3-5%).

En general, en las rocas metamórficas los procesos de meteorización tienden a acentuarse en zonas de mayor fracturamiento, que les permite almacenar una cierta cantidad de agua cuyos volúmenes no son atractivos para ser utilizados en forma económica.

9.5.4.3. GEOMETRÍA

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

Su geometría se corresponde con las formaciones cuaternarias y pliocenas que por el este se acuñan perdiendo espesor desde la línea de costa hasta el contacto con el paleozoico alineado en un eje norte-sur. No obstante, habría que considerar la presencia también de las series del paleoceno, eoceno y mioceno subyacentes a las anteriores, aflorantes más al norte, y que igualmente se apoyan discordantes sobre un paleorelieve paleozoico.

Teniendo en cuenta las características litológicas descritas en capítulos anteriores, el acuífero puede comportarse como un acuífero multicapa y libre, si bien pueden aparecer tramos semi-confinados y confinados en función de la existencia de cambios laterales de facies internos en la formación acuífera principal, o bien en los niveles infrayacentes al cuaternario.

En el presente estudio se han realizado una serie de perfiles de geofísica cuya ubicación se recoge en el mapa adjunto.

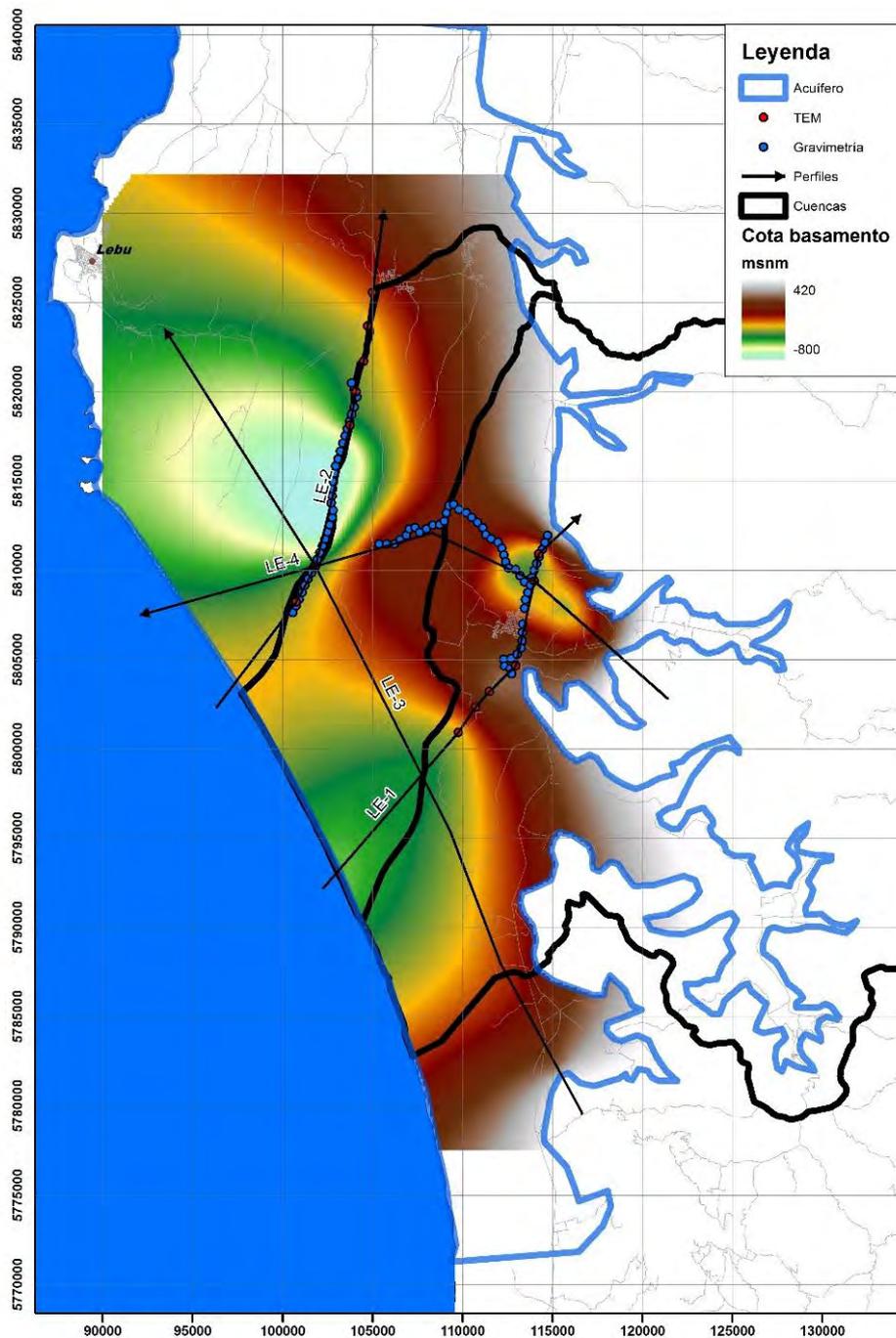


Figura 127. Perfiles de geofísica del acuífero Costero de Lebu

Atendiendo a la profundidad del basamento como base impermeable del acuífero, se han detectado dos zonas de hundimiento situadas al norte y centro del acuífero. La mayor de ellas, en la zona norte, presenta profundidades de 888 metros, mientras que la situada al sur muestra profundidades de 580.

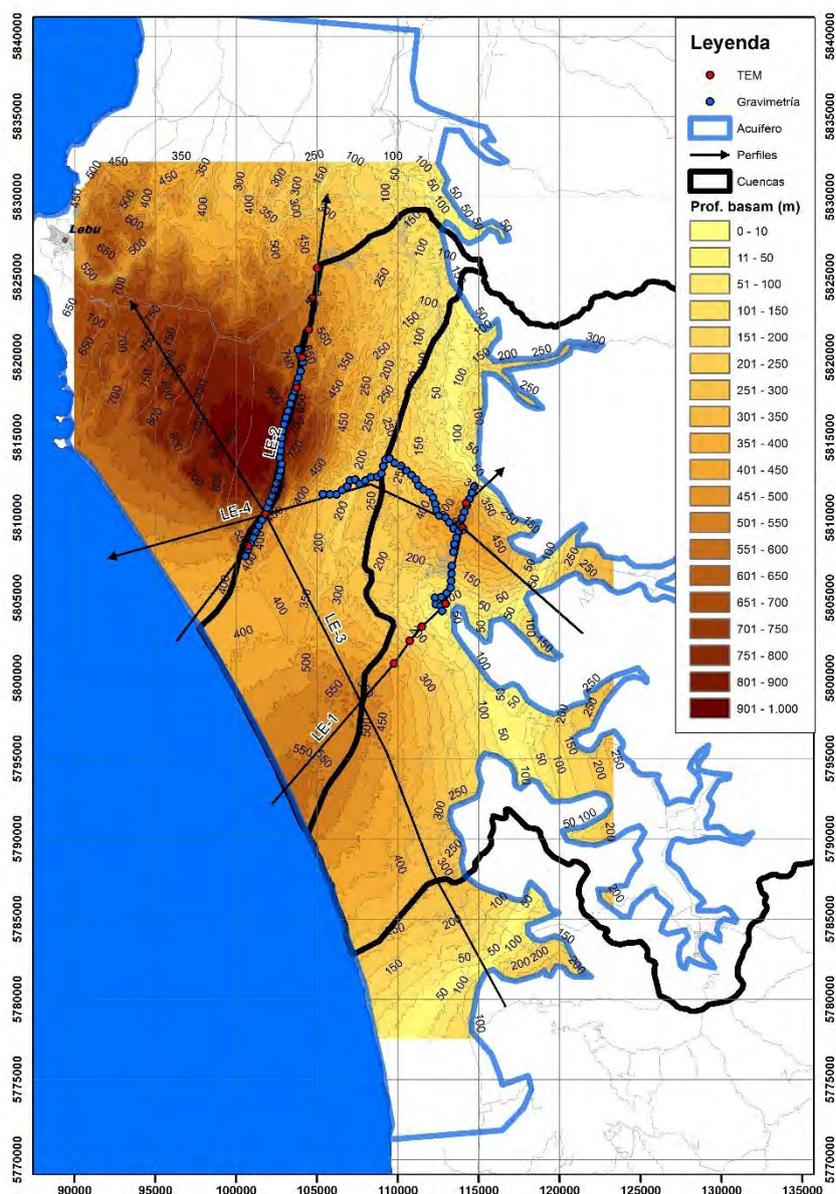


Figura 128. Profundidad del basamento del acuífero Costero de Lebu

Respecto al espesor de las formaciones acuíferas, y en base a los perfiles obtenidos, se observan los siguientes valores:

- El cuaternario marino y formación más superficial, presenta valores entre decenas de metros a los 140 metros de espesor.
- La formación del Paleoceno-Eoceno de areniscas y limolitas calcáreas tiene un espesor más o menos constante de 50 metros.
- Inferior a las formaciones anteriores, se detecta una de gran espesor de carácter detrítico que tendría correspondencia con materiales identificados en el Mapa Geológico 1:1.000.000 como secuencias desde el triásico hasta el mioceno. Su espesor llega a ser de 750 metros en su parte más potente.

- En la zona central, y por debajo de los sedimentos terciarios se detecta la formación asimilable al cretácico formada por areniscas y conglomerados que aflora en las cercanías del acuífero. Su espesor máximo es de 500 m.

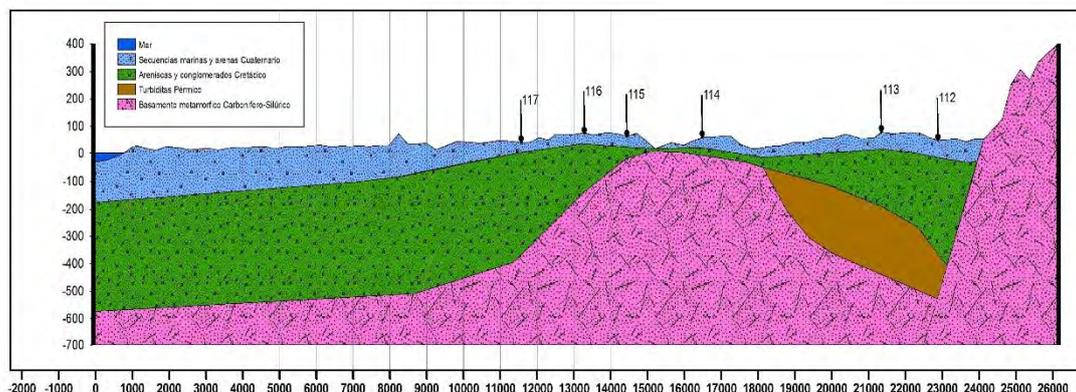


Figura 129. Perfil n° 1 del acuífero Costero de Lebu.

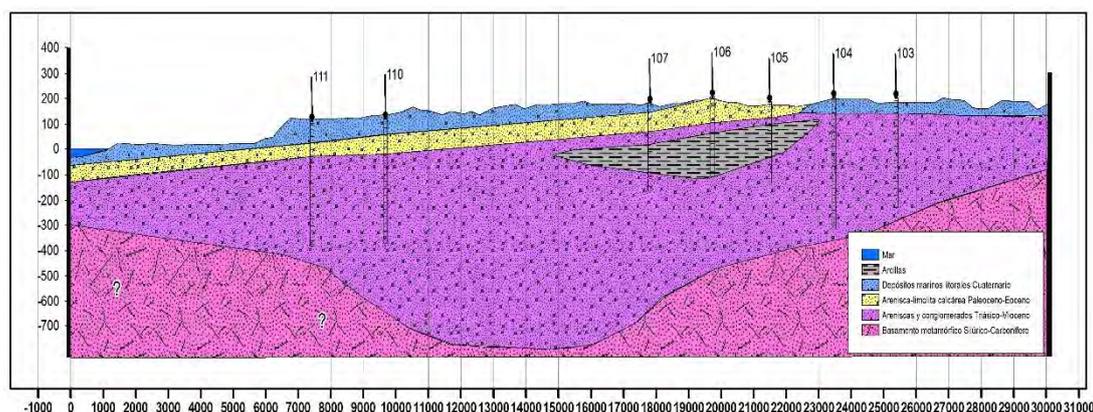


Figura 130. Perfil n° 2 del acuífero Costero de Lebu

El contacto con el basamento es muy irregular y de carácter erosivo, presentando diferencias de profundidades de unos 200 metros en poca distancia horizontal.

Así pues, para el acuífero de Lebu se confirma que corresponde a un acuífero multicapa, de carácter detrítico que puede llegar a presentar espesores de 900 y 1000 metros. Cabe esperar la presencia de niveles aislados de baja transmisividad o semiconfinantes, aunque su extensión no sería muy grande.

9.5.4.4. PARAMETROS ELÁSTICOS

No se dispone de datos relativos a permeabilidades y transmisividad de las formaciones acuíferas. Respecto a caudales específicos se dispone de datos tomados del "Estudio

hidrológico e hidrogeológico de Cuencas Costeras Essbio, VII Región” donde se estiman caudales específicos de 4.9 l/s/m para la formación más permeable.

Tabla 68. Caudal específico promedio.

Unidad Hidrogeológica	Caudal Específico Promedio (l/s/m)
A	4,9
B	–
C	1,62
D	1,24

Otros datos de referencia aportan valores de 0,2 -11 l/s/m (tabla siguiente).

Tabla 69. Características Hidrogeológicas Depósitos no Consolidados Unidad A

DEPÓSITO	GRANULOMETRÍA	NIVEL ESTÁTICO (m)	CAUDAL ESPECÍFICO (l/s/m)	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS
Depósitos Fluviales	gravas y gravas arenosas estratos arcillosos	3,0- 5,0		permeabilidad variable Acuíferos libres y semiconfinados
Depósitos Fluvio Deltáicos	variable (bolones - arcilla)	1,0- 3,0	0,2 - 11	Permeabilidad media a alta Acuíferos confinados Buena interconexión hidráulica.

Fuente: De Buen (1993)

9.5.4.5. PIEZOMETRÍA

Este acuífero costero muestra un patrón muy claro de drenaje hacia la costa con una distribución subparalela de las isopiezas a la costa. Las direcciones de flujo son mayoritariamente este-oeste, y las cotas piezométricas oscilan entre un máximo de 170 m.s.n.m. hasta la cota cero del mar.

Los gradientes hidráulicos son muy acusados con valores de 0,01, reflejando un medio de transmisividades bajas.

En la zona central se aprecia un área donde la piezometría rompe el patrón paralelo a la costa por la concentración de captaciones que deprimen el nivel por debajo de la cota en régimen natural del mismo.

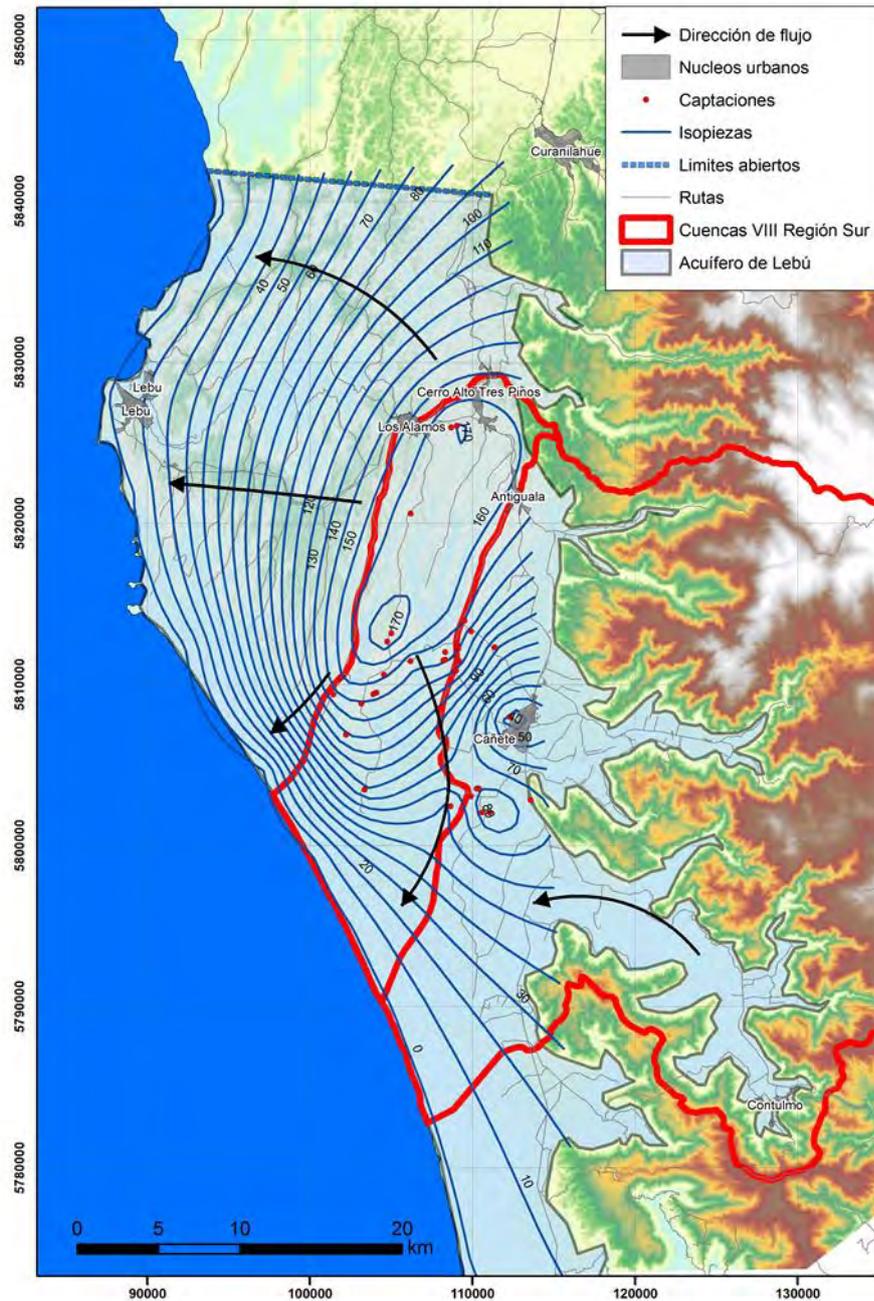


Figura 131. Piezometría del acuífero Costero de Lebu

9.5.4.6. BALANCE HÍDRICO

El balance de este acuífero considera como entradas las correspondientes a la infiltración subsuperficial procedente del basamento limítrofe al este, infiltración directa y retornos de riego. Respecto a las salidas, se computan los mayores caudales en afloramientos, la mayoría correspondientes a las lagunas de Los Batros, Trancalco, Llancao y el lago Lanalhue. El resto sale del acuífero a través del contacto de la formación acuífera con el nivel base del mar. A pesar de continuar el acuífero hacia el norte, fuera de la zona de estudio, no se computan entradas laterales por las direcciones de flujo.

Tabla 70. Balance hídrico acuífero San Pedro de la Paz-Talcahuano

ACUIFERO LEBU	l/s
Entradas laterales	-
Infiltración Subsuperficial	39,08
Infiltración cauce	-
Infiltración Directa	9.789,68
Infiltración Retorno de Riego	350,96
Salidas por Bombeos	251,25
Salidas laterales	-
Afloramientos	2.166,26
Salidas al Mar	7.762,22

9.5.5. OTROS ACUÍFEROS

En este capítulo, y dentro de la VIII Región, se ha querido incluir una gran extensión superficial que, aunque no presenta como tal las características propias de un acuífero definido, si concentra un gran número de explotaciones que ponen de manifiesto la extracción de recursos subterráneos. Dichas explotaciones se ubican únicamente sobre afloramientos graníticos de acuerdo al Mapa Geológico 1: 1.000.000 de Chile, por lo que no cabe considerar esta formación con una permeabilidad media o alta, pero si como una gran unidad que actualmente puede aportar caudales para la actividad llevada cabo en esta área.

Atendiendo a sus límites, esta unidad se ubica en la cuenca Costera entre el río Itata y Pingueral, y la cuenca del río Andalien. Al norte sobrepasa ligeramente la población de Rafael y al sur llega hasta la de Copiulemu. Por el oeste limita con la Población El pino y al este con la Florida.

