



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

**Estudio Hidrogeológico del Sector Hidrogeológico de
Aprovechamiento Común de Puangue Medio.**

INFORME TECNICO

DARH

SDT N° 400

Santiago, Octubre de 2017



*ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL
SECTOR HIDROGEOLÓGICO DE
APROVECHAMIENTO COMÚN DE
PUANGUE MEDIO*

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

SEPTIEMBRE DE 2017



EL PRESENTE INFORME TÉCNICO FUE REALIZADO POR EL
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS
DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
CON LA FINALIDAD DE APORTAR ANTECEDENTES TÉCNICOS
PARA RESOLVER SOLICITUDES DE DERECHOS DE APROVECHAMIENTO PENDIENTES
EN EL SECTOR HIDROGEOLÓGICO DE APROVECHAMIENTO COMÚN DE
PUANGUE MEDIO

DIRECTOR GENERAL DE AGUAS
CARLOS ESTEVEZ VALENCIA

DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

LUIS ALBERTO MORENO RUBIO
JEFE DARH

CARLOS FLORES FLORES
AGENTE EXPEDIENTES DARH

LAURA MÉNDEZ HERNÁNDEZ
SUB-AGENTE EXPEDIENTES DARH

FRANCO CALDERÓN MATURANA
INGENIERO AGRÓNOMO

MIGUEL ANGEL CARO HERNÁNDEZ
INGENIERO CIVIL



ÍNDICE

1	Introducción.....	6
2	Fuente documental	10
3	Descripción del sistema hídrico	13
3.1	Cuencas, subcuencas y subsectores acuíferos	15
4	Geología	17
4.1	Geología de Superficie	17
4.1.1	SERNAGEOMIN.....	17
4.1.2	Secuencias Sedimentarias	18
4.1.3	Secuencias volcanosedimentarias	18
4.1.4	Secuencias volcánicas	19
4.1.5	Rocas intrusivas	19
4.2	Formaciones acuíferas (geología de subsuperficie).....	20
4.2.1	CNR/IPLA-1984	20
4.2.2	DGA/AC-2000	23
5	Hidrología	28
5.1	Precipitaciones.....	28
5.2	Evaporación	34
5.3	Recursos hídricos superficiales	38
5.3.1	Recursos hídricos superficiales externos	39
5.3.2	Recursos hídricos superficiales internos	51
5.4	Recursos hídricos subterráneos	82
5.4.1	Captaciones subterráneas y explotación de recursos hídricos	82
5.4.2	Niveles de pozos	93
5.4.3	Equipotenciales, dirección y sentido de flujos	108
5.4.4	Parámetros elásticos y flujos subterráneos	109
6	Demanda de aguas subterráneas	112
6.1	Demandas de agua en agricultura	112

6.1.1	Demanda Agrícola por los recursos Hídricos en la cuenca del estero Puangue.	112
6.1.2	Evapotranspiración de referencia (ETo)	113
6.1.3	Coefficiente de cultivo Kc.	116
6.1.4	Relaciones entre las superficies de distritos agrocensales y subcuencas	117
6.1.5	Resultados.	120
7	Modelación numérica.	128
7.1	Modelo numérico DGA/AC-2000	128
7.1.1	Límites del modelo	128
7.1.2	Funcionamiento general del sistema modelado	129
7.1.3	Discretización espacial y temporal	129
7.1.4	Parámetros del modelo	130
7.1.5	Recargas y descargas	132
7.1.6	Condiciones de borde	133
7.1.7	Patrón de ajuste de la calibración	134
7.1.8	Conclusiones	138
7.2	Modelo numérico Puangue-Melipilla CNR-2001	139
7.2.1	Límites del modelo	139
7.2.2	Características generales del sistema modelado	139
7.2.3	Discretización espacial y temporal	143
7.2.4	Propiedades acuíferas	145
7.2.5	Recargas y descargas	147
7.2.6	Condiciones de Borde	150
7.2.7	Patrón de ajuste de la calibración	153
7.2.8	Resultado de la Calibración	153
7.3	Modelo numérico DGA-2006	163
7.3.1	Informe Técnico S.I.T N° 118.	163
7.3.2	Informe Técnico S.I.T. N° 237.	176
8	Situación administrativa	188
8.1	Evaluación de la explotación máxima sustentable, S.D.T. N° 250	188
8.1.1	Sectorización Puangue-Melipilla	189



8.1.2	Disponibilidad de aguas subterráneas en el acuífero de Puangue-Melipilla	190
8.2	Declaración área de restricción Puangue Alto, Puangue Medio, La Higuera, Melipilla, Cholqui y Popeta. Informe Técnico N° 128	191
8.2.1	Situación de la demanda actual	191
8.2.2	Situación del sistema	192
8.2.3	Conclusiones.....	193
8.3	Resolución DGA N° 241 declara Área de Restricción.....	194
8.4	Informe técnico N°48, modifica demanda comprometida en acuífero Puangue-Melipilla.....	194
8.4.1	Situación actual (enero 2010)	195
8.5	Resolución DGA N° 2455, acuífero patrón.....	195
8.6	Informes Técnicos N° 341, N° 346 y N° 360	196
8.6.1	Informe Técnico N° 341 Reevaluación de la disponibilidad de recursos hídricos subterráneos en los sectores acuíferos de Alhué, Cholqui y Popeta. .	198
8.6.2	Informe Técnico N° 346, reevaluación de la disponibilidad de recursos hídricos subterráneos en los sectores acuíferos de Pirque, Buin, El Monte, Melipilla y Santiago Central.	201
8.6.3	Informe Técnico N° 360, reevaluación de la disponibilidad de la disponibilidad de recursos hídricos subterráneos en los sectores acuíferos de Puangue Alto, Puangue Medio, La Higuera y Puangue Bajo.....	205
8.7	Resolución DGA N° 239, modifica Resolución DGA N° 241	208
8.7.1	Situación actual sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común Puangue Alto, Puangue Medio, La Higuera y Puangue Bajo.....	209
9	Modelo numérico de Puangue Medio, Geohidrología-2009	210
9.1	Modelo numérico de Puangue Medio	210
9.1.1	Introducción	210
9.1.2	Modelo conceptual	211
9.1.3	Modelo Numérico.....	247
9.1.4	Simulaciones	266
9.1.5	Análisis de criterios DGA.....	271
9.1.6	Resumen y conclusiones.....	275
9.2	Comentarios y observaciones al modelo numérico de Geohidrología	284

10	Modelo conceptual del acuífero de Puangue Medio.....	289
10.1	Delimitación del acuífero de Puangue Medio.....	289
10.2	Superficies de riego y superficies urbanas	290
10.3	Geología de superficie y de sub superficie	292
10.4	Derechos de aguas subterráneas en el acuífero de Puangue medio	297
10.5	Equipotenciales y flujos subterráneos	298
10.6	Canales perimetrales y Recarga	299
11	Acerca de los cuestionamientos técnico-legales planteados por Agrícola Ariztía Limitada	302
11.1	Téngase presente (2 de julio de 2009).....	304
11.1.1	Derechos de aprovechamiento sobre aguas superficiales del estero Puangue. 304	
11.1.2	Análisis de la afección de derechos de aprovechamiento de aguas de terceros considerada por la DGA para restringir la explotación de Puangue Medio 306	
11.1.3	Validez de la modelación hidrogeológica de Puangue Medio utilizada por la DGA 308	
11.1.4	Conclusiones.....	310
11.2	Se tenga presente sobre la sustentabilidad del acuífero (17 de septiembre de 2009) 312	
11.2.1	Uso Necesario	312
11.2.2	El uso previsible	314
11.2.3	Eventuales consecuencias.....	319
11.3	Solicita alzamiento de la declaración de área de restricción del subsector acuífero Puangue Medio (26 de septiembre de 2011)	321
11.3.1	antecedentes	321
11.3.2	Elementos para solicitar un levantamiento del área de restricción del sector acuífero de Puangue Medio	322
11.3.3	Fundamentos de la solicitud de levantamiento del área de restricción	325
11.4	Reconsideración de Resolución DGA N° 239, de 2011 (21 de noviembre de 2011) 330	
11.4.1	La Resolución DGA N° 239, de 2011.	330
11.4.2	Concepto sustancial de la Resolución.	332



11.4.3	Prescendencia evidente de mandato legal expreso: ilegalidad	333
11.4.4	Protección de los derechos de aprovechamiento	337
11.4.5	Incumplimiento de la ley.	339
11.4.6	Contradicción entre normas administrativas.....	340
11.4.7	Falta de transparencia del fundamento técnico de la Resolución. ..	342
11.4.8	No consideración de fundamentos proporcionados por solicitantes.	342
11.5	Respuestas a los cuestionamientos técnico-legales planteados por agrícola Ariztía Limitada.	345
11.5.1	Respuesta a Téngase Presente (2 de julio de 2009)	345
11.5.2	Respuesta a Se Tenga Presente Sobre la Sustentabilidad del Acuífero (17 de septiembre de 2009).....	350
11.5.3	Respuesta a Solicita Alzamiento de la Declaración de Restricción del Subsector Acuífero Puangue Medio (26 de septiembre de 2011)	353
11.5.4	Respuesta a Reconsideración de Resolución DGA N° 239, de 2011 (21 de noviembre de 2011)	362
12	Resumen y Conclusiones	378
12.1	Resumen.....	378
12.2	Conclusiones	379
12.2.1	Geología y formaciones acuíferas.....	379
12.2.2	Hidrología.....	380
12.2.3	Recursos hídricos superficiales	381
12.2.4	Recursos hídricos subterráneos	384
12.2.5	Demanda de agua en agricultura	400
12.2.6	Modelación numérica	401
12.2.7	Modelo conceptual de Puangue Medio	403
12.2.8	Cuestionamientos técnico legales planteados por Agrícola Ariztía Limitada	405
13	Anexos	418

1 INTRODUCCIÓN

Agrícola Ariztía Limitada y Agrícola El Ranchillo Uno Limitada han solicitado a la Dirección General de Aguas (DGA) la constitución de derechos de aguas subterráneas de uso consuntivos, de ejercicio permanente y continuo, en el sector hidrogeológico de aprovechamiento común de Puangue Medio. Los caudales solicitados ascienden a un total de 1.225,9 l/s los cuales serán extraídos desde 21 pozos profundos, según el siguiente detalle:

Nº	Expediente	Fecha Ingreso	Peticionario	Caudal Solicitado (l/s)	Sit. Actual
1	ND-1305-739	07-07-03	SOCIEDAD AGRICOLA EL RANCHILLO UNO LIMITADA	72,00	P-REG
2	ND-1305-795	29-01-04	AGRICOLA ARIZTIA LIMITADA	31,00	P-REG
	ND-1305-795	29-01-04	AGRICOLA ARIZTIA LIMITADA	27,00	P-REG
3	ND-1305-862	30-09-04	SOCIEDAD AGRICOLA EL RANCHILLO UNO LIMITADA	128,50	P-REG
4	ND-1305-900	24-03-05	SOCIEDAD AGRICOLA EL RANCHILLO UNO LIMITADA	112,50	P-REG
5	ND-1305-901	24-03-05	SOCIEDAD AGRICOLA EL RANCHILLO UNO LIMITADA	112,00	P-REG
6	ND-1305-904	24-03-05	SOCIEDAD AGRICOLA EL RANCHILLO UNO LIMITADA	112,50	P-REG
7	ND-1305-906	04-04-05	SOCIEDAD AGRICOLA EL RANCHILLO UNO LIMITADA	112,90	P-REG
	ND-1305-906	04-04-05	SOCIEDAD AGRICOLA EL RANCHILLO UNO LIMITADA	121,00	P-REG
8	ND-1305-921	13-05-05	AGRICOLA ARIZTIA LIMITADA	35,00	P-REG
9	ND-1305-922	13-05-05	AGRICOLA ARIZTIA LIMITADA	12,00	P-REG
10	ND-1305-923	13-05-05	AGRICOLA ARIZTIA LIMITADA	15,00	P-REG
11	ND-1305-924	13-05-05	AGRICOLA ARIZTIA LIMITADA	18,00	P-REG
12	ND-1305-925	13-05-05	AGRICOLA ARIZTIA LIMITADA	27,00	P-REG
13	ND-1305-926	13-05-05	AGRICOLA ARIZTIA LIMITADA	74,00	P-REG
14	ND-1305-1879	11-04-06	AGRICOLA ARIZTIA LIMITADA	35,00	D-RR
15	ND-1305-4148	05-01-07	AGRICOLA ARIZTIA LTDA,	4,50	D-RR
16	ND-1305-4283	25-06-09	AGRICOLA ARIZTIA LIMITADA	65,00	P-REG
17	ND-1305-4284	25-06-09	AGRICOLA ARIZTIA LIMITADA	18,00	P-REG
18	ND-1305-4285	25-06-09	AGRICOLA ARIZTIA LIMITADA	18,00	P-REG
19	ND-1305-4286	25-06-09	AGRICOLA ARIZTIA LIMITADA	75,00	P-REG

Cuadro 1-1 Solicitudes Agrícola Ariztía Limitada

Mediante Resolución DGA N° 241 del 31 de julio de 2008, se declaró área de restricción para el acuífero de Puangue Medio, basado en los resultados de la aplicación de un modelo numérico para la determinación de los flujos de entrada y salida de agua para los acuíferos contenidos en el sector acuífero denominado Puangue-Melipilla y del cual el sector hidrogeológico de aprovechamiento común Puangue Medio es parte integrante.

La máxima explotación sustentable determinada por el modelo numérico para el subsector acuífero de Puangue Medio fue de 1.332,4 l/s (42.018.566 m³ anuales), determinándose también un volumen de derechos provisionales a otorgar de 333,1 l/s (10.504.642 m³ anuales). La determinación de los caudales máximos de explotación sustentable consideró el uso previsible de los derechos para la determinación de la explotación real y los criterios

de sustentabilidad considerados por la DGA para estos casos con el fin de asegurar la sustentabilidad del acuífero en el largo plazo y el respeto de los derechos de terceros.

La Resolución (exenta) DGA N° 2455 modifica el punto 6.4.2 Áreas de Restricción (Expediente tipo VAR) del Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos – 2008.

Teniendo en cuenta la nueva forma de determinar la demanda comprometida y el cálculo de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en calidad de provisionales definida en la Resolución DGA N° 2455 del 10 de agosto de 2011 y los Informes Técnicos del Departamento de Administración de Recursos Hídricos N°341 del 19 de agosto de 2011, Informe Técnico N° 346, de 24 de agosto de 2011 e Informe Técnico N° 360, de 29 de agosto de 2011, la Resolución DGA N° 239 del 13 de octubre de 2011, modifica la Resolución DGA N° 241 del 31 de julio de 2008, en cuanto a los sectores acuíferos afectos a restricción y al monto del volumen anual para derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas a otorgar en calidad de provisionales en las áreas de restricción correspondientes, estableciendo otorgar provisionalmente derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas por un volumen total anual de hasta 8.403.713 m³/año en el sector hidrogeológico de aprovechamiento común Puangue Medio.

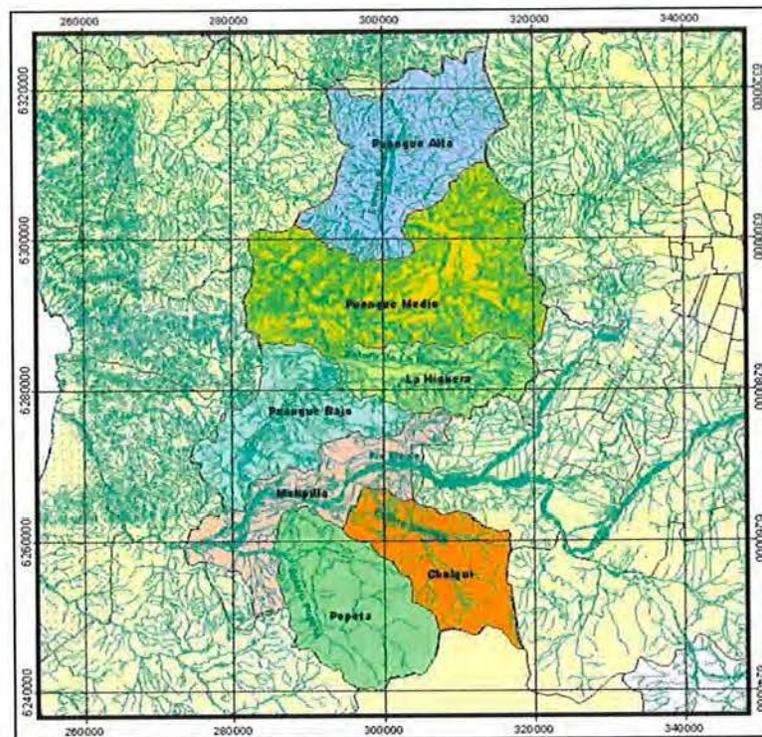


Figura 1-1 Sectorización acuíferos Puangue-Melipilla

A la fecha Agrícola Ariztía Limitada ha presentado ante la DGA varios documentos con antecedentes y enfoques técnico-legales para lograr la aprobación de sus solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el sector hidrogeológico de aprovechamiento común Puangue Medio.

La serie de documentos presentados se detallan en el Capítulo 11. Acerca de los cuestionamientos técnico-legales planteados por Agrícola Ariztía Limitada, y se puede resumir en cuatro:

1. Téngase presente, Agrícola Ariztía Limitada de 2 de julio de 2009;
2. Solicitud alzamiento de la declaración de área de restricción del subsector acuífero Puangue Medio, Agrícola Ariztía Limitada de 9 de septiembre de 2011 (Acompaña Informe de Geohidrología Consultores Ltda.);
3. Téngase presente sobre la sustentabilidad del acuífero, Agrícola Ariztía Limitada de 17 de septiembre de 2009; y,
4. Recurso de Reconsideración a la Resolución D.G.A. N° 239, de 2011, Agrícola Ariztía Limitada de 21 de noviembre de 2011.

Agrícola Ariztía Limitada junto a Sociedad Agrícola El Ranchillo Uno Limitada contrataron el desarrollo de un estudio hidrogeológico en el sector acuífero de Puangue Medio, con la finalidad de aportar antecedentes para solicitar el alzamiento de la declaración de área de restricción para el subsector acuífero de Puangue Medio, y mostrar la existencia de una mayor recarga al acuífero que la que se ha determinado hasta ahora con el modelo hidrogeológico de la DGA, lo que implicaría una mayor disponibilidad para los usuarios del acuífero.

Se hace presente que Agrícola El Ranchillo Uno Limitada también presentó Recurso de Reconsideración a la Resolución DGA N° 239, de 2011, ingresada con fecha 11 de noviembre de 2011, con argumentos similares a los de Agrícola Ariztía Limitada.

En el Capítulo 9. Modelo Numérico de Puangue Medio, Geohidrología-2009, se presenta el trabajo realizado por Geohidrología Consultores Limitada y una discusión acerca de la información e hipótesis utilizadas para la construcción del modelo conceptual y numérico para el acuífero de Puangue Medio.

El presente trabajo tiene como objetivo analizar los antecedentes técnicos y argumentos presentados por Agrícola Ariztía Limitada con el fin de resolver la solicitud de alzamiento,

y los recursos de reconsideración presentados por Agrícola Ariztía Limitada y Sociedad Agrícola El Ranchillo Uno Limitada, para posteriormente continuar la tramitación de las solicitudes pendientes en el sector hidrogeológico de aprovechamiento común Puangue Medio.

2 FUENTE DOCUMENTAL

La siguiente documentación estuvo disponible para el análisis:

- REF 1. DGA/IPLA-1974, Estudio aguas subterráneas de Santiago, Informe preliminar, noviembre de 1974.
- REF 2. CNR/IPLA-1984, Proyecto Maipo, Estudio hidrológico e hidrogeológico.
- REF 3. CNR/IPLA-1984, Proyecto Maipo, Estudio hidrológico e hidrogeológico. Modelo Hidrogeológico de la Cuenca Maipo-Mapocho.
- REF 4. DGA/IPLA-1989, Catastro de usuarios de aguas de la sub-cuenca del río Mapocho, Región Metropolitana.
- REF 5. CNR/-1993, Construcción Embalse Puangue.
- REF 6. DGA/IPLA-1993, Diagnóstico, disponibilidad y requerimientos de agua en la región metropolitana, Estero Puangue.
- REF 7. Ven Te Chow-1994, Hidrología Aplicada.
- REF 8. DGA-1997, Informe de Intervención de segunda sección del Estero Puangue y sus afluentes.
- REF 9. CNR/AC.GEOFUN.PROCIVIL-1998, Estudio integral de riego, proyecto de aprovechamiento de aguas servidas planta de tratamiento Santiago Sur, Región Metropolitana.
- REF 10. CNR/JICA-1999, Estudio para el desarrollo agrícola y manejo de aguas del Área Metropolitana.
- REF 11. DGA/AC-2000, Modelo de simulación hidrológico operacional cuencas de los ríos Maipo y Mapocho.

- REF 12. CNR/GEOFUN-2001, Estudio integral de optimización del regadío de la tercera sección del Río Maipo y valles de Yali y Alhué.
- REF 13. DGA/DARH-2002, Evaluación de los recursos subterráneos de las cuencas costeras de la V Región. S.D.T. N° 130, abril de 2002.
- REF 14. DGA/DEP Actualización-2006, Evaluación de los recursos hídricos subterráneos del valle del Estero Puangue: Diagnóstico de la situación actual. S.I.T. N° 118, noviembre de 2006.
- REF 15. DGA/DEP Explotación máxima-2006, Evaluación de los recursos subterráneos del valle del Estero Puangue, sectores: Puangue Alto, Medio y Bajo, La Higuera, Cholqui, Popeta y Melipilla. S.I.T. N° 237, noviembre de 2006.
- REF 16. DGA/CONIC BF-2007, Bases para la formulación de un Plan Director para la gestión de los recursos hídricos, cuenca del río Maipo, Etapa I, Diagnóstico, marzo 2007.
- REF 17. DGA/DARH-2007, Evaluación de la explotación máxima sustentable del acuífero Puangue-Melipilla. S.D.T N° 250, octubre de 2007.
- REF 18. DOH/SMI-Estudio de prefactibilidad mejoramiento de riego en el valle de Puangue, Comuna de Curacaví Región Metropolitana.
- REF 19. DGA-2008, Declaración área de restricción subsectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de Puangue Alto, Puangue Medio, Cholqui, Popeta Melipilla y La Higuera del acuífero de Puangue-Melipilla, Informe técnico N° 128, 22 de julio de 2008.
- REF 20. GEOHIDROLOGIA-2009, Evaluación de disponibilidad de recursos en cuenca del Puangue Medio.
- REF 21. EPS-2010, Estudio hidrológico proyecto Central Hidroeléctrica Las Mercedes, Región Metropolitana.
- REF 22. SERNAGEOMIN-2003, Mapa Geológico de Chile, escala 1:1.000.000

REF 23. AGRIMED/UCHILE-2015, "Evapotranspiración de Referencia para la Determinación de las Demandas de Riego en Chile".

3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA HÍDRICO

El sistema hídrico del estero Puangue es tributario del río Maipo. Este sistema se ubica en el sector noroccidental de dicha cuenca (Figura 3-1).

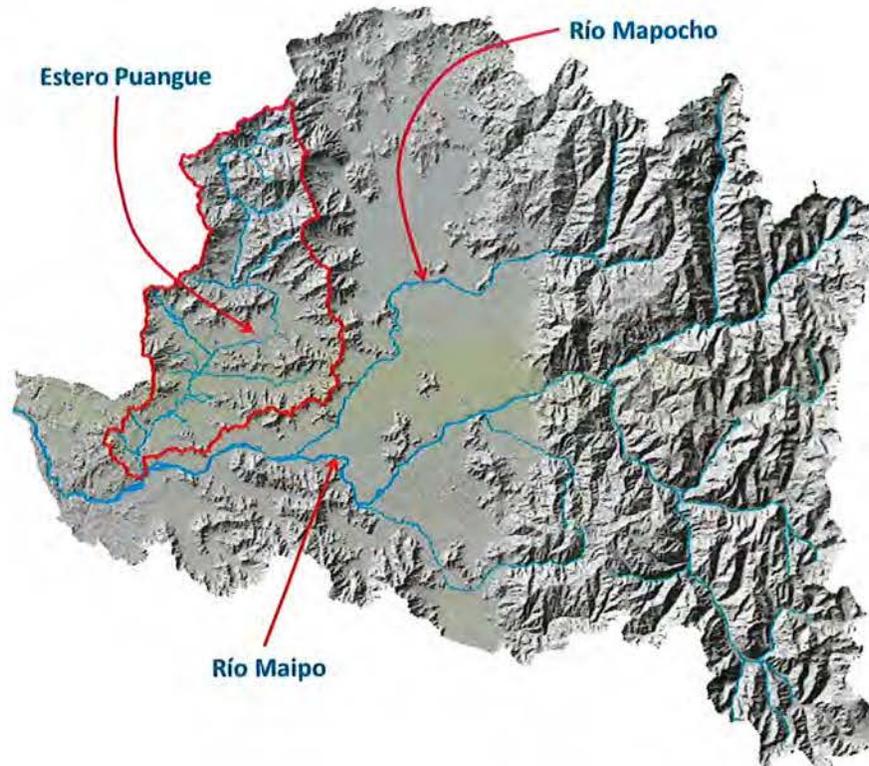


Figura 3-1 Ubicación relativa de la Cuenca del Estero Puangue al interior de la Cuenca del Río Maipo

La cuenca del estero Puangue es una cuenca eminentemente pluvial, aunque en la cabecera en el sector denominado Los Yuyos, los cerros que conforman esa parte de la cuenca alcanzan alturas por sobre los 2000 metros, precipitando en algunas ocasiones nieve sobre ellos.

Tanto la orientación del sistema de drenaje principal como el sentido de escurrimiento de los flujos superficiales y subterráneos ocurren desde la parte norte, más alta, hacia la parte sur, más baja.



Figura 3-2 Drenaje Principal de la Cuenca del Estero Puangue

Desde su origen y hasta la confluencia con el estero Carén, el estero Puangue avanza encajonado entre dos cordones montañosos que se separan en ese sector formando una planicie más amplia, de unos 2 km, la cual se desarrolla hasta Curacaví, este es el denominado sector de Puangue Alto. Hacia aguas abajo modifica su dirección, recobrándola nuevamente a la altura de la confluencia de los esteros Améstica y La Higuera. Entre los esteros Cuyuncaví y la salida del estero Puangue al Maipo, se desarrolla una amplia planicie apta para la producción agrícola.

Aproximadamente 18 km aguas abajo, al sur-poniente de Melipilla, desemboca en el río Maipo.

La pendiente longitudinal del valle varía entre un 6% en las zonas altas, hasta un 0.1% en ciertos sectores cercanos a la desembocadura.

3.1 CUENCAS, SUBCUENCAS Y SUBSECTORES ACUÍFEROS

Con la finalidad de facilitar la estimación de los balances hídricos aprovechando las singularidades propias de cada cuenca, se ha subdividido la cuenca del estero Puangue en siete sub-cuencas que albergan a siete subsectores acuíferos. Esta subdivisión se realizó a través del Modelo de Elevación Digital ASTER GDEM con resolución de pixel de 30 x 30 metros. De la misma forma se determinó la superficie de cada acuífero como el contacto roca relleno, estableciendo como límite una pendiente de 21°, esto con el fin de abarcar nueva superficie de riego. La Figura 3-3 muestra la subdivisión de las subcuencas y los Cuadro 3-1 y Cuadro 3-2 las áreas cubiertas por las cuencas y sus acuíferos respectivos.