Las características geológicas de esta extensión corresponde a un gran afloramiento de granitos, en concreto la denominada formación CPg, cuya permeabilidad viene dada por la red de fracturación, diaclasado y niveles de alteración que pueden conformar, a nivel local, pequeños acuíferos en las arcosas resultantes de dicha alteración.

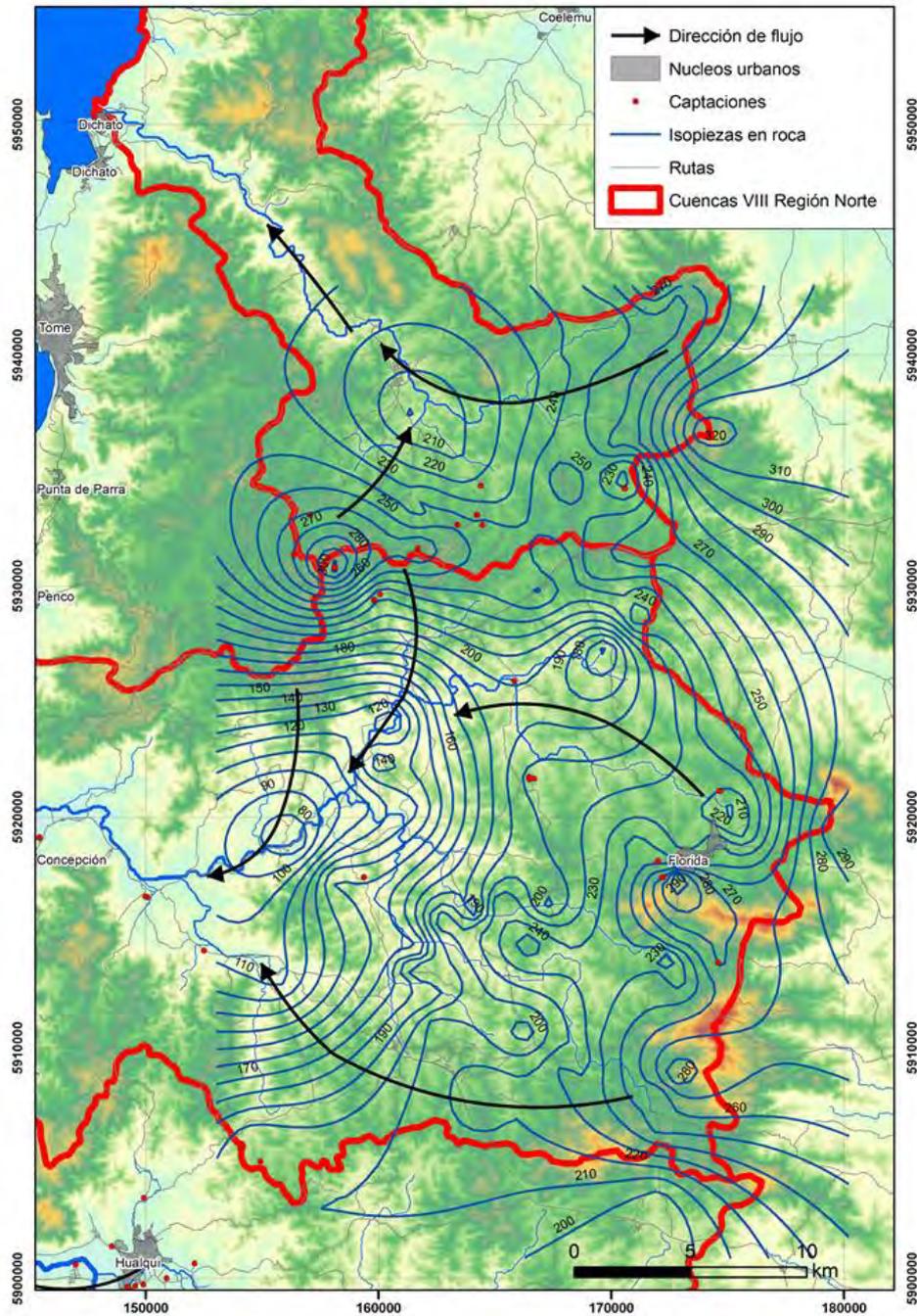


Figura 132. Piezometría del zócalo paleozoico en VIII Región.

A lo anterior, cabe añadir la presencia de una red hidrográfica densa de cauces y arroyos que localmente puede representar pequeños niveles aluviales con freáticos localizados.

En conjunto, se puede estimar que las transmisividades de la formación serán muy bajas y, en el caso de niveles alterados, algo mayores, pero que en todo caso los valores medios existentes han permitido la extracción de pequeños caudales.

10. MODELO NUMÉRICO DEL ACUÍFERO ALUVIAL DEL BIOBIO-BAJO

A los efectos de disponer de una **herramienta de gestión** que integre los distintos componentes del sistema hidrogeológico del **acuífero aluvial del río Biobío bajo**, de forma que pueda ser actualizada y permita la predicción del comportamiento del mismo según distintas condiciones de explotación y climatológicas futuras, se ha desarrollado un modelo numérico en entorno **MODFLOW**, calibrado en régimen estacionario, cuyo desarrollo y resultados se exponen a continuación.

10.1. DESCRIPCIÓN HIDROGEOLÓGICA DEL SISTEMA

El acuífero simulado corresponde al depósito aluvial del río Biobío bajo, de media-alta permeabilidad que se encuentra sobre unas secuencias sedimentarias continentales (conglomerados, brechas, areniscas, lutitas e intercalaciones calcáreas), de muy diversa permeabilidad, pudiendo ser de muy baja a media-alta, y a su vez sobre un basamento intrusivo y metamórfico, de baja o muy baja permeabilidad.

Puesto que el acuífero aluvial está ligado al **río Biobío**, existe una **relación** entre ambos que adquiere gran importancia en el funcionamiento hidráulico del sistema. Asimismo, además de las entradas en el acuífero por infiltración de **precipitación** directa y por retorno de **riegos**, el acuífero recibe aportes a través de los **materiales encajantes** (cuencas aportantes), correspondientes con las formaciones triásica y paleozoica, de forma subsuperficial, con direcciones de flujo similares al esquema hidrológico superficial.

Por otro lado, el acuífero posee, en el sureste, **conexión hidráulica** con la parte alta del aluvial del mismo río, con el acuífero costero de San Pedro-Talcahuano (al sur y norte de la zona de desembocadura), y presenta descargas al mar en la zona de desembocadura.

De esta forma los principales **componentes del sistema** hidrogeológico del aluvial del río Biobío bajo son los siguientes:

- **Entradas** al acuífero aluvial del río Biobío bajo:
 - o Infiltración por precipitación directa
 - o Infiltración por retorno de riego
 - o Infiltración desde cauces superficiales (río Biobío)
 - o Transferencia de la roca de caja (triásico y paleozoico)
 - o Transferencia desde parte alta del río Biobío
 - o Transferencia desde el acuífero costero de Talcahuano
 - o Transferencia desde el acuífero costero de San Pedro de la Paz

- **Salidas** del acuífero aluvial del río Biobío bajo:
 - o Afloramientos al sistema superficial (río Biobío)
 - o Salidas hacia el mar
 - o Transferencia con acuífero costero de Talcahuano
 - o Transferencia con acuífero costero de San Pedro de la Paz
 - o Bombeos

Desde el punto de vista **geométrico**, se han simulado dos niveles acuíferos:

- Nivel superior, correspondiendo a los tres acuíferos conectados:
 - o Aluvial del Biobío bajo
 - o Costero de Talcahuano
 - o Costero de San Pedro de la Paz
- Nivel inferior, correspondiendo a la roca de caja:
 - o Paleozoico
 - o Triásico

En este planteamiento surgen dos peculiaridades, ambas en aras de una mejora en los resultados a obtener:

1. El hecho de incluir los acuíferos de Talcahuano y San Pedro de la Paz en la simulación, motivado por la disponibilidad de información geológica, geométrica (geofísica e interpretación de perfiles) e hidráulica (medida de niveles estáticos y catastro de captaciones) en el marco de este mismo estudio, cuya incorporación facilita la comprensión hidrogeológica del conjunto, ya que ambos acuíferos están conectados hidráulicamente con el sujeto de la modelación, pudiendo incluso llegar a clasificarse como un todo el conjunto de los tres acuíferos con tres sectores diferenciados.
2. Incorporación de la roca de caja también en la simulación, de forma que las entradas laterales puedan simular la incorporación de la infiltración en las cuencas aportantes al acuífero objeto de la simulación.

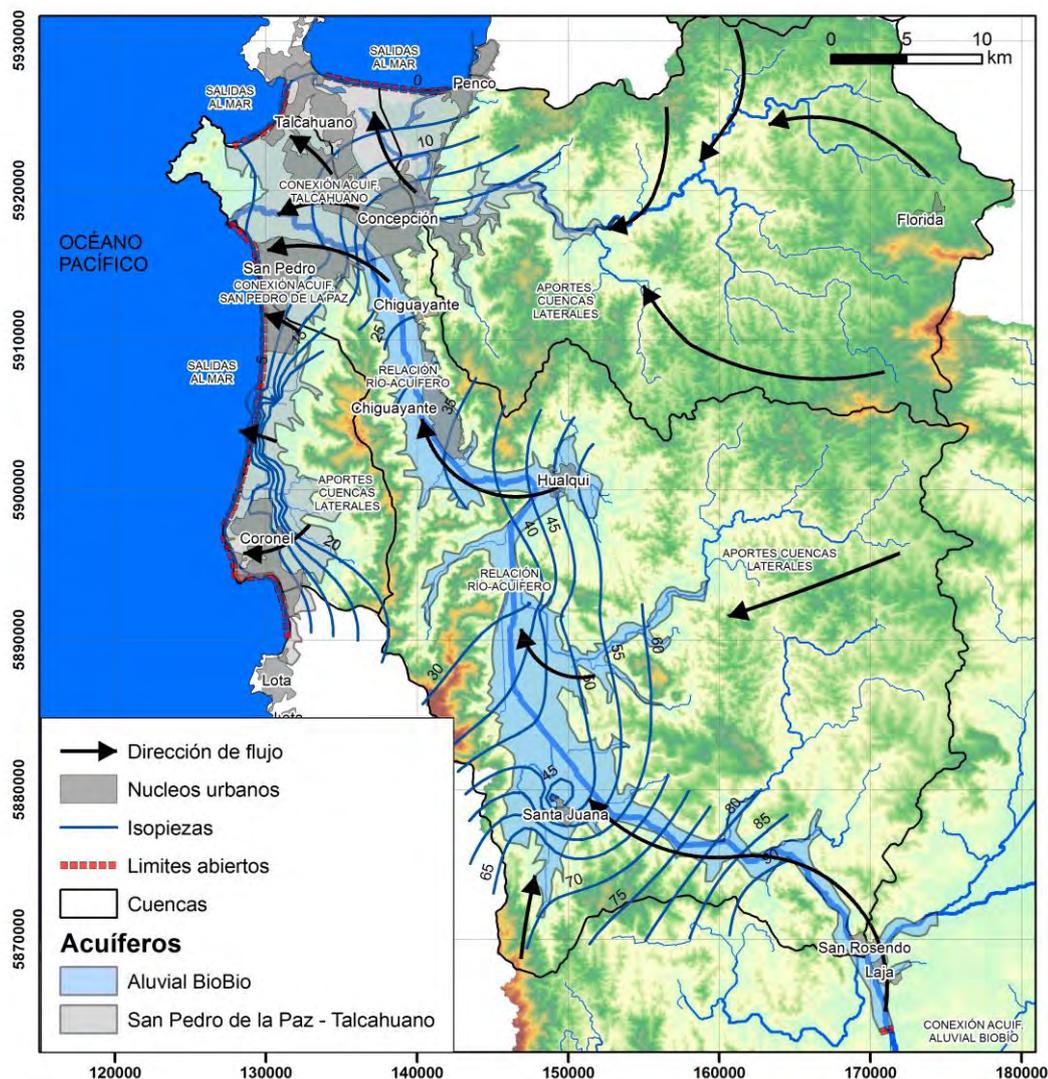


Figura 133. Esquema de funcionamiento hidrogeológico del acuífero simulado

A continuación se realiza una descripción pormenorizada de todos los componentes mencionados.

10.2. DISCRETIZACIÓN Y MALLADO DEL MODELO

Tal y como se ha comentado anteriormente, el modelo se ha realizado considerando dos capas:

- Una capa acuífera superior para el acuífero aluvial,
- y otra inferior para simular la aportación del basamento rocoso (paleozoico), y otras formaciones de baja permeabilidad (triásico de Quilacoya).

Inicialmente el mallado se ha realizado considerando 311 columnas y 419 filas, con tamaño de celdas de 160x160 metros y orientación norte sur, y posteriormente, a los

efectos de un mejor ajuste del modelo, se hizo un refinamiento para dividir una columna en 2, obteniendo finalmente 312 columnas y 419 filas.

La proyección geográfica se ha realizado en coordenadas UTM WGS84 huso 19S, y las coordenadas locales (modelo) son:

X máximo: $4.9805E+4$ m

Y máximo: $6.71229E+4$ m

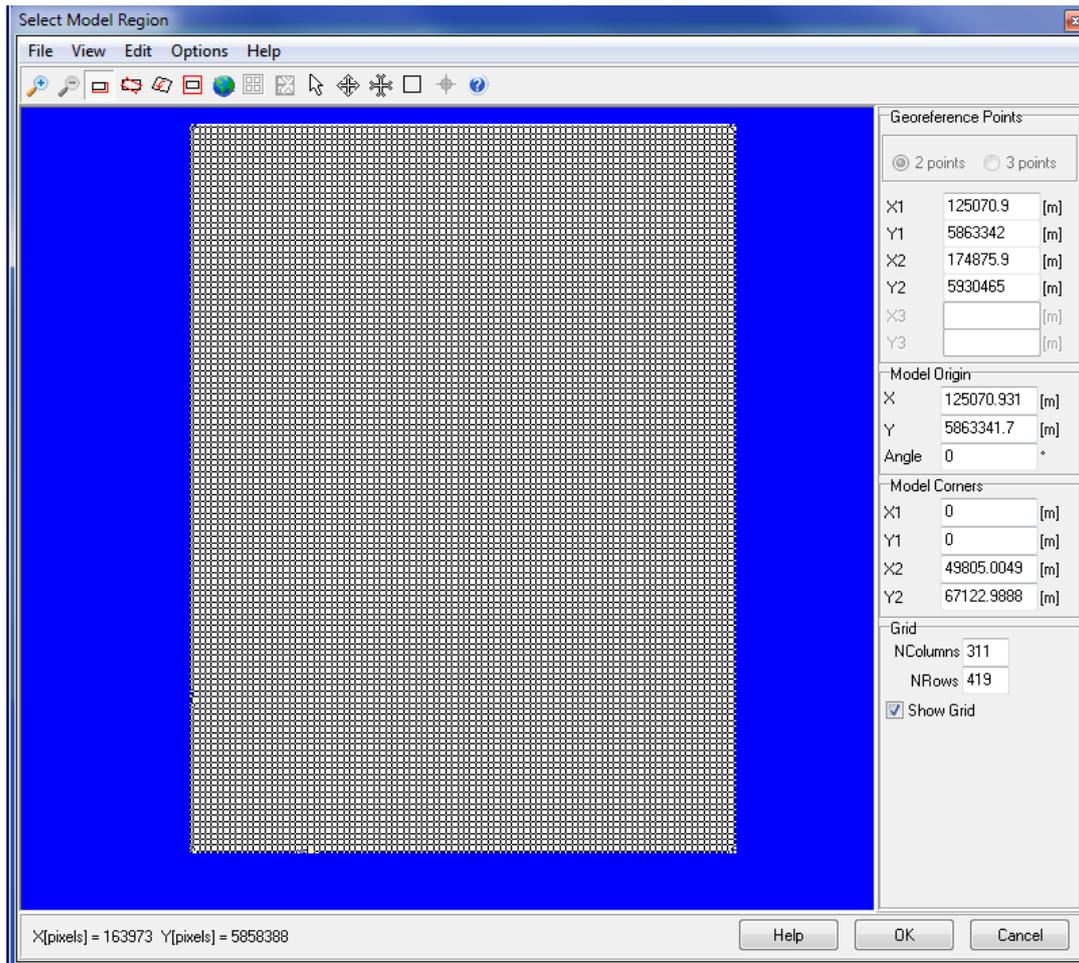


Figura 134. Mallado y coordenadas del ámbito de la modelización

La definición de celdas activas e inactivas ha sido basada, para la capa superior, en la delimitación de acuífero realizada en fases anteriores al estudio, y para la inferior en los límites de cuenca, ya que ésta actuará de forma similar al sistema hidrológico superficial.

En la figura siguiente se incluyen en blanco las celdas activas y en verde las inactivas de ambas capas simuladas.

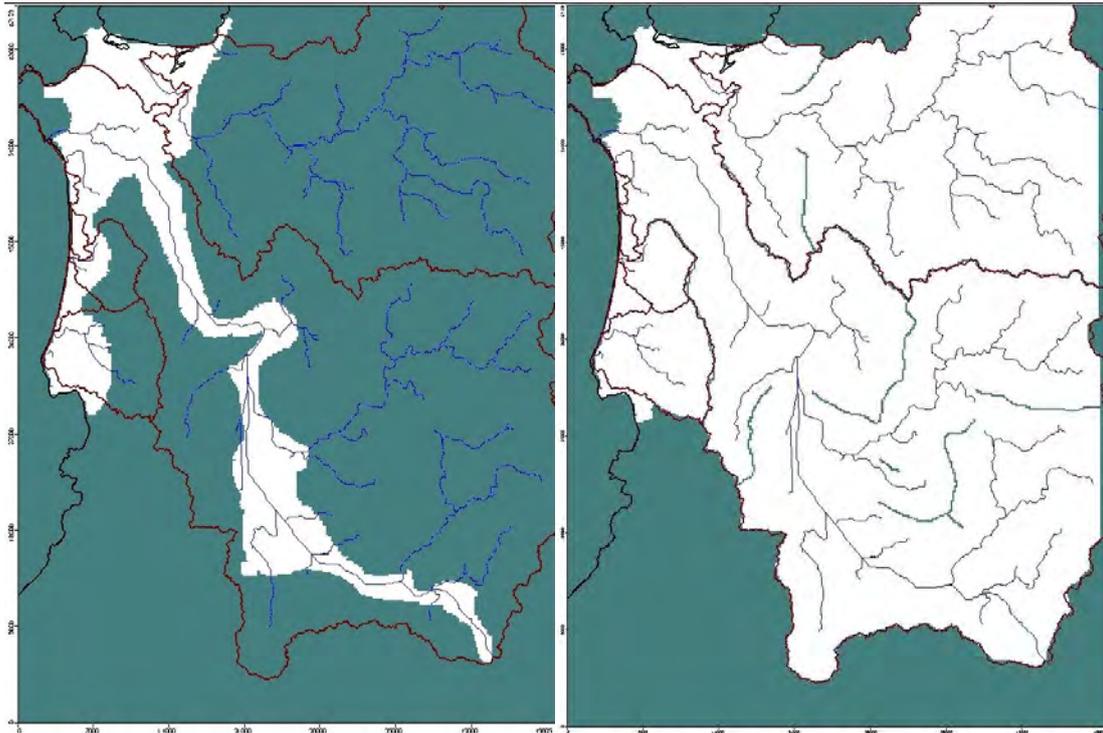


Figura 135. Celdas activas (blanco) e inactivas (verde) en la capa 1 (superior) a la izquierda y en la capa 2 (inferior) a la derecha. En marrón oscuro límites de cuencas y en azul red hidrográfica.

10.3. GEOMETRÍA DEL MODELO

Para la obtención de la geometría de las dos capas simuladas ha sido necesaria la incorporación de tres planos en el modelo, cuyo volumen intermedio corresponde a la geometría tridimensional de las unidades a modelar:

- **Plano superior:** corresponde a la superficie topográfica del terreno. Obtenida a partir de la información proporcionada por ASTER-DEM y NASA.

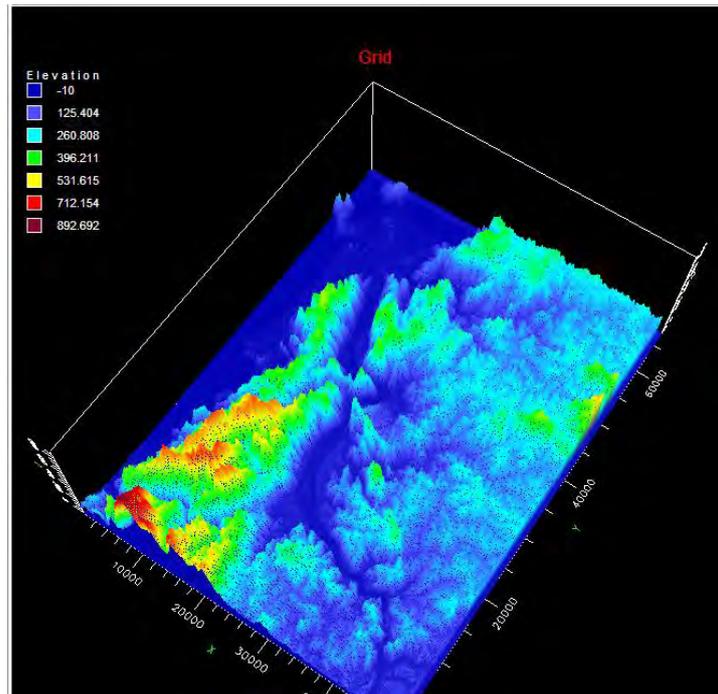


Figura 136. Plano superior. Superficie topografía introducida en el modelo

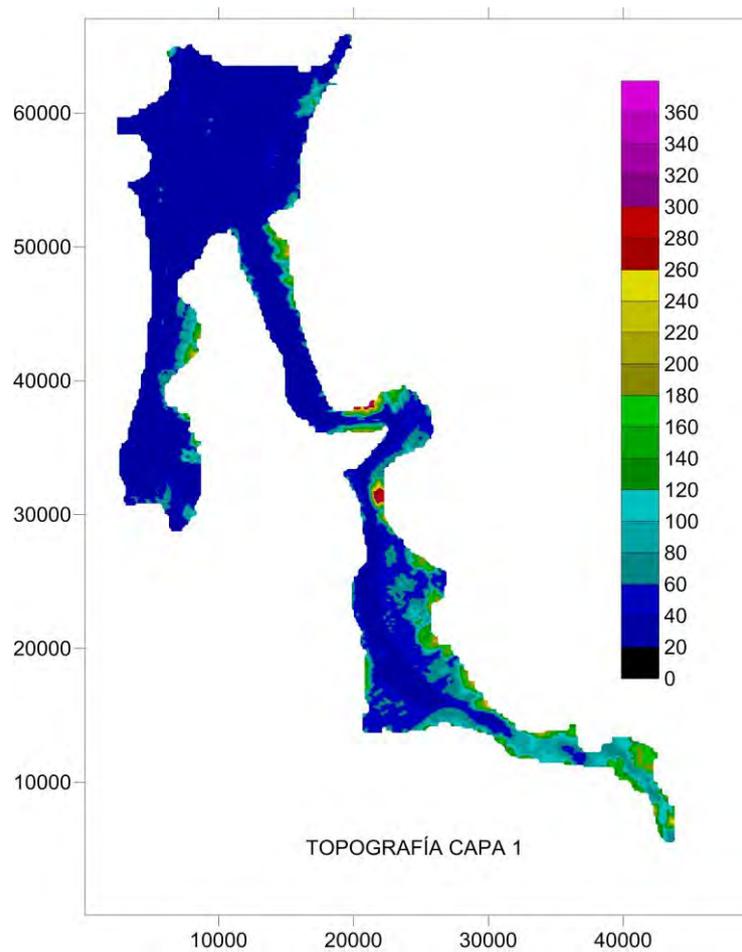


Figura 137. Superficie topográfica para la capa 1

- **Plano intermedio:** basamento de los acuíferos "Aluvial del Biobío bajo", "Costero de San Pedro de la Paz" y "Costero de Talcahuano". Obtenido con la interpolación de perfiles trazados a partir de la prospección geofísica realizada en el marco de este estudio, con la prospección de estudios anteriores (AQUALOGY-DGA 2013) y con la correspondiente interpretación geológica de los acuíferos.

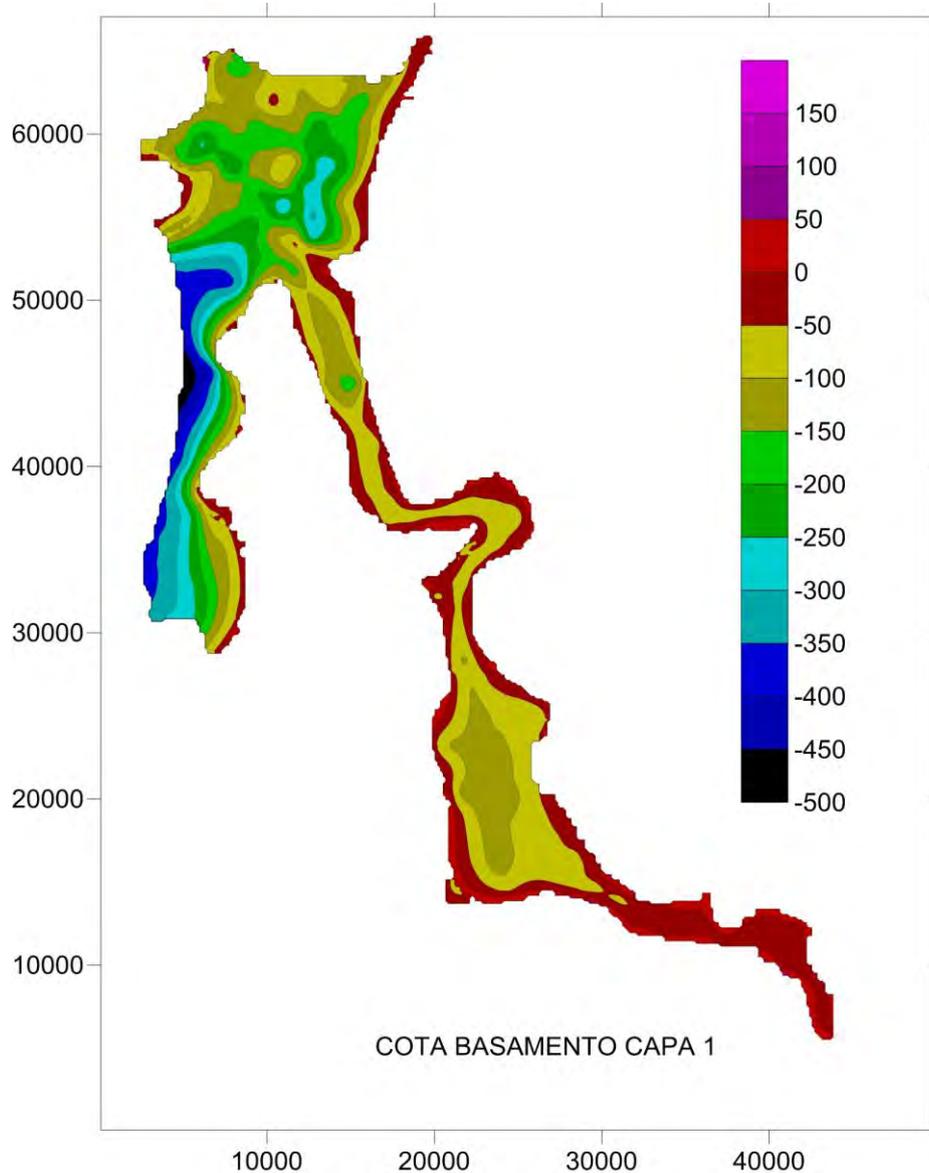


Figura 138. Basamento de los acuíferos introducido en el modelo

Con la intersección del plano superior y el intermedio, es decir, la topografía y cota del basamento, se obtiene la definición geométrica tridimensional de la capa 1 (acuífero aluvial del Biobío bajo y acuíferos costeros de San Pedro de la Paz y Talcahuano), cuyo espesor se presenta en la figura siguiente:

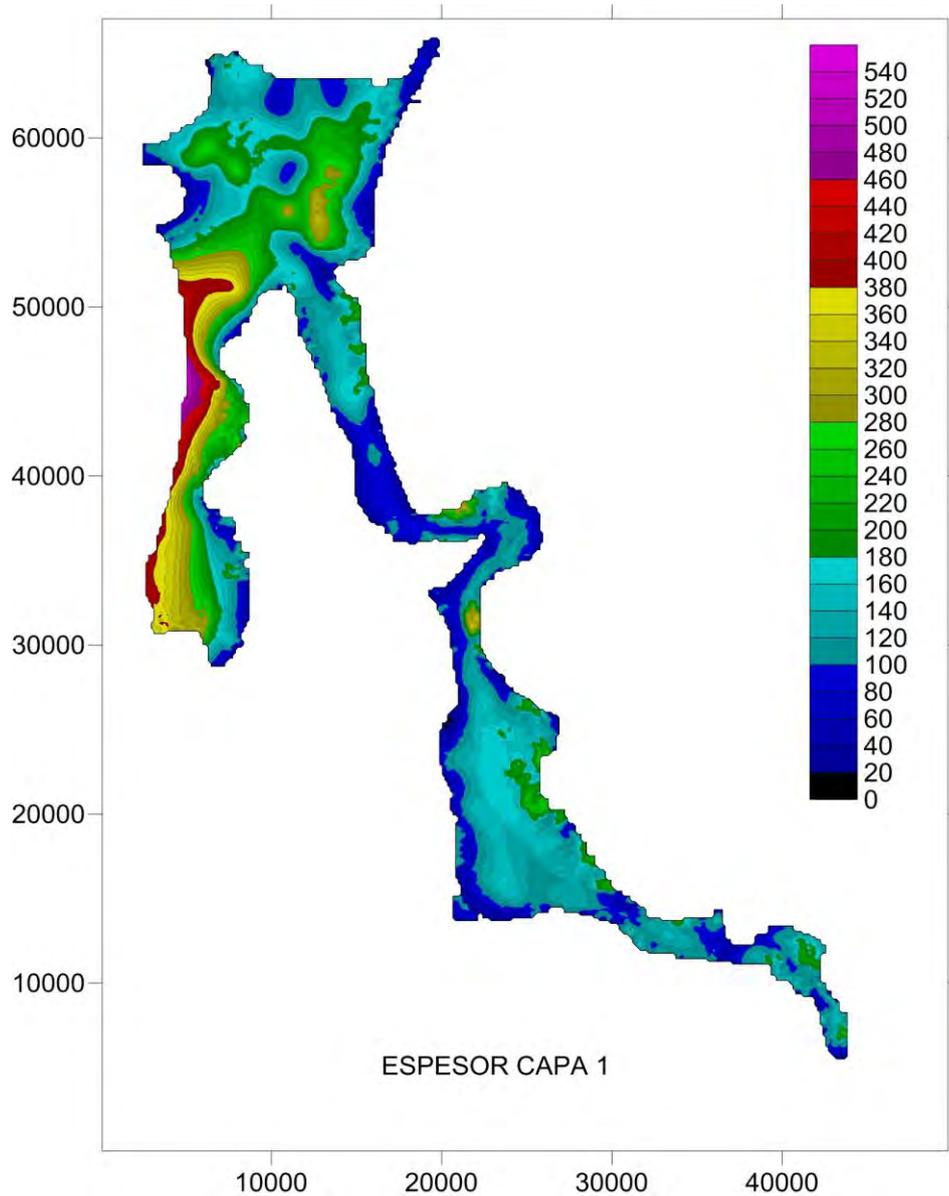


Figura 139. Basamento de los acuíferos introducido en el modelo

- **Plano inferior:** corresponde a un plano ficticio, lo suficientemente profundo para obtener una capa inferior de baja permeabilidad que simule la roca de caja. Se ha introducido como plano con cota constante de -1000 msnm.

10.4. PARÁMETROS ELÁSTICOS

Los parámetros elásticos introducidos han sido la permeabilidad y coeficiente de almacenamiento, no obstante, este último, al tratarse de una calibración en régimen estacionario no ha sido modificado puesto que no afecta al resultado.

Tanto el nivel superior como el inferior han sido considerados isótropos en la componente horizontal ($k_x/k_y=1$) y anisótropo en la vertical ($k_z = 0.1 k_x$).

La zonificación de la permeabilidad ha sido obtenida a partir de un proceso de calibración que se describe posteriormente, donde se ha puesto de manifiesto que la conductividad del acuífero aluvial del Biobío bajo tiene una conductividad media-alta, de entre 10 y 20 m/d principalmente, el acuífero costero de Talcahuano tiene una conductividad baja-media, de entre 0.1 y 1 m/d, y el acuífero costero de San Pedro de la Paz una distribución de la misma más heterogénea, con valores medios similares a los del acuífero costero de Talcahuano.

A continuación se muestran unas figuras con la distribución de la permeabilidad obtenida:

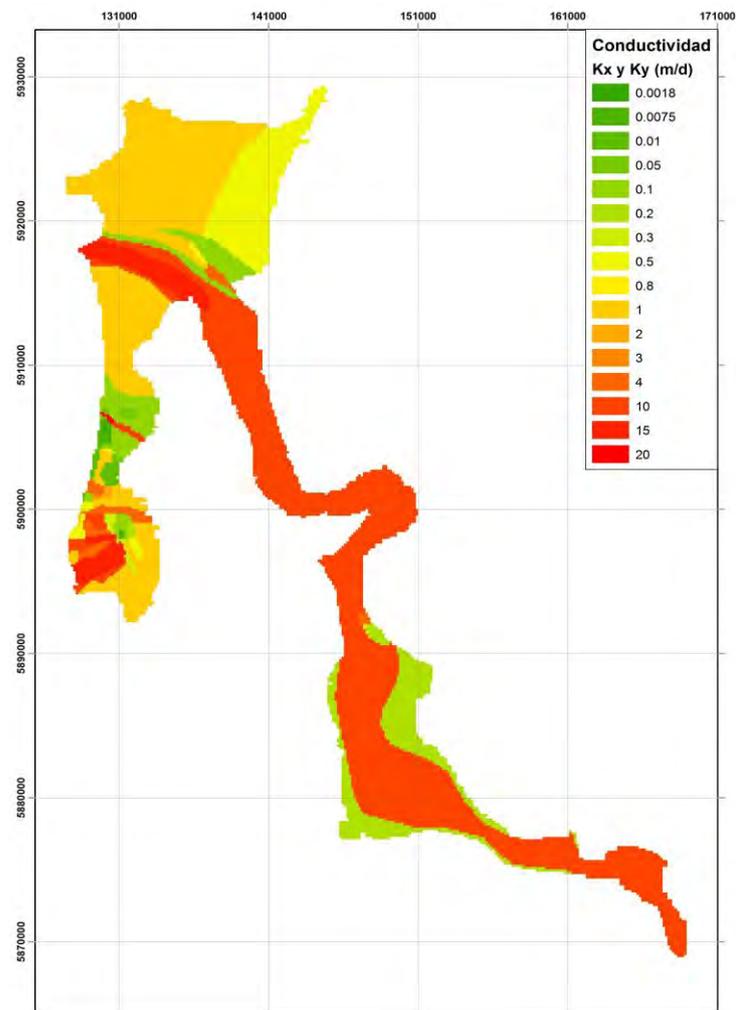


Figura 140. Distribución de la permeabilidad horizontal (k_x y k_y) en el acuífero (capa 1).

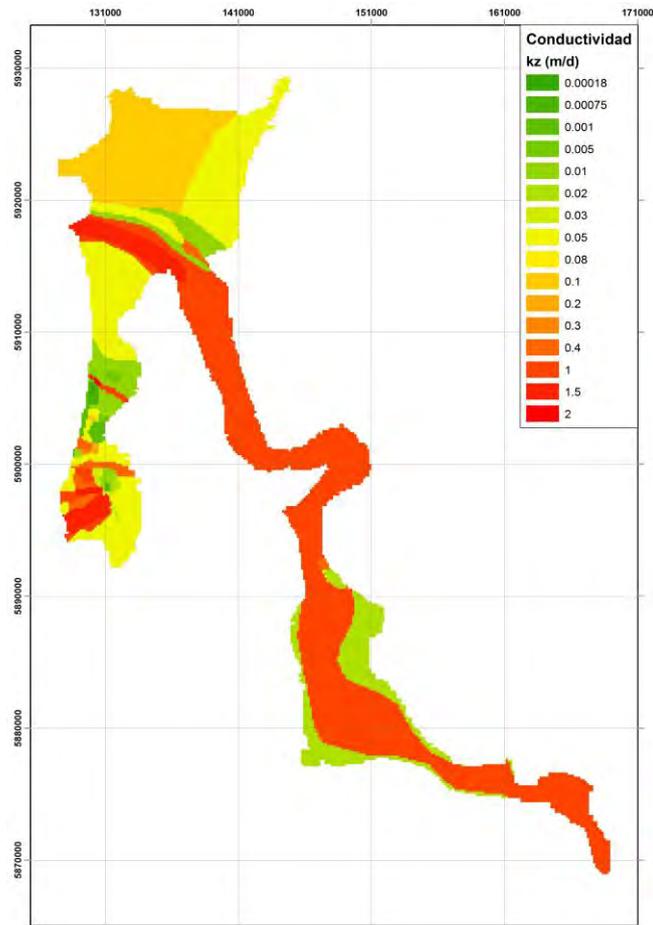


Figura 141. Distribución de la permeabilidad vertical (k_z) en el acuífero (capa 1).

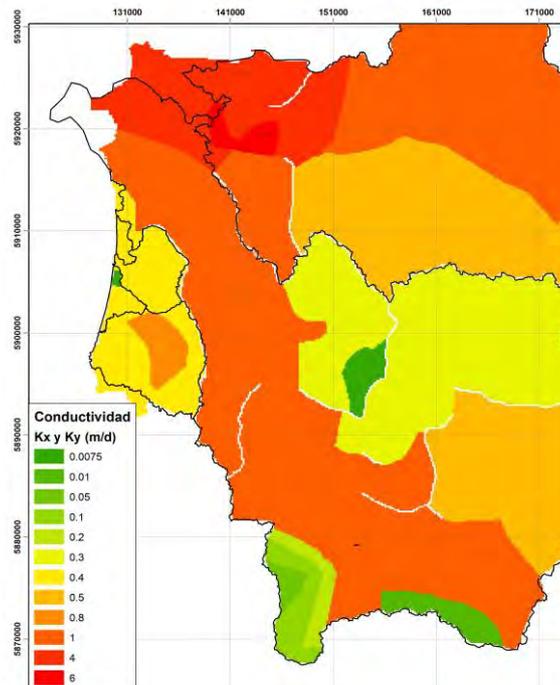


Figura 142. Distribución de la permeabilidad horizontal (k_x y k_y) en la roca de caja.

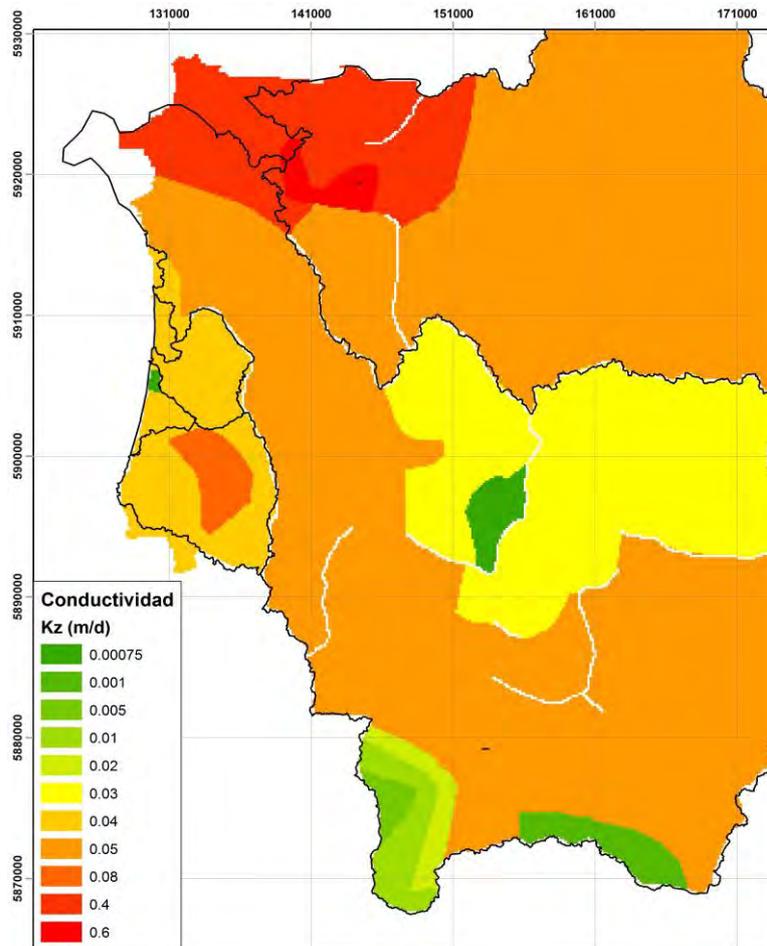


Figura 143. Distribución de la permeabilidad vertical (kz) en la roca de caja.