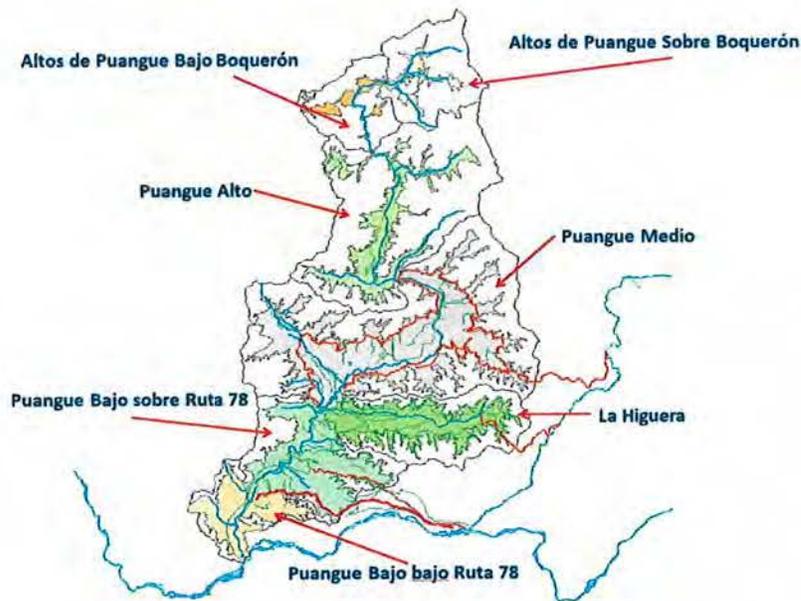


Figura 3-3 División de la cuenca del estero Puangue en 7 sub-cuencas

Cuencas	Área [m ²]	Área [km ²]	Área [ha]
Altos de Puangue sobre Boquerón	144.210.091	144,2	14.421
Altos de Puangue bajo Boquerón	106.894.057	106,9	10.689
Puangue Alto	424.217.358	424,2	42.422
Puangue Medio	622.653.330	622,7	62.265
La Higuera	206.654.222	206,7	20.665
Puangue Bajo sobre Ruta 78	209.842.650	209,8	20.984
Puabgue Bajo bajo Ruta 78	104.477.918	104,5	10.448
TOTAL	1.818.949.627	1.818,9	181.895

Cuadro 3-1 Áreas de las sub-cuencas de la cuenca del estero Puangue

Acuíferos	Área [m ²]	Área [km ²]	Área [ha]
Altos de Puangue sobre Boquerón	19.619.435	19,6	1.962
Altos de Puangue bajo Boquerón	16.932.235	16,9	1.693
Puangue Alto	98.560.915	98,6	9.856
Puangue Medio	300.097.792	300,1	30.010
La Higuera	102.468.656	102,5	10.247
Puangue Bajo sobre Ruta 78	143.647.150	143,6	14.365
Puangue Bajo bajo Ruta 78	74.589.196	74,6	7.459
TOTAL	755.915.378	755,9	75.592

Cuadro 3-2 Áreas de las superficies de los acuíferos de la cuenca del estero Puangue

Administrativamente la cuenca del estero Puangue se ha subdividido en 5 acuíferos (Figura 3-4) en donde la Cuenca y acuífero de Altos de Puangue resulta de la unión de la cuencas y acuíferos de Altos de Puangue sobre Boquerón y Altos de Puangue bajo Boquerón. De la misma forma la cuenca y acuífero de Puangue Bajo resulta de la unión de las cuencas y acuíferos de Puangue Bajo sobre Ruta 78 y Puangue Bajo bajo Ruta 78.



Figura 3-4 Subdivisión administrativa de los acuíferos de la cuenca del estero Puangue

4 GEOLOGÍA

4.1 GEOLOGÍA DE SUPERFICIE

4.1.1 SERNAGEOMIN

El Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) ha mapeado la zona donde se ubica el Estero Puangue, para ello ha utilizado los resultados de la cartografía geológica realizada por Gana et al., en 1996, Wall et al., 1996 y 1999 y Sallés y Gana el año 2001, todas con escala de 1:100.000.

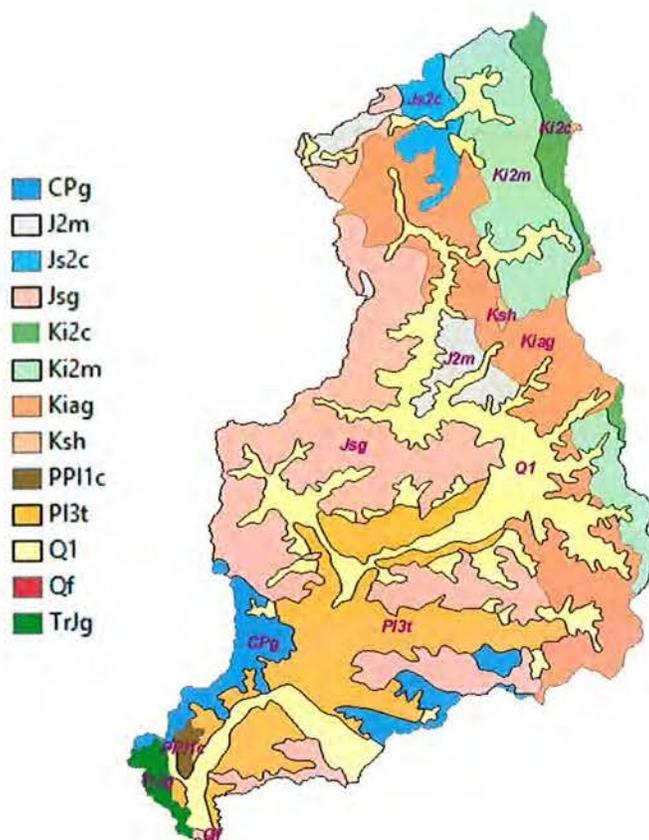


Figura 4-1 Mapa Geológico de Cuenca del Estero Puangue, escala 1: 1.000.000 (SERNAGEOMIN 2003)

Los resultados de estos análisis indican que en la cuenca del estero Puangue se presentan las siguientes secuencias y rocas (Figura 4-1):

4.1.2 SECUENCIAS SEDIMENTARIAS

Q1: Pleistoceno-Holoceno, consistentes en depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa; en menor proporción fluvioglaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados. Estas secuencias se encuentran también en la Depresión Central, de las regiones Metropolitana a la IX en forma de abanicos mixtos de depósitos aluviales y fluvioglaciales con intercalación de depósitos volcanoclásticos.

Qf: Pleistoceno-Holoceno, conformados por depósitos fluviales tales como gravas, arenas y limos del curso actual de los ríos mayores o de terrazas subactuales y llanuras de inundación.

PPI1c: Plioceno-Pleistoceno, se trata de conglomerados, areniscas, limolitas y arcillolitas, generalmente consolidados, de facies principalmente aluviales, subordinadamente lacustres y eólicas. Este tipo de secuencias se presentan en las regiones I a III formando abanicos aluviales inactivos, mientras que en Chile central (Estratos de Potrero Alto) se individualizan como niveles aterrazados adosados al sustrato de la zona costera.

4.1.3 SECUENCIAS VOLCANOSEDIMENTARIAS

Ki2c: Cretácico Inferior-Cretácico Superior, se trata de secuencias sedimentarias y volcánicas continentales con escasas intercalaciones marinas, tales como brechas sedimentarias y volcánicas, lavas andesíticas, ocoítas, conglomerados, areniscas, limolitas calcáreas lacustres con flora fósil; localmente calizas fosilíferas marinas en la base. Se visualizan en la Cordillera de la Costa de las regiones IV, V y Metropolitana: formaciones Quebrada Marquesa y Veta Negra.

Ki2m: Cretácico Inferior (Neocomiano), corresponden a secuencias volcánicas y sedimentarias marinas, formadas por lavas andesíticas y basálticas, tobas y brechas volcánicas y sedimentarias, areniscas y calizas fosilíferas. Se visualizan en la Precordillera de la tercera región: Estratos Cerro El Águila; en la Cordillera Principal, en la cuarta región: Formación Los Pelambres; en la Cordillera de la Costa, y en las regiones V y Metropolitana: Formación Lo Prado.

J2m: Jurásico, se trata de secuencias volcánicas y sedimentarias marinas; conformadas por lavas y brechas, andesíticas y basálticas, calizas y areniscas marinas fosilíferas. Se encuentran en la Cordillera de la Costa de la primera región: Formación Caleta Ligate; en la Depresión Central de las regiones II y III: formaciones Sierra Candeleros y Sierra Fraga.

Js2c: Jurásico Medio-Superior, se trata de secuencias sedimentarias y volcánicas continentales: rocas epiclásticas, piroclásticas, y lavas andesíticas a riolíticas, presentes en la Cordillera Principal de las regiones III a IV: Formaciones Lagunillas; Algarrobal; Mostazal. También se observa en la Cordillera de la Costa de las regiones V y Metropolitana: Formación Horqueta.

4.1.4 SECUENCIAS VOLCÁNICAS

PI3t: Pleistoceno, consistentes en depósitos piroclásticos principalmente riolíticos, asociados a calderas de colapso. Se manifiestan en la Depresión Central y Valles de la Cordillera principal de las regiones V a VII: Ignimbrita Pudahuel y Toba Loma Seca.

4.1.5 ROCAS INTRUSIVAS

TrJg: Triásico-Jurásico (212-180 Ma), conformadas por granodioritas, monzogranitos, monzodioritas, dioritas y gabros de piroxeno y hornblenda; sienogranitos. Presentes en Cordillera de la Costa de las regiones III a V.

CPg: Carbonífero-Pérmico (328-235 Ma), consistentes en granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas, de homblenda y biotita, localmente de muscovita. En la Precordillera y Cordillera Principal, regiones I a IV: Batolitos compuestos, 'stocks' y cuerpos hipabisales (Sierra Moreno, Cordillera de Domeyko, Batolito Elqui-Limari); en la Cordillera Principal de las regiones X y XI: Batolito Panguipulli-Riñihue y 'Stock' Leones.

Kiag: Cretácico Inferior alto-Cretácico Superior bajo (123-85Ma), conformadas por dioritas y monzodioritas de piroxeno y homblenda, granodioritas, monzogranitos de homblenda y biotita. Presentes en la cordillera de la Costa, regiones II a IV, al este del Sistema de Fallas Atacama-El Romeral y asociados a mineralización de Fe-Cu-Au (Candelaria) y Cu-Au (Andacollo); en la Cordillera de la Costa, regiones V a X.

Jsg: Jurásico Medio-Superior (180-142 Ma), conformados por monzodioritas cuarcíferas, dioritas y granodioritas de biotita, piroxeno y homblenda. Con presencia en la Cordillera de la Costa, regiones I a VI; en la Cordillera Principal, regiones X y XI: Plutón Panguipulli y borde oriental del Batolito Norpatagonico; en la península Antártica.

Ksh: Cretácico Superior (84-66 Ma), se trata de pórfidos andesíticos-dioríticos, dacíticos y riolíticos. Se pueden encontrar entre las cordilleras de la Costa y principal en las regiones III y IV, asociados a secuencias volcánicas de edad similar.

4.2 FORMACIONES ACUÍFERAS (GEOLOGÍA DE SUBSUPERFICIE)

4.2.1 CNR/IPLA-1984

Por su parte el reporte CNR/IPLA-1984 ha establecido que las rocas andesíticas presentes en la cuenca del estero Puangue, serían de edad Jurásica e incluirían principalmente lavas y porfiritas interestratificadas con tobas y brechas volcánicas. Dichas rocas aparecen en el extremo nor-oriente, en la prolongación del Cordón de Chacabuco y se encuentran atravesadas por un macizo de roca intrusiva granodiorítica del Cretácico, que es característica de la Cordillera de la Costa. Este macizo, con rocas del mismo tipo, pero también de edad paleozoica, se presenta como roca basal en los sectores medio e inferior de la cuenca, apareciendo regionalmente muy intemperizada, vale decir cubierta superficialmente por capas de maicillo. En el sector Sur-Oeste se detectan intercalaciones de rocas metamórficas compuestas en forma predominante por Anfibolitas y Gneisses graníticos.

El relleno cuaternario está representado por depósitos de cenizas que corresponden a la extensión hacia el Oeste de los depósitos similares existentes en el margen Occidental de la cuenca de Santiago. La edad estimada para estos depósitos es Cuaternario Medio y su origen corresponde a flujos o avalanchas laháricas provenientes de la Cordillera de Los Andes. Bajo estas cenizas existen en diversos sectores depósitos aluviales antiguos integrados principalmente por gravas y ripios arenosos, con lo cual estas formaciones acuíferas dan origen a napas confinadas presentes especialmente en el tramo medio del valle. Sólo en los extremos de aguas arriba y aguas abajo se ha determinado la presencia de depósitos aluviales gruesos que, en ciertas partes con contenido de limo de cierta importancia, dan origen a la presencia de napas en condiciones freáticas. De los pozos perforados, puede concluirse que el máximo espesor del relleno sería de alrededor de 200 m. El estudio de la referencia CNR/IPLA-1984 además consideró la información de 39 pozos para caracterizar los acuíferos de la cuenca del estero Puangue, para ello se

definieron 4 perfiles estratigráficos (Figura 4-2), perfil A-A (28 pozos), Perfil B-B (4 pozos), Perfil C-C (5 pozos) y Perfil D-D (5 pozos).

El perfil A-A es el perfil longitudinal, que se inicia unos 10 km al norte de Curacaví en el sector denominado Lepe hasta la salida del estero Puangue al Maipo. Los otros perfiles son transversales al primero.

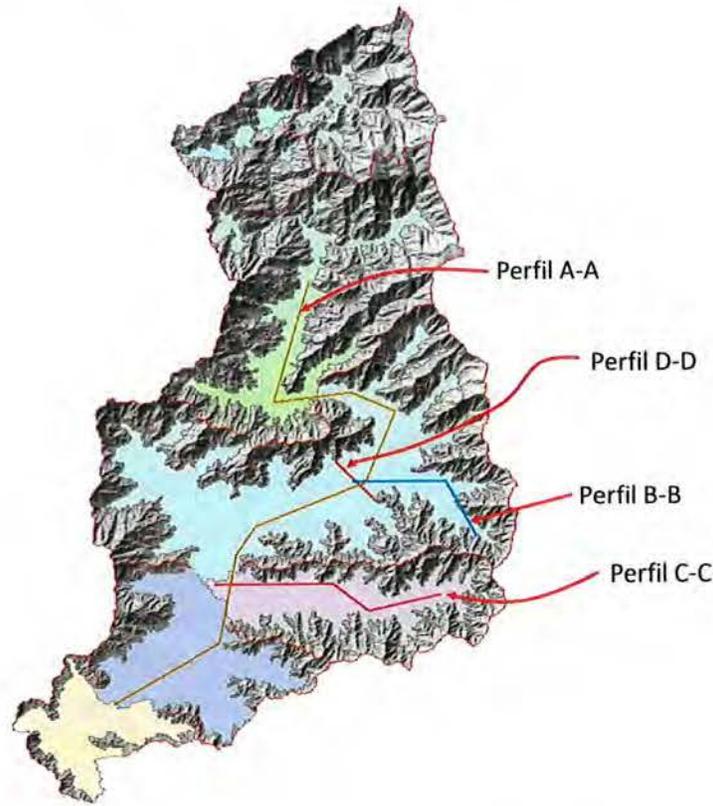


Figura 4-2 Perfiles Estratigráficos en la cuenca del estero Puangue (CNR/IPLA-1984)

De los 37 pozos analizados en este estudio, sólo un sondaje alcanza la roca fundamental en el valle de Mallarauco.

En Puangue Alto los primeros pozos del perfil A-A cortan el relleno sedimentario hasta profundidades de 63 y 67 metros, constatándose que la potencia del relleno aumenta hacia aguas abajo, lo cual queda corroborado en el penúltimo pozo de este tramo, el que alcanza una profundidad de 80 metros sin cortar la roca fundamental.

Hacia el interior del Valle del estero Cuyuncaví la potencia del acuífero es de al menos 100 metros, sin embargo, su relleno sedimentario tendría una menor permeabilidad que el de Puangue Alto.

Los pozos analizados en Puangue Alto, muestran estratos acuíferos de importancia dentro de los primeros 20 metros de profundidad, constituidos principalmente por bolones, gravas y arenas de variada granulometría, formando capas de espesor variable desde unos pocos metros hasta 20 metros como máximo. Estas capas de terreno de buenas propiedades acuíferas pueden alcanzar la superficie del terreno o sus inmediaciones, pero también puede encontrarsele intercaladas bajo materiales de permeabilidad media. Lo anterior posibilita la existencia de acuíferos libres, semiconfinados y excepcionalmente confinados.

La zona de Puangue Medio, se caracteriza por rellenos sedimentarios que sobrepasan los 90 metros. La estratigrafía de los sondajes considerados permite distinguir básicamente 2 zonas acuíferas. La primera más superficial, hasta una profundidad de unos 40 metros aproximadamente, y una segunda zona ubicada por debajo de la anterior. En ambas zonas aparecen intercalaciones de material permeable (grava, arena gruesa y fina) en matrices semipermeables o francamente impermeables que originan napas de naturaleza confinada. Los estratos acuíferos abarcan espesores que van desde un par de metros hasta los 5 o 10 metros, aunque ocasionalmente se observan estratos permeables con potencias superiores a 15 metros.

También es posible establecer que la potencia del relleno disminuye paulatinamente hacia los valles laterales de Puangue Medio. Uno de los pozos del perfil B-B, ubicado en el sector de Santa Inés, alcanza la roca a los 50 metros de profundidad, apreciándose también en este mismo pozo la existencia de una sola capa acuífero conformada por capas de maicillo mezclado con arcilla en variadas proporciones, y la presencia de una napa libre.

Internándose en el sector de Puangue Bajo, es posible apreciar una disminución del relleno sedimentario alcanzando en un pozo ubicado frente al Valle de Mallarauco una potencia de 60 metros. Se observa también una disminución del rendimiento de los pozos y una reducción en la extensión de las zonas acuíferas. A partir de este punto el espesor del relleno aumenta hasta alcanzar al menos 154 metros en un pozo cercano al antiguo camino Santiago-Melipilla-San Antonio. No obstante, el espesor de las zonas acuíferas se mantiene igual que como en los pozos aguas arriba.

En los valles laterales de Mallarauco y de Rinconada de Ibacache, la situación no varía significativamente. En el valle de Mallarauco, los pozos que conforman el perfil C-C permiten visualizar un relleno sedimentario que sobrepasa los 80 metros de profundidad, además de notar la presencia de formaciones acuíferas constituidas por varios estratos de material arenoso, separados por capas de arcilla, ubicados a distintas profundidades y

con espesores frecuentemente de unos pocos metros. Hacia la cabecera de este valle la roca aparece a los 42 metros de profundidad, lo cual pone de manifiesto una disminución gradual del espesor del relleno sedimentario en esa dirección.

Por su parte, en la cabecera del valle de Rinconada de Ibacache, los pozos muestran una estratigrafía compuesta de interestratificaciones de material arenoso con ripio y arcilla hasta unos 50 metros de profundidad, lo cual motiva un bajo rendimiento en dichos sondajes.

4.2.2 DGA/AC-2000

Por otro lado en el reporte DGA/AC-2000, se menciona que los sedimentos que se emplazan hacia la parte baja del valle del estero Puangue, corresponden a depósitos de tipo fluvial (Varela, inédito) originados por el desarrollo del estero Puangue y que hacia los flancos del valle suelen interdigitarse con materiales coluviales aportados por las vertientes de éste.

El sector de mayor relevancia hidrogeológica corresponde al área de María Pinto, vale decir al tramo que media entre la confluencia del estero Mariposas con el estero Puangue y el sector de tributación del estero Miraflores al Puangue. Éste tramo del valle exhibe un ancho medio de aproximadamente 3,5 km y es en ésta zona donde se concentra la mayor explotación de agua subterránea del valle.

En base a información estratigráfica de sondajes de la cuenca del estero Puangue el estudio DGA/AC-2000, permitió definir tres unidades, que se evidencian claramente desde los sectores altos hasta el sector de tributación del estero Pajonal al estero Puangue.

Se levantó un perfil longitudinal de unos 8 km aguas arriba de la localidad de Curacaví, hasta el sector donde tributa el estero Pajonal al estero Puangue. En el sector terminal del valle no se contó con información de sondajes (Figura 4-3)

4.2.2.1 UNIDAD PUANGUE 1

Corresponde a un conjunto de sedimentos finos que se disponen hacia la base de secuencia sedimentaria y que se encuentran sobreyaciendo a la roca base de los rellenos. Se caracterizan por presentar una granulometría constituida por una fracción clástica mayor escasa, conformada por arenas y eventualmente gravas, y una abundante matriz formada básicamente por arcillas.

De los sondeos utilizados, dos de ellos acusaron la roca en el sector alto de la cuenca (Perfil Longitudinal Puangue) a profundidades variables entre 45 y 65 m aproximadamente. Un tercer sondeo, ubicado en el sector bajo del tramo cubierto por el perfil mencionado, detectó la roca a unos 60 m aproximadamente.

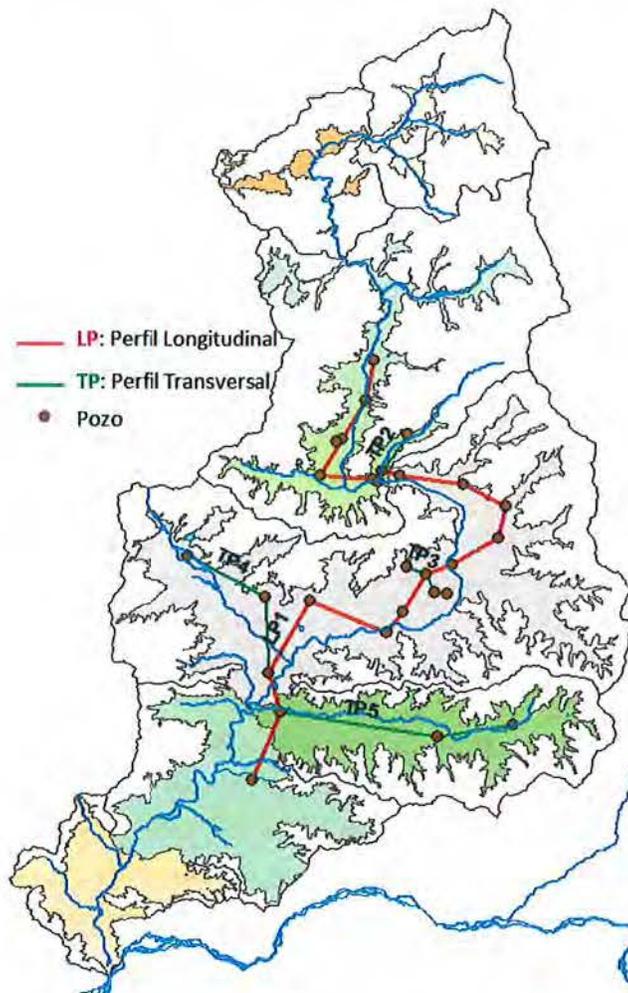


Figura 4-3 Perfiles geológicos Estudio DGA/AC-2000

Es posible notar que a partir de los perfiles levantados, en la mayor parte del valle se desconoce la profundidad a la cual se dispone la roca basal y, consecuentemente, el espesor de la Unidad Puangue 1. Sin embargo, su continuidad a lo largo del valle es total, siendo detectada su existencia por la inmensa mayoría de los pozos utilizados (Perfil Longitudinal Puangue). Esta unidad es correlacionable y se conecta, subsuperficialmente, con la Unidad A definida en el valle del río Maipo. Esto ocurre en el sector donde el valle del Puangue tributa al antiguo valle por donde escurría en épocas pretéritas el río Maipo, al norponiente de la localidad de Melipilla.

En el área de María Pinto, se desconoce la posición de la roca basal; sin embargo, en función al ancho del valle y a la pendiente de sus vertientes, se estima para ésta una profundidad media de 180 m. Desde Los Rulos hacia aguas arriba, se estima una profundidad media de 150 m y desde dicha localidad hacia aguas abajo, la roca base se ubicaría, tentativamente, a unos 200 m de profundidad. En conformidad a lo anterior, se puede estimar una potencia media del orden de 120 m para la Unidad Puangue 1 en el tramo en comento.

De acuerdo a las características granulométricas de esta unidad, se estima para ésta una permeabilidad media de más o menos 10^{-4} cm/s (0,0864 m/d).

4.2.2.2 UNIDAD PUANGUE 2

Esta unidad se dispone sobreyaciendo a la Unidad Puangue 1 y corresponde a un nivel permeable cuya granulometría está constituida por una fracción clástica mayor formada por gravas y arenas gruesas con bolones y ripios subordinados y una matriz de arenas medias a finas con escasos finos.

Esta unidad tiene muy buena continuidad desde el sector alto del valle hasta el sector que media entre el perfil transversal TP4 y el área de tributación de la quebrada del estero Améstica. En este último sector, la unidad en comento se interdigita, acuña, contra sedimentos finos aportados por el estero Améstica (Perfil Longitudinal Puangue).

En este sector de tributación se advierte la presencia de un estrato lenticular, de granulometría similar a la de la Unidad Puangue 1, que se proyecta hacia la quebrada del estero Améstica. Este estrato no reposa sobre los sedimentos de la Unidad Puangue 1 sino que se intercala entre los depósitos de la Unidad Puangue 3 (que se describe más adelante), ya que corresponde a un estrato ubicado a relativamente poca profundidad. El perfil transversal TP4 muestra con claridad esta situación.

En el tramo terminal del perfil longitudinal, se evidencia nuevamente este nivel permeable dispuesto sobre los sedimentos de la Unidad Puangue 1, exhibiendo una tendencia a aumentar su espesor hacia aguas abajo. Por su parte, el perfil transversal TP5, cuyo extremo Oeste corresponde a un pozo común con el perfil longitudinal, indica que la Unidad Puangue 2 tiene buena continuidad a lo largo del valle del estero La Higuera, que tributa al valle del Puangue desde el oriente.

En términos generales se puede aseverar que el espesor medio de la Unidad Puangue 2 alcanza a unos 30 m en el tramo que media entre las cabeceras y el sector donde se interdigita y acuña; en el sector terminal, su espesor medio es de más o menos 25 m. El

espesor mayor detectado se ubica inmediatamente aguas abajo de la localidad de Curacaví, donde alcanzaría, de acuerdo al pozo 3320 7100 A16 (N 6.302.070 - E 303.835), unos 45 m (Perfil Longitudinal Puangue).

Este estrato de gravas y arenas tiene su origen en la acción depositacional del estero Puangue, el que pierde energía en el sector de confluencia con el estero Améstica, generando el acuífamiento e interrupción parcial de la unidad.

Por sus características sedimentológicas se puede aseverar que esta unidad constituye un nivel acuífero cuya permeabilidad varía entre unos 10^{-3} a 10^{-2} cm/s. (0,864 a 8,64 m/d). Hacia el sector de cabeceras se estima que ésta corresponde al valor mayor indicado y que en el sector bajo la permeabilidad media sería cercana al valor menor.

Esta unidad se correlaciona y tiene conexión con la Unidad B definida en la cuenca del río Maipo, con la cual empalma en el sector donde el valle del Puangue confluye con el paleovalle del río Maipo, aguas abajo de la localidad de Melipilla.

4.2.2.3 UNIDAD PUANGUE 3

Esta unidad corresponde a un depósito constituido por arenas finas con abundantes arcillas y limos, que se dispone hacia el techo de la secuencia sedimentaria. En el sector alto de la cuenca se presenta sobreyaciendo a los sedimentos de la Unidad Puangue 2 y en el sector de confluencia de la quebrada Améstica sobreyace, directamente, sobre los depósitos de la Unidad Puangue 1 (Perfil Longitudinal Puangue).

Es probable que el origen de este conjunto de sedimentos sea mixto, vale decir, en parte responde a los aportes provenientes de las vertientes del valle principal y tributarios y en parte corresponde a los sedimentos distales provenientes de estos últimos.

El mayor espesor detectado por un sondaje corresponde a los aproximadamente 50 m acusados por el pozo de coordenadas N 6.286.920 - E 293.930 (Perfil Longitudinal Puangue). Sin embargo, es probable que éste aumente hacia el nororiente, como lo muestra el perfil longitudinal. Desde este último sector, hacia aguas arriba, se advierte una gradual disminución de la potencia, hasta tener una expresión discontinua en el sector alto de la cuenca.

En el extremo distal del perfil longitudinal se advierte también una clara tendencia a disminuir fuertemente el espesor, tal como lo acusa el pozo de coordenadas N 6.278.630 - E 292.740, que indica que su espesor no supera los 5 m. Hacia el sector de tributación

del valle del Puangue al antiguo valle del río Maipo este nivel termina desapareciendo ya que no se advierte en el perfil LMI1.

Estos finos sedimentos no sólo se advierten en el valle del estero Puangue, sino que también aparecen, con buena continuidad, en los valles tributarios de los esteros Améstica y La Higuera, como lo muestran los perfiles transversales TP4 y TP5.

De acuerdo a las características granulométricas de estos sedimentos, se estima para ellos una permeabilidad media entre 10^{-5} y 10^{-4} cm/s (0,00864 a 0,0864 m/d). Esto transforma a esta unidad en un medio de escaso atractivo hidrogeológico.

5 HIDROLOGÍA

5.1 PRECIPITACIONES

La cuenca del estero Puangue cuenta con cuatro estaciones meteorológicas, controladas por la DGA, para la medición de la precipitación líquida (Figura 5-1).



Figura 5-1 Estaciones meteorológicas en la cuenca del Estero Puangue

La estación Colliguay presenta la estadística más extensa midiendo precipitación desde agosto de 1950, las otras estaciones fueron instaladas después de 1980, la extensión y los periodos coincidentes de información se muestran en el Cuadro 5-1

La estación Colliguay, representativa de la cuenca de Altos de Puangue, presenta la precipitación media anual más alta, por sobre los 600 mm, la magnitud de la precipitación del resto de las estaciones está por debajo de los 380 mm (Cuadro 5-2)

NOMBRE ESTACIÓN	Precipitación media anual [mm]
COLLIGUAY	617
LOS PANGUILES	329
IBACACHE ALTO	379
MALLARAUCO	317
ESTERO PUANGUE EN RUTA 78	298

Cuadro 5-2 Precipitación media anual en estaciones meteorológicas en la cuenca del estero Puangue

La cuenca Altos de Puangue se caracteriza porque la altura de sus cordones montañosos sobrepasa los 2.000 metros en su extremo nor-oriental, este hecho implica que en algunas ocasiones precipite nieve sobre sus lomas. Más hacia el sur las montañas decrecen en altura y se tornan en lomajes suaves que no sobrepasan los 800 metros en el sector de Puangue Medio y la Higuera, llegando a su parte más baja cercana a los 300 metros en Puangue Bajo. Por su parte la precipitación media anual también decrece desde norte a sur y desde occidente a oriente con un valor cercano a 300 mm en la estación Estero Puangue en Ruta 78.