10.5. CONDICIONES DE CONTORNO

10.5.1. BORDES

Se han establecido dos tipos de borde: impermeable (asignado como celdas inactivas, ver Figura 135), y celdas de nivel constante (Constant Head Boundary, en las zonas de conexión con nivel estático conocido).

- Los **bordes impermeables** (celdas inactivas) corresponden, según capa simulada:
 - o Capa 1 (acuíferos aluvial del Biobío bajo, costero de Talcahuano y costero de San Pedro de La Paz): los bordes impermeables son aquellos en los que no hay relleno aluvial, o éste es de escasa importancia (muy bajo espesor).
 - o Capa 2 (roca de caja): para esta capa los bordes impermeables son los que quedan fuera de las hoyas hidrológicas superficiales.

Asimismo, se han asignado como celdas inactivas algunos parteaguas internos de las cuencas a los efectos de dirigir el flujo simulado de forma similar al sistema hidrológico superficial.

- **Bodes con conexión hidráulica** y nivel estático conocido (celdas de nivel constante, CHB):
 - o Biobío alto. La simulación de la conexión se realiza con celdas de nivel constante (CHB).
 - o Río Andalién. La conexión del río Andalién con el acuífero de Talcahuano también se simula con celdas de nivel constante, ya que hay una transferencia desde el aluvial del río con el acuífero.
 - o Descarga hacia el mar. También se simula con borde de nivel constante cota 0 msnm.
- Bordes simulados de forma continua, **sin condición de contorno** específica:
 - o Aportes del basamento y triásico de Santa Juana-Quilacoya. Se han simulado, tal y como se ha mencionado en el punto 10.1, introduciendo otra capa (capa 2), de permeabilidad reducida, que produce transferencia lateral entre estos y la capa 1.
 - o Conexión con acuífero costero de Talcahuano y costero de San Pedro de la Paz. Estos acuíferos se han incluido dentro de la modelación, por lo que no compete introducir ninguna condición de contorno específica para conectar éstos y el aluvial del Biobío, simplemente se simulan como un único acuífero.

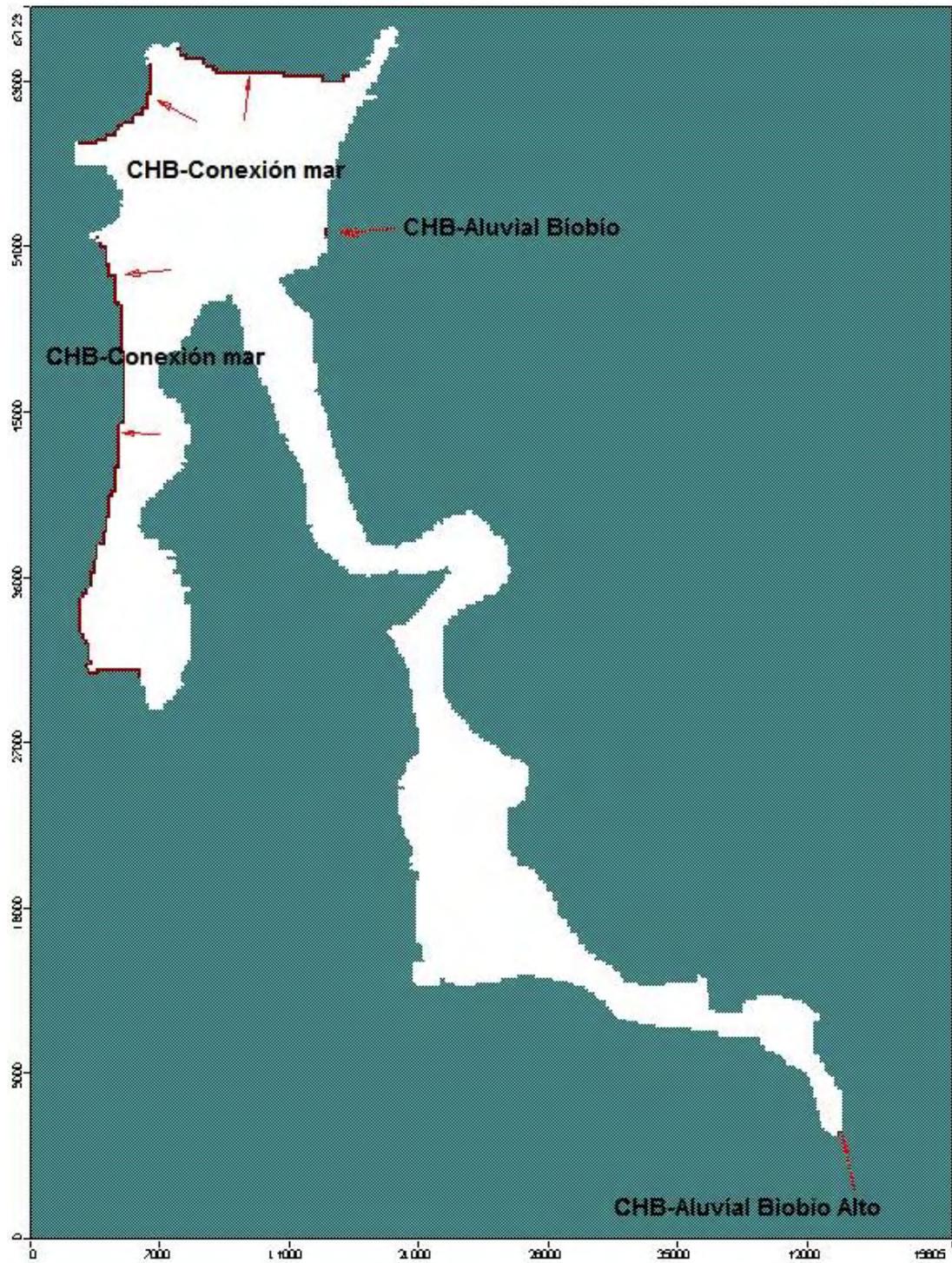


Figura 144. Asignación de celdas de nivel constante

10.5.2. RÍOS

Se ha incluido como condición de río (River) del cauce del río Biobío en el tramo incluido en el marco del presente estudio.

Los parámetros incorporados han sido los siguientes, haciendo una interpolación de los parámetros de forma lineal desde el punto de inicio al punto final considerados:

- Punto de inicio (desembocadura):
 - o River stage (cota nivel del agua): 0 msnm
 - o Riverbed Bottom (cota base de sedimentos del lecho): -4 msnm
 - o Riverbed Thickness (espesor sedimentos del lecho): 1 m
 - o Riverbed kz (permeabilidad vertical sedimentos): 0.1 m/d
 - o River Width (ancho del cauce): 500 m

- Punto de fin (conexión con Biobío alto):
 - o River stage (cota nivel del agua): 40 msnm
 - o Riverbed Bottom (base de sedimentos del lecho): 36 msnm
 - o Riverbed Thickness (espesor sedimentos del lecho): 1 m
 - o Riverbed kz (permeabilidad vertical sedimentos): 0.1 m/d
 - o River Width (ancho del cauce): 250 m

La cota del nivel de agua está basada en la cota real de la misma (aproximada en la parte alta).

La cota base del espesor de sedimentos está fundamentada en que se supone una altura de lámina de agua de 3 metros, y un espesor de sedimentos (desconocido) de 1 metro aproximadamente, lo que hace que esta cota esté siempre 4 metros por debajo de la cota de la lámina de agua.

La permeabilidad vertical introducida corresponde con valores medios para los sedimentos de ríos (Silt). Por hacer una referencia bibliográfica, en la publicación "*Morris, D.A. and A.I. Johnson, Summary of hydrologic and physical properties of rock and soil materials, as analysed by the Hydrologic Laboratories of the U.S. Geological Survey 1948-1960. U.S. Geol. Surv. Water Supply Paper, 1839-D, 42p, 1967*", le asigna un valor al sedimento de río (Silt) de $9.3E-7$ m/s (0.08 m/d), del mismo orden de magnitud que el valor introducido, ya que otros autores asignan valores algo superiores y otros algo inferiores.

El ancho del cauce es una media al ancho del cauce a inicio y fin del tramo considerado medido desde fotografía aérea.

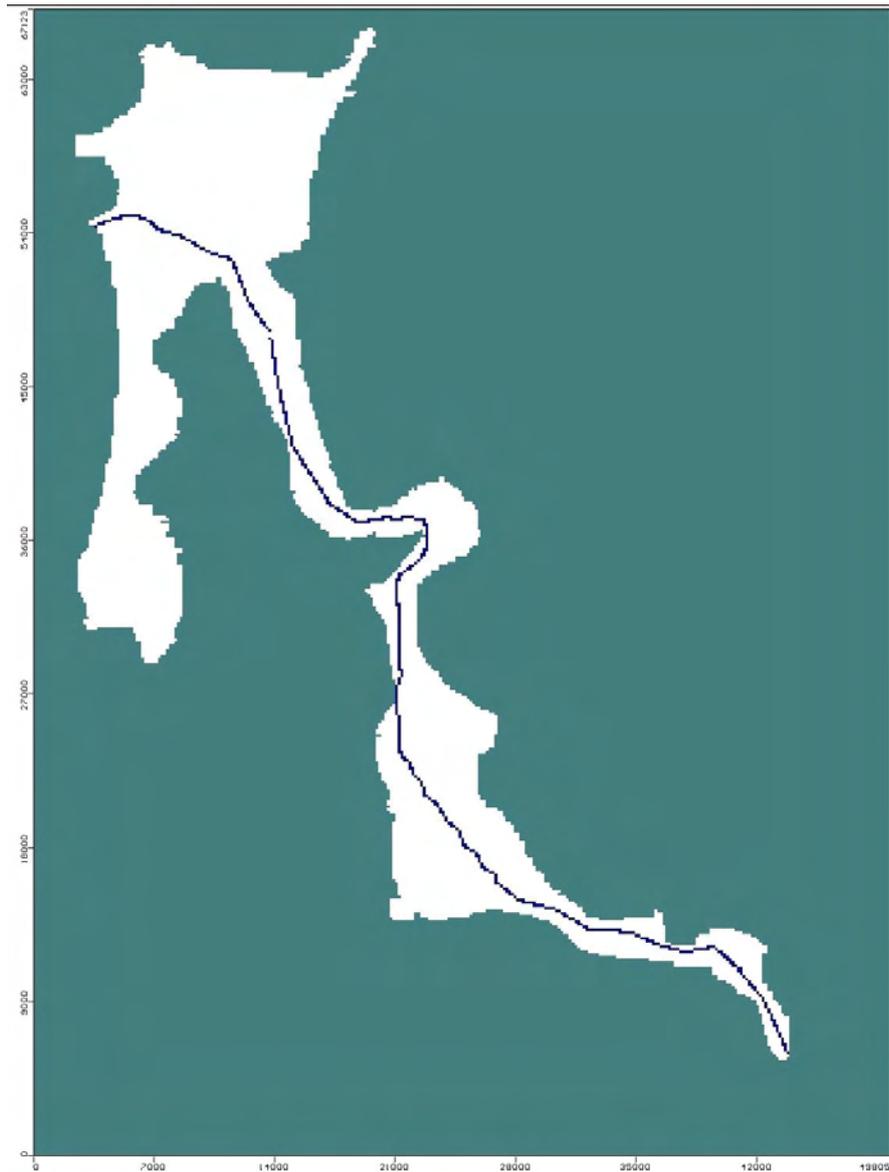


Figura 145. Asignación de celdas tipo río (River)

10.5.3. RECARGA

La recarga en el acuífero se ha incluido de forma discretizada en toda la superficie utilizando el módulo de recarga (Recharge), de la siguiente forma:

- Recarga por infiltración directa:
 - o Aluvial del Biobío bajo (331.30 mm/a)
 - o Cuenca del Biobío bajo (100.51 mm/a)
 - o Acuífero de San Pedro-Talcahuano (282.17 mm/a)
 - o Cuenca del río Andalién (45.81 mm/a)

- Recarga por retornos de riego:
 - o Aluvial del Biobío bajo (3.82 mm/a)

- o Cuenca del Biobío bajo (0.18 mm/a)
- o Acuífero de San Pedro-Talcahuano (3.30 mm/a)
- o Cuenca del río Andalién (4.66 mm/a)

Los valores introducidos son resultado del balance hídrico realizado. Asimismo, se tratan de valores medios anuales, en cuyo caso, si se quisiera hacer una calibración en régimen transiente se deberían introducir de forma mensual o estacional.

10.5.4. EXTRACCIONES POR BOMBEO

Los pozos de extracción incluidos han sido los obtenidos durante la campaña de terreno. No obstante, el valor de explotación introducido ha sido el correspondiente al periodo en el cual se ha ejecutado el modelo (invierno 2014).

Para la calibración se han desactivado los bombeos, haciendo que el acuífero se comporte según régimen natural, ya que estos reflejarían un estado dinámico del acuífero, difiriendo bastante de los niveles estáticos tomados durante la campaña de terreno.

Tabla 71. Pozos y régimen de bombeo

Cód. de Pozo	Exped.	WGS84 H18S		Z (msnm)	Estado	Horas/día	m3/d	días/año	m3/año
		X	Y						
VIII-125	ND-0803-1362	130,416	5,896,946	8.43	En uso	8	691.2	360	248,832
VIII-126	ND-0803-2230	130,414	5,896,877	8.37	En uso	8	1215.1	360	437,426
VIII-127	ND-0803-2301	130,416	5,896,809	8.49	En uso	8	115.2	360	41,472
VIII-133	ND-0803-2254	130,775	5,896,964	9.48	En uso	8	1198.4	360	431,412
VIII-142_Punt01	ND-0803-1478	131,241	5,898,545	8.52	En uso	8	115.2	360	41,472
VIII-142_Punt02	ND-0803-1478	131,241	5,898,550	8.40	En uso	8	115.2	360	41,472
VIII-142_Punt03	ND-0803-1478	131,242	5,898,553	8.56	En uso	8	691.2	360	248,832
VIII-142_Punt04	ND-0803-1478	131,243	5,898,557	8.62	En uso	8	172.8	360	62,208
VIII-142_Punt05	ND-0803-1478	131,245	5,898,561	8.49	En uso	8	115.2	360	41,472
VIII-142_Punt06	ND-0803-1478	131,251	5,898,560	8.60	En uso	8	172.8	360	62,208
VIII-142_Punt07	ND-0803-1478	131,250	5,898,556	8.60	En uso	8	172.8	360	62,208
VIII-142_Punt08	ND-0803-1478	131,249	5,898,552	8.57	En uso	8	115.2	360	41,472
VIII-142_Punt09	ND-0803-1478	131,247	5,898,548	8.56	En uso	8	691.2	360	248,832
VIII-142_Punt10	ND-0803-1478	131,246	5,898,544	8.53	En uso	8	115.2	360	41,472
VIIIN-001	Pozo nuevo	130,890	5,897,013	9.23	En uso	8	1308.1	360	470,915
VIIIN-002	Pozo nuevo	130,893	5,897,009	9.19	En uso	8	1308.1	360	470,915
VIIIN-003	Pozo nuevo	130,896	5,897,006	9.20	En uso	8	1308.1	360	470,915
VIII-np1	Pozo nuevo	130,356	5,897,678	9.58	En uso	8	0.0	360	0
VIII-np3	Pozo nuevo	130,456	5,898,154	8.68	En uso	8	172.8	360	62,208
VIII-np4	Pozo nuevo	130,504	5,898,380	8.63	En uso	8	172.8	360	62,208
VIII-np2	Pozo nuevo	130,403	5,897,905	9.16	En uso	8	172.8	360	62,208
VIII-084	ND-0804-1874	127,786	5,897,168	8.54	Reserva	8	115.2	270	31,104

Tabla 71. Pozos y régimen de bombeo

Cód. de Pozo	Exped.	WGS84 H18S		Z (msnm)	Estado	Horas/día	m3/d	días/año	m3/año
		X	Y						
VIII-087	ND-0803-27	128,723	5,898,825	7.47	En uso	8	288.0	360	103,680
VIII-238_Punt01	ND-0803-2027	128,490	5,899,568	7.41	Res-ver	8	37.4	180	6,739
VIII-238_Punt02	ND-0803-2027	128,486	5,899,569	7.28	Res-ver	8	37.4	180	6,739
VIII-238_Punt03	ND-0803-2027	128,483	5,899,569	7.38	Res-ver	8	37.4	180	6,739
VIII-238_Punt04	ND-0803-2027	128,479	5,899,569	7.40	Res-ver	8	37.4	180	6,739
VIII-238_Punt05	ND-0803-2027	128,475	5,899,570	7.38	Res-ver	8	230.4	180	41,472
VIII-238_Punt06	ND-0803-2027	128,469	5,899,571	7.08	Res-ver	8	37.4	180	6,739
VIII-238_Punt07	ND-0803-2027	128,465	5,899,571	6.89	Res-ver	8	37.4	180	6,739
VIII-238_Punt08	ND-0803-2027	128,462	5,899,572	6.87	Res-ver	8	37.4	180	6,739
VIII-238_Punt09	ND-0803-2027	128,458	5,899,572	6.65	Res-ver	8	14.4	180	2,592
VIII-238_Punt10	ND-0803-2027	128,454	5,899,573	6.66	Res-ver	8	28.8	180	5,184
VIII-238_Punt11	ND-0803-2027	128,450	5,899,574	6.57	Res-ver	8	37.4	180	6,739
VIII-238_Punt12	ND-0803-2027	128,446	5,899,573	6.59	Res-ver	8	37.4	180	6,739
VIII-238_Punt13	ND-0803-2027	128,444	5,899,574	6.54	Res-ver	8	37.4	180	6,739
VIII-238_Punt14	ND-0803-2027	128,441	5,899,574	6.45	Res-ver	8	37.4	180	6,739
VIII-238_Punt15	ND-0803-2027	128,471	5,899,567	7.08	Res-ver	8	37.4	180	6,739
VIII-238_Punt16	ND-0803-2027	128,470	5,899,564	7.28	Res-ver	8	37.4	180	6,739
VIII-238_Punt17	ND-0803-2027	128,470	5,899,561	7.31	Res-ver	8	37.4	180	6,739
VIII-096 p1	ND-0803-180	129,735	5,894,532	5.94	Res-ver	8	432.0	180	77,760
VIII-096 p2	ND-0803-180	129,729	5,894,531	6.04	Res-ver	8	432.0	180	77,760
VIII-096 p3	ND-0803-180	129,723	5,894,530	6.08	Res-ver	8	432.0	180	77,760
VIII-096 p4	ND-0803-180	129,717	5,894,529	6.14	Res-ver	8	432.0	180	77,760

Tabla 71. Pozos y régimen de bombeo

Cód. de Pozo	Exped.	WGS84 H18S		Z (msnm)	Estado	Horas/día	m3/d	días/año	m3/año
		X	Y						
VIII-096 p5	ND-0803-180	129,711	5,894,527	6.15	Res-ver	8	432.0	180	77,760
VIII-096 p6	ND-0803-180	129,681	5,894,521	6.09	Res-ver	8	432.0	180	77,760
VIII-096 p7	ND-0803-180	129,705	5,894,526	6.15	Res-ver	8	432.0	180	77,760
VIII-018	ND-0803-115	129,362	5,900,272	8.32	Res-ver	8	288.0	270	77,760
VIII-098	ND-0803-1030	129,364	5,900,280	8.40	Res-ver	8	201.6	270	54,432
VIII-101	ND-0803-800004	129,449	5,900,597	8.32	F.U.	8	288.0	0	0
VIII-090	ND-0803-1455	128,837	5,900,632	9.68	En uso	8	388.8	270	104,976
VIII-089 p1	ND-0803-27	128,723	5,900,948	8.33	F.U.	8	720.0	0	0
VIII-089 p2	ND-0803-27	128,727	5,900,948	8.40	F.U.	8	720.0	0	0
VIII-089 p3	ND-0803-27	128,731	5,900,947	8.40	F.U.	8	720.0	0	0
VIII-089 p4	ND-0803-27	128,734	5,900,946	8.32	F.U.	8	374.4	0	0
VIII-089 p5	ND-0803-27	128,734	5,900,943	8.54	F.U.	8	115.2	0	0
VIII-089 p6	ND-0803-27	128,730	5,900,944	8.49	F.U.	8	115.2	0	0
VIII-089 p7	ND-0803-27	128,726	5,900,945	8.57	F.U.	8	691.2	0	0
VIII-089 p8	ND-0803-27	128,722	5,900,945	8.46	F.U.	8	691.2	0	0
VIII-103	ND-0803-601	129,545	5,900,888	8.27	En uso	8	432.0	360	155,520
VIII-106	ND-0803-176	129,564	5,900,885	8.42	En uso	8	691.2	360	248,832
VIII-104	ND-0803-176	129,545	5,900,915	8.55	En uso	8	691.2	360	248,832
VIII-108 p1	ND-0803-1409	129,427	5,901,299	8.56	En uso	8	691.2	270	186,624
VIII-108 p2	ND-0803-1409	129,427	5,901,302	8.65	En uso	8	172.8	270	46,656
VIII-108 p3	ND-0803-1409	129,427	5,901,305	8.59	En uso	8	691.2	270	186,624
VIII-108 p4	ND-0803-1409	129,428	5,901,308	8.56	En uso	8	691.2	270	186,624

Tabla 71. Pozos y régimen de bombeo

Cód. de Pozo	Exped.	WGS84 H18S		Z (msnm)	Estado	Horas/día	m3/d	días/año	m3/año
		X	Y						
VIII-108 p5	ND-0803-1409	129,428	5,901,311	8.56	En uso	8	691.2	270	186,624
VIII-108 p6	ND-0803-1409	129,429	5,901,314	8.53	En uso	8	115.2	270	31,104
VIII-108 p7	ND-0803-1409	129,429	5,901,316	8.52	En uso	8	115.2	270	31,104
VIII-108 p8	ND-0803-1409	129,429	5,901,319	8.55	En uso	8	115.2	270	31,104
VIII-020	ND-0803-102	129,452	5,901,510	8.97	F.U.	8	172.8	0	0
VIII-099 p1	ND-0803-1430	129,301	5,901,867	9.27	En uso	8	201.6	270	54,432
VIII-099 p2	ND-0803-1430	129,292	5,901,868	9.38	En uso	8	201.6	270	54,432
VIII-099 p3	ND-0803-1430	129,283	5,901,869	9.27	En uso	8	201.6	270	54,432
VIII-099 p4	ND-0803-1430	129,274	5,901,871	9.24	En uso	8	201.6	270	54,432
VIII-099 p5	ND-0803-1430	129,265	5,901,872	9.21	En uso	8	201.6	270	54,432
VIII-100	ND-0803-1385	129,268	5,901,590	8.69	F.U.	8	172.8	0	0
VIII-091	ND-0803-1433	129,025	5,898,293	9.10	En uso	8	172.8	360	62,208
VIII-019 p1	ND-0803-195	129,436	5,901,784	9.24	En uso	8	432.0	270	116,640
VIII-019 p2	ND-0803-195	129,442	5,901,784	9.31	En uso	8	432.0	270	116,640
VIII-019 p3	ND-0803-195	129,452	5,901,795	9.24	En uso	8	432.0	270	116,640
VIII-019 p4	ND-0803-195	129,450	5,901,795	9.26	En uso	8	432.0	270	116,640
VIII-019 p5	ND-0803-195	129,450	5,901,792	9.26	En uso	8	432.0	270	116,640
VIII-019 p6	ND-0803-195	129,447	5,901,796	9.31	En uso	8	432.0	270	116,640
VIII-019 p7	ND-0803-195	129,439	5,901,797	9.26	En uso	8	432.0	270	116,640
VIII-019 p8	ND-0803-195	129,433	5,901,798	9.18	En uso	8	432.0	270	116,640
VIII-102 p1	ND-0803-1477	129,522	5,902,145	9.41	Reserva	8	230.4	30	6,912
VIII-102 p2	ND-0803-1477	129,518	5,902,142	9.35	Reserva	8	129.6	30	3,888

Tabla 71. Pozos y régimen de bombeo

Cód. de Pozo	Exped.	WGS84 H18S		Z (msnm)	Estado	Horas/día	m3/d	días/año	m3/año
		X	Y						
VIII-102 p3	ND-0803-1477	129,516	5,902,146	9.36	Reserva	8	230.4	30	6,912
VIII-102 p4	ND-0803-1477	129,518	5,902,153	9.30	Reserva	8	230.4	30	6,912
VIII-102 p5	ND-0803-1477	129,516	5,902,157	9.38	Reserva	8	230.4	30	6,912
VIII-102 p6	ND-0803-1477	129,517	5,902,161	9.35	Reserva	8	691.2	30	20,736
VIII-109	ND-0803-2262	129,645	5,901,904	8.77	F.U.	8	172.8	0	0
VIII-097 p1	ND-0803-800005	129,251	5,901,776	9.14	En uso	8	172.8	270	46,656
VIII-097 p2	ND-0803-800005	129,248	5,901,776	9.33	En uso	8	172.8	270	46,656
VIII-097 p3	ND-0803-800005	129,244	5,901,777	9.41	En uso	8	172.8	270	46,656
VIII-204	ND-0803-2226	147,799	5,891,744	54.21	En uso	8	138.2	360	49,766
VIII-200	ND-0803-1466	147,638	5,892,102	44.81	En uso	8	86.4	360	31,104
VIII-202	ND-0803-2226	147,685	5,892,767	51.10	En uso	8	115.2	180	20,736
VIII-205	ND-0803-2266	147,689	5,892,770	51.22	En uso	8	86.4	180	15,552
VIII-198	ND-0803-800018	147,548	5,892,725	46.81	F.U.	8	777.6	0	0
VIII-206	ND-0803-1933	148,153	5,891,917	49.51	En uso	8	57.6	180	10,368
VIII-035	ND-0803-1947	149,554	5,899,693	62.58	Reserva	8	144.0	180	25,920
VIII-213	ND-0803-727	149,354	5,899,507	51.20	Reserva	8	144.0	180	25,920
VIII-214	ND-0803-1612	149,905	5,899,747	56.24	En uso	8	31.7	360	11,405
VIII-209	ND-0803-1408	148,551	5,901,405	63.47	En uso	8	1324.8	360	476,928
VIII-194_2	ND-0803-1458	147,458	5,877,026	70.25	En uso	8	720.0	360	259,200
VIII-194_1	ND-0803-1458	147,302	5,876,957	67.84	Reserva	8	720.0	180	129,600
VIII-194	ND-0803-1458	147,331	5,876,967	68.11	Reserva	8	720.0	180	129,600
VIII-203	ND-0803-1937	148,581	5,879,611	43.55	Res-ver	8	63.4	0	0

Tabla 71. Pozos y régimen de bombeo

Cód. de Pozo	Exped.	WGS84 H18S		Z (msnm)	Estado	Horas/día	m3/d	días/año	m3/año
		X	Y						
VIII-201	NR-0803-1335	148,513	5,879,657	63.65	Res-ver	8	115.2	0	0
VIII-197	ND-0803-2275	147,003	5,900,612	42.63	En uso	8	57.6	360	20,736
VIII-185	ND-0803-1383	140,709	5,900,483	46.99	En uso	8	403.2	360	145,152
VIII-003	ND-0803-2132	149,230	5,899,628	42.62	En uso	8	158.4	180	28,512
VIII-036	ND-0803-1825	150,894	5,900,031	54.52	Reserva	8	167.0	180	30,067
VIII-038	ND-0803-2049	151,546	5,897,992	62.46	En uso	8	1152.0	180	207,360
VIII-219	ND-0803-1560	154,475	5,895,026	156.82	En uso	8	57.6	180	10,368
VIII-218	ND-0803-1503	154,324	5,895,015	154.57	En uso	8	129.6	180	23,328
VIII-005	ND-0803-2039	152,096	5,900,671	61.05	En uso	8	1728.0	270	466,560
VIII-004	ND-0803-2137	149,932	5,903,503	58.77	En uso	8	8.6	360	3,110
VIII-006	ND-0803-2125	154,064	5,905,670	227.36	En uso	8	121.0	360	43,546
VIII-007	ND-0803-2077	154,935	5,905,079	236.26	En uso	8	54.7	360	19,699
VIII-186	ND-0803-425	140,749	5,908,783	39.07	En uso	8	33.6	180	6,048
VIII-174	ND-0803-1475	131,299	5,922,419	22.89	En uso	8	864.0	180	155,520
VIII-175	ND-0803-2264	131,311	5,922,418	22.96	En uso	8	86.4	180	15,552
VIII-173	ND-0803-2142	131,161	5,922,283	24.01	En uso	8	109.4	180	19,699
VIII-192	ND-0803-1738	143,635	5,915,302	81.00	En uso	8	49.0	360	17,626
VIII-191	ND-0803-1737	143,175	5,914,905	42.32	En uso	8	49.0	360	17,626
VIII-190	ND-0803-1863	143,117	5,915,039	33.84	En uso	8	57.6	360	20,736
VIII-237	ND-0803-1614	174,692	5,921,128	258.36	En uso	8	37.4	360	13,478
VIII-237_1	ND-0803-1614	174,640	5,921,134	253.15	Res-ver	8	37.4	180	6,739
VIII-235	ND-0803-1679	172,957	5,918,258	255.28	En uso	8	72.0	360	25,920

Tabla 71. Pozos y régimen de bombeo

Cód. de Pozo	Exped.	WGS84 H18S		Z (msnm)	Estado	Horas/día	m3/d	días/año	m3/año
		X	Y						
VIII-233	ND-0803-1557	172,008	5,918,104	258.94	En uso	8	43.2	360	15,552
VIII-234	ND-0803-1394	172,234	5,917,404	302.60	Res-ver	8	83.5	180	15,034
VIII-234_1	ND-0803-1394	172,187	5,917,391	297.35	En uso	8	83.5	360	30,067
VIII-236	ND-0803-624	174,581	5,913,697	279.33	En uso	8	230.4	360	82,944
VIII-042_1	ND-0804-1957	166,477	5,921,651	245.07	En uso	8	14.4	180	2,592
VIII-042_2	ND-0804-1957	166,463	5,921,729	250.94	En uso	8	14.4	180	2,592
VIII-042-3	ND-0804-1957	166,507	5,921,659	221.60	En uso	8	14.4	180	2,592
VIII-042-4	ND-0804-1957	166,686	5,921,668	200.00	Reserva	8	14.4	180	2,592
VIII-045	ND-0803-1508	159,380	5,917,397	182.48	En uso	8	86.4	360	31,104
VIII-217	NR-0803-1337	152,505	5,914,211	98.56	S. Inf.	8	288.0	270	77,760
VIII-195	ND-0803-1514	145,455	5,919,101	34.48	En uso	8	115.2	360	41,472
VIII-195_1	ND-0803-1514	145,442	5,919,123	33.35	Reserva	8	115.2	360	41,472
VIII-134	NR-0803-728	130,225	5,906,352	9.41	Res-ver	8	2160.0	270	583,200
VIII-131	ND-0803-1363	130,011	5,906,380	9.80	Reserva	8	576.0	270	155,520
VIII-141	ND-0803-128	130,424	5,906,195	9.76	En uso	8	1296.0	270	349,920
VIII-141-1	ND-0803-128	130,397	5,906,328	9.62	En uso	8	1296.0	270	349,920
VIII-132p1	ND-0803-1403	130,067	5,906,766	9.28	En uso	8	720.0	270	194,400
VIII-132p2	ND-0803-1403	130,072	5,906,766	9.16	En uso	8	720.0	270	194,400
VIII-132p3	ND-0803-1403	130,073	5,906,771	9.05	En uso	8	172.8	270	46,656
VIII-132p4	ND-0803-1403	130,073	5,906,774	9.12	En uso	8	172.8	270	46,656
VIII-132p5	ND-0803-1403	130,068	5,906,776	9.04	En uso	8	172.8	270	46,656
VIII-132p6	ND-0803-1403	130,066	5,906,772	8.90	En uso	8	172.8	270	46,656

Tabla 71. Pozos y régimen de bombeo

Cód. de Pozo	Exped.	WGS84 H18S		Z (msnm)	Estado	Horas/día	m3/d	días/año	m3/año
		X	Y						
VIII-132p7	ND-0803-1403	130,129	5,906,759	8.69	En uso	8	172.8	270	46,656
VIII-145_Punt01	ND-0803-2088	130,438	5,911,194	10.06	Reserva	8	460.8	30	13,824
VIII-145_Punt02	ND-0803-2088	130,442	5,911,193	10.05	Reserva	8	460.8	30	13,824
VIII-145_Punt03	ND-0803-2088	130,448	5,911,193	10.13	Reserva	8	460.8	30	13,824
VIII-145_Punt04	ND-0803-2088	130,454	5,911,192	10.08	Reserva	8	460.8	30	13,824
VIII-180	ND-0803-1412	134,904	5,915,277	13.56	En uso	8	864.0	360	311,040
VIII-178	ND-0803-2117	134,928	5,915,541	14.75	Reserva	8	115.2	270	31,104
VIII-181	ND-0803-1412	134,889	5,915,656	14.83	Reserva	8	864.0	360	311,040
VIII-179 rio	ND-0803-1413	134,907	5,915,770	5.99	En uso	8	489.6	360	176,256
VIII-158	ND-0803-2139	130,745	5,910,764	10.31	En uso	8	144.0	360	51,840
VIII-155	ND-0803-2276	130,739	5,910,723	10.58		8	28.8	0	0
VIII-156	ND-0803-1457	130,719	5,910,953	10.27	En uso	8	86.4	270	23,328
VIII-151	ND-0803-495	130,688	5,911,393	10.40	En uso	8	806.4	270	217,728
VIII-150	ND-0803-495	130,686	5,911,382	10.48	En uso	8	144.0	270	38,880
VIII-149	ND-0803-495	130,684	5,911,370	10.44	En uso	8	806.4	270	217,728
VIII-152	ND-0803-495	130,697	5,911,368	10.44	En uso	8	806.4	270	217,728
VIII-153	ND-0803-495	130,699	5,911,381	10.41	En uso	8	806.4	360	290,304
VIII-144_Punt01	ND-0803-1230	130,421	5,911,633	10.22	En uso	8	1152.0	270	311,040
VIII-087-1	ND-0803-27	128,745	5,898,825	8.45	En uso	8	691.2	360	248,832
VIII-148	ND-0803-2276	130,683	5,911,358	10.13	F.U.	8	28.8	0	0
VIII-085	VPC-0803-800000	126,783	5,920,387	60.54	En uso	8	1728.0	360	622,080
VIII-009	ND-0803-2046	157,065	5,933,082	253.61	En uso	8	51.8	360	18,662

Tabla 71. Pozos y régimen de bombeo

Cód. de Pozo	Exped.	WGS84 H18S		Z (msnm)	Estado	Horas/día	m3/d	días/año	m3/año
		X	Y						
VIII-224	ND-0803-2144	157,066	5,933,081	253.68	En uso	8	66.2	360	23,846
VIII-223	ND-0803-2127	156,363	5,931,362	278.30	En uso	8	37.4	360	13,478
VIII-225	ND-0803-2075	158,126	5,930,785	318.53	F.U.	8	66.2	0	0
VIII-012_1	ND-0803-2126	159,809	5,929,398	248.87	Reserva	8	40.3	360	14,515
VIII-012_2	ND-0803-2126	159,803	5,929,403	249.39	Reserva	8	40.3	180	7,258
VIII-226	ND-0803-2128	160,072	5,929,654	245.71	En uso	8	40.3	360	14,515
VIII-227	ND-0803-2147	161,691	5,931,638	289.09	En uso	8	40.3	360	14,515
VIII-228	ND-0803-2123	163,397	5,932,666	277.97	En uso	8	72.0	360	25,920
VIII-013	ND-0803-2059	164,468	5,932,651	274.82	En uso	8	115.2	360	41,472
VIII-229	ND-0803-2067	164,235	5,933,085	255.73	Res-ver	8	57.6	180	10,368
VIII-230	ND-0803-2124	164,243	5,933,089	255.84	En uso	8	49.0	360	17,626
VIII-231	ND-0803-2120	164,395	5,934,350	250.35	En uso	8	115.2	360	41,472
VIII-041	ND-0803-1827	165,826	5,925,898	167.00	En uso	8	57.6	360	20,736
VIII-232	ND-0803-2040	170,574	5,934,247	240.69	En uso	8	49.0	360	17,626
VIII-232_2	ND-0803-2040	170,592	5,934,220	239.70	Reserva	8	49.0	180	8,813
VIII-184	ND-0803-2268	137,304	5,916,076	32.41	Reserva	8	432.0	180	77,760
VIII-215	ND-0803-2002	149,988	5,916,554	62.78	En uso	8	37.4	360	13,478
VIII-037	ND-0803-2047	150,079	5,916,530	52.77	En uso	8	66.2	360	23,846
VIII-147	ND-0803-2138	131,210	5,898,417	28.63	En uso	8	57.6	180	10,368
VIII-154	ND-0803-495	131,461	5,898,469	28.80	F.U.	8	806.4	0	0
VIIIN-154	Pozo nuevo	131,499	5,898,463	29.19	F.U.	8	0.0	0	0
VIII-159	ND-0803-1457	131,588	5,898,462	28.82	Reserva	8	144.0	180	25,920

Tabla 71. Pozos y régimen de bombeo

Cód. de Pozo	Exped.	WGS84 H18S		Z (msnm)	Estado	Horas/día	m3/d	días/año	m3/año
		X	Y						
VIII-146	ND-0803-800013	131,349	5,899,406	28.85	En uso	8	432.0	360	155,520
VIII-164	ND-0803-1072	131,872	5,897,424	28.40	En uso	8	2046.5	360	736,750
VIII-002	ND-0803-2135	132,593	5,899,406	29.55	En uso	8	115.2	360	41,472
VIII-176	ND-0803-2264	132,618	5,899,398	29.25	En uso	8	86.4	360	31,104
VIII-177	ND-0803-2133	132,786	5,899,383	28.34	Reserva	8	115.2	180	20,736
VIIIN-177	Pozo nuevo	132,809	5,899,415	28.57	Reserva	8	0.0	180	0
VIII-023	ND-0803-122	130,117	5,903,031	29.23	F.U.	8	933.1	0	0
VIII-121	VPC-0803-7	129,832	5,902,529	29.49	En uso	8	446.4	180	80,352
VIIIN-121	Pozo nuevo	129,870	5,902,583	29.31	En uso	8	0.0	180	0
VIII-028	ND-0803-2302	130,308	5,904,242	29.15	F.U.	8	115.2	0	0
VIII-114	ND-0803-1762	129,596	5,903,915	28.37	Reserva	8	86.7	360	31,208
VIII-122	ND-0803-1411	129,920	5,903,778	29.15	F.U.	8	34.6	0	0
VIII-022	ND-0803-196	129,844	5,903,482	28.91	En uso	8	288.0	360	103,680
VIIIN-022	Pozo nuevo	129,845	5,903,488	28.94	En uso	8	0.0	360	0
VIII-107	ND-0803-176	129,515	5,903,536	28.52	En uso	8	864.0	360	311,040
VIII-123	ND-0803-800024	129,887	5,904,110	28.71	En uso	8	576.0	360	207,360
VIII-129	ND-0803-1362	129,998	5,905,838	29.21	Reserva	8	432.0	180	77,760
VIII-130	ND-0803-1363	130,188	5,905,193	28.94	Reserva	8	576.0	180	103,680
VIII-128	ND-0803-2229	129,930	5,905,292	28.55	En uso	8	1872.0	360	673,920
VIII-124	ND-0803-1472	130,047	5,904,832	29.30	Reserva	8	28.8	180	5,184
VIII-118a	ND-0803-1760	129,943	5,903,037	28.73	En uso	8	86.4	270	23,328
VIII-118b	ND-0803-1760	129,942	5,903,030	28.82	En uso	8	86.4	270	23,328