Gráfico 5-1 variación estacional de la precipitación en la cuenca del estero Puangue

Las curvas de variación estacional establecen que la lluvia en el sector medio-bajo de la cuenca sigue un patrón muy similar (Gráfico 5-1), precipitando con mayores montos en el mes de junio, no así la parte alta en donde los mayores montos de precipitación caen durante los meses de junio y julio. Sin embargo es notorio que para todos los sectores, alrededor del 94% de la lluvia total cae en el periodo Abril-Septiembre y solo alrededor del 6% de la lluvia cae en el periodo tradicional de riego, Octubre-Marzo (Cuadro 5-3).

NOMBRE ESTACIÓN	% de la precipitación Total	
	OCT-MAR	ABR-SEP
COLLIGUAY	6%	94%
LOS PANGUILES	6%	94%
IBACACHE ALTO	5%	95%
MALLARAUCO	6%	94%
ESTERO PUANGUE EN RUTA 78	7%	93%

Cuadro 5-3 Distribución temporal de lluvia media mensual en estaciones meteorológicas de la cuenca del estero Puangue

La precipitación media sobre la cuenca alcanzó los 398 mm anuales, y por su parte las cuencas que conforman la sectorización acuífera de Puangue poseen montos de precipitación media anual entre 334 y 598 mm anuales, siendo la más pequeña correspondiente a la cuenca de La Higuera y la mayor al sector denominado Altos de Puangue (Cuadro 5-4).

Cuenca	Precipitación media [mm/año]
Altos de Puangue	598
Puangue Alto	448
Puangue Medio	343
La Higuera	317
Puangue Bajo	334

Cuadro 5-4 Precipitación media anual de sub-cuencas de la cuenca del estero Puangue

Estos valores se obtuvieron utilizando el método de Thiessen y los datos de siete estaciones meteorológicas externas a la cuenca del estero Puangue más las cinco internas. La información concurrente y su distribución temporal utilizada se muestra en el Cuadro 5-6, la distribución espacial en la Figura 5-2 y los datos de precipitación media anual en el Cuadro 5-5.

NOMBRE ESTACIÓN	Precipitación media [mm/año]
Lliu-Lliu Embalse	522
Quebrada Alvarado	475
Las piedras	424
Tapihue	406
Río Mapocho en Rinconada de Maipú	222
Melipilla	386
Colliguay	617
Los Panguiles	329
Ibacache Alto	379
Mallarauco	317
Estero Puangue en Ruta 78	298
Cerrillos de Leyda	413

Cuadro 5-5 Precipitación media anual de estaciones utilizadas para la determinación de la precipitación media en cuencas del estero Puangue

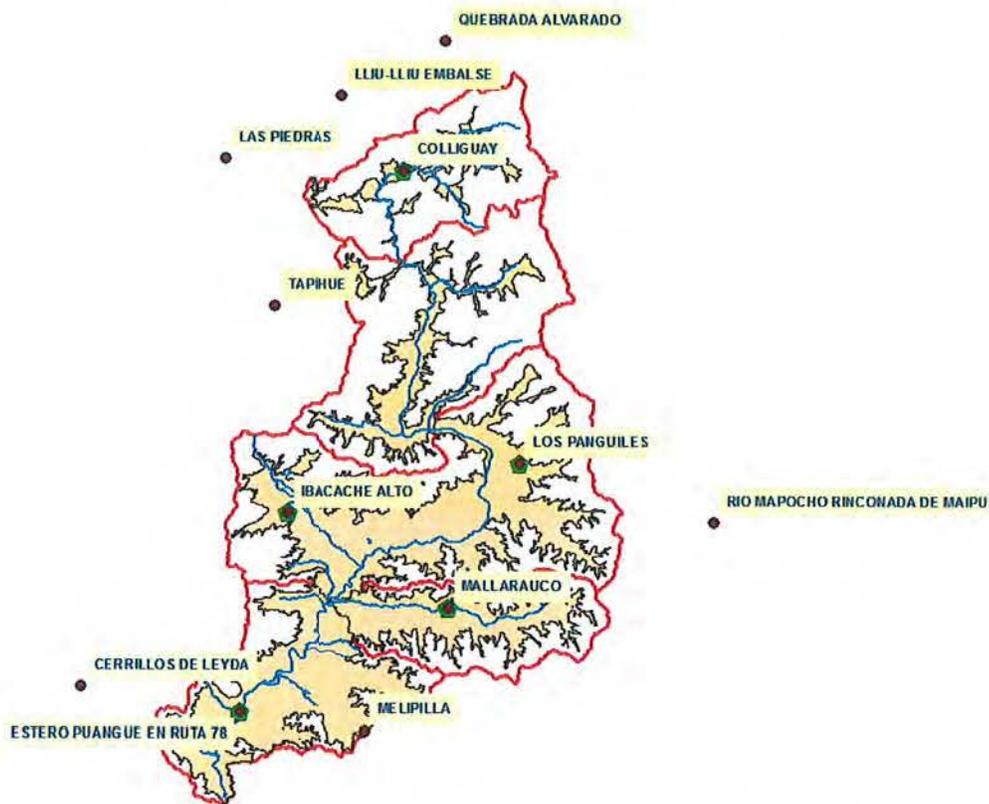


Figura 5-2 Distribución espacial de estaciones meteorológicas utilizadas para la determinación de la precipitación media anual en cuencas del estero Puangue

5.2 EVAPORACIÓN

Las estaciones meteorológicas Los Panguiles y Melipilla son las únicas estaciones, controladas por la DGA, que están midiendo evaporación de bandeja al interior de la cuenca del estero Puangue (Figura 5-3). Para observar la distribución espacial de esta variable hidrológica se han incluido dos estaciones meteorológicas fuera de la cuenca. La extensión de los datos y su distribución temporal se muestran en el Cuadro 5-9.



Figura 5-3 Estaciones meteorológicas de medición de evaporación de bandeja (PAN A) en cuenca del estero Puangue y cercanas a ella

La evaporación media anual en estas estaciones oscila entre 1220 y 1480 mm

NOMBRE ESTACIÓN	Evaporación [mm/año]
Los Panguiles	1.249
Lliu-Lliu Embalse	1.265
Rungue Embalse	1.482
Melipilla	1.221

Cuadro 5-7 Evaporación media anual en estaciones consideradas para el cálculo de la evaporación media en cuencas del estero Puangue.

Los Panguiles, Lliu-Lliu Embalse y Melipilla mantienen una evaporación anual en torno a 1250 mm, mientras que Rungue Embalse supera la estimación anterior en alrededor de 230 mm.

La variación estacional de la evaporación en las estaciones consideradas muestra que la evaporación es mínima en los meses de junio y julio (15 mm) y máxima en el mes de enero alcanzando valores de 161 mm en la estación Rungue Embalse.

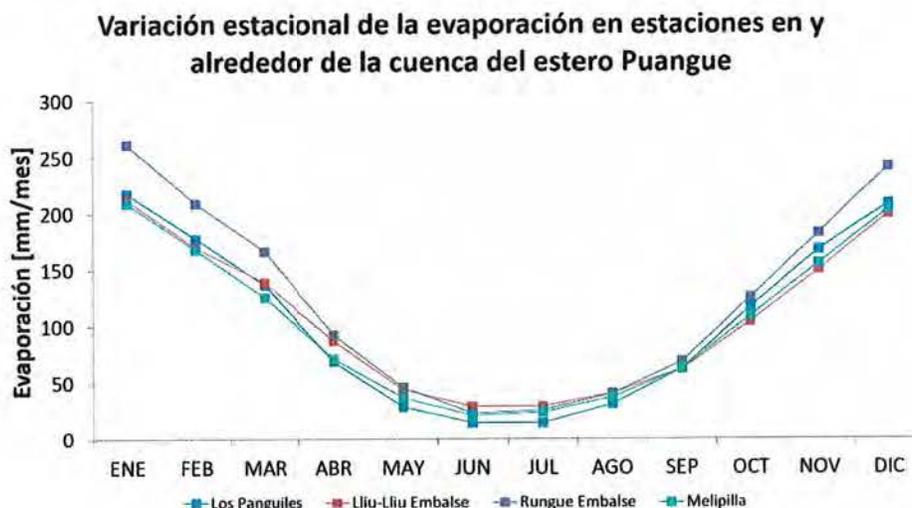


Gráfico 5-2 Variación estacional de la evaporación en estaciones consideradas para la determinación de la evaporación media en cuencas del estero Puangue.

Es posible notar que entre abril y septiembre los montos de evaporación en cada estación considerada alcanzan alrededor de un 20% del total anual y en los meses de riego tradicional (Octubre-Marzo), el monto de evaporación en cada estación alcanza alrededor de un 80% del total anual.

NOMBRE ESTACIÓN	% de evaporación total de Estación	
	OCT-MAR	ABR-SEP
Los Panguiles	82%	18%
Lliu-Lliu Embalse	77%	23%
Rungue Embalse	80%	20%
Melipilla	79%	21%

Cuadro 5-8 Distribución temporal de la evaporación media mensual en estaciones meteorológicas consideradas.

La evaporación media de la cuenca del estero Puangue se determinó a través del método de los polígonos de Thiessen y alcanzo un valor de 1247 mm anuales para toda la cuenca, mientras que para las cinco subcuencas consideradas los valores de evaporación media anual oscilan entre 1220 y 1290 mm anuales (Cuadro 5-10)

NOMBRE CUENCA	Evaporación media [mm/año]
Altos de Puangue	1,289
Puangue Alto	1,254
Puangue Medio	1,244
La Higuera	1,233
Puangue Bajo	1,221

Cuadro 5-10 Evaporación media anual en cuencas del estero Puangue

Por su parte la variación estacional de la evaporación en cada una de las subcuencas de la cuenca del estero Puangue, muestran una tendencia muy similar entre ellas, con un mínimo de 16 mm en junio para la cuenca de Puangue Medio y un máximo de 218 mm en enero para la cuenca Altos de Puangue.

Variación estacional de la evaporación en cuencas del estero Puangue

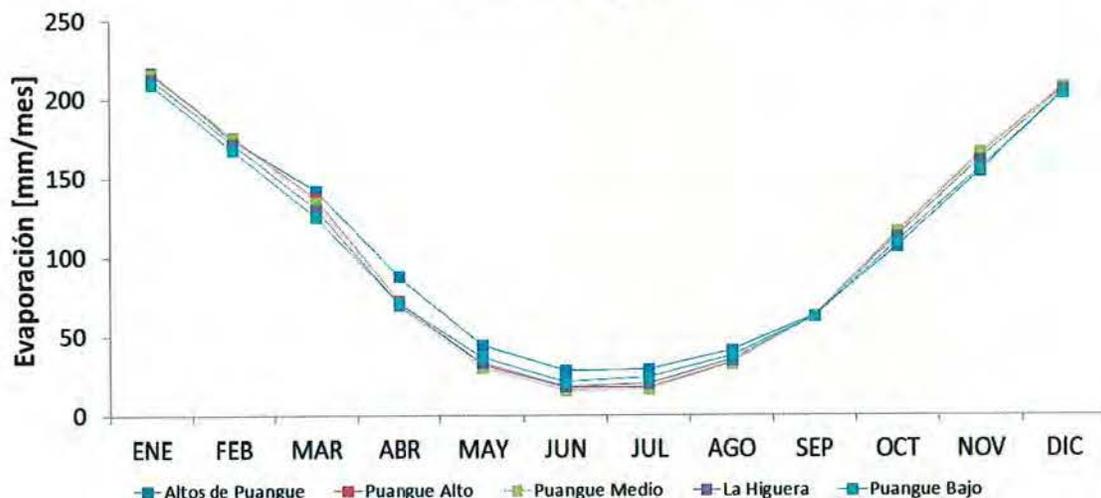


Figura 5-4 Variación estacional de la evaporación en cuencas del estero Puangue.

5.3 RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES

Los recursos superficiales del estero Puangue provienen de la escorrentía superficial generada en su propia cuenca pluvial y distribuida a través de los cauces de su red de drenaje, y principalmente de fuentes externas que trasvasan agua desde los ríos Mapocho y Maipo: Canales Las Mercedes, Mallarauco, San José, Picano y Puangue (Figura 5-5)

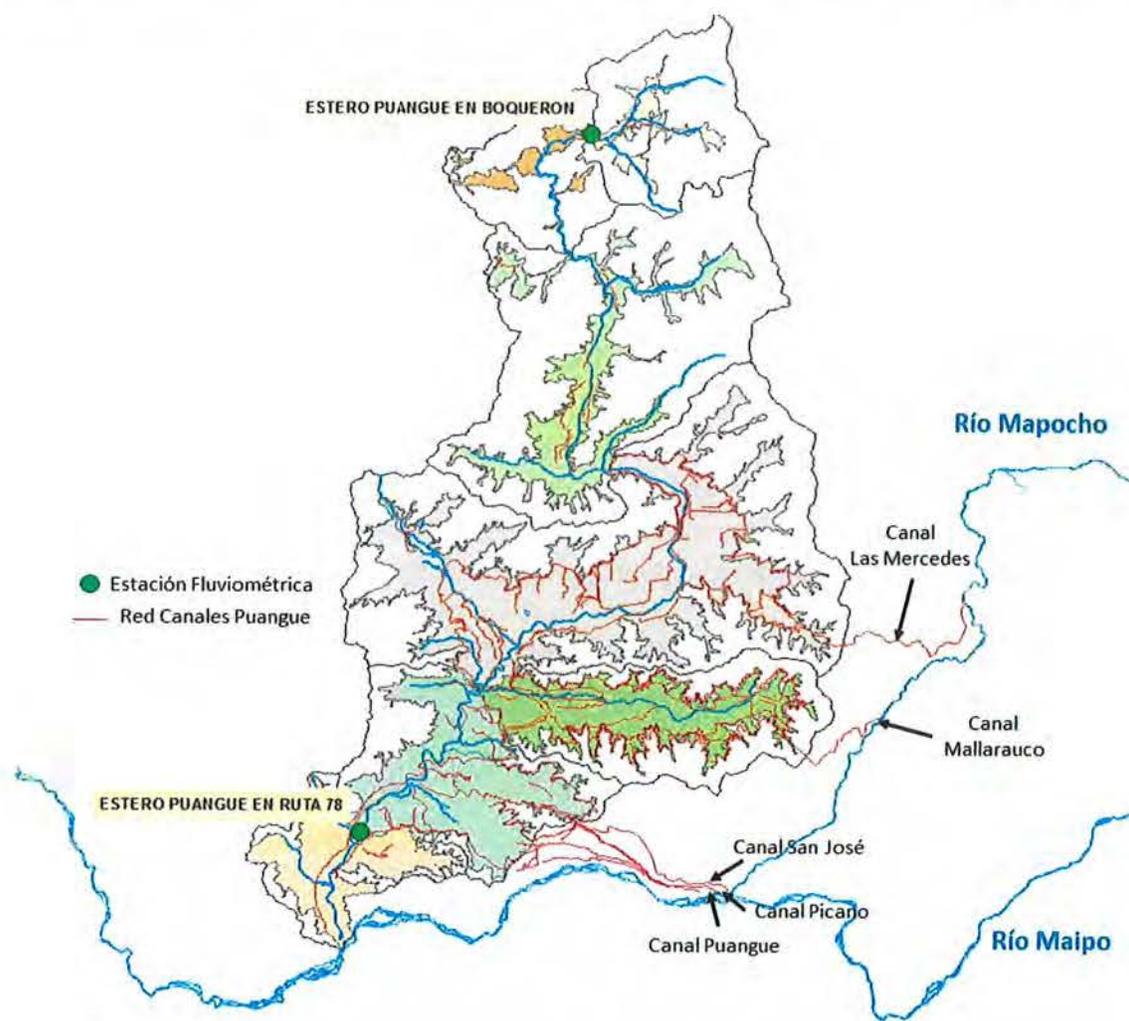


Figura 5-5 Red de drenaje y canales de la cuenca del estero Puangue

5.3.1 RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES EXTERNOS

5.3.1.1 CANAL LAS MERCEDES

Actualmente el canal Las Mercedes tiene capacidad para captar y transportar 10,5 m³/s desde el río Mapocho a la cuenca de Puangue Medio. Este caudal corresponde a los derechos de propiedad de la Empresa Eléctrica Industrial S. A. inscritos en el Conservador de Bienes Raíces de Santiago y de la Asociación Canal Las Mercedes cuyos derechos acusan inscripción desde el año 1922.

Desde la bocatoma ubicada a unos 795 metros aguas abajo del puente La Rinconada hasta su último lugar de entrega en la cuenca de Puangue Medio, su longitud alcanza los 120 km, desarrollándose 100 kilómetros en faldeos de cerros. Tiene obras de arte de importancia, tres túneles de 300, 1200 y 1500 metros de longitud y un puente acueducto de más de 700 metros de largo sobre el estero Puangue al llegar a Curacaví.

La construcción de esta magna obra de regadío se remonta hacia el año 1854, donde el entonces presidente de la república don Manuel Montt, propietario de la hacienda Las Mercedes y don Domingo Matte Messías, dueño de la hacienda Ibacache, obtuvieron de la autoridad competente una merced de agua para aprovechar el torrente del Mapocho, iniciando la construcción de un canal de regadío para abastecer de agua sus respectivas tierras y los valles de Lo Prado, Lo Bustamante y Curacaví.

Los trabajos demoraron alrededor de 30 años hasta lograr su funcionamiento, trasvasando alrededor de 6.000 litros por segundo al valle del Puangue en la época de su puesta en operación. (Figura 5-6)

CENTRAL HIDROELÉCTRICA CARENA

Después de atravesar en túnel el cordón montañoso de Prado, las aguas del canal de Las Mercedes se utilizan para la generación de electricidad en la Central Hidroeléctrica Carena. Esta central de pasada entró en operación en 1937, con una capacidad instalada de 10 megawatts, provenientes de 4 turbinas del tipo Francis, las cuales aprovechan un caudal central de unos 9,6 m³/s y una altura de caída de 127 metros.

Luego de la generación, el agua continúa su camino siguiendo el trazado del canal Las Mercedes y de los canales de distribución para entonces regar los sectores agrícolas de Puangue Medio. En época invernal, la Central Carena puede descargar sus aguas directamente al estero Puangue a través de un sistema de drenes operado por compuertas y cuya obra de entrega se encuentra en el canal Las Mercedes a unos 6.540 metros aguas abajo de la descarga de la Central hidroeléctrica. Esta derivación permite

las labores de mantención de la red de canales y también colabora en su protección por aumento de caudal debido a las lluvias en invierno.

De esta forma la salida de caudal desde la central hidroeléctrica Carena se constituye en el punto de ingreso controlado del agua proveniente del río Mapocho al sistema de riego del Valle del Puangue.

CENTRAL HIDROELÉCTRICA LAS MERCEDES

En abril de 2016 se aprobó la autorización por parte de la DGA del proyecto de construcción de la Central Las Mercedes, de propiedad de Colbún S. A., en el valle de Puangue Medio. Esta central tomará el agua para su generación a partir de la descarga de la Central Carena. Tiene previsto un caudal de diseño de 10,2 m³/s, un caudal máximo por derechos de 9 m³/s, un caudal mínimo turbinable de 4,08 m³/s, además de una potencia instalada de 3,5 megawatts y una altura de caída de 40,3 metros.

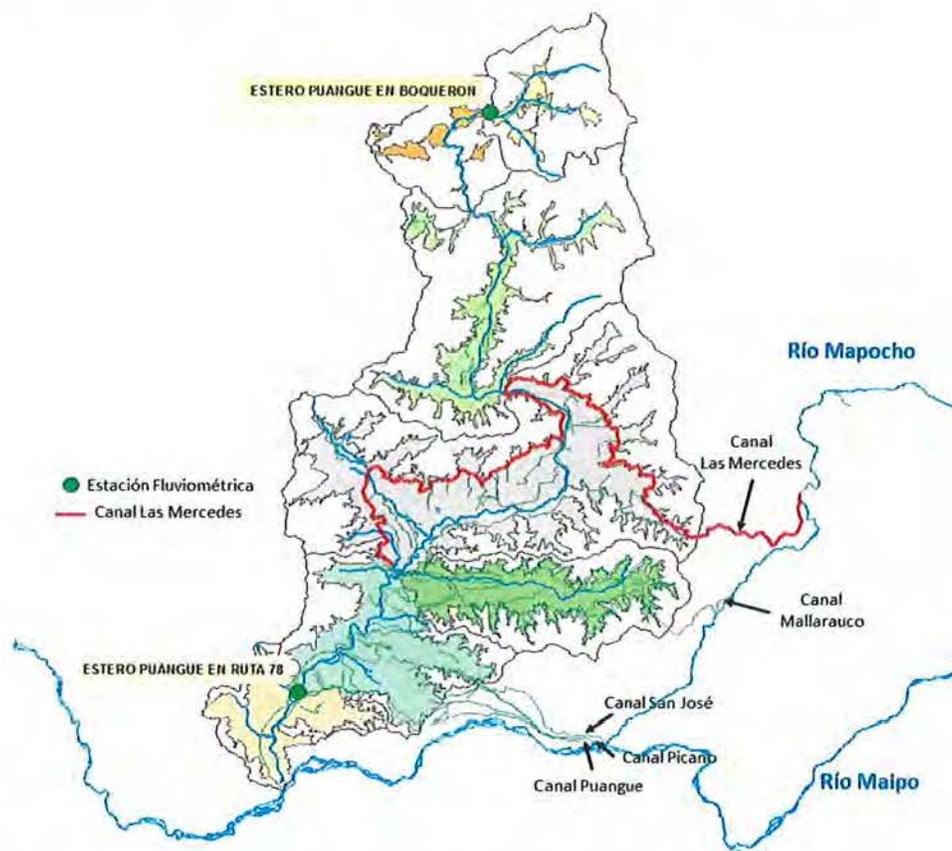


Figura 5-6 Trazado del Canal Las Mercedes

RED DE CANALES Y SUPERFICIE SERVIDA

Los resultados del reporte DGA/IPLA-1989 indican que para el año 1989 el canal Las Mercedes conformó una red de 17 canales derivados y 2 sub-derivados con una longitud total de alrededor de 180 kilómetros, los cuales sirvieron una superficie de riego de unas 7.732 hectáreas de un total de 1.314 regantes (Cuadro 5-11).

Canal Principal	Derivado	Sub Derivado	Número de regantes	Dotación [m ³ /Há/año]	Superficie Regada [Há]	Longitud del Canal [km]	Número de Obras de Arte	Número de Obras de Regulación
Las Mercedes			539	22.680	3.806,77	103,80	409	33
	El Parrón		73	22.680	518,33	5,30	57	
		El Tranque	26	22.680	80,70	3,00	16	1
	Patagüilla		37	22.680	156,72	4,00	7	2
	San Juan		47	22.680	112,55	3,30	28	1
	Unión Chilena		37	22.680	181,10	5,30	14	
	Miraflores		51	22.680	333,73	3,20	35	3
	San Joaquín		44	22.680	424,95	8,50	42	1
	Unión Miraflores		47	22.680	210,60	3,30	16	1
	Escudo Chileno		22	22.680	111,40	1,80	8	2
	El Redil		40	22.680	133,00	2,70	13	1
	El Rosario		61	22.680	235,05	5,30	23	
		El Bosque	19	22.680	119,80	4,00	5	1
	Haras María Pinto		21	22.680	140,60	3,10	24	2
	El Luchador		48	22.680	257,80	3,40	14	2
	El Quillay		19	22.680	154,70	2,90	13	2
	Sociedad Agrícola		59	22.680	168,78	4,70	38	4
	Esperanza Loleo		47	22.680	134,44	1,80	12	1
	Reserva Casona		45	22.680	169,05	3,50	14	1
	Los Quillayes		32	22.680	282,10	6,30	22	2
TOTAL			1314		7.732,17	179,20	810	60

Cuadro 5-11 Cuadro Resumen Canal Las Mercedes (fuente: DGA/IPLA-1989)

5.3.1.2 CANAL MALLARAUCO

Por su parte la cuenca del estero La Higuera es alimentada también por una fuente de agua superficial externa. Se trata del canal Mallarauco que trasvasa agua desde el río Mapocho hasta el valle de Mallarauco (Figura 5-7).

La construcción del canal Mallarauco se realizó entre 1873 y 1893 impulsada por la iniciativa de don José Patricio Larraín Gandarillas con la finalidad de mejorar las condiciones de riego del valle de Mallarauco.

Las aguas del canal son captadas frente a la Puntilla de Peñaflores y conducidas en un trayecto de 9,2 kilómetros bordeando y regando el sector de rinconada de Pelvín, en la

ribera derecha del río Mapocho. Esta zona tiene una superficie actual de riego de alrededor de 763 hectáreas con posibilidad de aumentar con riego mecanizado en lomajes cuyas superficies de riego se encuentran sobre la cota del canal. Luego cruza la cadena de cerros que separa el valle de Mallarauco con Pelvín a través de un túnel de 3.106 metros de longitud horadado en roca. En la salida del túnel se encuentra el marco partidor Las Naves, el que divide las aguas para alimentar a los canales derivados Mallarauco Norte, Mallarauco y Mallarauco Sur.

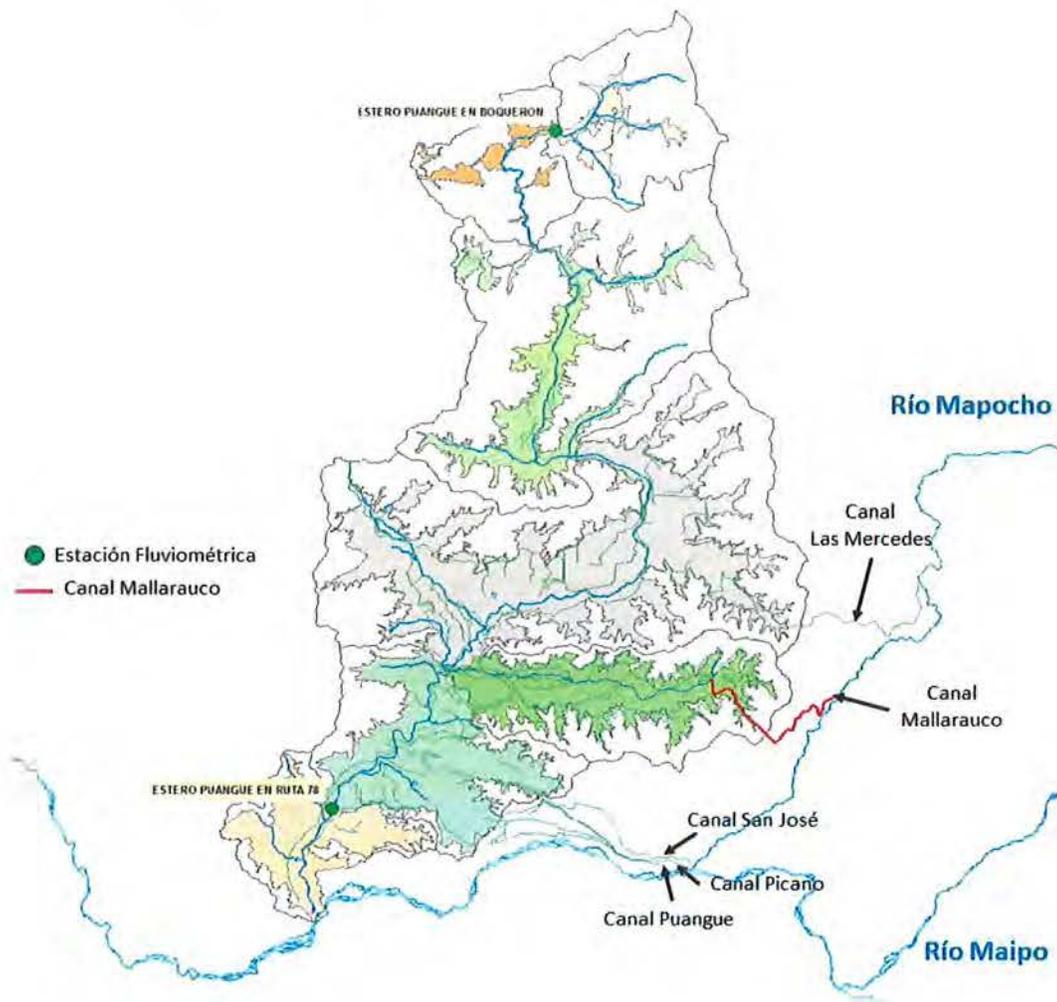


Figura 5-7 Trazado del canal Mallarauco

De acuerdo a lo señalado por la Asociación Canal Mallarauco, la capacidad máxima de conducción del túnel es de $6,8 \text{ m}^3/\text{s}$, con mayor caudal, el túnel entra en presión. Este hecho plantea un límite para la entrada de agua al valle de Mallarauco.