Tabla 71. Pozos y régimen de bombeo

Cód. de Pozo	Exped.	WGS84 H18S		Z (msnm)	Estado	Horas/día	m3/d	días/año	m3/año
		X	Y						
VIII-118c	ND-0803-1760	129,942	5,903,024	28.77	En uso	8	86.4	270	23,328
VIII-118d	ND-0803-1760	129,941	5,903,018	28.81	En uso	8	86.4	270	23,328
VIII-118e	ND-0803-1760	129,950	5,903,019	29.19	En uso	8	86.4	270	23,328
VIII-118f	ND-0803-1760	129,951	5,903,024	29.14	En uso	8	86.4	270	23,328
VIII-118g	ND-0803-1760	129,952	5,903,030	28.98	En uso	8	86.4	270	23,328
VIII-120	VPC-0803-6	129,846	5,903,050	29.04	En uso	8	446.4	270	120,528
VIII-119a	VPC-0803-5	129,848	5,903,020	28.70	En uso	8	446.4	270	120,528
VIII-119b	VPC-0803-5	129,848	5,903,016	28.89	En uso	8	446.4	270	120,528
VIII-119c	VPC-0803-5	129,847	5,903,012	28.87	En uso	8	446.4	270	120,528
VIII-119d	VPC-0803-5	129,848	5,903,008	28.85	En uso	8	446.4	270	120,528
VIII-119e	VPC-0803-5	129,847	5,903,004	28.85	En uso	8	446.4	270	120,528
VIII-119f	VPC-0803-5	129,846	5,903,000	28.78	En uso	8	446.4	270	120,528
VIII-119g	VPC-0803-5	129,846	5,902,995	28.71	En uso	8	446.4	270	120,528
VIII-119h	VPC-0803-5	129,845	5,902,991	28.69	En uso	8	446.4	270	120,528
VIII-207	ND-0803-2037	149,194	5,884,358	65.56	En uso	8	86.4	360	31,104
VIII-216	NR-0803-1330	153,136	5,879,556	53.11	En uso	8	345.6	360	124,416
VIII-040	ND-0803-2369	162,897	5,872,417	94.50	En uso	8	49.0	360	17,626
VIII-160NUEVO	Pozo nuevo	131,274	5,906,274	30.07	F.U.	8	0.0	0	0
VIII-171	ND-0803-800029	131,397	5,906,544	28.47	Reserva	8	2880.0	180	518,400
VIII-171NUEVO	Pozo nuevo	131,326	5,906,720	28.90	Reserva	8	0.0	180	0
VIII-160	ND-0803-2276	131,192	5,906,301	29.62	En uso	8	28.8	360	10,368
VIII-136	ND-0803-110	130,453	5,903,691	28.56	Reserva	8	576.0	180	103,680

Tabla 71. Pozos y régimen de bombeo

Cód. de Pozo	Exped.	WGS84 H18S		Z (msnm)	Estado	Horas/día	m3/d	días/año	m3/año
		X	Y						
VIII-137	ND-0803-1360	130,464	5,903,690	28.34	Reserva	8	144.0	180	25,920
VIII-136NUEVO	Pozo nuevo	130,432	5,903,707	30.36	Reserva	8	0.0	180	0
VIII-138	ND-0803-1360	130,465	5,903,588	28.87	En uso	8	144.0	360	51,840
VIII-139	ND-0803-1360	130,465	5,903,588	28.87	Reserva	8	144.0	180	25,920
VIII-139NUEVO	Pozo nuevo	130,477	5,903,540	28.87	F.U.	8	0.0	0	0
VIII-143	ND-0803-1249	130,776	5,904,779	30.42	F.U.	8	576.0	0	0
VIII-169	ND-0803-2141	131,360	5,911,300	29.58	En uso	8	97.9	360	35,251
VIII-169NUEVO	Pozo nuevo	131,470	5,911,281	29.64	Reserva	8	0.0	180	0
VIII-169NUEVO2	Pozo nuevo	131,247	5,911,322	29.51	Reserva	8	0.0	180	0
VIII-161	ND-0803-1214	131,295	5,910,643	29.04	En uso	8	288.0	360	103,680
VIII-161NUEVO	Pozo nuevo	131,300	5,910,636	29.13	En uso	8	0.0	360	0
VIII-161NUEVO2	Pozo nuevo	131,301	5,910,649	29.17	En uso	8	0.0	360	0
VIII-163	ND-0803-2140	131,299	5,910,579	29.17	En uso	8	97.9	360	35,251
VIII-163NUEVO	Pozo nuevo	131,314	5,910,588	29.12	En uso	8	0.0	360	0
VIII-165	ND-0803-647	131,079	5,908,921	30.18	En uso	8	1958.4	360	705,024
VIII-165NUEVO	Pozo nuevo	131,074	5,908,933	30.03	En uso	8	0.0	360	0
VIII-165NUEVO2	Pozo nuevo	131,075	5,908,948	30.11	En uso	8	0.0	360	0
VIII-165NUEVO3	Pozo nuevo	131,084	5,908,952	30.03	En uso	8	0.0	360	0
VIII-166	ND-0803-1073	130,952	5,913,206	29.14	En uso	8	403.2	360	145,152
VIII-166NUEVO	Pozo nuevo	130,964	5,913,203	29.43	En uso	8	0.0	360	0
VIII-166NUEVO2	Pozo nuevo	130,939	5,913,206	29.31	F.U.	8	0.0	270	0
VIII-166NUEVO3	Pozo nuevo	130,941	5,913,222	29.43	En uso	8	0.0	360	0

Tabla 71. Pozos y régimen de bombeo

Cód. de Pozo	Exped.	WGS84 H18S		Z (msnm)	Estado	Horas/día	m3/d	días/año	m3/año
		X	Y						
VIII-030	ND-0803-1895	135,895	5,918,260	30.87	En uso	8	115.2	360	41,472
VIII-031	ND-0803-42	135,946	5,918,500	31.34	F.U.	8	1728.0	0	0
VIII-183	ND-0804-1965	136,378	5,917,403	34.17	Reserva	8	864.0	180	155,520
VIII-145_Punt05	ND-0803-2088	130,464	5,911,201	10.29	Reserva	8	460.8	30	13,824
VIII-144_Punt02	ND-0803-1230	130,421	5,911,631	10.26	En uso	8	1152.0	270	311,040
VIII-145_Punt06	ND-0803-2088	130,466	5,911,207	10.15	Reserva	8	460.8	30	13,824
VIII-144_Punt03	ND-0803-1230	130,420	5,911,627	10.28	En uso	8	106.6	270	28,771
VIII-145_Punt07	ND-0803-2088	130,466	5,911,213	10.26	Reserva	8	460.8	30	13,824
VIII-144_Punt04	ND-0803-1230	130,420	5,911,625	10.33	En uso	8	1152.0	270	311,040
VIII-145_Punt08	ND-0803-2088	130,467	5,911,218	10.22	Reserva	8	460.8	30	13,824
VIII-144_Punt05	ND-0803-1230	130,419	5,911,621	10.21	En uso	8	1152.0	270	311,040

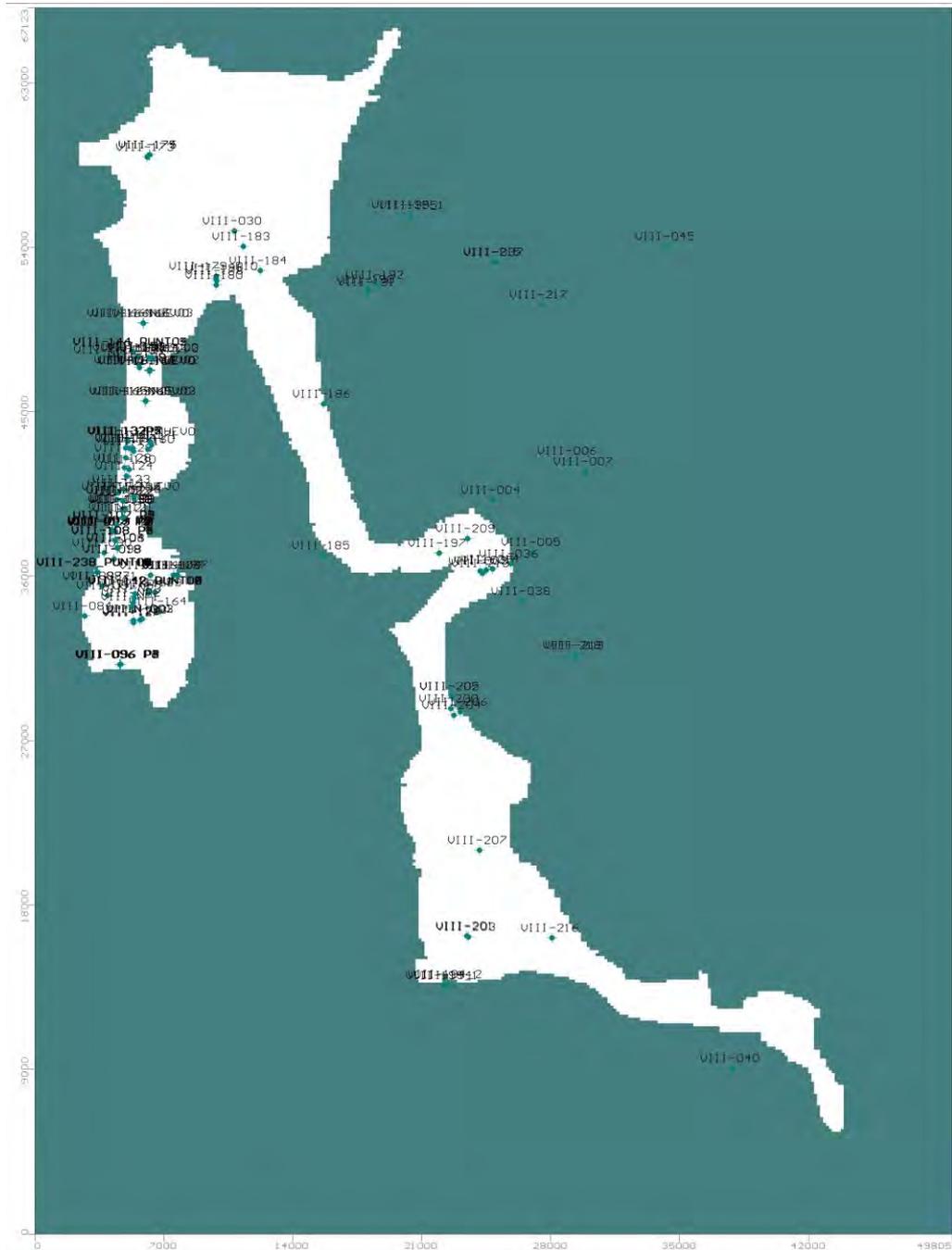


Figura 146. Pozos de bombeo (condición Well)

10.6. PUNTOS DE OBSERVACIÓN

Se han utilizado 87 puntos de observación, los cuales han sido tomados en terreno en régimen estático y con GPS diferencial, lo que hace de la medida un dato fiable. Los puntos son los siguientes:

Tabla 72. Puntos de observación y nivel

Código de Pozo	Expediente	WGS84 H18S		Z (msnm)	PNP Est. (m)	Cota (msnm)	PNP
		X	Y				
VIII-125	ND-0803-1362	130,416.0	5,896,946.5	8.43	4.76	3.67	
VIII-126	ND-0803-2230	130,413.6	5,896,877.0	8.37	5.52	2.85	
VIII-127	ND-0803-2301	130,415.7	5,896,809.0	8.49	4.75	3.74	
VIII-133	ND-0803-2254	130,775.5	5,896,964.4	9.48	5.42	4.06	
VIII-142_Punt01	ND-0803-1478	131,240.6	5,898,544.6	8.52	0.51	8.01	
VIII-142_Punt02	ND-0803-1478	131,241.4	5,898,549.6	8.40	0.51	7.89	
VIII-142_Punt03	ND-0803-1478	131,242.4	5,898,553.5	8.56	0.51	8.05	
VIII-142_Punt04	ND-0803-1478	131,243.3	5,898,557.0	8.62	0.51	8.11	
VIII-142_Punt05	ND-0803-1478	131,244.5	5,898,561.5	8.49	0.51	7.98	
VIII-142_Punt06	ND-0803-1478	131,251.1	5,898,559.5	8.60	0.51	8.09	
VIII-142_Punt07	ND-0803-1478	131,249.9	5,898,555.5	8.60	0.51	8.09	
VIII-142_Punt08	ND-0803-1478	131,248.6	5,898,551.8	8.57	0.51	8.06	
VIII-142_Punt09	ND-0803-1478	131,247.4	5,898,547.9	8.56	0.51	8.05	
VIII-142_Punt10	ND-0803-1478	131,246.3	5,898,543.9	8.53	0.51	8.02	
VIIIN-001	Pozo nuevo	130,890.4	5,897,013.0	9.23	4.72	4.51	
VIIIN-002	Pozo nuevo	130,893.4	5,897,008.6	9.19	4.72	4.47	
VIIIN-003	Pozo nuevo	130,895.7	5,897,005.6	9.20	4.72	4.48	
VIII-np1	Pozo nuevo	130,355.6	5,897,677.8	9.58	3.9	5.68	
VIII-np3	Pozo nuevo	130,455.9	5,898,154.3	8.68	4.42	4.26	
VIII-np4	Pozo nuevo	130,503.7	5,898,380.2	8.63	2.3	6.33	
VIII-np2	Pozo nuevo	130,402.9	5,897,904.9	9.16	4.51	4.65	
VIII-087	ND-0803-27	128,722.9	5,898,825.2	7.47	2.54	4.93	
VIII-018	ND-0803-115	129,361.8	5,900,271.5	8.32	2.23	6.09	
VIII-089 p1	ND-0803-27	128,722.9	5,900,948.4	8.33	4.2	4.13	
VIII-089 p2	ND-0803-27	128,726.6	5,900,947.5	8.40	4.2	4.20	
VIII-089 p3	ND-0803-27	128,730.6	5,900,947.0	8.40	4.2	4.20	
VIII-089 p4	ND-0803-27	128,733.9	5,900,946.4	8.32	4.2	4.12	
VIII-089 p5	ND-0803-27	128,733.9	5,900,943.4	8.54	4.2	4.34	
VIII-089 p6	ND-0803-27	128,730.3	5,900,944.0	8.49	4.2	4.29	
VIII-089 p7	ND-0803-27	128,726.1	5,900,944.7	8.57	4.2	4.37	
VIII-089 p8	ND-0803-27	128,722.4	5,900,945.0	8.46	4.2	4.26	
VIII-103	ND-0803-601	129,544.9	5,900,888.3	8.27	3.95	4.32	

Tabla 72. Puntos de observación y nivel

Código de Pozo	Expediente	WGS84 H18S		Z (msnm)	PNP Est. (m)	Cota (msnm)	PNP
		X	Y				
VIII-106	ND-0803-176	129,564.2	5,900,884.8	8.42	17.7	-9.25	
VIII-104	ND-0803-176	129,545.4	5,900,915.1	8.55	17.5	-8.92	
VIII-108 p1	ND-0803-1409	129,426.8	5,901,299.2	8.56	6	2.56	
VIII-108 p2	ND-0803-1409	129,427.0	5,901,302.0	8.65	6	2.65	
VIII-108 p3	ND-0803-1409	129,427.3	5,901,304.6	8.59	6	2.59	
VIII-108 p4	ND-0803-1409	129,427.9	5,901,307.9	8.56	6	2.56	
VIII-108 p5	ND-0803-1409	129,428.2	5,901,310.6	8.56	6	2.56	
VIII-108 p6	ND-0803-1409	129,428.7	5,901,314.1	8.53	6	2.53	
VIII-108 p7	ND-0803-1409	129,429.0	5,901,316.3	8.52	6	2.52	
VIII-108 p8	ND-0803-1409	129,429.3	5,901,319.0	8.55	6	2.55	
VIII-091	ND-0803-1433	129,025.2	5,898,293.2	9.10	3.53	5.57	
VIII-204	ND-0803-2226	147,798.9	5,891,744.3	54.21	15	39.21	
VIII-200	ND-0803-1466	147,638.4	5,892,102.4	44.81	16	28.81	
VIII-206	ND-0803-1933	148,152.6	5,891,916.5	49.51	2.5	47.01	
VIII-194_2	ND-0803-1458	147,457.5	5,877,026.1	70.25	0.74	69.51	
VIII-194_1	ND-0803-1458	147,302.3	5,876,957.4	67.84	0.45	67.39	
VIII-203	ND-0803-1937	148,580.9	5,879,610.6	43.55	9.2	34.35	
VIII-201	NR-0803-1335	148,513.0	5,879,656.7	63.65	9.92	53.73	
VIII-219	ND-0803-1560	154,474.8	5,895,026.1	156.82	2.5	154.32	
VIII-218	ND-0803-1503	154,324.3	5,895,014.6	154.57	1.1	153.47	
VIII-005	ND-0803-2039	152,096.0	5,900,671.4	61.05	1.2	59.85	
VIII-237	ND-0803-1614	174,691.5	5,921,128.4	258.36	0.09	258.27	
VIII-234	ND-0803-1394	172,233.5	5,917,404.4	302.60	0.36	302.24	
VIII-195_1	ND-0803-1514	145,442.4	5,919,122.8	33.35	0.05	33.30	
VIII-131	ND-0803-1363	130,010.9	5,906,379.8	9.80	4.25	5.55	
VIII-141	ND-0803-128	130,423.6	5,906,194.7	9.76	5	4.76	
VIII-141-1	ND-0803-128	130,397.3	5,906,328.2	9.62	5	4.62	
VIII-132p4	ND-0803-1403	130,073.3	5,906,774.1	9.12	3.8	5.32	
VIII-178	ND-0803-2117	134,927.7	5,915,540.7	14.75	9.3	5.45	
VIII-085	VPC-0803-800000	126,782.6	5,920,386.8	60.54	1.18	59.36	
VIII-012_1	ND-0803-2126	159,809.3	5,929,397.9	248.87	0.15	248.72	
VIII-041	ND-0803-1827	165,825.6	5,925,898.4	167.00	12	155.00	
VIII-184	ND-0803-2268	137,303.8	5,916,076.3	32.41	4.95	27.46	
VIII-037	ND-0803-2047	150,078.8	5,916,530.0	52.77	0.15	52.62	
VIII-147	ND-0803-2138	131,210.1	5,898,416.9	28.63	0.66	27.97	
VIII-154	ND-0803-495	131,461.0	5,898,468.7	28.80	0.54	28.26	
VIII-154	Pozo nuevo	131,499.2	5,898,462.6	29.19	0.96	28.23	
VIII-159	ND-0803-1457	131,588.3	5,898,462.5	28.82	0.58	28.24	
VIII-146	ND-0803-800013	131,349.3	5,899,405.6	28.85	0.47	28.38	
VIII-164	ND-0803-1072	131,871.7	5,897,424.2	28.40	3.86	24.54	

Tabla 72. Puntos de observación y nivel

Código de Pozo	Expediente	WGS84 H18S		Z (msnm)	PNP Est. (m)	Cota (msnm)	PNP
		X	Y				
VIII-177	ND-0803-2133	132,785.9	5,899,383.0	28.34	0.2	28.14	
VIIIN-177	Pozo nuevo	132,809.3	5,899,415.3	28.57	0.2	28.37	
VIII-023	ND-0803-122	130,116.8	5,903,031.3	29.23	1.95	27.28	
VIIIN-121	Pozo nuevo	129,869.9	5,902,582.6	29.31	3.15	26.16	
VIII-022	ND-0803-196	129,843.7	5,903,482.5	28.91	3.51	25.40	
VIIIN-022	Pozo nuevo	129,844.6	5,903,488.4	28.94	3.5	25.44	
VIII-123	ND-0803-800024	129,886.6	5,904,109.8	28.71	3.18	25.53	
VIII-129	ND-0803-1362	129,998.2	5,905,837.9	29.21	4.6	24.61	
VIII-118e	ND-0803-1760	129,949.8	5,903,018.6	29.19	8.6	20.59	
VIII-118f	ND-0803-1760	129,950.8	5,903,024.3	29.14	8.5	20.64	
VIII-207	ND-0803-2037	149,193.8	5,884,358.4	65.56	19.1	46.46	
VIII-040	ND-0803-2369	162,896.8	5,872,417.3	94.50	0.46	94.04	
VIII-171NUEVO	Pozo nuevo	131,325.8	5,906,719.5	28.90	1.13	27.77	
VIII-139NUEVO	Pozo nuevo	130,476.8	5,903,540.1	28.87	0.6	28.27	
VIII-143	ND-0803-1249	130,775.7	5,904,779.0	30.42	2.86	27.56	
VIII-183	ND-0804-1965	136,378.3	5,917,403.2	34.17	5.1	29.07	

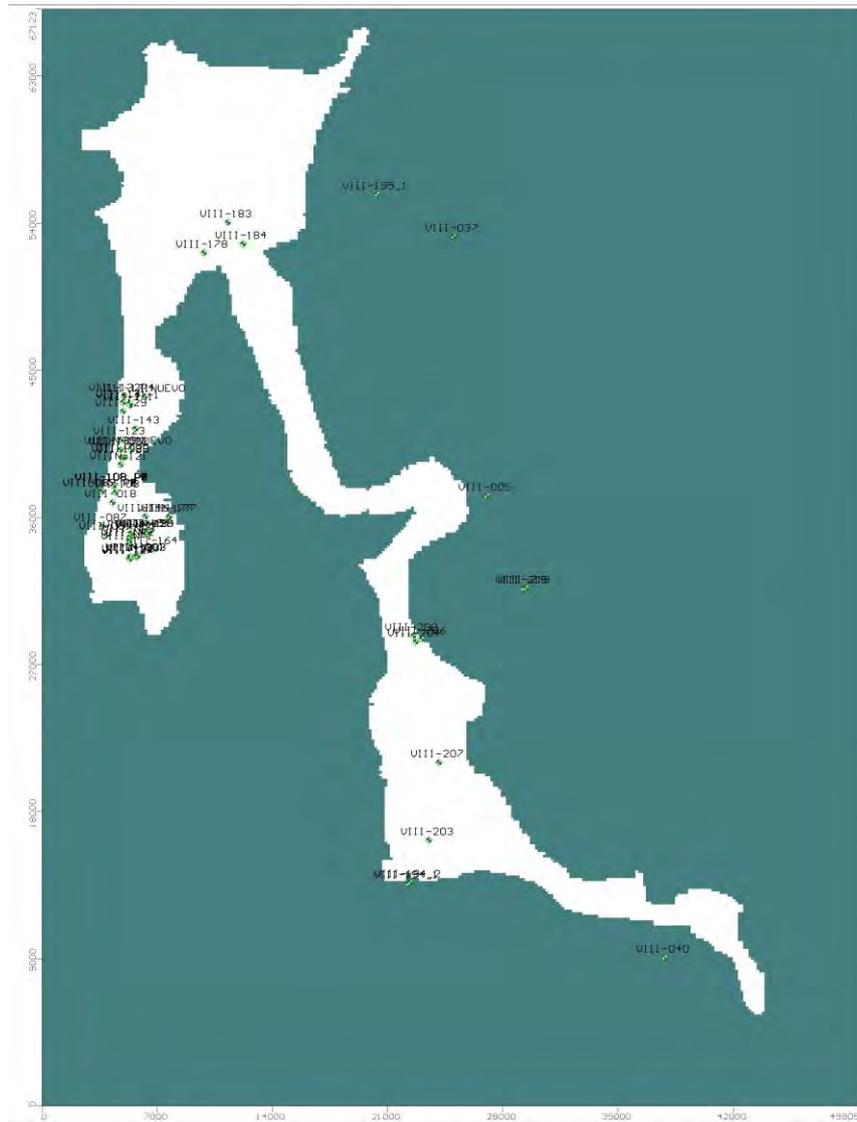


Figura 147. Puntos de observación utilizados para la calibración

10.7. EJECUCIÓN DEL MODELO

El modelo ha sido ejecutado en régimen estacionario, suponiendo un periodo de ejecución de un mes.

El algoritmo de solución ("solver") ha sido WHS de MODFLOW-2005, con los parámetros y criterios de iteración por defecto de este algoritmo.

Los parámetros de capa ("layer settings") también han sido introducidos por defecto, eligiendo el tipo 03: Confinado/libre, variable S, T, para ambas capas.

La piezometría inicial, ha sido tomada como la superficie del terreno (operación recomendada para modelos corridos en régimen estacionario).

El modelo resulta convergente en 85.9 segundos:

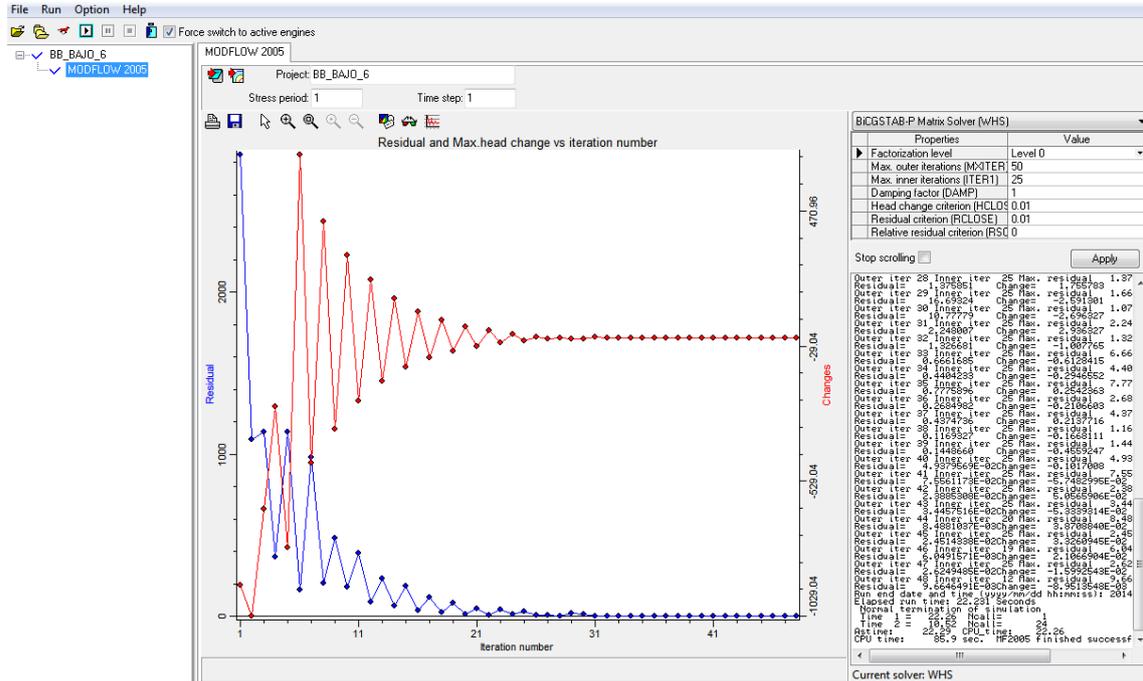


Figura 148. Resultado de las iteraciones tras correr el modelo

10.8. CALIBRACIÓN DEL MODELO

Tras un proceso iterativo de calibración de la conductividad del modelo, se ha obtenido un resultado en el cual los valores simulados se acercan bastante a los observados, con un RMS del 1.26%.

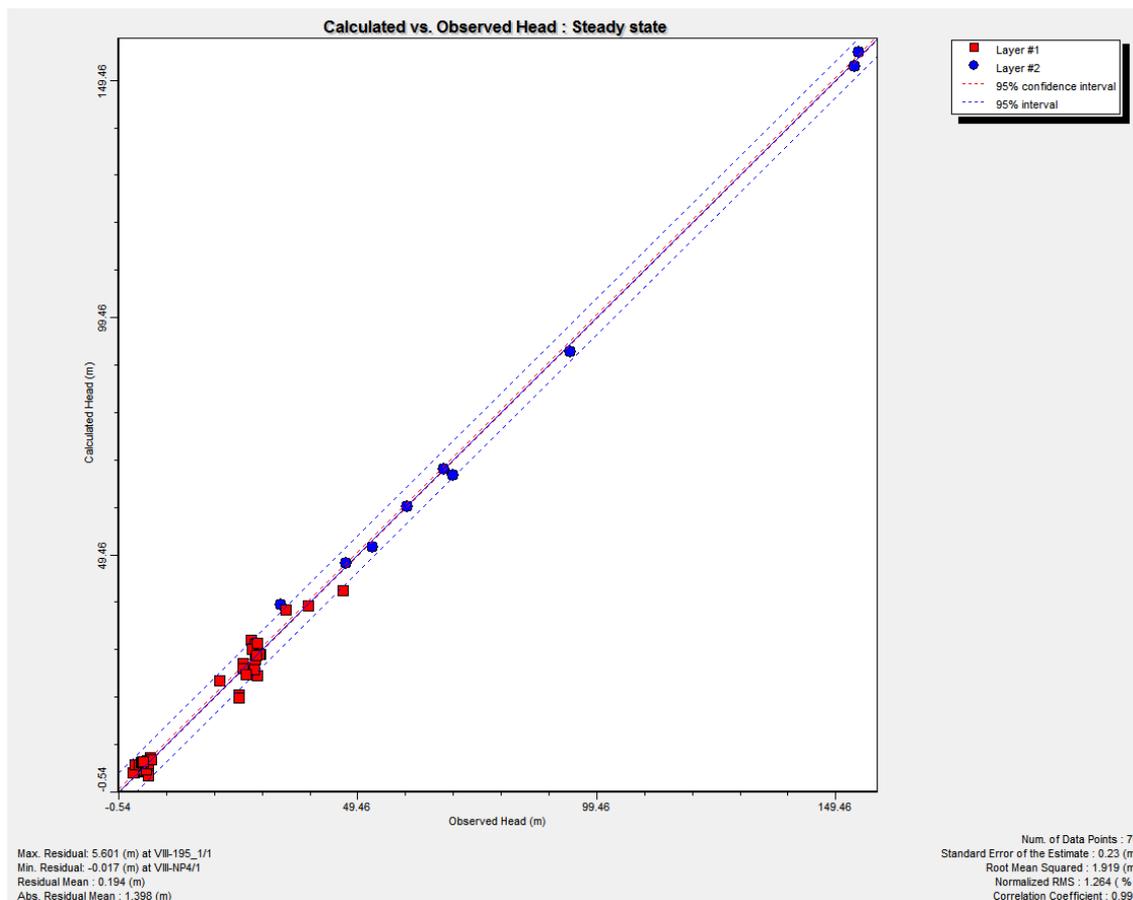


Figura 149. Niveles calculados frente a observados en el modelo del acuífero

10.9. BALANCE HÍDRICO

Para la mejor comprensión del sistema, y la obtención de un balance hídrico completo, diferenciando entre acuíferos y roca de caja, se ha realizado una sectorización del modelo con la función "Zone Budget" de la siguiente manera:

Tabla 73. Zonificación del modelo para la obtención del balance

Zonas en modelo	Acuífero o roca de caja
Zone 2 (azul en figura)	Acuíf. aluvial BioBio Bajo (parte baja)
Zone 3 (verde en figura)	Acuíf. aluvial BioBio Bajo (parte baja)
Zone 4 (turquesa en figura)	Acuíf. costero San Pedro de la Paz
Zone 5 (rojo en figura)	Acuíf. costero Talcahuano
Zone 6 (magenta en figura)	Roca caja San Pedro de la Paz
Zone 7 (beige verdoso en figura)	Roca caja BioBio Bajo
Zone 8 (gris en figura)	Roca caja Andalién

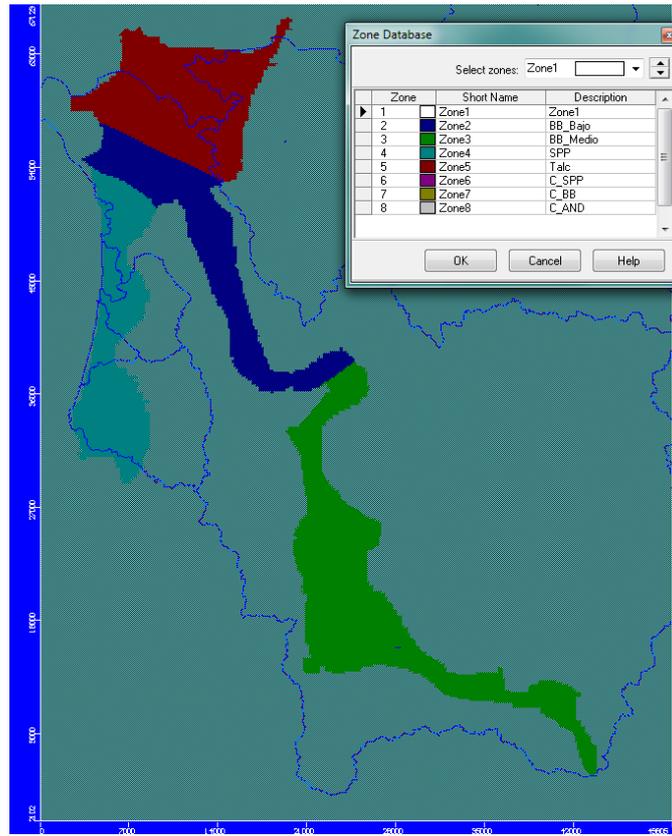


Figura 150. Zonificación para el balance en capa 1

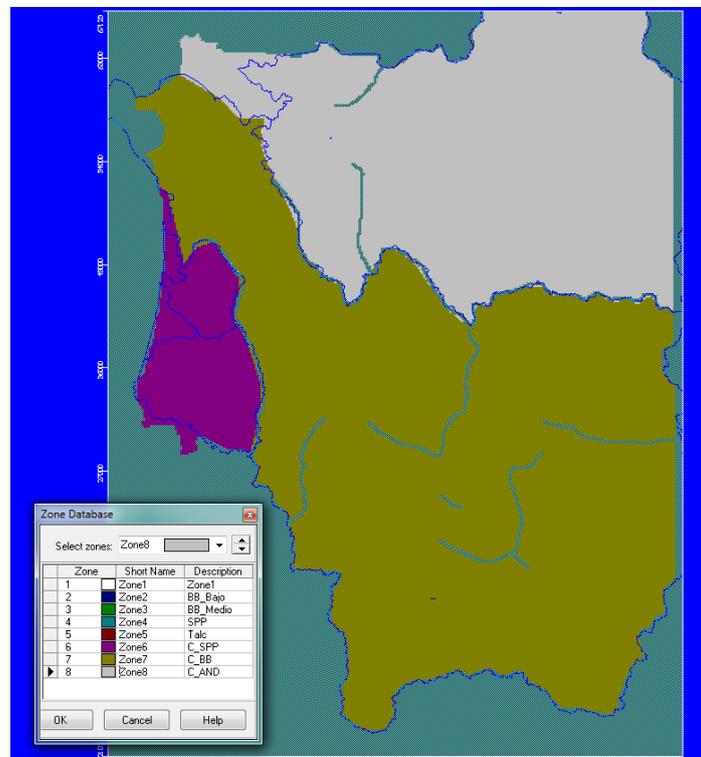


Figura 151. Zonificación para el balance en capa 2

Tabla 74. Balance hídrico por zonas. Entradas simuladas

Acuífero o Roca de Caja			ENTRADAS (l/s)								TOTAL ENTRADAS (l/s)
			PP y RR	Río Biobío	Transferencias laterales desde						
					Aluvial BioBio bajo (parte alta)	Aluvial BioBio bajo (parte baja)	Costero San Pedro de la Paz	Costero de Talcahuano	Roca caja BioBio	Roca caja Andalién	
Aluvial BioBio bajo	Parte baja	861.32	0.00	73.60	0.00	81.73	17.86	1,089.62	0.00	0.00	2,124.13
	Parte alta	1,582.06	0.00	0.00	38.28	0.00	0.00	1,742.82	0.00	0.00	3,363.16
Acuíf. Costero San Pedro de la Paz		758.47	0.00	0.00	43.02	0.00	0.00	101.71	0.00	440.39	1,343.60
Acuíf. Costero de Talcahuano		966.53	0.00	0.00	1.69	0.00	0.00	224.40	740.44	0.00	1,933.05
Roca caja Cuenca San Pedro de la Paz		409.69	0.00	0.00	0.00	21.19	0.00	64.56	0.00	0.00	495.43
Roca caja Cuenca BioBio bajo		3,656.02	0.00	73.32	58.76	0.00	256.69	0.00	560.81	55.03	4,660.63
Roca caja cuenca Andalién		694.57	0.00	0	0.22	0.00	384.63	221.69	0.00	0.00	1,301.11
TOTAL		8,928.66	0.00	146.92	141.97	102.91	659.18	3,444.80	1,301.25	495.42	15,221.11

Tabla 75. Balance hídrico por zonas. Salidas simuladas

Acuífero o Roca de Caja			SALIDAS (l/s)								TOTAL SALIDAS (l/s)	
			Mar	Río Biobío	Transferencias laterales hacia							
					Aluvial BioBio bajo (parte alta)	Aluvial BioBio bajo (parte baja)	Costero San Pedro de la Paz	Costero de Talcahuano	Roca caja BioBio	Roca caja Andalién		Roca caja San Pedro de la Paz
Aluvial BioBio bajo	Parte baja	-8.03	-1974.07	-38.28	0.00	-43.02	-1.69	-58.76	-0.22	0.00	0.00	-2,124.08
	Parte alta	0.00	-3214.24	0.00	-73.60	0.00	0.00	-73.32	0.00	0.00	-1.99	-3,363.15
Acuíf. Costero San Pedro de la Paz		-1240.51	-0.12	0.00	-81.73	0.00	0.00	0.00	0.00	-21.19	0.00	-1,343.55
Acuíf. Costero de Talcahuano		-1273.84	0.00	0.00	-17.86	0.00	0.00	-256.69	-384.63	0.00	0.00	-1,933.02
Roca caja Cuenca San Pedro de la Paz		0.00	0.00	0.00	0.00	-440.39	0.00	-55.03	0.00	0.00	0.00	-495.42
Roca caja Cuenca BioBio bajo		0.00	-1215.86	-1742.82	-1089.62	-101.71	-224.40	0.00	-221.70	-64.56	0.00	-4,660.66
Roca caja cuenca Andalién		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-740.44	-560.81	0.00	0.00	0.00	-1,301.25
TOTAL		-2,522.39	-6404.29	-1781.11	-1262.81	-585.13	-966.52	-1004.61	-606.55	-85.75	-1.99	-15,221.13

*PP y RR: Infiltración por precipitación y retorno de riego

11. HERRAMIENTA DE GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

De acuerdo con el alcance previsto para los trabajos del presente proyecto, se ha confeccionado una herramienta de gestión cuya finalidad, por una parte, es la de disponer del balance hídrico en cada acuífero considerando los factores que afectan dicho balance y, por otra, poder actualizar los valores de oferta hídrica según el otorgamiento de derechos y con ello la modificación de los valores de balance.

Para ello se ha realizado una aplicación basada en Excel cuyos datos base corresponden a todos los parámetros y valores generados en el presente estudio para el cálculo de los balances de cuencas y acuíferos.

11.1. MODELO CONCEPTUAL

El modelo utilizado, reflejado en la figura adjunta, representa de forma esquemática los parámetros barajados y su relación. Dicho modelo puede ser consultado en la aplicación de gestión realizada.