Según el reporte DGA/IPLA-1989, los derechos del canal en la fuente natural, por escritura del 31 de julio de 1871 corresponden a 20 m³/s. Al canal Pelvín por decreto N°715 del 23 de Abril de 1951, le da derecho a captar 1 m³/s. Posteriormente por decreto N° 1.045 del 19 de junio de 1954 se aprueba la reforma de estatutos del Canal Mallarauco, con el fin de incorporar a los comuneros del Canal Pelvín y proceder a unificar las bocatomas y sumar sus derechos. El canal Mallarauco distribuye sus recursos mediante entregas directas del canal matriz y por derivados y subderivados utilizando marcos y compuertas. El área de riego del canal comprende la Rinconada de Pelvín y el Valle de Mallarauco.

El catastro de Usuarios de la subcuenca del Río Mapocho realizado en 1989 muestra que la superficie abastecida por el canal Mallarauco es de unas 6.275 hectáreas y el número de regantes alcanza a 681, con una red de canales conformada por 10 canales derivados y 4 canales subderivados, los que en conjunto alcanzan una extensión de 195 kilómetros (Figura 5-7).

CENTRAL MALLARAUCO

En junio de 2011 entró en operación la Central Mallarauco, ubicada en la cabecera sur de la cuenca del estero La Higuera. La central aprovecha las aguas derivadas por el canal Mallarauco Sur las que son desviadas hacia la cámara de carga donde se encuentra la entrada para la alimentación de la tubería en presión para la posterior generación eléctrica. La central cuenta con una turbina Francis de eje horizontal con una potencia máxima de generación de 3,52 megawatts, un caudal de diseño de 3,6 m³/s, una altura de caída de 109 metros y un rango operacional de entre 1,44 a 3,6 m³/s.

Canal Principal	Derivado	Sub Derivado	Número de Regantes	dotación [m ³ /Há/año]	Superficie Regada [Há]	Longitud del Canal [km]	Número de obras de arte	Número de obras de regulación
Mallarauco			13	22.680	383,50	17,30	18	1
	Pelvín		33	22.680	168,38	4,40	30	
	Mallarauco Norte		35	22.680	865,35	41,80	53	11
		La Novena	32	22.680	288,89	3,90	32	3
		El Pimiento	45	22.680	186,22	4,70	22	1
	Mallarauco Sur		35	22.680	575,55	35,10	60	12
		El Durazno	42	22.680	195,85	6,00	37	2
		Sitios hermanos Carrera	47	22.680	84,85	2,00	26	2
	Higuerilla		107	22.680	1.422,49	29,00	154	16
	Manzano		80	22.680	805,80	20,80	92	6
	Italiano		107	22.680	727,37	13,20	65	1
	Reforma Norte		53	22.680	156,80	6,10	23	
	Santa Elena		3	22.680	12,00	1,20	1	
	Reforma Centro		27	22.680	256,35	4,70	8	
	Reforma Sur		22	22.680	145,85	4,50	5	
TOTAL			681		6.275,25	194,70	626	55

Cuadro 5-12 Cuadro Resumen Canal Mallarauco (fuente: DGA/IPLA-1989)

5.3.1.3 CANAL SAN JOSÉ

De acuerdo al reporte DGA/AGROLOG-1980, el canal San José, tiene una longitud de 38,9 kilómetros y riega una superficie de 4.673 hectáreas. Tiene dos bocatomas separadas unos 2000 metros una de la otra, siguiendo el curso de las aguas del río Mapocho, estas bocatomas se encuentran equidistantes del puente Manuel Rodríguez de la Ruta 78 sobre el río Mapocho. La primera bocatoma sobre el río Mapocho y la segunda en el río Maipo a pocos metros de la confluencia de ambos ríos (Figura 5-8 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

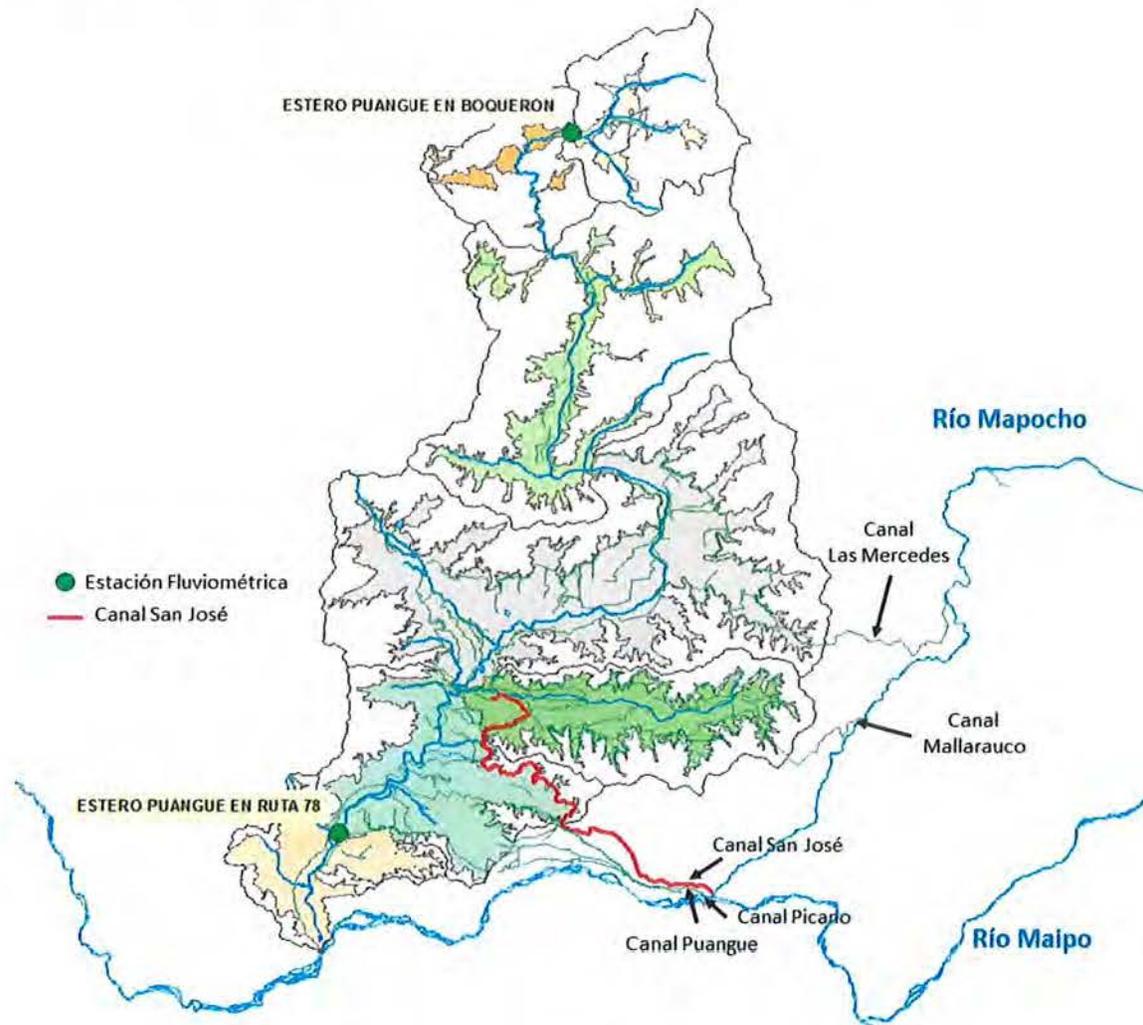


Figura 5-8 Trazado del Canal San José

La bocatoma sobre el río Maipo es reciente y fue construida debido a que el caudal captado en el río Mapocho no era suficiente para los requerimientos del canal.

El ramal alimentado por la bocatoma en el río Mapocho riega una superficie máxima de unas 500 hectáreas ubicadas en la ribera derecha del mismo río, el excedente continúa por la rama inferior mezclándose con las aguas procedentes del Maipo para internarse luego entra en el valle de Pomaire hasta su destino final en el sector de Bollenar.

A nivel de canal matriz (a la fecha de realización del estudio), existen muy pocas obras de distribución, 14 marcos y 17 compuertas. La gran mayoría de ellas, 25 aproximadamente, se concentran en el sector comprendido entre el ex fundo El Marco y la derivación al ramal San José Bajo, cerca de Bollenar.

En los ramales, a excepción del San José Bajo, no existen obras de distribución. Esto obliga a distribuir mediante tacos, provocando grandes pérdidas de agua e induciendo un déficit en el último tercio del canal.

No existen obras de regulación de fin de semana, sólo dos o tres embalses de regulación nocturna de capacidad no superior a 3.000 m³, ubicados en el Asentamiento Santa Filomena.

Por su parte, el reporte DGA/AC-2000 se determinó la capacidad máxima de porteo del canal San José utilizando la fórmula de Manning y la traza de la mayor altura alcanzada por el nivel del agua en el canal, llegándose a un caudal máximo de 3,7 m³/s.

El cuadro Cuadro 5-13 muestra el número de entregas prediales del canal San José.

Canal Principal	Derivado	Sub Derivado	Sub Sub Derivado	Número de Entregas prediales
San José				83
	Auxiliar			18
	San José Bajo			8
		Parceleros Lumbreras de Puangue		5
			Villa Alegre	13
	San José Uno			21
	Santa Filomena			14
		El Almendral		16
		Proyecto		7
	Derrame El Cardol			1
		Derrame Fundo El		1
		Derrame Fundo Los Boldos		1
		TOTAL		188

Cuadro 5-13 Entregas prediales Canal San José (Fuente: DGA/AGROLOG-1980)

5.3.1.4 CANAL PICANO

El reporte DGA/AGROLOG-1980 menciona que la longitud del canal Picano alcanza los 23,9 kilómetros, y riega una superficie de 3.394 hectáreas (Figura 5-9)

Tiene su bocatoma ubicada en la ribera derecha del río Maipo a unos 830 metros aguas abajo de la última bocatoma del canal San José.

En los primeros kilómetros de recorrido va paralelo al canal Puangue, equidistante 5 metros.

A excepción del ramal Hualemu, el canal Picano no tiene obras de distribución, tomando las aguas sus usuarios a través de tacos, provocando derrames y pérdidas de agua que impide el abastecimiento seguro del último tercio del canal.

El ramal Hualemu de 10,5 kilómetros de longitud presenta un buen estado y mantención y dispone de 14 marcos partidores que permiten distribuir el agua necesaria a sus usuarios.

El cuadro Cuadro 5-14 muestra las entregas prediales del sistema Picano

Canal Principal	Derivado	Sub Derivado	Número de Entregas prediales
Picano			49
	Hualemu Alto		11
		Hualemu Bajo	14
	Ostolazino		1
		Derrame La Parra	6
		Derrame Ostolazino	8
	San Pedro		1
		TOTAL	90

Cuadro 5-14 Entregas prediales Canal Picano (Fuente: DGA/AGROLOG-1980)

El caudal máximo de porteo del canal Picano fue determinado en el desarrollo del reporte DGA/AC-2000, utilizando para ello la fórmula de Manning y la traza del nivel de agua más alto del canal. Este caudal alcanzó un valor de 8,7 m³/s.

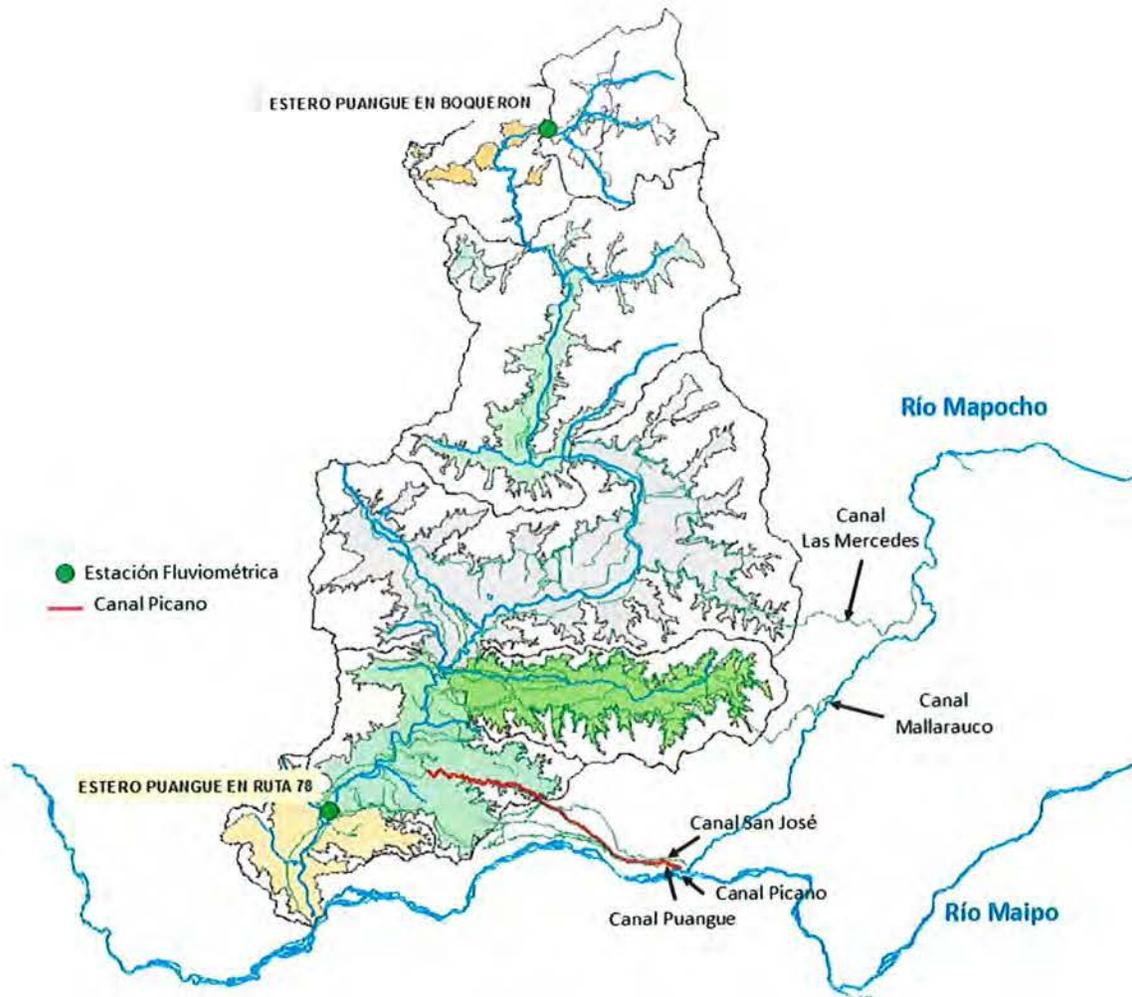


Figura 5-9 Trazado del canal Picano

5.3.1.5 CANAL PUANGUE

El reporte DGA/AGROLOG-1980 indica que la longitud y superficie de riego servida por el canal Puangue alcanza a 26 kilómetros y 2.990 hectáreas. Tiene una bocatoma en la ribera derecha del río Maipo ubicada a unos 1.300 metros aguas abajo de la bocatoma del canal Picano (Figura 5-10).

El canal tiene una buena capacidad portante para regar la superficie bajo cota, sin embargo, el canal debe vaciar prácticamente la mitad de su capacidad antes de entrar a la ciudad de Melipilla, debido a que, para atravesar ésta ciudad, en un sector se construyó un túnel abovedado de hormigón armado que quedó mal dimensionado para la capacidad portante del canal, por lo tanto, cuando el caudal del canal supera la capacidad del túnel se

produce un peralte del eje hidráulico que sobrepasa la revancha del canal, inundando algunos sectores de la ciudad. El último tercio del canal como consecuencia de la disminución de caudal, debe regar con los derrames de los canales San José Bajo y Picano.

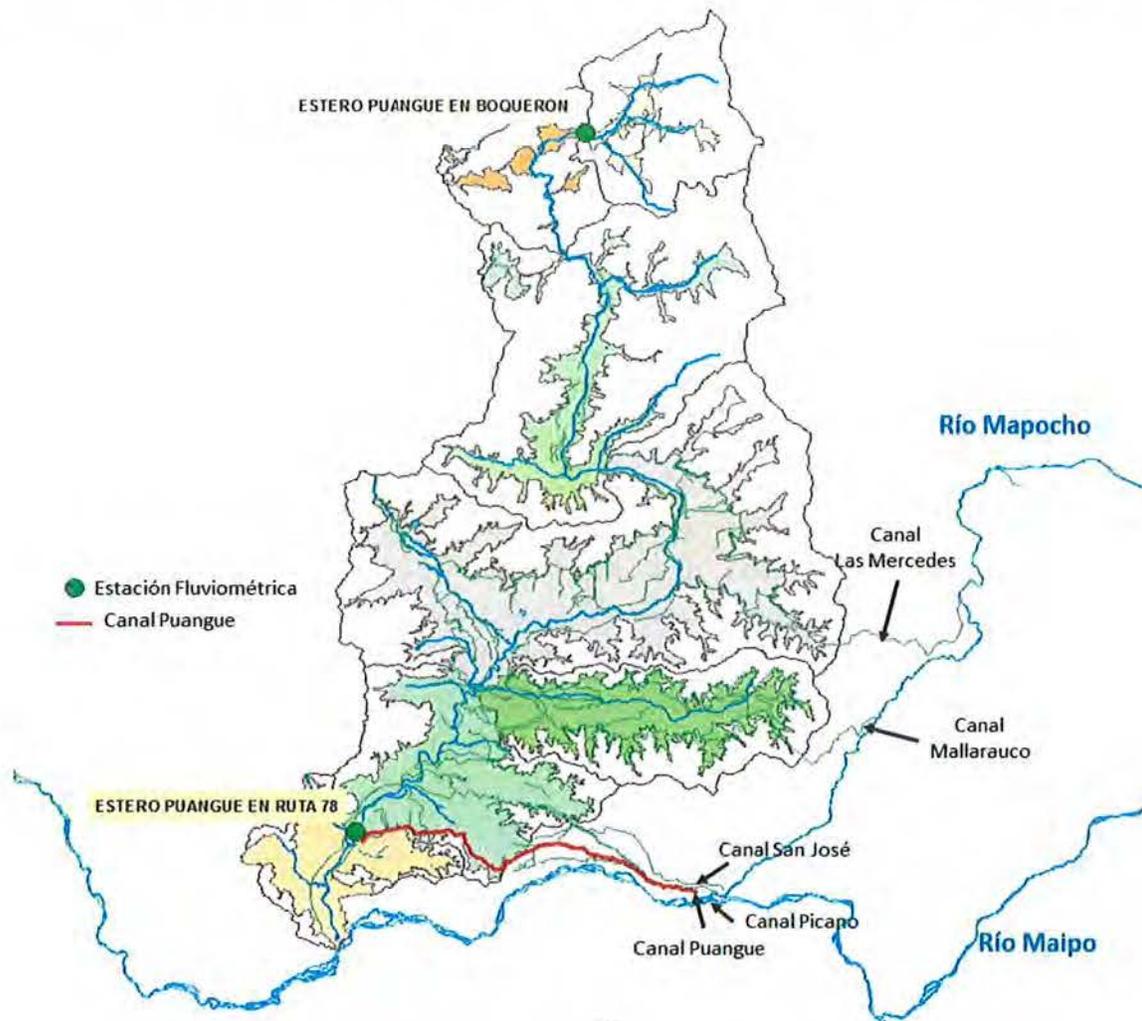


Figura 5-10 Trazado Canal Puangue

La distribución del agua se realiza con 22 marcos partidores. Existen en el sector alrededor de 14 tranques de regulación nocturna de capacidad no superior a 2.000 m³, de los cuales sólo se utilizan cerca de la mitad de ellos debido a la disminución forzada de caudal descrita anteriormente. (situación al año 1980)

Utilizando la fórmula de Manning y la traza de la mayor altura alcanzada por el nivel del agua en el canal, el reporte DGA/AC-2000 determinó el caudal de 2,9 m³/s.

El Cuadro 5-15, muestra las entregas prediales del canal Puangue.

Canal Principal	Derivado	Sub Derivado	Número de Entregas prediales
Puangue			41
	La Alianza		12
	El Bajo		14
		Cerda	8
	Derrame Puangue-Melipilla		4
	Derrame Esmeralda		5
	Eucaliptus		5
	La Lumbrera de Puangue		4
	Puertas Coloradas		10
	Los Yuyos		3
TOTAL			106

Cuadro 5-15 Entregas prediales Canal Puangue (Fuente: DGA/AGROLOG-1980)

5.3.1.6 RESUMEN

Es posible entonces mencionar que la cuenca del estero Puangue recibe importantes aportes desde los cauces de los ríos Mapocho y Maipo. Dada las condiciones antes expuestas la máxima capacidad de trasvase alcanzaría a unos 32,5 m³/s (Cuadro 5-16), capacidad considerada en bocatoma, supeditada además a la disponibilidad en los ríos Maipo y Mapocho. Todos estos canales entregan una fracción de su caudal para riego antes de entrar a la cuenca del estero Puangue, sin embargo, existen algunos límites definidos por la operación de los sistemas y su infraestructura. Tal es el caso del Canal Las Mercedes, en donde la operación de la Central Hidroeléctrica Carena restringe el caudal que entra a la cuenca de Puangue Medio y que, según los antecedentes de generación, el caudal turbinado sería más o menos constante de entre 10 a 10,2 m³/s., caudal que estaría disponible para riego.

El canal Mallarauco encuentra un límite de caudal debido al túnel de acceso a la cuenca que puede portear sin entrar en presión unos 6,8 m³/s., este sería un límite máximo, el límite mínimo lo introduce la operación de la Central hidroeléctrica Mallarauco que tiene un rango de operación de caudal de entre 1,4 y 3,6 m³/s., esto significa que el canal Mallarauco sur podría estar en operación todo el año, como además lo demuestran las estadísticas de generación eléctrica de la Comisión Nacional de Energía, en donde manifiesta que la Central Mallarauco ha generado casi ininterrumpidamente, paralizando solo algunas semanas por año para mantenimiento de la turbina. El promedio de caudal turbinado desde su puesta en marcha en junio de 2011 hasta la fecha es de 1,9 m³/s., caudal que ingresa a la cuenca del estero La Higuera y que es porteadado después de turbinado por el cauce del mismo estero.

Dado que el canal San José riega unas 500 hectáreas antes de entrar al valle de Pomaire y si consideramos una dotación de unos 0,7 litros por hectárea, en este sector deberían consumirse unos 350 litros por segundo, quedando unos 3.350 l/s disponibles para entrar al valle de Pomaire, y si además consideramos pérdidas por infiltración de los canales se podría redondear con seguridad el caudal entrante alrededor de 3 m³/s.

El canal Picano entrega a los canales Hualemu Alto y Hualemu Bajo antes de entrar al Valle de Pomaire, estos dos últimos canales sirven una superficie máxima de riego de alrededor de 625 hectáreas repartida en 24 entregas prediales. Si consideramos una dotación de 0,7 litros por hectárea se tiene un consumo de 438 l/s, esto deja disponible unos 8.262 l/s, y si consideramos que 262 l/s pueden infiltrarse antes de entrar a Pomaire, se tendrá un caudal disponible de unos 8 m³/s.

Por su parte el canal Puangue está limitado por los túneles de paso, mal dimensionados, en la ciudad de Melipilla, que de acuerdo a la información descrita anteriormente debe vaciar la mitad de su capacidad antes de entrar a Melipilla, dejando con esto una disponibilidad de unos 1,5 m³/s.

Por tanto el caudal total máximo seguro de entrada a la cuenca del estero Puangue es de alrededor de 30 m³/s.

CANAL	Capacidad Máxima de porteo a cuenca de Puangue [m ³ /s]
Las Mercedes	10,5
Mallarauco	6,8
San José	3,7
Picano	8,7
Puangue	2,9
TOTAL	32,6

Cuadro 5-16 Capacidad máxima de porteo del sistema de canales que trasvasan hacia la cuenca del estero Puangue

5.3.2 RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES INTERNOS

Los recursos superficiales internos en la cuenca del estero Puangue, corresponden a la escorrentía superficial generada por la lluvia sobre la cuenca. En muchos puntos de ella, la magnitud de ésta escorrentía es difícil de cuantificar, debido principalmente al escaso control fluviométrico existente. La DGA cuenta con dos estaciones fluviométricas en la cuenca: Estero Puangue en Boquerón y Estero Puangue en Ruta 78 (Figura 5-11)

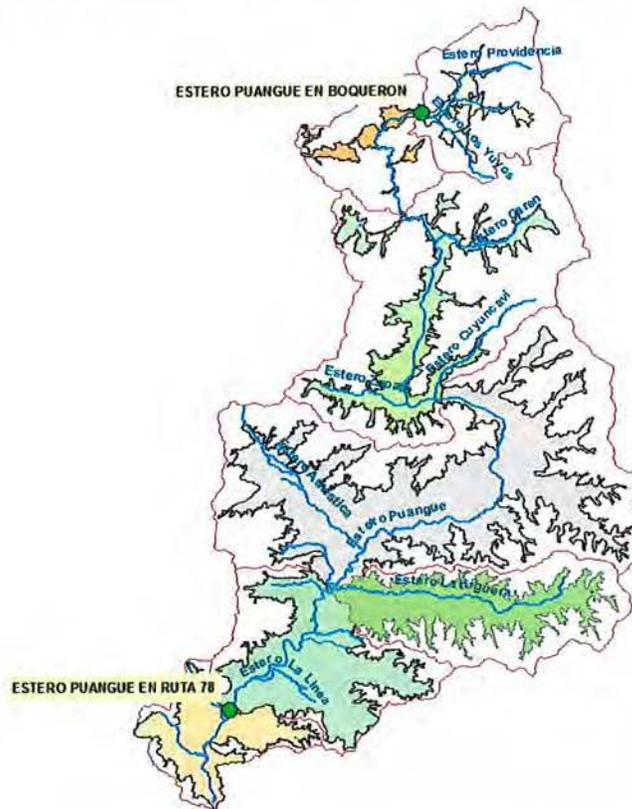


Figura 5-11 Estaciones Fluviométricas en cuenca del Estero Puangue

La estación Fluviométrica Estero Puangue en Boquerón es una de las más antiguas de la zona, registrando activamente los caudales de la zona alta de la cuenca desde el año 1929 con una interrupción de 17 años a partir de 1934, pero con datos ininterrumpidos desde 1950 a la fecha. Por su parte la estación Estero Puangue en Ruta 78 ubicada en el antiguo puente de la ruta Melipilla San Antonio, comenzó la captura de datos fluviométricos a partir del año 1986. Esta estación se ubica casi en la salida de la cuenca, a unos 11,6 kilómetros aguas arriba de la confluencia del estero Puangue con el río Maipo. La estadística concurrente entre estos puntos de control fluviométrico se muestran en el Cuadro 5-17.

La curva de variación estacional para la estación Estero Puangue en Boquerón y Estero Puangue en Ruta 78 se muestran en la Figura 5-12 y Figura 5-13.

Curva de Variación Estacional Estero Puangue en Boquerón

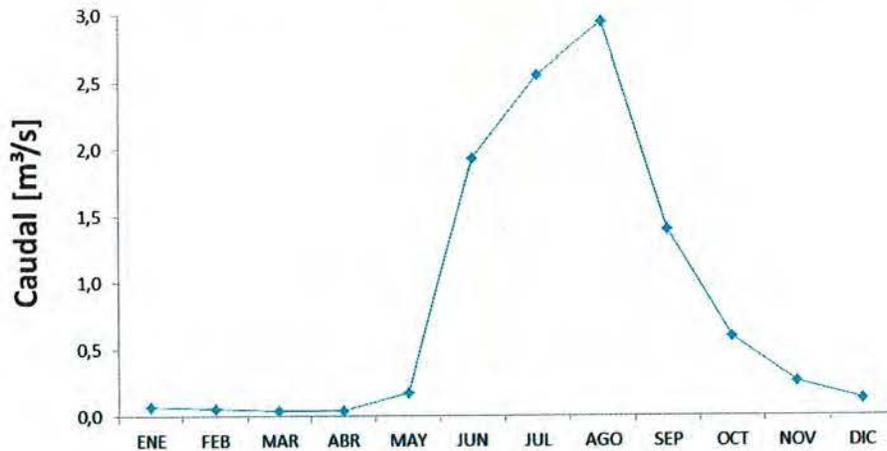


Figura 5-12 Curva de variación estacional de los caudales en estación Estero Puangue en Boquerón

Curva de Variación Estacional Estero Puangue en Ruta 78

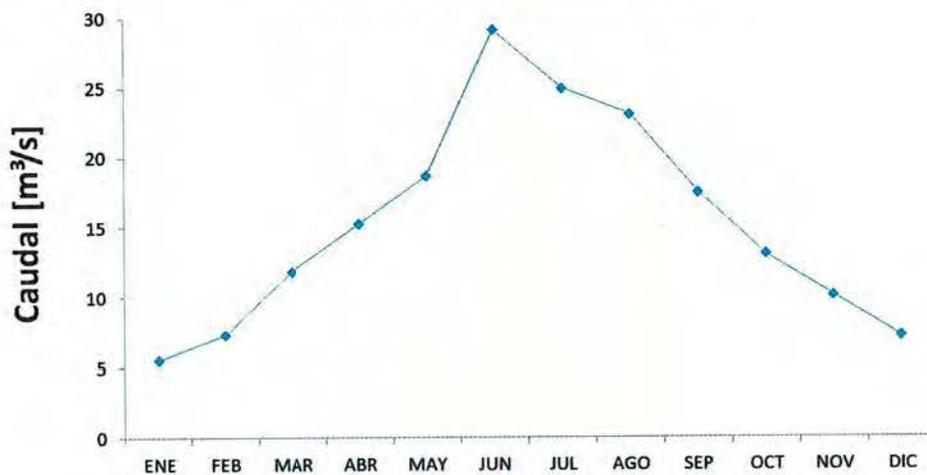


Figura 5-13 Curva de variación estacional de los caudales en estación Estero Puangue en Ruta 78.

Es posible notar que la estación Estero Puangue en Boquerón, muestra un comportamiento fundamentalmente pluvial, mientras que en la estación Estero Puangue en Ruta 78 los caudales medios no presentan esta misma tendencia que las precipitaciones, pero con una recesión más lineal que exponencial. Esto se debe a que el caudal pasante en esta última estación no sólo tiene incorporado el aporte debido a la lluvia local de invierno sobre la cuenca, sino que además incorpora los derrames de riego provenientes de los aportes de caudales externos y los afloramientos del flujo subterráneo en época de riego. El máximo caudal promedio, para esta estación, se produce en junio y su mínimo promedio, en el mes de enero.

Por su parte, el máximo en la curva de variación estacional de la estación Estero Puangue en Boquerón se produce para el mes de agosto. Esto tiene directa relación con los máximos de la curva de variación estacional de la lluvia sobre la cuenca aportante (Altos de Puangue sobre Boquerón). Estos máximos de lluvia se producen en los meses de junio y julio, indicando con esto una recesión promedio de un mes para el caudal generado en la cuenca producto de la lluvia.

Cabe notar que la estación estero Puangue en Boquerón controla casi toda la escorrentía total generada en la cuenca aportante a ella. Esto se debe a que esta estación está ubicada en un estrechamiento de la cadena montañosa que rodea y da forma a la cuenca, por tanto, todo el flujo excedente, subterráneo y superficial, tiene que salir por allí.

Por otra parte, en el capítulo anterior, fue posible inferir que los recursos hídricos superficiales externos a la cuenca, trasvasados por los canales Las Mercedes, Mallarauco, San José, Picano y Puangue, son del orden de 30 m³/s como máximo. Estos recursos se aprovechan en la generación de electricidad y en el riego de extensas zonas de Puangue Medio y Puangue Bajo, sus excedentes finalmente se incorporan al caudal del estero Puangue, que es medido en la estación Fluviométrica de Estero Puangue en Ruta 78.

Si examinamos con cuidado los registros mensuales de esta estación (Figura 5-14), se puede observar que el valor de los caudales mínimos mensuales es bastante estable, manteniéndose entre 4 y 7 m³/s, con un promedio de 5,6 m³/s. Todos los mínimos mensuales se producen en enero de cada año a excepción del año 1998 en que los mínimos se producen en septiembre y diciembre, y del año 2011 en que el mínimo se produce en el mes de diciembre.

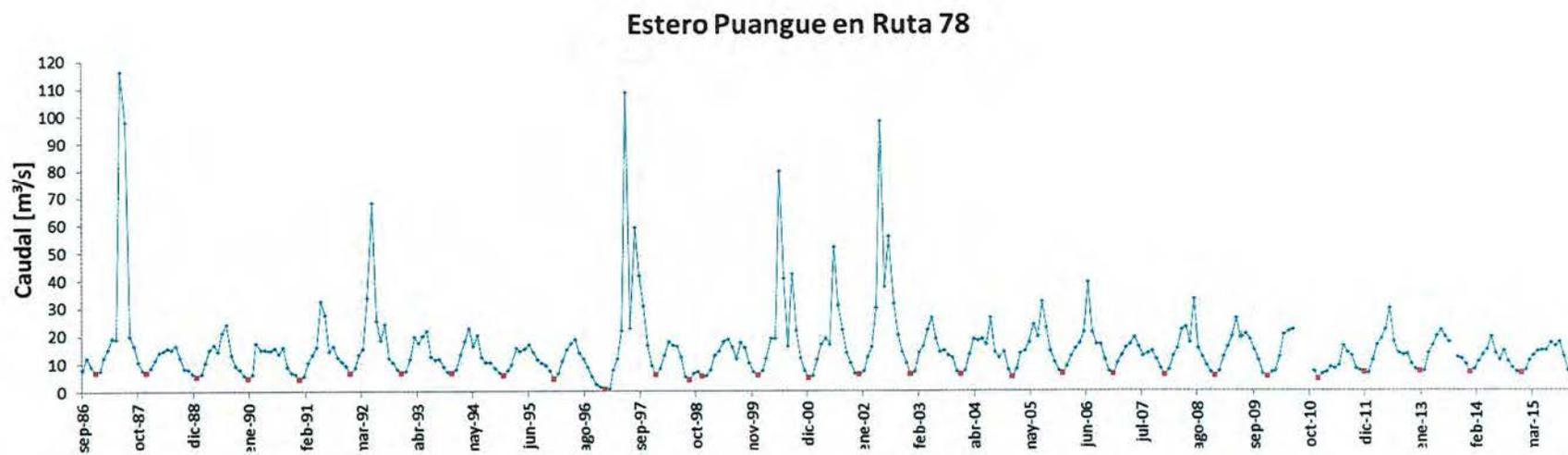
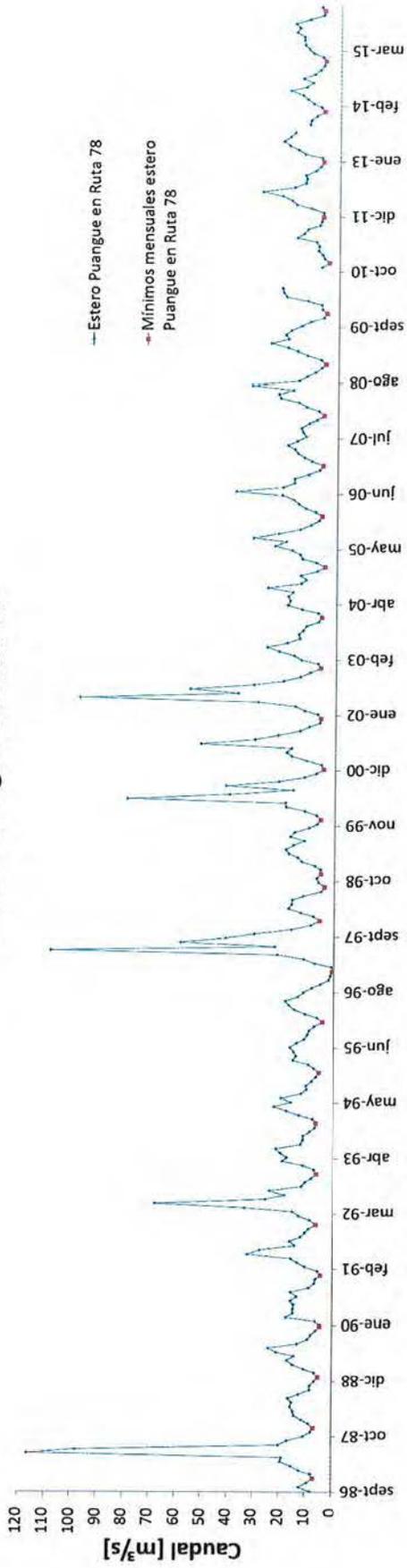


Figura 5-14 Caudales medios mensuales en estación Fluviométrica Estero Puangue en Ruta 78

Estero Puangue en Ruta 78



Estero Puangue en Ruta 78

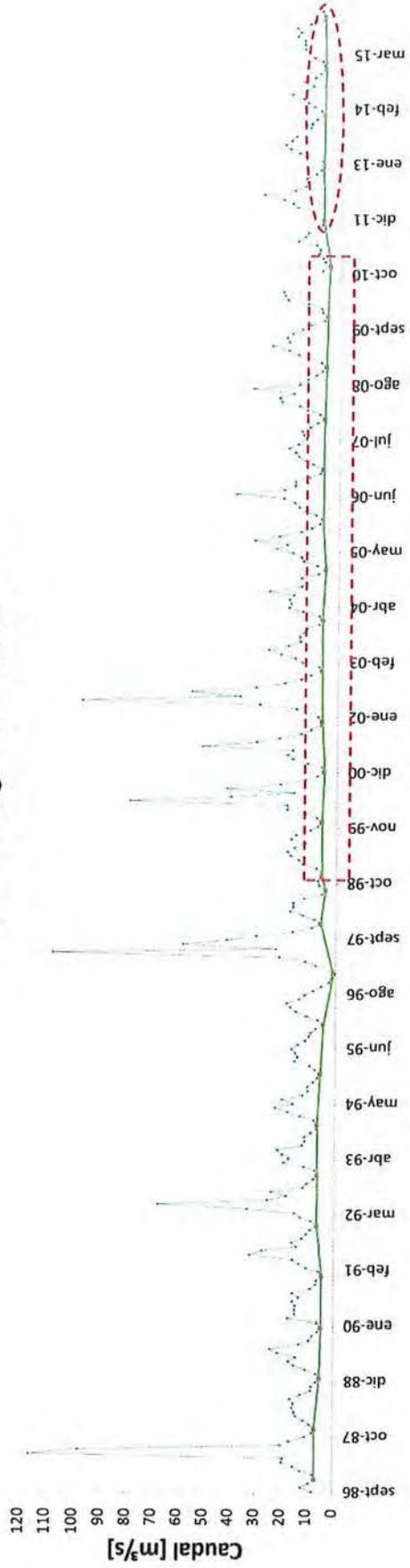


Figura 5-15 Caudales mínimos medios mensuales en estación Estero Puangue en Ruta 78 y efecto central Mallarauco

Fecha	Caudal [m ³ /s]
ene-87	6,87
ene-88	6,84
ene-89	5,07
ene-90	4,52
ene-91	4,39
ene-92	6,39
ene-93	6,35
ene-94	6,54
ene-95	5,57
ene-96	4,29
ene-97	0,79
ene-98	5,7
sep-98	3,93
dic-98	5,32
ene-00	5,54
ene-01	4,72
ene-02	5,71
ene-03	5,95
ene-04	5,83
ene-05	4,87
ene-06	5,98
ene-07	5,9
ene-08	5,52
ene-09	5,1
ene-10	4,83
ene-11	4,07
dic-11	6,5
ene-13	6,61
ene-14	6,39
ene-15	6,1
ene-16	6,57

Cuadro 5-18 Caudales mínimos mensuales Estación Estero Puangue en Ruta 78

Es del caso destacar que el caudal más bajo de los mínimos corresponde excepcionalmente a 0,79 m³/s (0,8 m³/s), el que se produce en enero de 1997, como consecuencia de una extrema sequía en la zona manifestada durante el año 1996, y en la cual, a petición de la totalidad de las organizaciones de regantes del segundo sector del estero Puangue, se realizó una intervención oficial por parte de la DGA, con el objetivo de redistribuir los recursos hídricos superficiales del sector. La solicitud de intervención se fundamentó en la severa disminución de los recursos hídricos superficiales por efecto de la sequía y la existencia de numerosas extracciones ilegales, tanto en el lecho mismo del estero como en sus cauces afluentes.

Exceptuando la sequía del 96, el comportamiento de los caudales mínimos en la estación Estero Puangue en Ruta 78, es bastante estable. Sin embargo es posible notar que a partir de diciembre de 2011 el valor de estos mínimos sube (ver Figura 5-15).

Tomando el promedio del último periodo y del periodo estable anterior, se tiene que, en el periodo [dic-1998 a ene-2011] el caudal promedio de los mínimos es de 5,33 m³/s y para el periodo [dic-2011 a ene-2016] el caudal promedio de los mínimos es de 6,43 m³/s. con una diferencia de 1,1 m³/s.

Cabe notar que la fecha en que se produce el alza generalizada de caudales mínimos en la estación Estero Puangue en Ruta 78, coincide con la puesta en marcha de la central hidroeléctrica de pasada Mallarauco. La que ha generado desde junio de 2011 a la fecha. El caudal promedio mensual, para los meses coincidentes con los mínimos en la estación Fluiométrica estero Puangue en Ruta 78 (Cuadro 5-19) alcanza los 1,9 m³/s.

Fecha	Caudales medios de generación [m ³ /s]
ene-12	1,8
ene-13	1,9
ene-14	2,0
ene-15	1,8
ene-16	1,9
ene-17	1,9
Mínimo	1,8
Promedio	1,9
Máximo	2,0

Cuadro 5-19 Caudales medios de generación en Central Mallarauco para fechas coincidentes con los mínimos en estación estero Puangue en Ruta 78 (fuente: Comisión Nacional de Energía, Estadísticas de generación de centrales)

Recordemos que después de turbinar, la central Mallarauco entrega su caudal al estero La Higuera a través de un canal de descarga. Esta agua sigue su recorrido aguas abajo donde existen varias tomas para riego hasta llegar al estero Puangue donde sigue su camino hasta la estación Fluiométrica estero Puangue en Ruta 78. De acuerdo a la estadística de la Comisión Nacional de Energía (CNE), la central ha generado ininterrumpidamente desde junio de 2011, y sólo ha parado algunas semanas al año para la mantención de los equipos, alrededor de un 3% del tiempo total de generación (2.138 días de generación, 72 días sin generar), su caudal promedio de generación ha sido de 2 m³/s., prácticamente constante todo el tiempo.

Por su parte, el agua que ingresa a la cuenca es ocupada en riego, otra parte se incorpora al acuífero y otra se pierde en procesos de evaporación desde el suelo y de los escurrimientos superficiales.

Existen tres posibilidades para explicar el aumento de los caudales mínimos en la estación Fluviométrica: (1) Un aumento debido a una mayor captación en bocatomas de los canales Mallarauco, San José, Picano y Puangue, la justificación de este aumento se debería a un aumento en la superficie de riego. (2) un aumento en el flujo subterráneo desde el río Maipo, entrante por la zona de Melipilla, aumentando los afloramientos y (3) el aumento de los caudales promedio de ingreso al valle de Mallarauco debido a que la central intenta generar el mayor tiempo posible.

La hipótesis (1) se descarta por dos razones: la primera, de acuerdo a la información de los censos agrícolas de 1997 y 2007, es que la superficie de riego ha aumentado significativamente sólo en el sector de Puangue Medio (20% más) en las otras se mantiene y ha tendido a disminuir en Puangue Bajo, por tanto sólo existe una mayor demanda en Puangue Medio, sin embargo, el caudal de entrada a la cuenca de Puangue Medio ha sido el mismo, 10,2 m³/s generados por la Central Carena. Por tanto se ha regado mayor superficie en Puangue Medio con la misma agua adicional, es decir, aumentó la eficiencia o se está utilizando más agua subterránea, de cualquier forma las dos alternativas inciden en una merma de la salida de flujo subterráneo y afloramiento y no tiene un gran impacto en los caudales medidos a la salida de la cuenca. Los canales Las Mercedes, Mallarauco y San José, así como parte del Picano toman sus aguas en el río Mapocho en el orden mencionado. El caudal estival del río Mapocho en el periodo de análisis (Figura 5-16) está muy cercano a 10 m³/s, por tanto en este periodo existen menos posibilidades de captar más del promedio histórico. La segunda hipótesis también se descarta esgrimiendo las mismas razones de la disminución de los caudales medios mensuales en el río Mapocho, lo que no podría generar un flujo pasante mayor que el promedio histórico en el sector de Melipilla y por tanto no se deberían generar mayores afloramientos inducidos.

Entonces la generación permanente en la central Mallarauco provoca un aumento de los caudales mínimos a la salida de la cuenca.

El análisis en plena demanda máxima de caudal, y época estival, nos asegura que este efecto se debe a la operación o manejo del agua en la cuenca. Dado que el promedio entregado por la central es de 1,9 m³/s y el aumento en la estación es de 1,1 m³/s, se han perdido 0,8 m³/s en el camino, pudiéndose haber consumido o incorporado al acuífero.

De todas maneras, el aumento de caudal manifestado en la salida de la cuenca es del mismo orden que el promedio turbinado en Mallarauco, confirmando con esto que la permeabilidad de los primeros horizontes de suelos del valle de Mallarauco y Puangue Bajo sobre Ruta 78 es baja, tal como se manifiesta en el análisis de la geología regional realizada en el capítulo 4. De acuerdo al análisis geológico (Figura 4-1, secuencia PI3t), desde la mitad del valle de Puangue Medio hacia aguas abajo, incluyendo el valle de Mallarauco y de Puangue Bajo, se extiende sobre ellos una capa de cenizas de origen volcánico denominada en el sector; ignimbrita Pudahuel, la que semi-impermeabiliza gran parte de la zona, formando un acuífero superficial de poca potencia y baja permeabilidad, que interactúa rápidamente con la hidrología separado de otro más profundo.

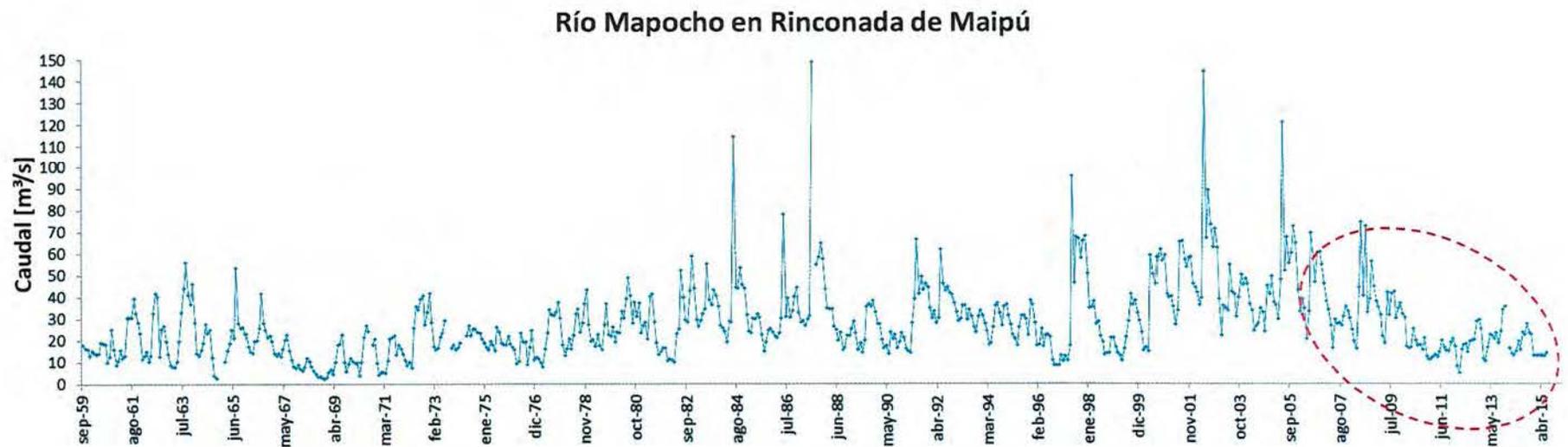


Figura 5-16 Caudales medios mensuales estación Río Mapocho en Rinconada de Maipú

5.3.2.1 AFOROS EN LA CUENCA DE PUANGUE

Estuvieron disponibles para el análisis dos campañas de aforos, una realizada en el desarrollo del reporte DGA/IPLA-1993 y la otra realizada por la DGA con motivo de la intervención efectuada por el Servicio el verano 1996/97 en la cuenca de Puangue Medio.

DGA/IPLA-1993.

Con la finalidad de conocer el funcionamiento de la hoya del estero Puangue, el estudio del reporte DGA/IPLA-1993, consideró la materialización de tres corridas de aforos. La primera de ellas se efectuó los días 24 y 25 de septiembre de 1992, la segunda el 10 y 11 de octubre de 1992 y la tercera el día 10 de noviembre de 1992. Se materializaron 58 aforos en 36 puntos diferentes a lo largo del estero Puangue, desde la cabecera hasta la zona de desembocadura (Figura 5-17, Figura 5-18 y Figura 5-19).

Existen cinco estaciones meteorológicas que caracterizan la lluvia al interior de la cuenca del estero Puangue (Figura 5-1). El Cuadro 5-20, muestra el tiempo transcurrido y el monto de lluvia de la última tormenta antes de cada aforo realizado en el desarrollo del estudio DGA/IPLA-1993.

Días después de la última tormenta						
Fecha Aforo	Mandante	Colliguay (Altos de Puangue)	Los Panguiles (Puangue Medio)	Ibacache Alto (Puangue Medio)	Mallarauco (La Higuera)	Estero Puangue en Ruta 78 (Puangue Bajo)
24-sep-92	DGA/IPLA-1993	7	7	7	7	7
25-sep-92	DGA/IPLA-1993	8	8	8	8	8
10-oct-92	DGA/IPLA-1993	23	23	23	23	23
11-oct-92	DGA/IPLA-1993	24	24	24	24	24
10-nov-92	DGA/IPLA-1993	0	0	54	0	54

Agua caída en la última tormenta [mm]						
Fecha Aforo	Mandante	Colliguay (Altos de Puangue)	Los Panguiles (Puangue Medio)	Ibacache Alto (Puangue Medio)	Mallarauco (La Higuera)	Estero Puangue en Ruta 78 (Puangue Bajo)
24-sep-92	DGA/IPLA-1993	40,1	25	34,5	23,5	23
25-sep-92	DGA/IPLA-1993	40,1	25	34,5	23,5	23
10-oct-92	DGA/IPLA-1993	40,1	25	34,5	23,5	23
11-oct-92	DGA/IPLA-1993	40,1	25	34,5	23,5	23
10-nov-92	DGA/IPLA-1993	7,5	5,5	34,5	6,5	23

Cuadro 5-20 Monto de lluvia y tiempo transcurrido desde la última tormenta antes de cada aforo del estudio DGA/IPLA-1993

Es posible notar que la primera campaña de aforos (23 y 24 de septiembre de 1992), está muy influenciada por la lluvia antecedente, la que ocurrió sólo hace una semana con montos importantes de lluvia, de entre 25 a 40 mm de agua caída en las estaciones que caracterizan la cuenca. Lo mismo sucede con la corrida de aforos realizada el 10 de noviembre de 1992, la cual se realizó al día siguiente de la última lluvia, sin embargo, en esta ocasión, los montos de lluvia son menores, de entre 5 a 8 mm de agua caída, y no precipitó sobre toda la cuenca, como lo muestra la estación Ibacache Alto y Estero Puangue en Ruta 78, las que no acusan precipitación desde hace 54 días. Por lo tanto, de las tres campañas, los aforos de los días 10 y 11 de octubre tienen una menor influencia debida a la lluvia. El Cuadro 5-21, muestra los valores de los caudales obtenidos en todos los aforos realizados.

Las conclusiones del reporte DGA/IPLA-1993 mencionan que, hasta Curacaví, el aumento de caudal es equivalente al aumento de la superficie drenada, pero, a partir de ese punto comienzan las descargas y derrames que incrementan fuertemente el caudal del estero. Este aumento es aún más fuerte en la parte baja del estero, y se estima que se debe en gran parte a afloramientos de la napa subterránea dado que en esa parte el valle se estrecha al igual que el valle del río Maipo en el cual desemboca el estero Puangue. También este aumento puede deberse a la descarga de los canales provenientes del río Maipo.

Además se indica en el mismo reporte que, desde el análisis de la segunda corrida de aforos (Cuadro 5-22), la menos influenciada por las lluvias precedentes, es posible observar que hasta el puente Chorombo, aguas arriba del Estero Las Higueras, no existen casi pérdidas o recuperaciones y la variación del caudal se debería, en su mayor parte, a las descargas directas del canal Las Mercedes y de la Planta Carena, a los derrames de las superficies regadas por ese canal y a los canales que extraen aguas del estero Puangue, pero aguas abajo del estero Peralillo, a pesar de que casi no existe ningún estero afluente de importancia, ni descargas definidas, el caudal aumenta casi en un 100%, lo que indicaría, que en esta zona se producen afloramientos y recuperaciones de la napa (Figura 5-20).

UBICACIÓN AFORO	FECHA	CAUDAL [m ³ /s]
CANAL CORRAL VIEJO	24-sep-92	SECO
PUANGUE EN BOQUERON	24-sep-92	1,040
PUANGUE EN BOQUERON	10-oct-92	0,950
CANAL EL MOLINO	24-sep-92	SECO
CANAL DELAVEAU	24-sep-92	SECO
CANAL POTRERO LARGO	24-sep-92	SECO
CANAL EL TORO	24-sep-92	0,058
CANAL ALHUÉ	24-sep-92	0,015
CANAL LA BOMBA	24-sep-92	SECO
CANAL LOS JOTES	24-sep-92	SECO
CANAL POLVILLÓ	24-sep-92	0,061
CANAL CURACAVÍ O DEL PUEBLO	24-sep-92	SECO
ESTERO ZAPATA	10-nov-92	SECO
PUANGUE SOBRE ESTERO CUYUNCAVÍ	24-sep-92	4,992
PUANGUE SOBRE ESTERO CUYUNCAVÍ	10-oct-92	3,773
PUANGUE BAJO ESTERO CUYUNCAVÍ	24-sep-92	5,121
PUANGUE BAJO ESTERO CUYUNCAVÍ	10-oct-92	3,825
PUANGUE BAJO ESTERO CUYUNCAVÍ	10-nov-92	0,613
CANAL MADRILANO	24-sep-92	0,192
CANAL MADRILANO	10-oct-92	0,331
DERRAMES BAJO CANAL MADRILANO	10-oct-92	0,461
DESCARGA DE CANAL LAS MERCEDES	24-sep-92	0,272
DESCARGA DE CANAL LAS MERCEDES	10-oct-92	0,297
CANAL SANTA EMILIA	24-sep-92	0,335
CANAL SANTA EMILIA	10-oct-92	0,883
CANAL CANCHA DE PIEDRA	24-sep-92	SECO
CANAL CANCHA DE PIEDRA	10-oct-92	0,179
PUANGUE SOBRE DESAGUE PLANTA CARENA	24-sep-92	5,692
PUANGUE SOBRE DESAGUE PLANTA CARENA	10-oct-92	3,763
PUANGUE BAJO DESAGUE PLANTA CARENA	24-sep-92	9,408
PUANGUE BAJO DESAGUE PLANTA CARENA	10-oct-92	8,886
DESCARGA (DERRAMES) AL PUANGUE	24-sep-92	1,000
DESCARGA (DERRAMES) AL PUANGUE	11-oct-92	0,952
CANAL MARÍA PINTO	25-sep-92	SECO
CANAL MARÍA PINTO	10-oct-92	0,250
CANAL MARÍA PINTO	11-oct-92	0,342
CANAL EL ROSARIO	25-sep-92	SECO
CANAL EL ROSARIO	11-oct-92	0,587
CANAL EL ROSARIO	15-oct-92	0,495
CANAL TELLERY	15-oct-92	0,134
PUANGUE SOBRE AMESTICA	10-nov-92	3,691
PUANGUE EN PUENTE CHOROMBO	25-sep-92	27,090
PUANGUE EN PUENTE CHOROMBO	11-oct-92	8,022
PUANGUE EN PUENTE CHOROMBO	10-nov-92	5,730
ESTERO LAS HIGUERAS	11-oct-92	3,499
PUANGUE BAJO ESTERO LAS HIGUERAS	25-sep-92	27,869
PUANGUE BAJO ESTERO LAS HIGUERAS	11-oct-92	11,521
PUANGUE SOBRE ESTERO PERALILLO	25-sep-92	29,522
PUANGUE SOBRE ESTERO PERALILLO	11-oct-92	12,761
PUANGUE BAJO ESTERO PERALILLO	25-sep-92	31,641
PUANGUE BAJO ESTERO PERALILLO	11-oct-92	16,205
ESTERO LA LÍNEA	10-nov-92	0,788
PUANGUE SOBRE CANAL PUANGUE	10-oct-92	0,666
DESCARGA CANAL PUANGUE	10-oct-92	3,114
CANAL SAN DIEGO	11-oct-92	1,980
PUANGUE EN RUTA 78	25-sep-92	32,902
PUANGUE EN RUTA 78	11-oct-92	27,394
PUANGUE EN RUTA 78	10-nov-92	18,576

Cuadro 5-21 Aforos en cuenca del estero Puangue (DGA/IPLA-1993)