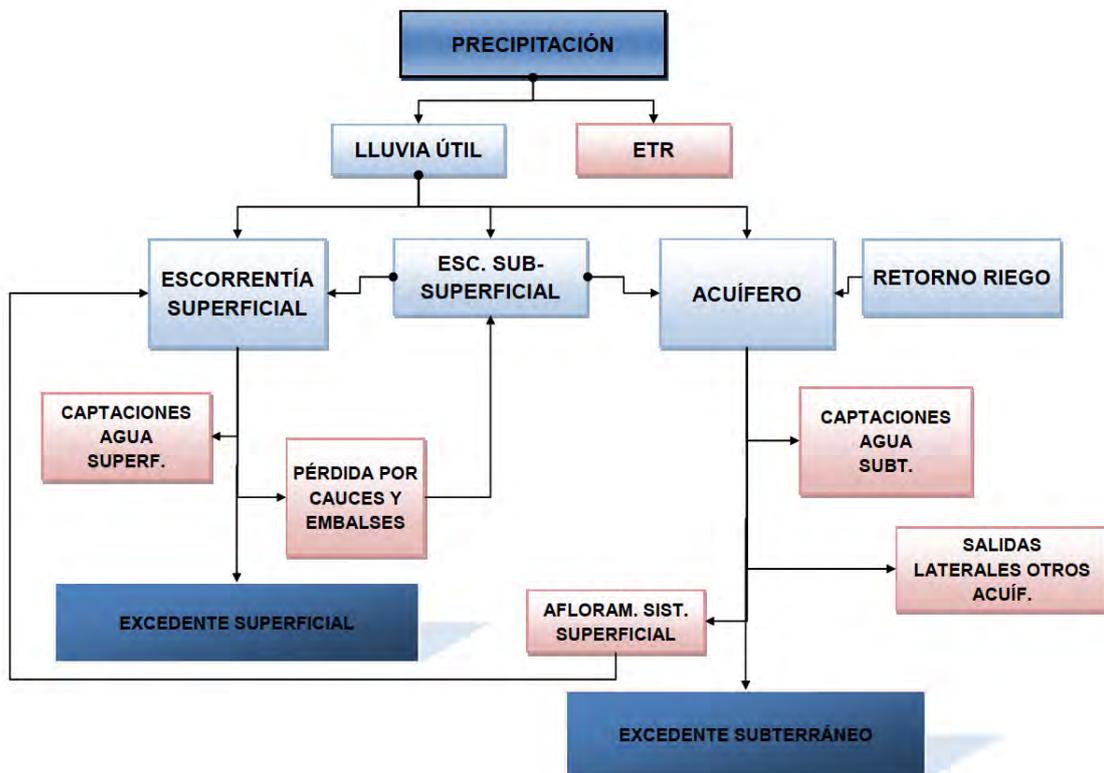


Figura 152. Esquema de balance

11.2. DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN

La Aplicación de Gestión se ha realizado en una planilla Excel compuesta por un menú inicial que permite al usuario acceder a las dos partes principales de la aplicación; introducción y registro de datos de otorgamiento de derechos, y acceso a los modelos conceptuales de cada cuenca o acuífero.



Figura 153. Pantalla inicial de la aplicación.

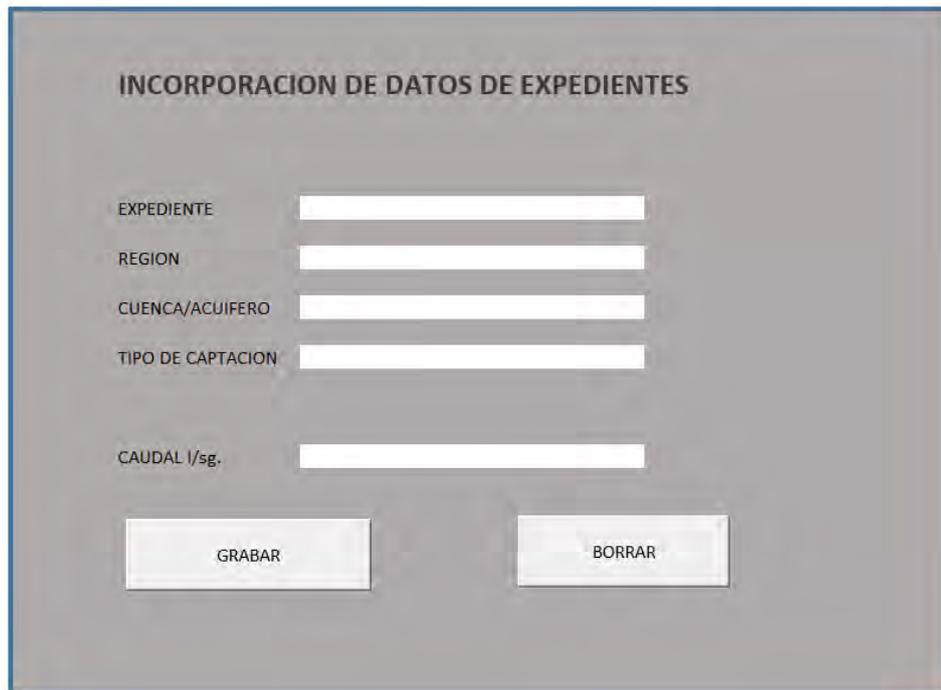
Introducción y registro de datos de otorgamientos

Mediante un sencillo formulario en la página principal, es posible introducir los datos de un otorgamiento correspondientes a:

- o N° de Expediente
- o Región
- o Cuenca/Acuífero
- o Tipo; Superficial o Subterránea
- o Caudal en l/sg

Para introducir los datos, las casillas de Región, Cuenca/acuífero y Tipo de Captación se despliegan con una lista de las opciones disponibles; n° de Región, Cuenca/Acuífero concreto y tipo de captación (Superficial/Subterránea).

Los datos almacenados actualizarán automáticamente los valores totales de caudales extraídos en cada modelo de cuenca o acuífero, de forma que el balance se mantendrá actualizado con cada otorgamiento registrado; balance de cuenca superficial para otorgamientos superficiales (tomas), y balance de acuífero para pozos.



The screenshot shows a web form titled "INCORPORACION DE DATOS DE EXPEDIENTES". It contains five input fields: "EXPEDIENTE", "REGION", "CUENCA/ACUIFERO", "TIPO DE CAPTACION", and "CAUDAL l/sg.". Below the fields are two buttons: "GRABAR" and "BORRAR".

Figura 154. Formulario de entrada de datos de otorgamientos

En caso de registrarse un pozo situado *fuera de los acuíferos establecidos*, su caudal se restará a la infiltración subsuperficial en cuenca hidrológica correspondiente. Como se ha explicado en el capítulo del modelo conceptual de balance, los pozos realizados fuera de acuíferos catalogados se consideran ubicados sobre mantos freáticos superficiales ocasionados por la infiltración subsuperficial.

Una vez introducidos los datos se registran en una pestaña auxiliar de la planilla donde quedarán almacenados (Tabla_Exp).

Consulta y gestión de balances de cuenca/acuífero

En el segundo menú de la pantalla de inicio se tiene acceso al balance de cada cuenca/acuífero establecido en el estudio y a un diagrama del modelo conceptual utilizado para poder consultarlo.

Mediante este menú se accede a la pestaña específica de una cuenca/acuífero donde se puede consultar el esquema sintético de la unidad, con indicación de los principales parámetros del balance de la misma (infiltración, extracciones, salidas al mar, etc.).

Junto a este esquema sintético, cuya finalidad es reflejar de forma gráfica los flujos considerados en cada unidad, se recoge una tabla con el balance detallado de cada unidad. Esta tabla se alimenta de los datos brutos generados en el proyecto

(escorrentía, infiltración, retornos de riego, etc.), y permite al mismo tiempo al usuario el poder cambiar determinadas variables.



Figura 155. Menú de acceso a balances y modelo conceptual

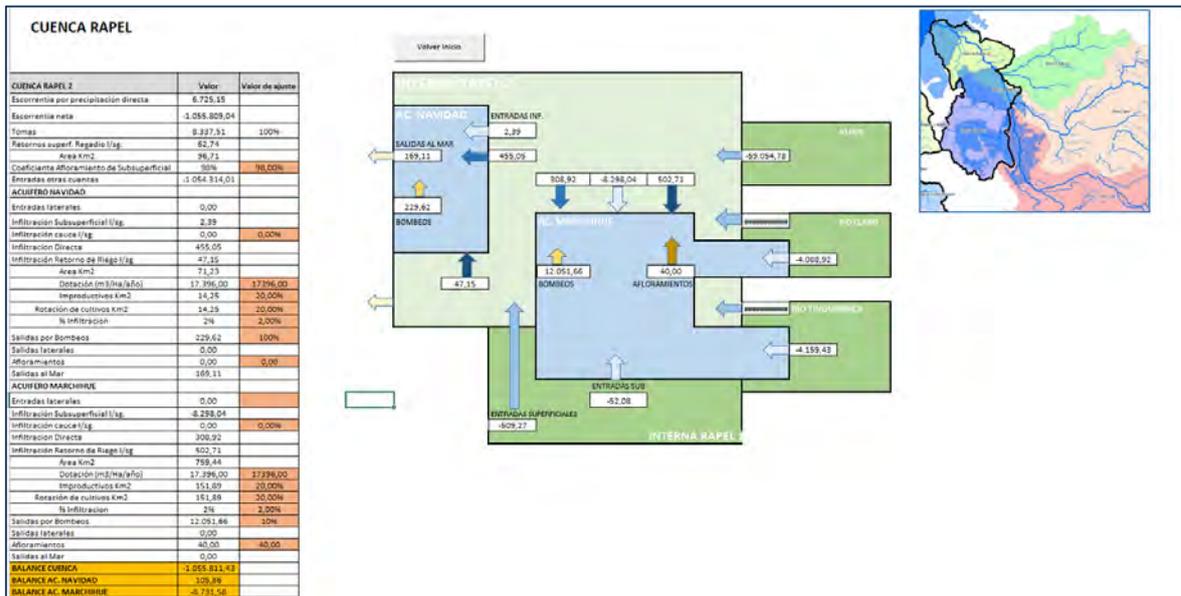


Figura 156. Aspecto de la planilla correspondiente al balance de una cuenca y acuíferos.

CUENCA	Valor	Valor de ajuste
Escorrentía por precipitación directa	843,21	
Escorrentia neta	838,68	
Tomas	361,02	100%
Retornos superf. Regadio l/sg.	48,72	
Area Km2	75,10	
Coeficiente Afloramiento de Subsuperficial	98,00%	98,00%
ACUIFERO		
Entradas laterales	-	
Infiltración Subsuperficial l/sg.	7,28	
Infiltración cauce l/sg.	-	0,00%
Infiltracion Directa	1,01	
Infiltración Retorno de Riego l/sg	14,65	
Area Km2	22,14	
Dotación (m3/Ha/año)	17.396,00	17.396,00
Improductivos Km2	4,43	20,00%
Rotación de cultivos Km2	4,43	20,00%
% Infiltracion	2,00%	2,00%
Salidas por Bombeos	7,23	100%
Salidas laterales	-	
Afloramientos	10,00	10,00
Salidas al Mar	5,58	
BALANCE CUENCA	831,40	
BALANCE ACUIFERO	0,13	

Figura 157. Aspecto de la tabla de balance de una unidad.

Las **celdas en color naranja** corresponden a aquellos parámetros que **el personal técnico cualificado puede cambiar** con la *finalidad de simular diferentes escenarios del balance, o bien ajustar sus valores si hubiera una mejor información sobre el mismo con el desarrollo de estudios futuros*. En principio la aplicación se ha configurado con aquellos valores que se han estimado más adecuados para el balance de cada unidad. A nivel de usuario, estos valores **no se deben de alterar** por cuanto se han calculado en cada caso de acuerdo al conjunto de parámetros de cada acuífero y cuenca para su coherencia.

El resto de celdas de esta tabla se encuentran ligadas a datos y fórmulas ya definidas en el conjunto de la aplicación, y en principio no se han de modificar.

Respecto a los otorgamientos registrados en la aplicación, cada vez que se registre uno nuevo, todos los valores de estas tablas así como los mostrados en las figuras se actualizarán de manera automática.

Los parámetros en celdas blancas, no modificables, son los siguientes:

Cuenca

- Escorrentía por precipitación directa: total calculado para la cuenca

- Escorrentía neta; Escorrentía por precipitación – Tomas + Retornos superficiales de riego.
- Retornos Superficiales de Riego; aquella fracción de agua infiltrada por riego que termina por incorporarse a superficie.
- Área; área de riego sobre zona de cuenca superficial

Acuífero:

- Entradas laterales; caudales subterráneos provenientes de otros acuíferos o sectores de acuíferos. Valor estimado (Darcy, etc.).
- Infiltración subsuperficial; fracción de la infiltración subsuperficial que pasa al acuífero.
- Infiltración directa; infiltración directa a acuífero de lluvia.
- Infiltración Retorno de Riego; fracción de caudales de riego que infiltran al acuífero.
- Área; área de riego sobre el acuífero.
- Salidas laterales; salidas a otros acuíferos. Estimado (Darcy, etc.).
- Salidas al mar; cuando el acuífero conecta con la costa, estimación por Darcy de salidas al mar.

Los parámetros en celdas naranjas modificables son:

Cuenca

- % de caudal extraído realmente de los otorgamientos en Tomas (superficiales) y Bombeos (subterráneos).
- Coeficiente Afloramiento Subsuperficial; tanto por cien del caudal de infiltración subsuperficial en la cuenca que vuelve a la superficie.

Acuífero

- Infiltración a cauce; caudal infiltrado de cauce a acuífero. Valor estimado.
- Dotación de riego; utilizada para el cálculo de retornos de riego a cuenca y a acuífero.
- Improductivos; % del área de riego censada total que se considera improductiva (camino, servicios, etc).
- Rotación de cultivos; % del área de cultivo considerada de rotación.
- % Infiltración; caudal infiltrado a acuífero procedente de riegos.
- Afloramientos: Caudal de salida de acuífero a superficie por afloramiento en lagos, embalses, etc. Valor estimado.

Esquemas de cuencas/acuíferos

La configuración gráfica de los esquemas de cada cuenca/acuífero se ha realizado siguiendo los mismos criterios; en verde cuencas superficiales y en azul los acuíferos.

De forma esquemática, se ha incluido un acuífero dentro de la cuenca cuando este queda limitado totalmente dentro de la cuenca. Cuando el acuífero continúa en otra cuenca, esta se ha incluido en el esquema, así como los cálculos de los aportes superficiales y subterráneos de la misma a la unidad representada.

11.3. ESTRUCTURA DE LA APLICACIÓN

En la tabla siguiente se detalla la estructura de las pestañas contenidas en la planilla de la Aplicación.

Nombre Pestaña	Contenido
Formulario de Entrada	Formulario de entrada y acceso a balances de cuenca/acuífero
Modelo	Modelo conceptual utilizado en los balances
Sistema Rapel	Cuenca: Rapel Acuíferos: Marchihue, Navidad
Interna Topocalma-Ñilahue	Cuenca: Interna Topocalma-Ñilahue Acuífero: Pichilemu
Interna_2_Ñilahue	Cuenca: Interna 2 Ñilahue Acuífero: Estero Paredones
Maule	Cuencas: Maule y tributarias Acuíferos: Valle del Maule y Aluvial del Maule
Huenchullamí	Cuenca: Costeras VII Acuífero: Aluvial Huenchullamí
Putu	Cuenca: Putu Acuífero: Dunas de Putu
Reloca_Empedrado	Cuenca: Reloca y Empedrado Acuífero: Reloca
Costeras_VII	Cuenca: Costeras VII
Bio_Bio_Andalien	Cuencas: Bio Bio, Costeras y Río Andalien Acuíferos: Aluvial Bio Bio y San Pedro-Talcahuano
Quilacoya_SantaJuana	Cuenca: Bio Bio Bajo Acuífero: Quilacoya-Santa Juana
Lebu	Cuenca: Lebu Acuífero: Lebu
C_Formulario	Campos utilizados en los listados del formulario de entrada de datos de expedientes
Tabla_Exp	Tabla de registro de datos de nuevos expedientes
Retornos Riego	Parámetros de cálculo de retornos de riego

Nombre Pestaña	Contenido
Explotación	Datos de explotación de cada cuenca/acuifero
Salidas Darcy	Datos de cálculo de salidas de acuiferos por Darcy
6.RECARGA_ESCORRENTIA_VI	Datos de recarga y escorrentía VI región
7.RECARGA_ESCORRENTIA_VII	Datos de recarga y escorrentía VII región
8.RECARGA_ESCORRENTIA_VIII	Datos de recarga y escorrentía VIII región
	A partir de aquí se disponen una serie de pestañas para el cálculo del balance en las tres regiones, numerándose con el prefijo 6, 7 y 8. Para cada región se repite el mismo esquema.
Po_mod (VI,VII,VIII)	Valores de área, P0, Capacidad de Campo y Punto de Marchitez
Series (VI,VII,VIII)	Series de Temperatura, Precipitación y ETP
Pestañas 6.1, 6.2, 6.3,....7.1.....8.1.	Pestañas correspondientes a los cálculos de escorrentía e infiltración para cada cuenca/acuifero. Los prefijos 6 a 8 indican la región.

11.4. USO DE LA APLICACIÓN

Con el fin de asegurar el correcto uso de la aplicación según diferentes tipos de usuario, se recomienda el manejo a dos niveles:

- Una copia de la planilla con las celdas bloqueadas que contienen los parámetros modificables, de forma que se impida la variación de los valores y destinada a usuarios que únicamente registren los datos de expedientes sin competencia técnica. En esta copia quedan ocultas las pestañas auxiliares de toda la planilla y se destina únicamente al registro de nuevos expedientes y consulta de balances.
- Otra copia, la maestra, quedaría abierta a la modificación por parte del personal técnico cualificado, el cual podría variar los parámetros implicados en los balances, o incluso las series de datos involucradas en los cálculos. Este personal técnico emitiría, una vez actualizada una nueva versión, copias bloqueadas para su uso por parte del primer grupo.

Se entrega en el presente proyecto dos copias de la planilla de acuerdo a los criterios mencionados; una copia maestra modificable (Herramienta Gestión Maestra), y una copia a nivel de usuario (Herramienta gestión usuario).

12. BIBLIOGRAFÍA

1. AC INGENIEROS CONSULTORES – COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO. Diagnóstico de Recursos Hídricos en Secano Interior y Costero VI a VIII Región. 2003
2. AC INGENIEROS – COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO. Estudio Hidrogeológico Escuadrón-Coronel. 1992
3. ALAMOS Y PERALTA INGENIEROS CONSULTORES – DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. Análisis Crítico de la Red de medición de niveles de aguas subterráneas. VI Región. 1987
4. AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA – DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. Estudio Hidrogeológico Cuenca Bio Bio. 2012
5. AQUATERRA INGENIEROS – DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. Estudio hidrológico cuencas Bío Bío e Itata, Balance hidrológico nacional: cuenca del río Itata. 2013
6. CADE-IDEPE-DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. Diagnóstico y Clasificación de los Cursos y Cuerpos de Agua según Objetivos de Calidad, Cuenca del río Itata. 2004
7. CONIF-BF INGENIEROS CIVILES CONSULTORES – ESSBIO. Estudio Hidrológico e Hidrogeológico. 2005
8. CONIF-BF INGENIEROS CIVILES CONSULTORES LTDA – DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. Estudio y Mejoramiento de Red de Aguas Subterráneas, Regiones VII a X. 2010
9. DE BUEN N., ANDREA. Estudio Hidrogeológico Regional área San Carlos-Concepción. 1993
10. DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos de la VI Región. 2003
11. DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. Evaluación de los Recursos Hídricos subterráneos del Acuífero Nilahue. 2007
12. DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. Estudio de disponibilidad de agua cuenca río Itata: sector intermedio y bajo. 1994
13. GCF INGENIEROS CONSULTORES. Estudio Hidrogeológico en Ciudades y Pueblos de la VI Región. 2001
14. GCF INGENIEROS CONSULTORES. Nuevas Fuentes para el Sistema de Agua Potable de Pichilemu. 2000
15. GCF INGENIEROS – COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO. Estudio e implementación de modelos Hidrológicos acoplados a SIG para el manejo y planificación, cuencas de Maule, Mataquito e Itata. 2006
16. GCF INGENIEROS – DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. Levantamiento de información hidrogeológica para modelación Cuenca del río Maule. 2010
17. GCF INGENIEROS – DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. Modelación Hidrogeológica de la cuenca del río Cauquenes, Región del Maule. 2013
18. GCF INGENIEROS – ESSBIO. Estudios Hidrológicos de las Fuentes de Agua en Diversas Comunas de la VIII Región. 2001

19. INGEOREC – ESSBIO. Estudio Hidrológico e Hidrogeológico en Cuencas Costeras de la VI Región. 2010
20. INGEOREC – DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. Estudio Geológico e Hidrogeológico de la VIII Región. 2008
21. SERNAGEOMIN. Vulnerabilidad a la Contaminación de los Acuíferos de la Región del Biobío. 2004
22. SERNAGEOMIN. Geología de la Hoja Arauco-Lebu-Chillán. 1981
23. SERNAGEOMIN. Carta Hidrogeológica de la Hoja Rancagua. 1990
24. SITAC – DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS. Diagnóstico del Potencial Hídrico de Acuíferos Costeros, provincia de Cardenal Caro, VI Región. 1998