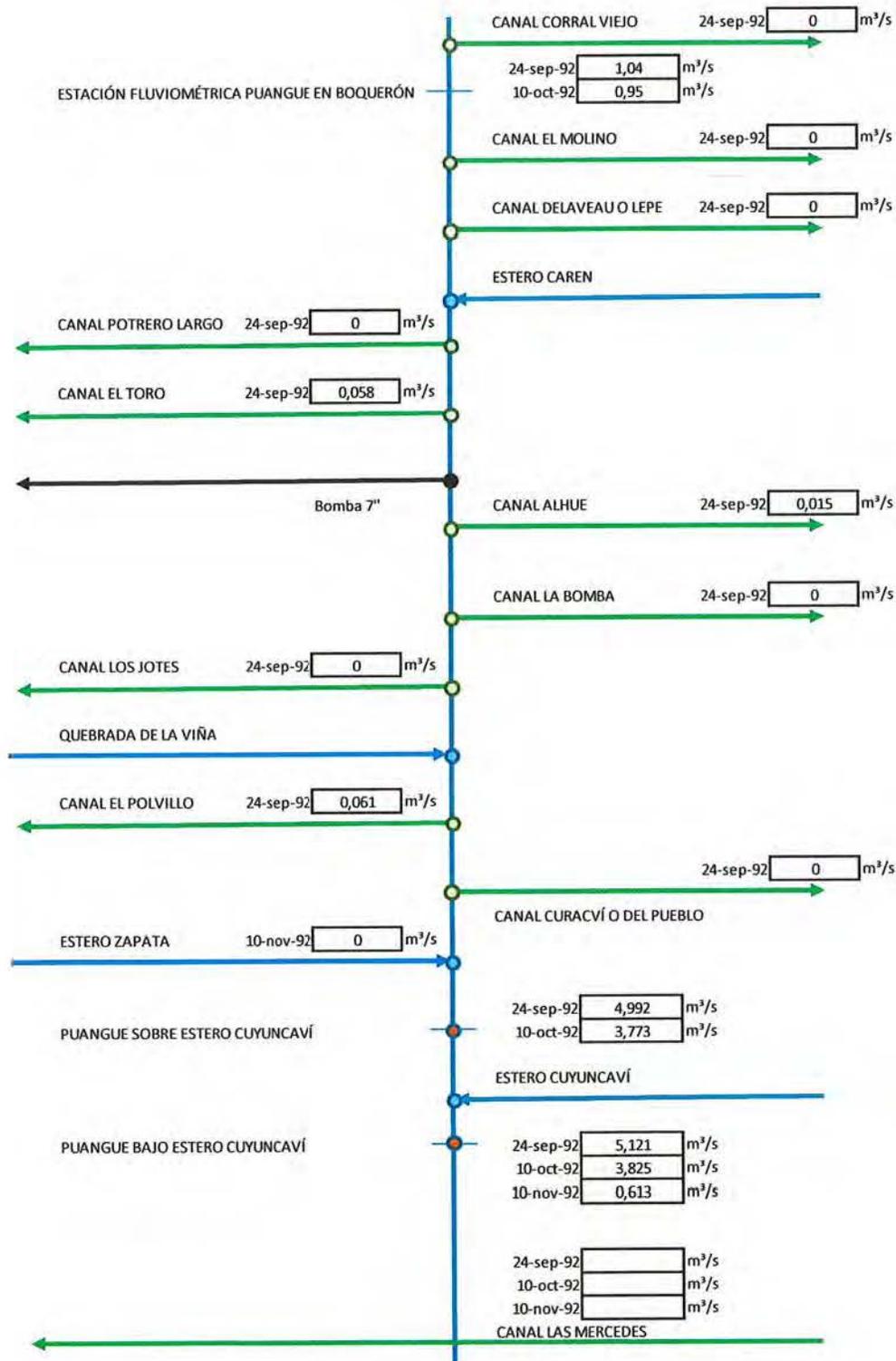


Figura 5-17 Diagrama Corrida de aforos DGA/IPLA-1993 1/3

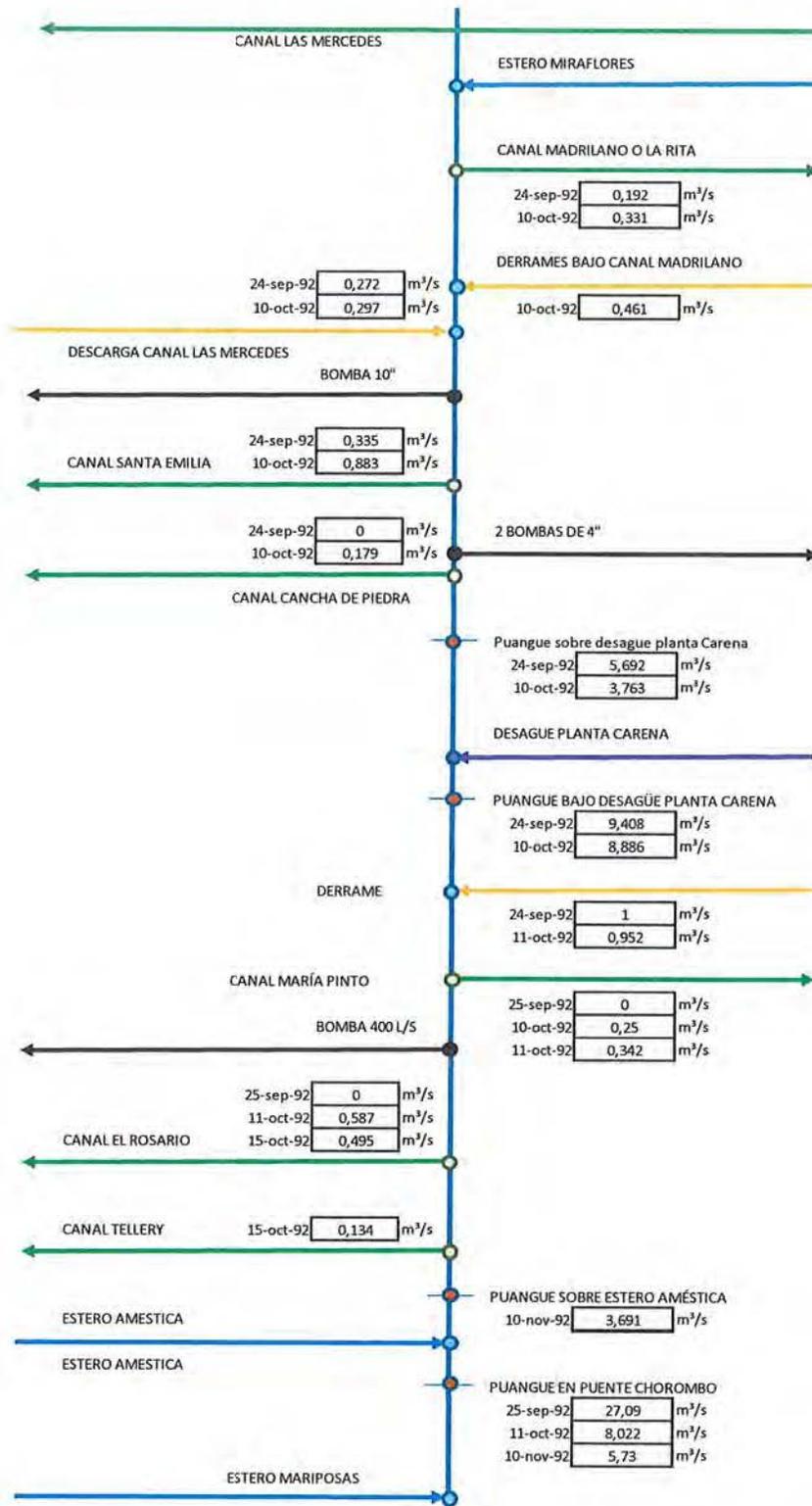


Figura 5-18 Diagrama Corrida de aforos DGA/IPLA-1993 2/3

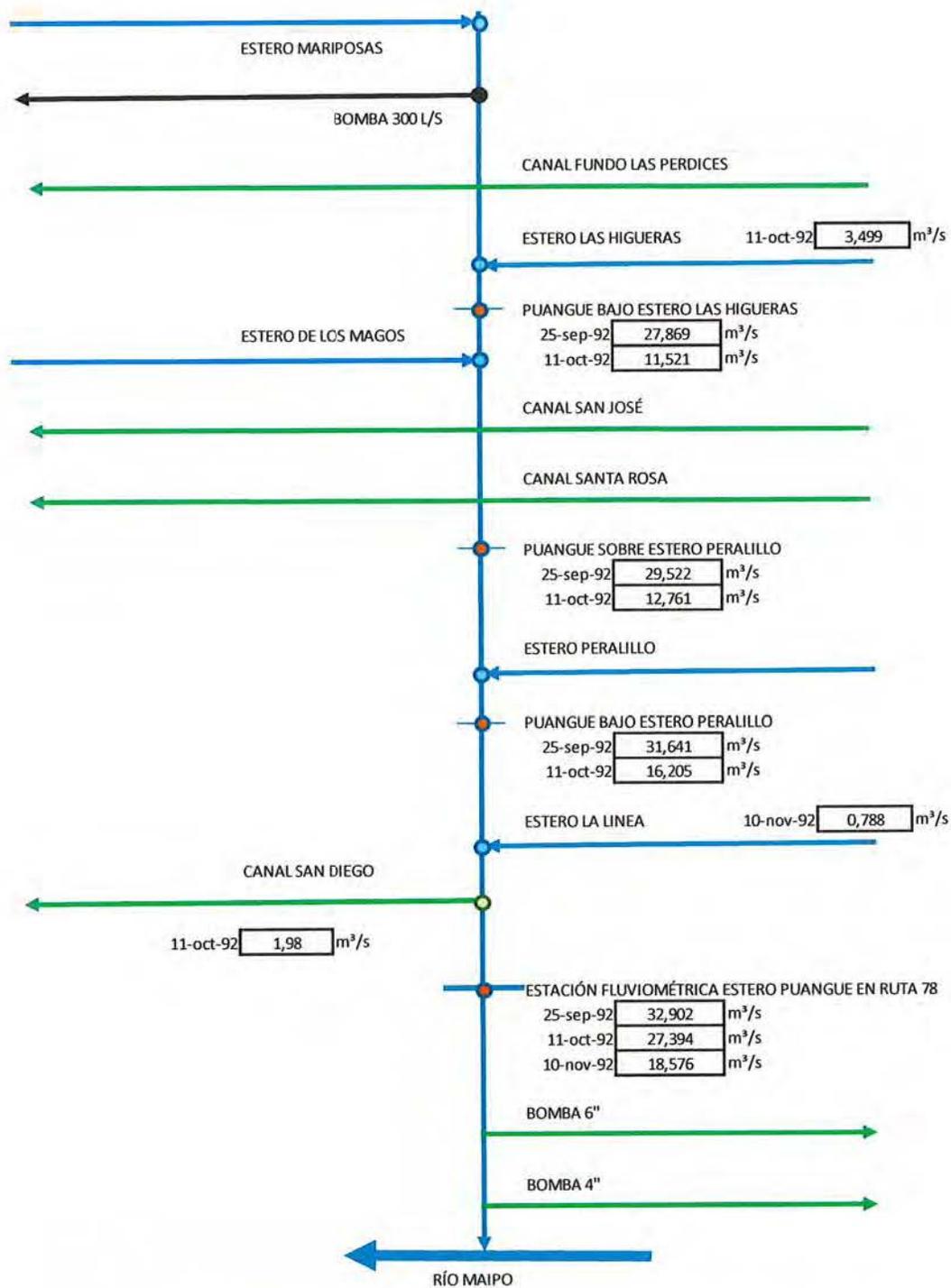


Figura 5-19 Diagrama Corrida de aforos DGA/IPLA-1993 3/3

Ubicación	Kilómetro	(+) Aportes y (-) Entregas	Caudal Puangue		
			medido [m ³ /s]	Calculado [m ³ /s]	Diferencia [m ³ /s]
Puangue bajo estero Cuyuncavi	0,00		3,825	3,825	
Canal Madrilano	7,00	-0,331			
Derrames bajo Canal Madrilano	7,05	0,461			
Descarga canal Las Mercedes	9,30	0,297			
Canal Santa Emilia	9,90	-0,883			
Canal Cancha de Piedra	12,10	-0,179			
Desagüe Planta Carena	14,00	5,123			
Puangue bajo desagüe Planta Carena	14,00		8,886	8,313	0,573
Descarga (derrames) al Puangue	15,00	0,952			
Canal María Pinto	17,00	-0,342			
Canal El Rosario	20,80	-0,587			
Puangue en Puente Chorombo	33,10		8,022	8,909	-0,887
Estero La Higuera	36,20	3,499			
Puangue bajo estero La Higuera	36,20		11,521	11,521	0,000
Estero Peralillo	45,20	3,444			
Puangue bajo estero Peralillo	15,20		16,205	14,965	1,240
Canal San Diego	50,20	-1,980			
Puangue en Ruta 78	53,10		27,394	14,225	13,169

Cuadro 5-22 Análisis de aforos realizados en estero Puangue los días 10 y 11 de octubre de 1992 (DGA/IPLA-1993)

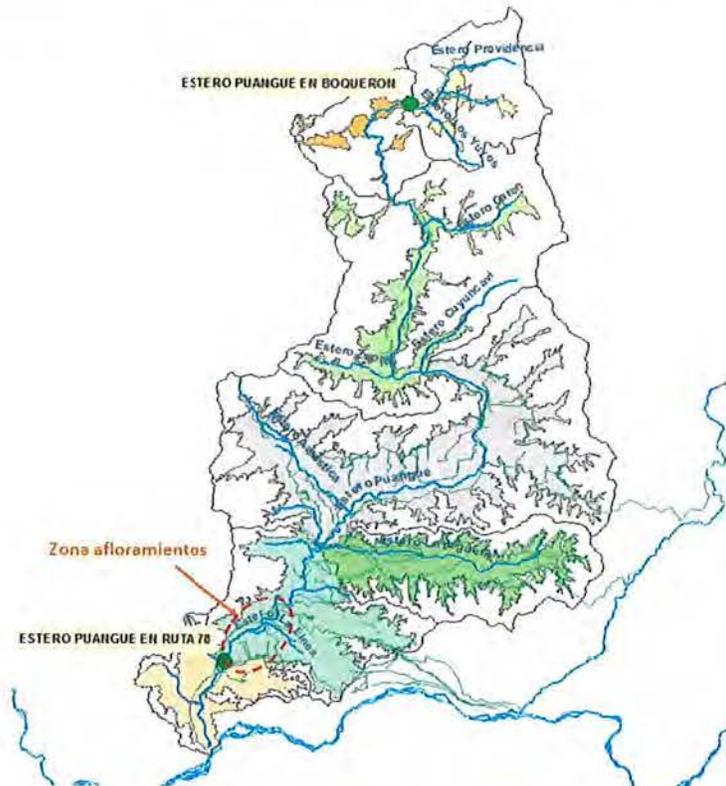


Figura 5-20 Zona de afloramiento debido al análisis de aforos del estudio DGA/IPLA-1993

DGA, INTERVENCIÓN PUANGUE MEDIO (1996)

El 21 de noviembre de 1996, la totalidad de las organizaciones de regantes del segundo sector del Estero Puangue, solicitó la intervención del cauce del estero Puangue, a fin de que la DGA se hiciera cargo de la distribución del recurso hídrico entre los usuarios con derechos.

La solicitud de intervención se fundamentó en la severa disminución de los recursos por efecto de la sequía y la existencia de numerosas extracciones ilegales, tanto en el lecho mismo del estero como en sus cauces afluentes.

En enero de 1997 se dispuso, por parte de la DGA, la intervención de la segunda sección del estero Puangue. Para esto se realizó un estudio de derechos de regantes y canales, además de una campaña de terreno permanente para definir las curvas de descarga de los canales involucrados y detectar extracciones clandestinas.

Lo anterior derivó en la definición de tres sectores al interior de la segunda sección del estero Puangue:

1. Primer sector formado por los canales Santa Rita (o Madrilano), Santa Emilia y Lo Ovalle, cuyos recursos dependen de recuperaciones de riego y de derrames, y que no presentan problemas de distribución por tener mecanismos de control en sus bocatomas.
2. Segundo sector, formado por el sistema de drenaje que termina en el desagüe La Laguna, cuyos derechos están expresados en porcentajes del caudal total. Dentro de este sistema se distinguen dos subsectores, que tienen ambos derechos a agotar completamente (100%) los recursos del sistema en sus puntos de captación.
3. Tercer sector formado por los canales María Pinto y Rosario, este último canal comparte bocatoma con el canal Tellery.

De acuerdo a los resultados de la campaña de terreno y de los estudios de derechos, se decidió intervenir solo el tercer sector.(Figura 5-21) La materialización del reparto de los recursos hídricos superficiales, derivó en la instalación de limnigrafos en el desagüe La Laguna, en una sección del Canal María Pinto y en el estero Puangue en donde se localiza el puente Ranchillo inmediatamente aguas arriba de la Bomba Hurtado he implementándose turnos de riego para los regantes del sector intervenido.

ESTERO PUANGUE SEGUNDA SECCION



Figura 5-21 Diagrama de Sector intervenido en la segunda sección del estero Puangue (Informe intervención DGA)

Del estudio de títulos y la información de terreno, fue posible establecer las capacidades de los canales y sus derechos asociados (Cuadro 5-23).

Canal	Capacidad canal [l/s]	Derechos [acciones]	Número Regantes	Hectáreas regadas
Santa Emilia	1.400	400	31	
Lo Ovalle	1.400	500	54	500
María Pinto	700	300	62	
Bomba Hurtado	400	400 (*)	1	300
Rosario	1.300	150	30	400
Tellery	140	25	1	120

(*) Derechos en desagüe La Laguna que se captan en el estero Puangue

Cuadro 5-23 Derechos legalmente constituidos en segundo sector

La campaña de aforos se realizó en 18 días distribuidos en los meses de diciembre de 1996, enero y febrero de 1997. Los cuadros Cuadro 5-24 y Cuadro 5-25 muestran el número de días sin precipitación y el agua caída de la última tormenta antes del aforo.

Estaciones meteorológicas en la cuenca del estero Puangue						
Número de días despues de la última tormenta antes del aforo						
Fecha Aforo	Mandante	Colliguay (Altos de Puangue)	Los Panguiles (Puangue Medio)	Ibacache Alto (Puangue Medio)	Mallarauco (La Higuera)	Esteros Puangue en Ruta 78 (Puangue Bajo)
11-dic-96	DGA/sequía	2	63	109	2	66
08-ene-97	DGA/sequía	30	91	137	30	94
09-ene-97	DGA/sequía	31	92	138	31	95
11-ene-97	DGA/sequía	33	94	140	33	97
12-ene-97	DGA/sequía	34	95	141	34	98
13-ene-97	DGA/sequía	35	96	142	35	99
16-ene-97	DGA/sequía	38	99	145	38	102
17-ene-97	DGA/sequía	39	100	146	39	103
18-ene-97	DGA/sequía	40	101	147	40	104
29-ene-97	DGA/sequía	51	112	158	51	115
30-ene-97	DGA/sequía	52	113	159	52	116
31-ene-97	DGA/sequía	53	114	160	53	117
04-feb-97	DGA/sequía	57	118	164	57	121
10-feb-97	DGA/sequía	63	124	170	63	127
11-feb-97	DGA/sequía	64	125	171	64	128
13-feb-97	DGA/sequía	66	127	173	66	130
14-feb-97	DGA/sequía	67	128	174	67	131
18-feb-97	DGA/sequía	71	132	178	71	135

Cuadro 5-24 Número de días sin precipitación antes de cada aforo

Estaciones meteorológicas en la cuenca del estero Puangue						
Agua caída en la última tormenta antes del aforo [mm]						
Fecha Aforo	Mandante	Colliguay (Altos de Puangue)	Los Panguiles (Puangue Medio)	Ibacache Alto (Puangue Medio)	Mallarauco (La Higuera)	Esteros Puangue en Ruta 78 (Puangue Bajo)
11-dic-96	DGA/sequía	1,2	0,9	38	2	4
08-ene-97	DGA/sequía	1,2	0,9	38	2	4
09-ene-97	DGA/sequía	1,2	0,9	38	2	4
11-ene-97	DGA/sequía	1,2	0,9	38	2	4
12-ene-97	DGA/sequía	1,2	0,9	38	2	4
13-ene-97	DGA/sequía	1,2	0,9	38	2	4
16-ene-97	DGA/sequía	1,2	0,9	38	2	4
17-ene-97	DGA/sequía	1,2	0,9	38	2	4
18-ene-97	DGA/sequía	1,2	0,9	38	2	4
29-ene-97	DGA/sequía	1,2	0,9	38	2	4
30-ene-97	DGA/sequía	1,2	0,9	38	2	4
31-ene-97	DGA/sequía	1,2	0,9	38	2	4
04-feb-97	DGA/sequía	1,2	0,9	38	2	4
10-feb-97	DGA/sequía	1,2	0,9	38	2	4
11-feb-97	DGA/sequía	1,2	0,9	38	2	4
13-feb-97	DGA/sequía	1,2	0,9	38	2	4
14-feb-97	DGA/sequía	1,2	0,9	38	2	4
18-feb-97	DGA/sequía	1,2	0,9	38	2	4

Cuadro 5-25 Agua caída en la última tormenta antes del aforo

Se puede apreciar que sólo en las cuencas de Altos de Puangue y el valle de Mallarauco, llovió dos días antes de realizar el aforo, los montos de precipitación son escasos 1,2 y 2 mm respectivamente (Cuadro 5-25) por tanto su influencia no debería ser tan importante ya que los aforos se realizaron en el valle de Puangue Medio (Cuadro 5-26).

UBICACIÓN	FECHA	CAUDAL [l/s]
Canal Santa Rita	11/12/96 10:35	131
Canal Santa Emilia	11/12/96 11:45	216
Canal Lo Ovalle	11/12/96 17:35	125
Dren La Laguna	11/12/96 18:10	437
Canal María Pinto	11/12/96 16:40	260
Captación Hurtado	11/12/96 15:50	125
Canal Tellery	11/12/96 15:10	64
Canal Rosario	11/12/96 0:00	0

Cuadro 5-26 Aforos realizados el 11-dic-1996 (Tabulados en informe intervención DGA)

Los otros aforos realizados a partir del 8 de enero de 1997 se efectuaron después de más de 30 días desde la última lluvia caída, por tanto, la precipitación antecedente no tiene influencia sobre ellos. Los cuadros Cuadro 5-27 y Cuadro 5-28 muestran los resultados de la campaña de aforos indicados en el informe de intervención de la DGA., y la Figura 5-22 muestra un diagrama con los resultados de los aforos realizados el día 11 de diciembre de 1996 (informe de intervención DGA)

UBICACIÓN	FECHA	CAUDAL [m ³ /s]
Canal Tellery	11/12/96 15:10	0,064
Canal Tellery	08/01/97 15:23	0,030
Canal Tellery	11/01/97 0:00	0,000
Canal Tellery	16/01/97 0:00	0,000
Canal Rosario	11/12/96 0:00	0,000
Canal Rosario	08/01/97 0:00	0,000
Canal Rosario	11/01/97 0:00	0,000
Canal Rosario	16/01/97 0:00	0,000
Canal Rosario + Tellery	29/01/97 18:00	0,051
Canal Rosario + Tellery	30/01/97 8:00	0,069
Canal Rosario + Tellery	31/01/97 9:00	0,091
Canal Rosario + Tellery	04/02/97 8:00	0,106
Canal Rosario + Tellery	10/02/97 14:00	0,118
Canal Rosario + Tellery	11/02/97 9:00	0,127
Canal Rosario + Tellery	13/02/97 18:00	0,084
Canal Rosario + Tellery	14/02/97 9:00	0,146
Canal Rosario + Tellery	18/02/97 11:00	0,214
Dren La Laguna en cruce desagüe Carena, aguas abajo captación Sr. Arrau	13/01/97 10:00	0,317
Captación Samuel Ovalle en 4"	13/01/97 9:00	0,009
Captación Samuel Ovalle en 6"	13/01/97 9:30	0,054
Estero Puangue Aguas arriba captación Sr. Hurtado	16/01/97 12:50	0,308
Estero Puangue Aguas abajo captación Sr. Hurtado	16/01/97 13:20	0,048
Captación Sr. Hurtado en canal conducción	17/01/97 16:50	0,075

Cuadro 5-27 Aforos segunda sección Puangue, Intervención DGA-1996



Figura 5-26 Variación estacional del caudal disponible bajo canal Las Mercedes

Los resultados indican que los caudales bajo canal Las Mercedes y que aportan al flujo del cauce del estero Puangue se mantienen por sobre los 2,1 m³/s desde septiembre a enero, decreciendo luego linealmente hasta los 0,1 m³/s.

Esencialmente, en el periodo septiembre-abril (periodo de riego), los caudales disponibles en el estero Puangue son en su gran mayoría provenientes de los retornos del canal Las Mercedes, pues los caudales adicionales aportados desde la cuenca de Puangue Alto, son naturalmente bajos (en promedio menores a 0,1 m³/s entre enero y mayo, y menores a 0,6 m³/s entre octubre y diciembre), todo lo anterior sin restar aún la demanda antrópica de Puangue Alto, con la cual sería aún menor el aporte desde esta cuenca a Puangue Medio.

OFERTA DE AGUA SUPERFICIAL Y DEMANDA DE CANALES

La configuración del estero Puangue permite que los canales aguas arriba de Curacaví capten toda el agua que puedan, debido a que el estero recibe el aporte de varias quebradas en su recorrido, los que en proporción al agua que lleva el estero, son importantes.

Desde la gran crecida de 1987, muchas bocatomas quedaron destruidas o colgadas, imposibilitando la captación de aguas desde el estero Puangue. Por esta razón muchos de

los canales captan sus aguas desde el estero por medio de bombas, a veces varios metros, sobre el fondo del estero.

La descarga del Canal Las Mercedes y la de la Central Carena constituyen importantes aportes a los recursos del estero Puangue en su trayecto, ésta última aporta caudales de consideración, muchas veces mayores a 5 m³/s, en relación a la cantidad de agua que lleva el estero.

Existen en el estero Puangue, bombas que captan aguas legalmente como ilegalmente y de las cuales no se tiene mucha información.

Canal	Ribera	Cuenca	Capacidad máxima canales [m ³ /s]	Superficie Regada [ha]	Derechos de aprovechamiento		Número de usuarios
					acciones	%	
CORRAL VIEJO	Izquierda	Altos de Puangue sobre Boquerón	0.08	30		100	20
EL MOLINO	Izquierda	Altos de Puangue bajo Boquerón	0.09	32		100	65
DELAVEAU O LEPE	Izquierda	Puangue Alto	0.08	40		100	5
POTRERO LARGO (1)	derecha	Puangue Alto					
DEL TORO	derecha	Puangue Alto	0.15	17		100	5
ALHUE	Izquierda	Puangue Alto	0.15	40		100	33
LA BOMBA	Izquierda	Puangue Alto	0.12	60		100	8
LOS JOTES (1)	derecha	Puangue Alto					
POLVILLO	derecha	Puangue Alto	0.22	94		100	33
CURACAVÍ O DEL PUEBLO	Izquierda	Puangue Alto	0.13	70		100	s/i
MADRILANO O SANTA RITA	Izquierda	Puangue Medio	1.14	200	350		22
SANTA EMILIA O RULANO	derecha	Puangue Medio	1.40	692	400		31
CANCHA DE PIEDRA	derecha	Puangue Medio	1.40	500	500		64
MARÍA PINTO	Izquierda	Puangue Medio	0.70	425	300		62
ROSARIO	derecha	Puangue Medio	1.30	256	150		24
SAN DIEGO	derecha	Puangue Bajo	1.98	1,200	107		14
10 BOMBAS		Puangue Bajo	0.88	s/i	s/i		8

(1) Canales en desuso

Cuadro 5-31 Capacidad máxima y superficie regada por canales del estero Puangue

Cuenca	Capacidad máxima canales + bombas [m ³ /s]	Superficie Regada [ha]	Número de usuarios
Altos de Puangue sobre Boquerón	0.08	30	20
Altos de Puangue bajo Boquerón	0.09	32	65
Puangue Alto	0.85	321	> 84
Puangue Medio	5.94	2,073	203
Puangue Bajo	2.86	> 1,200	22
TOTAL	9.82	> 3.656	> 394

Cuadro 5-32 Resumen de capacidades y superficie regada por cuenca en el estero Puangue

Por su parte la Figura 5-27, muestra las áreas de riego asociadas a las distintas fuentes de agua superficial, río Mapocho y río Maipo.

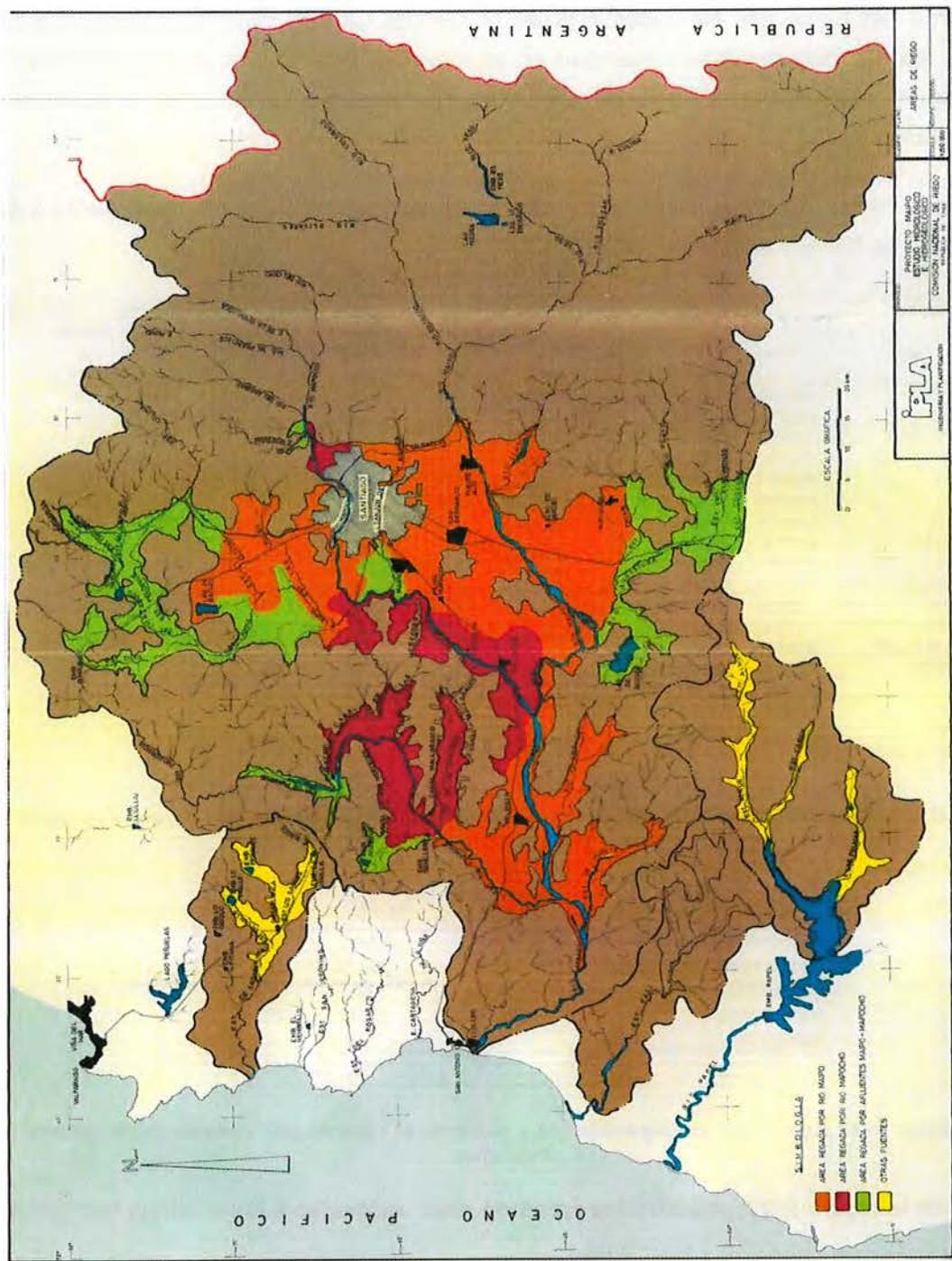


Figura 5-27 Áreas de riego y fuentes hídricas asociadas (CNR/IPLA-1984)

5.4 RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS

La información utilizada en este capítulo proviene principalmente del reporte CNR/IPLA-1984, el cual utiliza información del catastro de pozos realizado por el Departamento de Recursos Hidráulicos de CORFO de 1970 y 1975, actualizados suplementariamente por IREN-CORFO en 1980, además de antecedentes directamente obtenidos de IREN-CORFO, Dirección General de Aguas y empresas constructoras de pozos tales como CELZAC, SAACOL y CAPTAGUA. Se utiliza además una base de datos actualizada de captaciones de aguas subterráneas, proveniente del Catastro Público de Aguas (CPA) de la DGA.

5.4.1 CAPTACIONES SUBTERRÁNEAS Y EXPLOTACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

5.4.1.1 CNR/IPLA-1984

Al momento de la confección del reporte CNR/IPLA-1984 se habían construido alrededor de 61 pozos en la cuenca del estero Puangue totalizando 2.786 metros lineales de perforación y 2415 metros totales de habilitación (Cuadro 5-33 Número de pozos y situación de explotación al año 1983 en la cuenca del estero Puangue (CNR/IPLA-1984)), de aquí la profundidad promedio de los pozos alcanzan los 46 metros y el espesor esperado de masa de suelo con buenas propiedades acuíferas es del orden de 40 metros. El mayor uso corresponde a Riego (73%) seguido de Agua Potable (20%) e Industria (7%).

Total	Número de pozos			Profundidad [m]			Información de Niveles	
	Agua Potable	Riego	Industria	Perforación	Habilitación	Pozos sin información	Total de Pozos	Con Información Continua
61	8	29	3	2.786	2.415	12	14	8

Cuadro 5-33 Número de pozos y situación de explotación al año 1983 en la cuenca del estero Puangue (CNR/IPLA-1984)

De acuerdo a los datos de construcción de los pozos, en el año 1950 se tiene un total de 3 pozos construidos hasta llegar con un total de 44 en 1979. El crecimiento ha sido prácticamente lineal (Figura 5-28) a una tasa de 1 o 2 pozos por año. Es interesante notar que la sequía del año 1968/69 no incrementa notoriamente la tasa de construcción de pozos, esto puede deberse a que los valles Puangue Medio y Mallarauco, los más productivos, están suficientemente abastecidos por los canales Las Mercedes y Mallarauco para la demanda de aquella época.

No se tiene información suficiente para estimar la frecuencia de uso de los pozos para cada actividad económica. Esto se debe a la inexistencia de encuestas a usuarios para recabar

esta información. Sin embargo considerando la información de uso extractada de las encuestas directas al usuario que fueron realizadas en el valle del río Aconcagua en 1969 podemos estimar los caudales utilizados según uso en la cuenca del estero Puangue (Cuadro 5-34). De aquí la demanda total a principios de los 80s alcanza a unos 258 l/s en donde el uso de riego alcanza los 153 l/s (59,4% del caudal total), Agua Potable 104 l/s (40,3%) e industria 1 l/s (0,3%).

NUMERO DE POZOS CONSTRUIDOS A TRAVES DEL TIEMPO

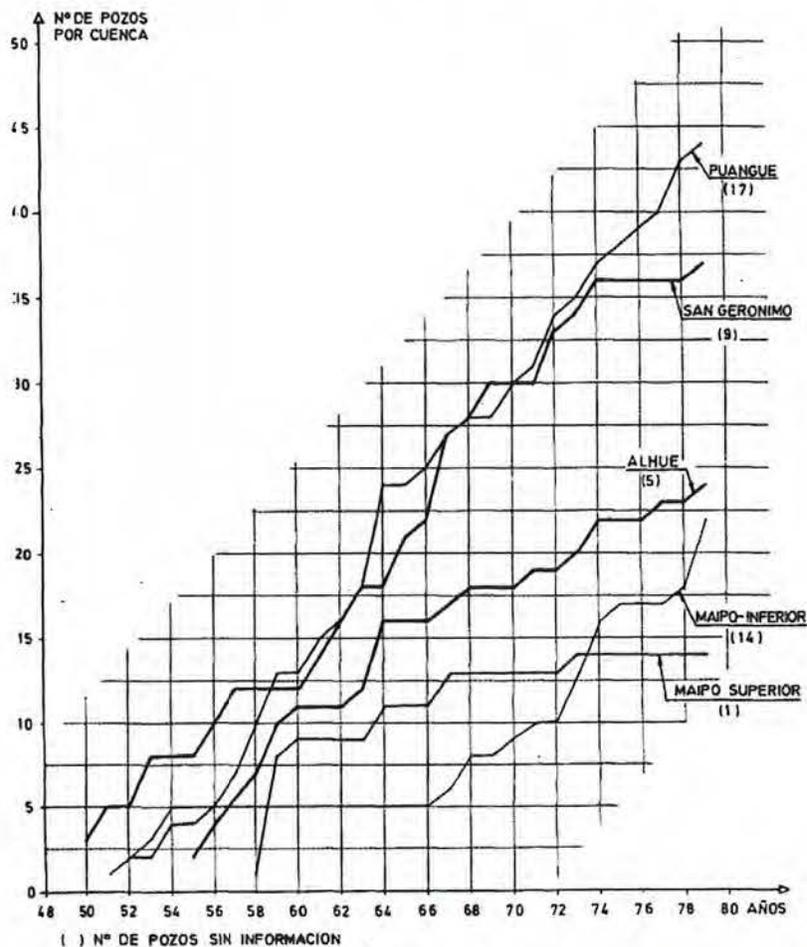


Figura 5-28 Número de pozos construidos en la cuenca del estero Puangue al año 1983 en cuencas del río Maipo (CNR/IPLA-1984)

Agua Potable			Riego			Industria			Caudal Total [l/s]
Factor	Caudal [l/s]	Pozos sin información	Factor	Caudal [l/s]	Pozos sin información	Factor	Caudal [l/s]	Pozos sin información	
0,5	104	1	0,15	153	3	0,2	1	2	258

Cuadro 5-34 Explotación de aguas subterráneas a año 1983 (CNR/IPLA-1984)

5.4.1.2 CATASTRO PÚBLICO DE AGUAS (CPA)

Se lograron extraer y ordenar 1858 registros de derechos de aguas subterráneas provenientes de los datos almacenados en el CPA para la cuenca del estero Puangue. Estos registros contienen solicitudes de derechos aprobadas (A), aprobadas provisionalmente A(P), denegadas (D), denegadas con Recurso de Reconsideración (D-RR), denegadas con recursos de Reclamación (D-RRCL), pendientes en el Departamento Legal (P-Legal), pendientes en Región (P-REG) y derechos antiguos provisionales denominados Mercedes Provisionales (M-Prov).

La base de datos considera Mercedes Provisionales ingresadas a proceso de regularización formalmente desde el año 1955 hasta la última solicitud de derecho de aprovechamiento ingresada en enero de 2016. Sólo 1.366 captaciones, de un total de 1.858, tienen coordenadas (Cuadro 5-35), las demás, sólo tienen ubicación referencial de la captación o carecen de coordenadas.

Sector Acuífero	N° de captaciones	N° Captaciones con coordenadas	N° Captaciones sin coordenadas
Altos de Puangue	74	71	3
Puangue Alto	749	520	229
Puangue Medio	730	553	177
La Higuera	153	113	40
Puangue Bajo	152	109	43
TOTAL	1.858	1.366	492

Cuadro 5-35 Número de captaciones subterráneas con y sin coordenadas en las sub-cuencas de la cuenca del estero Puangue

La Figura 5-29, muestra la distribución espacial de las captaciones con coordenadas existentes en la cuenca del estero Puangue. Se puede notar una alta concentración de captaciones en las cuencas de Puangue Alto y Puangue Medio, 749 y 730 respectivamente. Seguidas por las cuencas de La Higuera y Puangue Bajo con 153 y 152 captaciones respectivamente. Finalmente se ubica la cuenca de Altos de Puangue con 74 captaciones.

El número de captaciones subterráneas con derechos de aprovechamiento Aprobados, alcanza 621 en toda la cuenca del estero Puangue, concentrándose el 80% de ellas entre las cuencas de Puangue Alto y Puangue Medio (36% y 44% respectivamente). Del total de las captaciones con derechos aprobados, sólo el 9% tiene ubicación referencial (Cuadro 5-36)

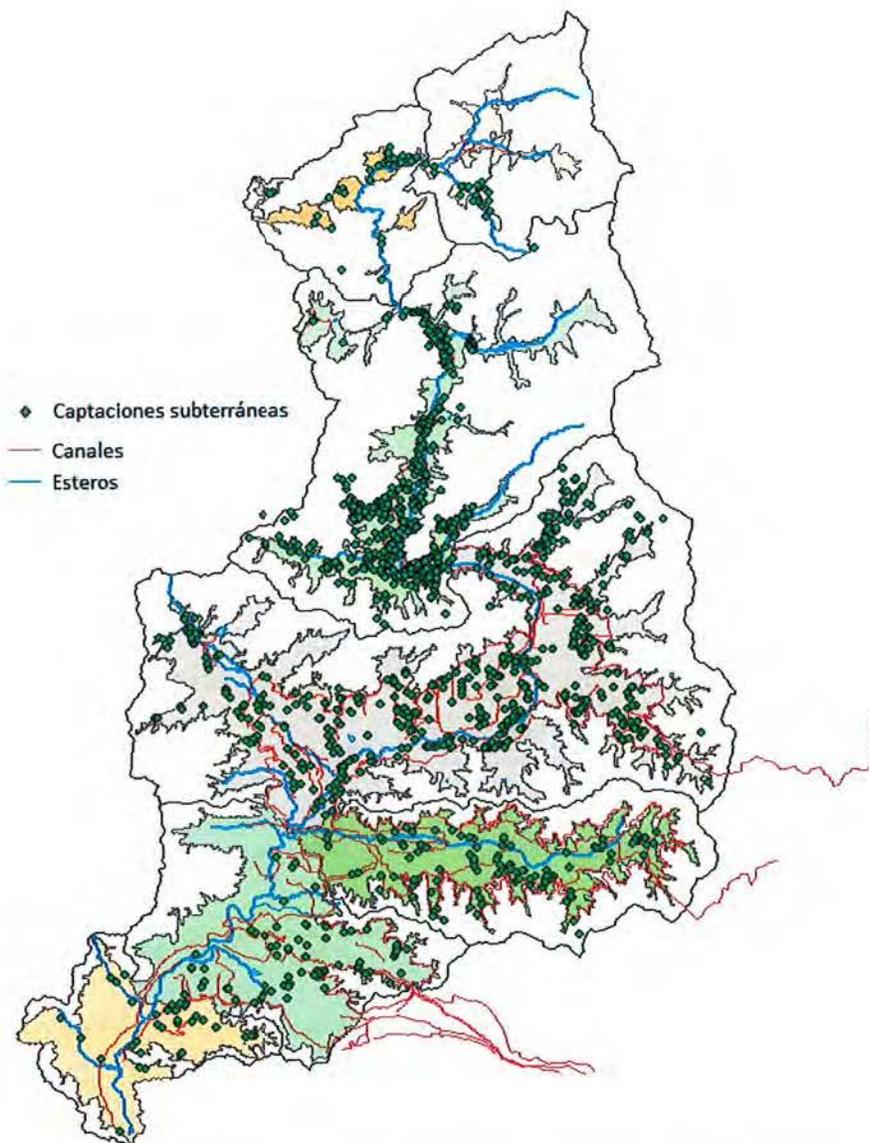


Figura 5-29 Distribución espacial de las captaciones de aguas subterráneas con coordenadas en el estero Puangue

Muchas de las perforaciones realizadas para alumbrar el agua de los acuíferos se ubican muy cercanas a fuentes de agua superficial, tanto canales como esteros y Quebradas.

Sector Acuífero	Situación administrativa	N° de captaciones	N° Captaciones con coordenadas	N° Captaciones con ubicación referencial
Altos de Puangue	A	47	47	0
Puangue Alto	A	222	195	27
Puangue Medio	A	274	250	24
La Higuera	A, A-Prov	44	41	3
Puangue Bajo	A	34	34	0
TOTAL		621	567	54

Cuadro 5-36 Número de captaciones con derechos aprobados con y sin coordenadas en la cuenca del estero Puangue

Existe un universo de 492 captaciones con ubicación referencial o definitivamente sin coordenadas. 420 se ubican dentro del grupo de solicitudes denegadas (Cuadro 5-37), 11 dentro del grupo de Pendientes en Región (P-REG) y 7 corresponden a ubicaciones referenciales de Mercedes provisionales. De lo anterior se infiere que si existen solicitudes repetidas, éstas están dentro del grupo de solicitudes denegadas. Asumiendo que el número de solicitudes repetidas alcanza un tercio del total se tiene entonces que el número total de captaciones es de alrededor de 1.718. El Cuadro 5-38 muestra el número mínimo de captaciones por subsector acuífero en la cuenca del estero Puangue.

Sector Acuífero	Situación administrativa	N° de captaciones	N° Captaciones con coordenadas	N° Captaciones con ubicación referencial o sin coordenadas
Altos de Puangue	D	23	20	3
Puangue Alto	D	520	322	198
Puangue Medio	D	368	226	142
La Higuera	D	99	63	36
Puangue Bajo	D	98	57	41
TOTAL		1.108	688	420

Cuadro 5-37 Número de captaciones con derechos denegados con y sin coordenadas en la cuenca del estero Puangue

Sector Acuífero	N° de captaciones	N° Captaciones con coordenadas	N° Captaciones con ubicación referencial o sin coordenadas
Altos de Puangue	73	71	2
Puangue Alto	683	520	163
Puangue Medio	683	553	130
La Higuera	141	113	28
Puangue Bajo	138	109	29
TOTAL	1.718	1.366	352

Cuadro 5-38 Número de captaciones mínimo con y sin coordenadas en la cuenca del estero Puangue.

Existen cuatro periodos de tiempo en donde el caudal otorgado en derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas tuvo un alza histórica (Figura 5-30), a saber: 1982 (229 l/s), 1994 (366 l/s), 2000 (1.431 l/s) y 2005 (514 l/s). El total de derechos subterráneos otorgados alcanza a 6.181 l/s en la cuenca de Puangue.

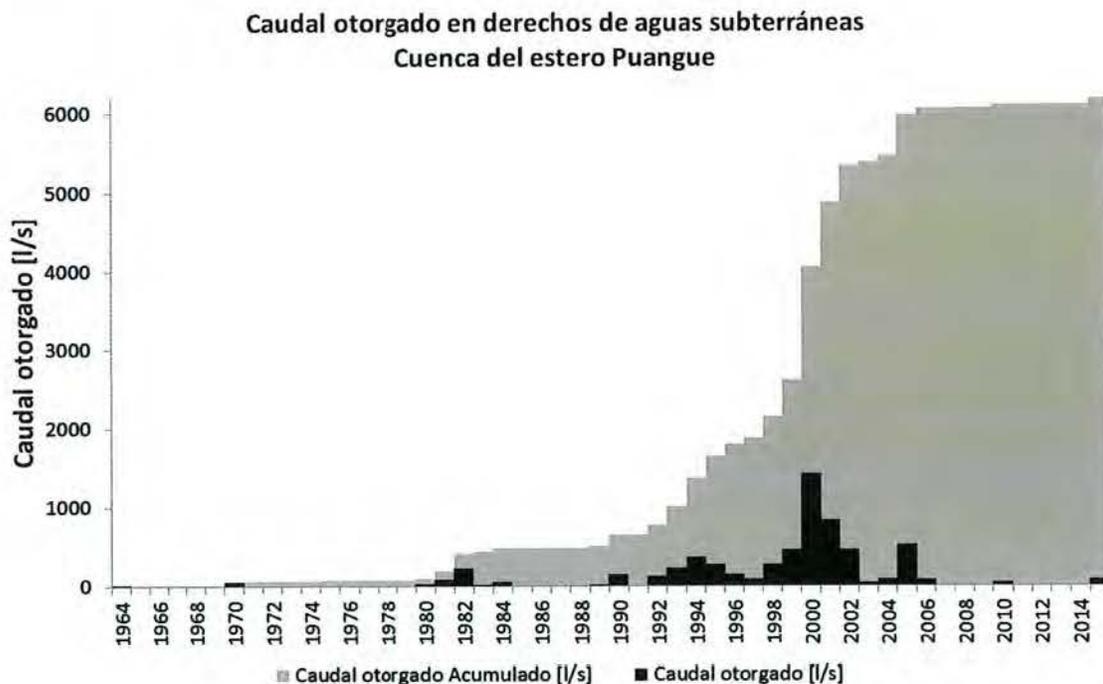


Figura 5-30 Caudal otorgado en derechos de aguas subterráneas en la cuenca del estero Puangue

El 87% del caudal otorgado en la cuenca del estero Puangue, corresponden a los caudales aprobados para los subsectores acuíferos de Puangue Alto (19%) y Puangue Medio (68%).

Le siguen los subsectores de La Higuera (10%), Puangue Bajo (2%) y Altos de Puangue (menos de un 1%) (Cuadro 5-1)

Sector Acuífero	Situación administrativa		
	Aprobados [l/s]	Aprobados provisional [l/s]	Sub-total [l/s]
Altos de Puangue	39		39
Puangue Alto	1.162		1.162
Puangue Medio	4.221		4.221
La Higuera	613	5	618
Puangue Bajo	141		141
TOTAL	6.176	5	6.181

Cuadro 5-39 Caudal otorgado en subsectores acuíferos de la cuenca del estero Puangue

Alrededor de 3.396 l/s se encuentran pendientes de resolver en los subsectores acuíferos de Puangue (Cuadro 5-40). El 88% del caudal pendiente total lo concentra el subsector acuífero de Puangue Medio con 2.997 l/s.

Sector Acuífero	Situación Administrativa				Subtotal
	D-RR [l/s]	D-RRCL [l/s]	P-LEGAL [l/s]	P-REG [l/s]	
Altos de Puangue				3	3
Puangue Alto	37		15	1	53
Puangue Medio	813			2.184	2.997
La Higuera	26			153	179
Puangue Bajo		3		161	164
TOTAL	876	3	15	2.502	3.396

D-RR : Denegado con Recurso de Reconsideración

D-RRCL: Denegado con Recurso de Reclamación

P-LEGAL: Pendiente legal

P-REG: Pendiente en Región

Cuadro 5-40 Monto de caudal pendiente en subsectores acuíferos de la cuenca del estero Puangue

El caudal denegado alcanza a 6.309 l/s (Cuadro 5-41), concentrándose el 88% del total en los subsectores acuíferos de Puangue Medio (60%) y Puangue Alto (28%), seguidos de La Higuera (6%) y Puangue Bajo (5%).

Sector Acuífero	Denegados [l/s]
Altos de Puangue	51
Puangue Alto	1.814
Puangue Medio	3.776
La Higuera	367
Puangue Bajo	300
TOTAL	6.309

Cuadro 5-41 Caudal denegado en subsectores acuíferos de la cuenca del estero Puangue

Las captaciones ubicadas en el subsector acuífero de Puangue Medio, son más productivas que las ubicadas en los otros cuatro subsectores (Figura 5-31). El máximo caudal de las captaciones de Altos de Puangue no supera los 30 l/s, mientras que las captaciones de Puangue Bajo están por debajo de los 60 l/s y las captaciones ubicadas en Puangue Alto y La Higuera no sobrepasan los 70 l/s. El acuífero de Puangue Medio tiene numerosas captaciones de abundante caudal, indicando con esto, que sus cualidades acuíferas son considerablemente superiores a los otros sectores de la cuenca.

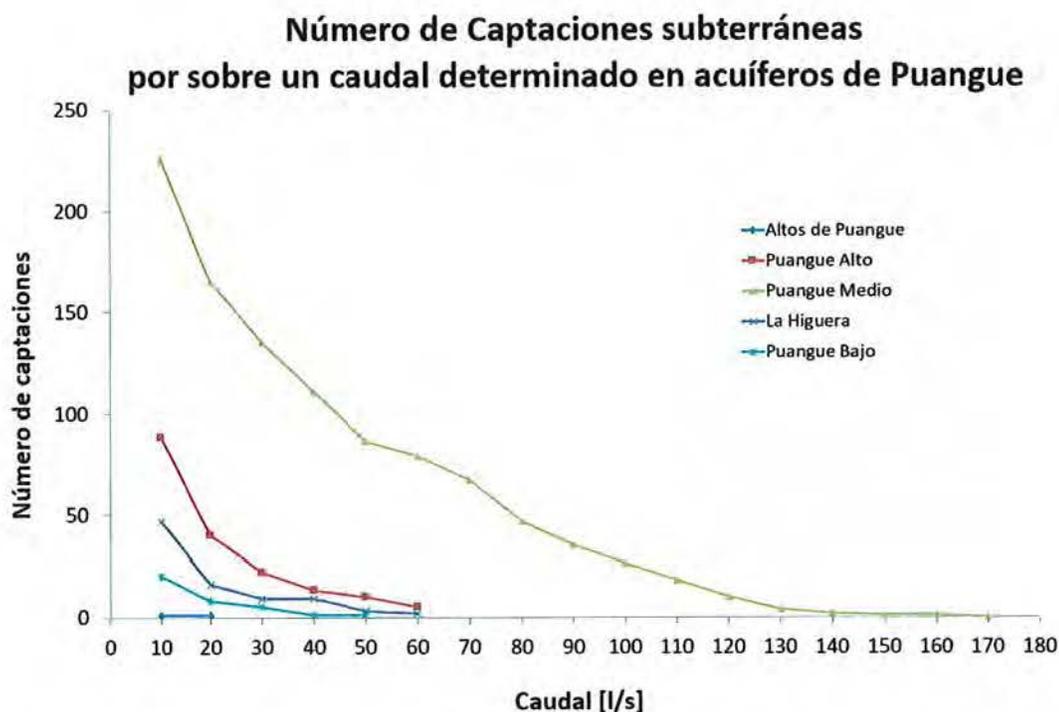


Figura 5-31 Número de captaciones subterráneas por sobre un caudal determinado en subsectores acuíferos de la cuenca del estero Puangue

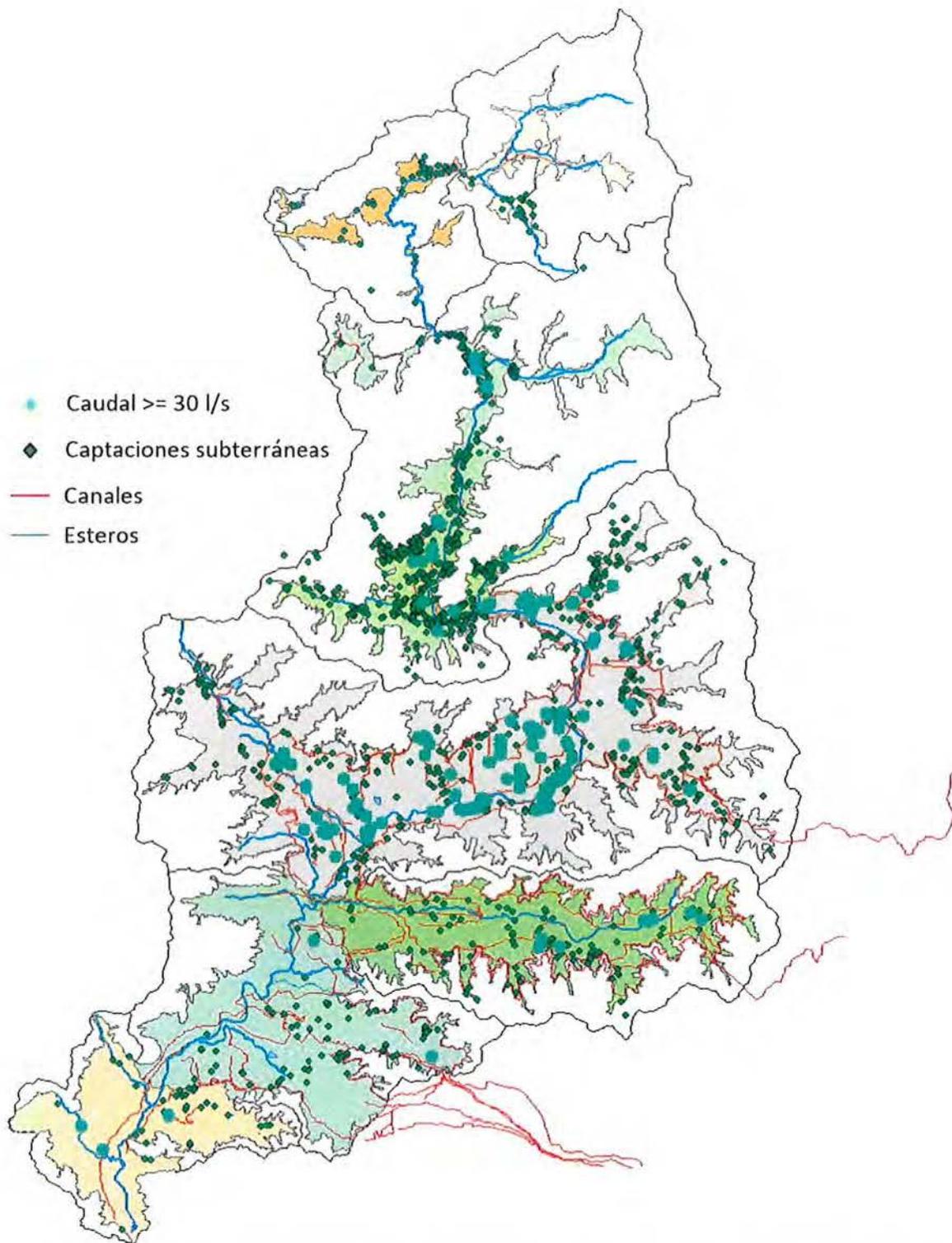


Figura 5-32 Distribución espacial de captaciones con caudal de extracción mayor o igual a 30 l/s en la cuenca del estero Puangue

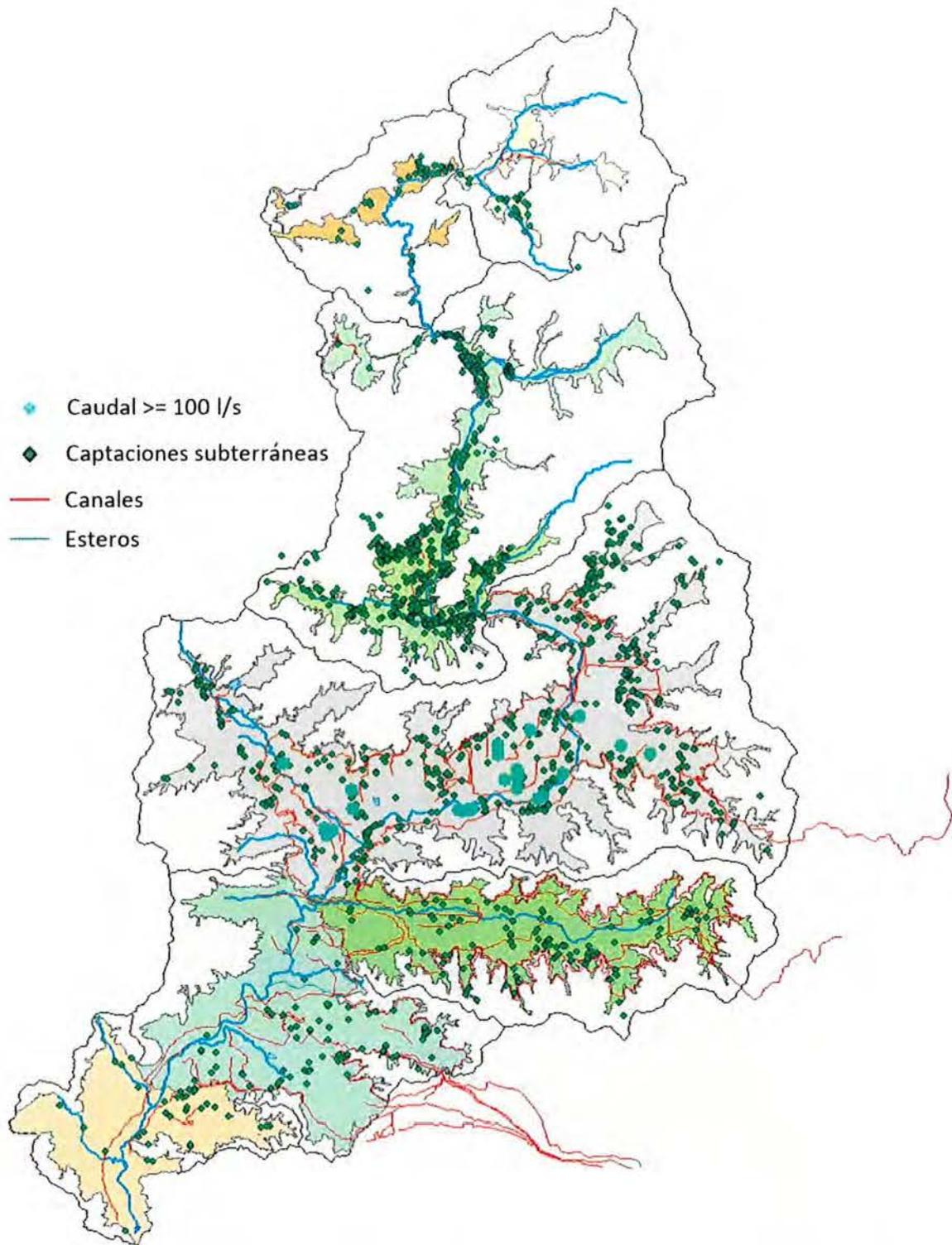


Figura 5-33 Distribución espacial de captaciones con caudal de extracción mayor o igual a 100 l/s en la cuenca del estero Puangue.

Es posible ubicar captaciones con caudal de extracción por sobre 30 l/s en los acuíferos de Puangue Alto, Puangue Medio, La Higuera y Puangue Bajo (Figura 5-32). Estas captaciones se localizan preferentemente cercanas a los cauces de esteros y canales, y en zonas de confluencias de cauces superficiales, tales como: Estero Puangue con estero Carén, estero Puangue con estero Cuyuncaví y estero Puangue con estero Améstica.

Captaciones con extracciones superiores o iguales a 100 l/s, sólo se localizan en el acuífero de Puangue Medio (Figura 5-33), en dos sectores bien definidos (Figura 5-34) entre Santa Inés, Bustamante hasta María Pinto y el otro sector asociado al acuífero del estero Améstica (Ibacache, Chorombo y confluencia) Figura 5-34.

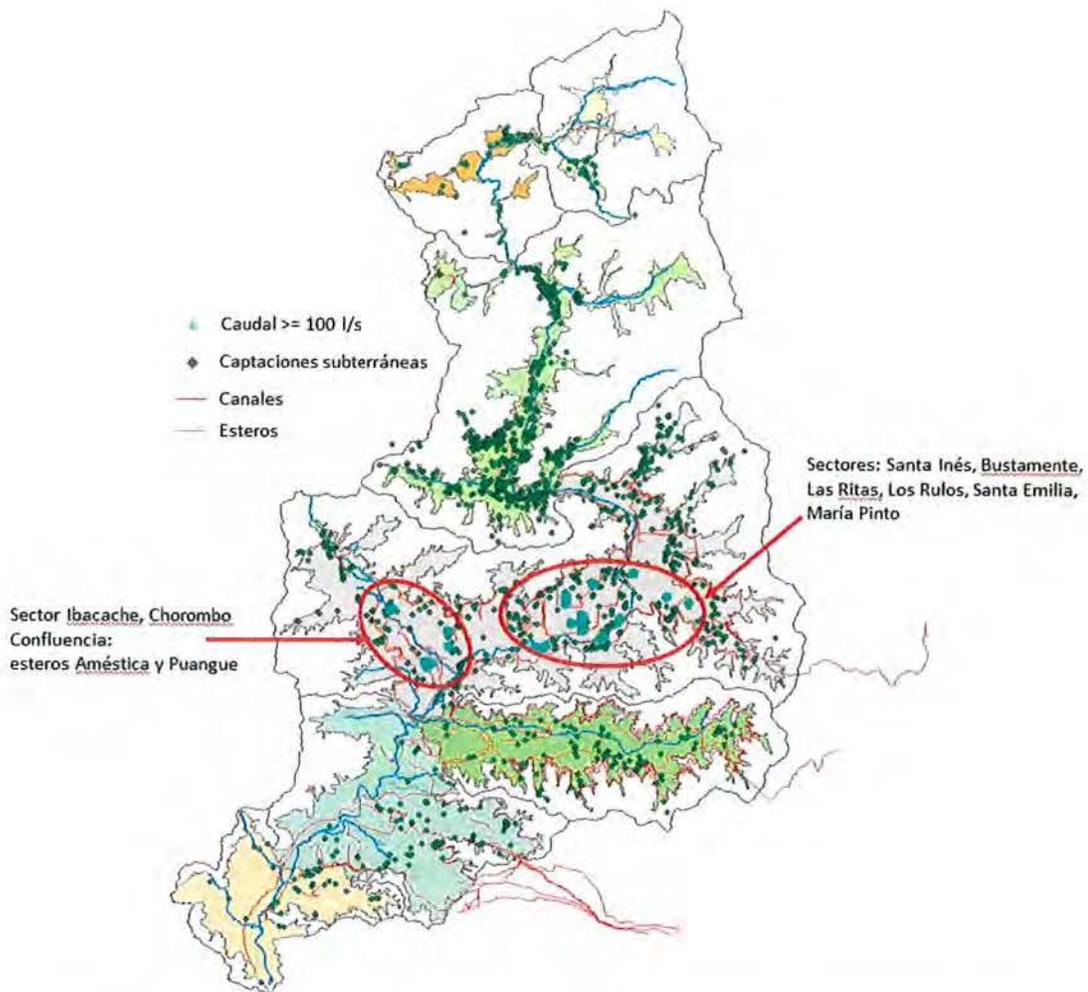


Figura 5-34 Distribución espacial de captaciones con caudal de extracción mayor o igual a 100 l/s y sectores asociados, en la cuenca del estero Puangue

5.4.2 NIVELES DE POZOS

5.4.2.1 CNR/IPLA-1984

El reporte CNR/IPLA-1984 señala que tuvieron a la vista, para el análisis de niveles, mediciones aisladas en pozos en el estero Puangue desde el año 1962, sin embargo a partir del año 1969 dichas mediciones se efectuaron en forma sistemática y continua, hasta el año 1975 aproximadamente. Posterior a este año el programa de mediciones fue suspendido.

Las principales conclusiones, a partir del análisis de los limnigramas, mencionan que en general los niveles estáticos en los distintos puntos del valle se ubican a poca profundidad, pues superan muy excepcionalmente los 10 metros de profundidad, siendo atribuidas a condiciones topográficas las diferencias de niveles entre los distintos pozos.

Se analizó por separado el comportamiento de niveles en cada sector de la cuenca de Puangue. De esta forma en Puangue Superior (Puangue Alto) se consideró la evolución de niveles de 3 pozos, dos pozos ubicados aguas arriba de Curacaví (pozos 3310-7100 C3 y 3320-7100 A2) y el pozo 3320-7100 A6 emplazado en la desembocadura del valle de Cuyuncaví con el estero Puangue, límite con Puangue Medio

En los tres sondajes se aprecia un descenso sostenido de niveles a partir del verano de 1967 y hasta el invierno del 1971, 1969 y 1970 para el primer, segundo y tercer sondaje respectivamente, recuperándose los niveles cíclicamente en los inviernos de cada año, a excepción del primer sondaje que presenta una meseta entre el invierno de 1971 y hasta el verano de 1973 (Figura 5-35). Por tanto, es posible deducir que, estos ciclos de aumento y disminución de niveles tienen directa relación con los escurrimientos del estero Puangue. Indicando con esto que la principal fuente de recarga en Puangue Alto la constituye el tramo del estero Puangue que atraviesa ese sector.

El limnigrama del pozo 3330-7100 A1, ubicado en el sector de María Pinto, representó el comportamiento de los niveles de Puangue Medio. La información con que contó este sondaje fue limitada e incierta, datando los registros desde fines de 1962. Se constata que en general, no existe relación directa entre las fluctuaciones del nivel freático con el escurrimiento superficial en el Puangue, lo cual está de acuerdo con el hecho que esta zona está afectada más que todo por las recuperaciones de riego. La profundidad máxima a la que se localiza la napa corresponde a 7,4 metros en mayo de 1970 y la mínima a 1,0 metros en diciembre del mismo año. La recuperación observada en la napa durante plena época de riego, se debe a la infiltración proveniente de los derrames de riego.

En Puangue Inferior (Puangue Bajo), se presentan niveles que se caracterizan por una variabilidad más amplia en cuanto a profundidad, dependiendo fundamentalmente de las condiciones topográficas y geológicas locales. Las fluctuaciones estacionales de niveles son mínimas.

En el valle de Mallarauco (La Higuera), lo mismo que en valle de Puangue aguas abajo de la confluencia con éste, los niveles freáticos están influidos por la infiltración de canales y derrames de riego, hecho que se constata del periodo del año (principalmente durante los meses de verano) en que se producen los aumentos de nivel. Como ejemplo cabe citar lo observado en el sondaje 3330-7110 D1 donde se produce una recuperación de los niveles que llevan la napa a una profundidad de 7 metros en febrero de 1970 a 1 metro en abril de ese mismo año (Figura 5-36).

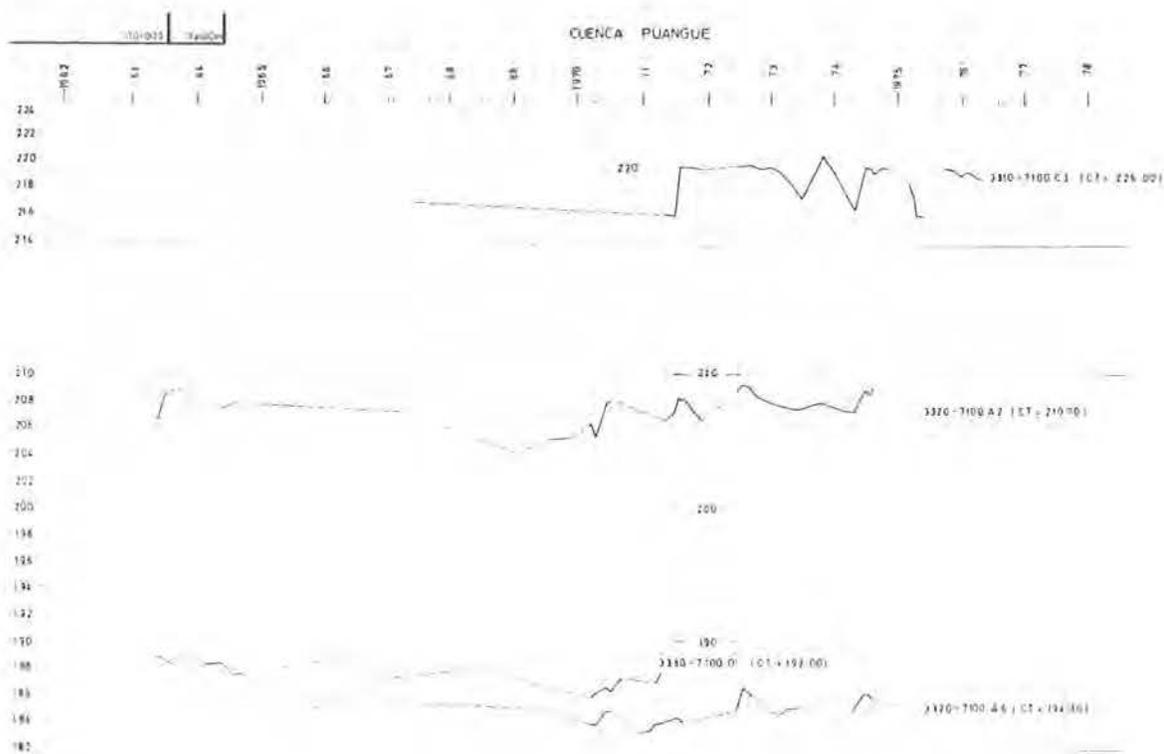


Figura 5-35 Sondajes seleccionados con información de niveles en cuenca de Puangue Alto (CNR/IPLA-1984)

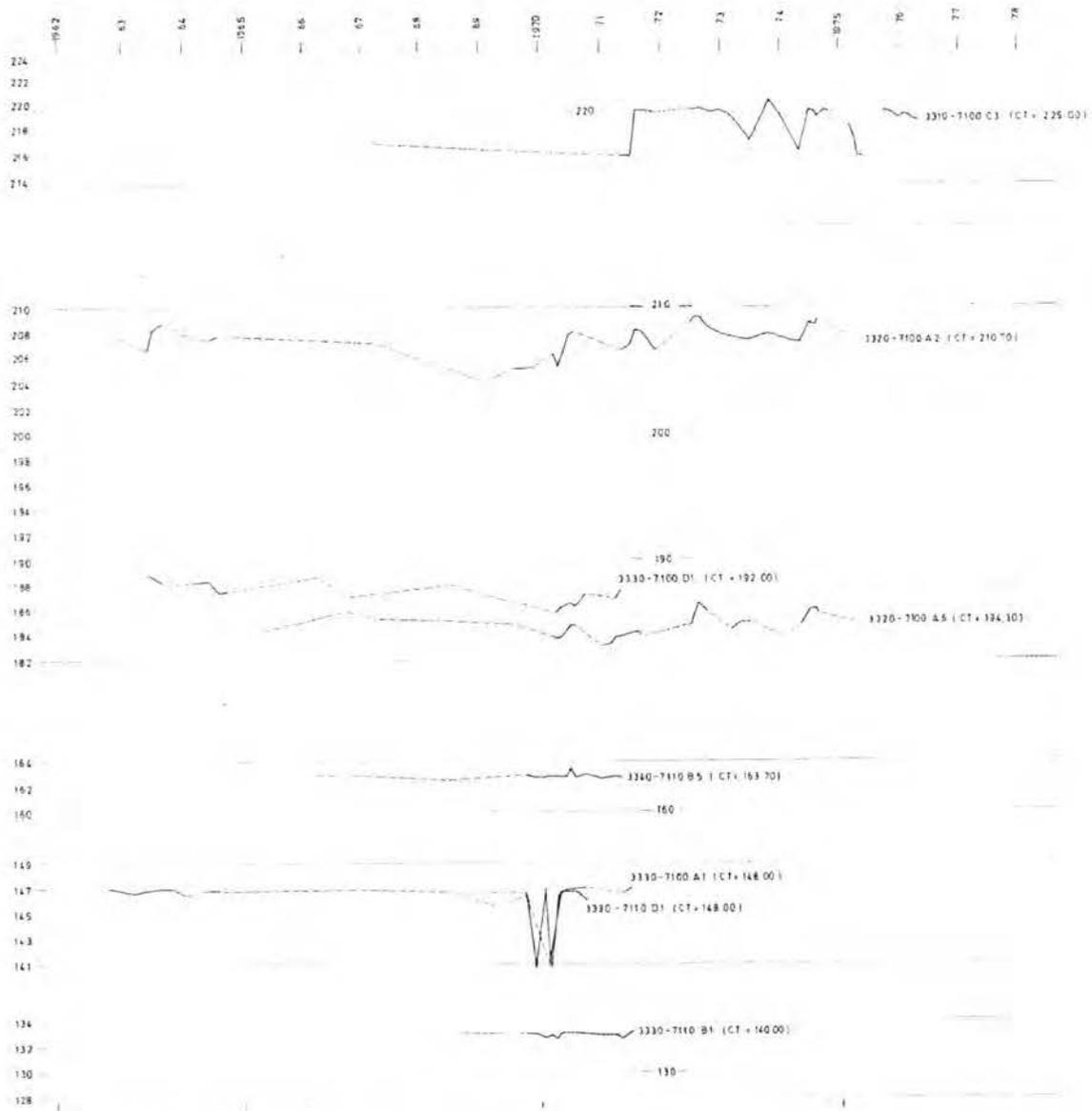


Figura 5-36 Limnigramas de sondajes considerados en el análisis de niveles de la cuenca del estero Puangue (CNR/IPLA-1984)

5.4.2.2 RED DE NIVELES DGA

Actualmente la DGA controla los niveles de aguas subterráneas en tres de los cinco acuíferos definidos en la cuenca del estero Puangue (Cuadro 5-42).

El Cuadro 5-42 incluye al pozo suspendido Matadero de Pollos Puangue ubicado en las cercanías de la estación fluviométrica de Estero Puangue en Ruta 78, cuyos datos de nivel expresan parte del comportamiento del acuífero en el subsector de Puangue Bajo.

Pozo	Estado	Sector acuífero	Fecha inicio	Fecha Fin	Descenso	Descenso	Descenso	Depresión
					Mínimo [m]	Promedio [m]	Máximo [m]	máxima [m]
Fundo Lolenco	Vigente	Puangue Medio	18-01-1984		0,000	6,805	12,800	12,800
Fundo Santa Rita	Vigente	Puangue Medio	18-01-1984		1,800	7,376	18,700	16,900
Fundo Santa Emilia	Vigente	Puangue Medio	01-08-1981		0,850	6,346	23,200	22,350
Fundo El Parrón	Vigente	Puangue Medio	18-06-1998		1,200	2,790	16,000	14,800
Fundo Baracaldo	Vigente	Puangue Medio	23-02-1999		0,000	3,083	9,960	9,960
Fundo San Patricio	Vigente	La Higuera	09-03-1992		1,200	4,474	9,150	7,950
A. P. Bollenar	Vigente	La Higuera	03-11-1989		6,100	17,009	42,100	36,000
Industria Bata	Vigente	Puangue Bajo	03-11-1989		0,500	3,412	14,070	13,570
Matadero Pollos Puangue	Suspendido	Puangue Bajo	29-04-1990	25-09-1997	0,300	1,122	3,000	2,700

Cuadro 5-42 Pozos de observación DGA, vigentes y suspendido en la cuenca del estero Puangue

Todos los pozos considerados, a excepción del pozo Matadero de Pollos Puangue, incluyen datos de nivel dinámico. Si se consideran los datos de nivel estático, es posible afirmar que los niveles de todos los pozos permanecen cercanos a la superficie de terreno no sobrepasando los 10 metros de profundidad.

POZO FUNDO LOLENCO, PUANGUE MEDIO

El pozo de Lolenco se ubica al sur de esta localidad frente al valle común de la Quebrada Guaniles y de la Quebrada de El Escorial y a 504 metros de distancia del canal Las Mercedes. Sus niveles estáticos, desde el año 1984, se mantienen en oscilación cíclica entre los 5 y 10 metros de profundidad, produciéndose los peaks hacia el final de cada temporada de riego (febrero, marzo, abril) hasta fines del año 2006. A partir del invierno de 2007 se produce un alza de nivel dejando la napa cercana a 1 metro de profundidad. A continuación se produce una inestabilidad difícil de explicar debido a una profusa mezcla de datos de nivel estático y dinámico. Sin embargo a partir del invierno de 2011 los niveles se mantienen cercanos a la superficie, oscilando suavemente entre 1 y 2 metros. Por lo tanto, gran parte de la recarga del acuífero cuyos niveles son observados en el pozo de Lolenco, provienen de las infiltraciones de canales y de las superficies de riego del sector.

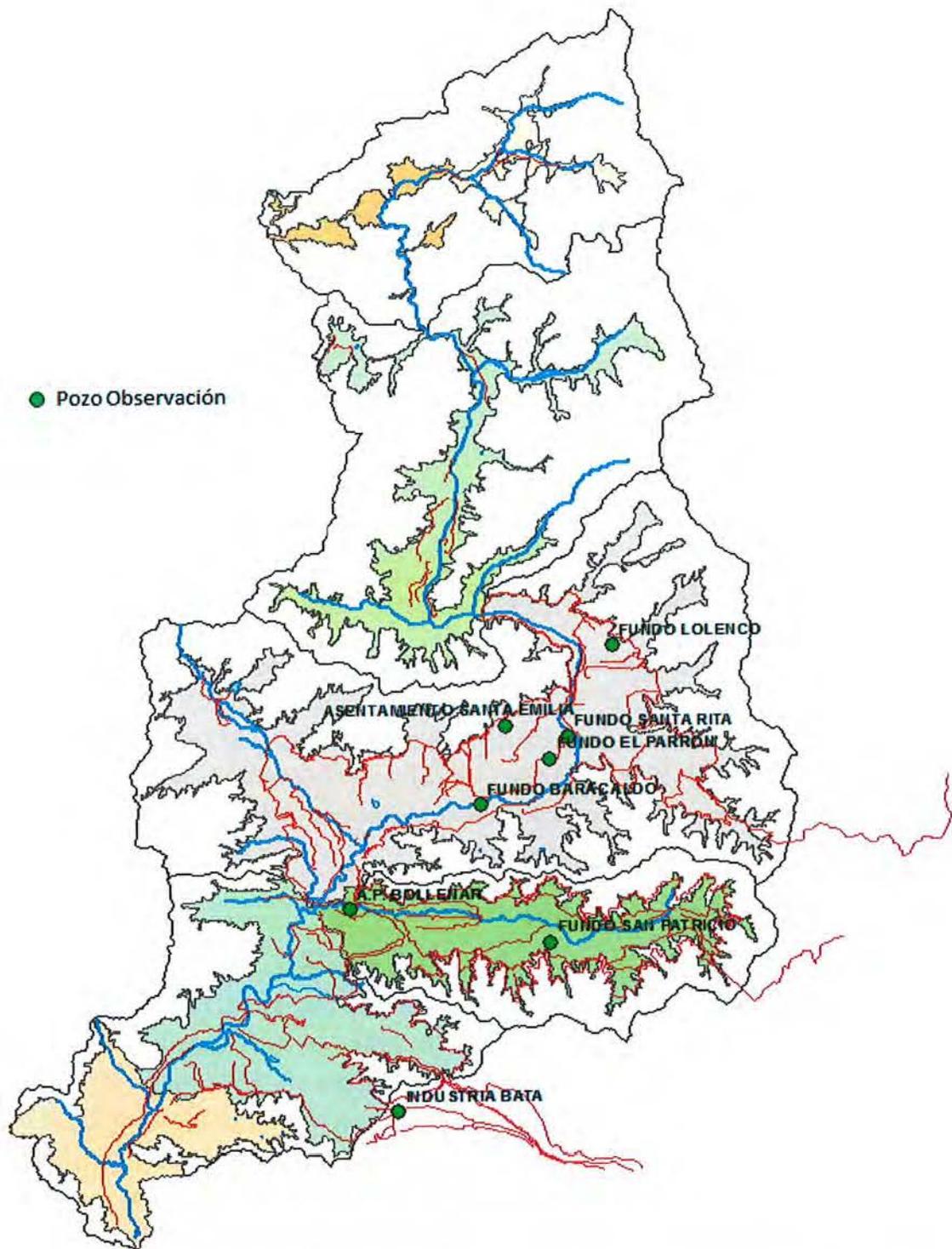


Figura 5-37 Pozos de observación DGA vigentes en cuenca del estero Puangue

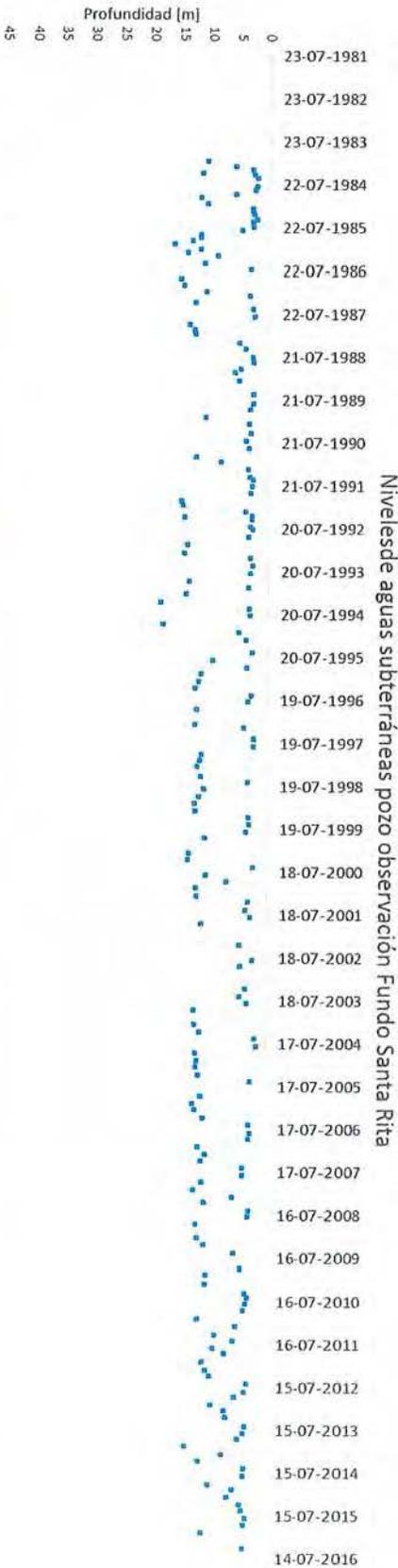
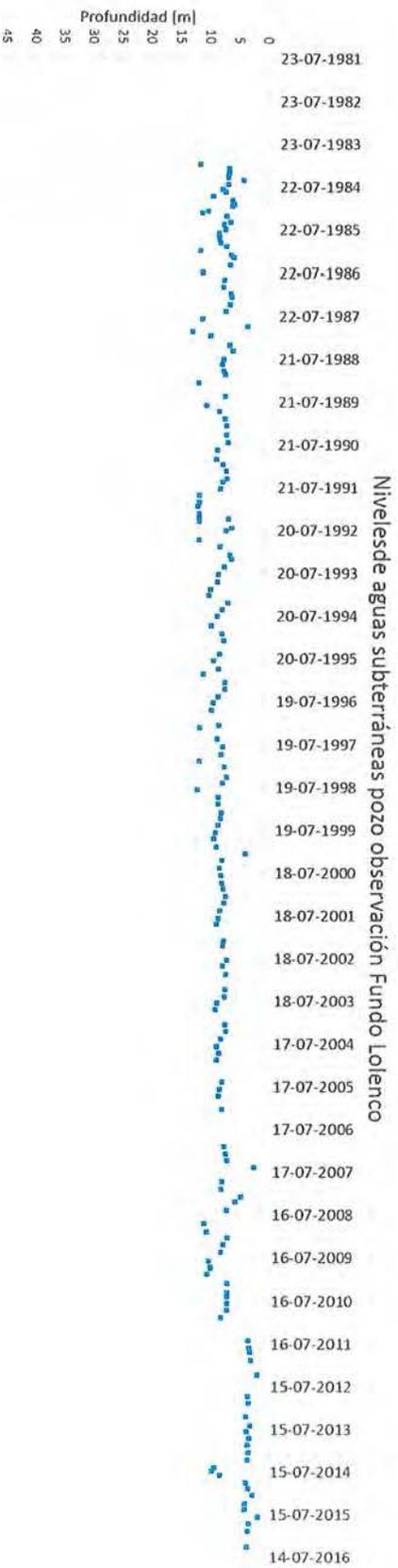


Figura 5-38 Niveles de aguas subterráneas en pozo Fundo Lolenco y Fundo Santa Rita, acuífero de Puanque Medio

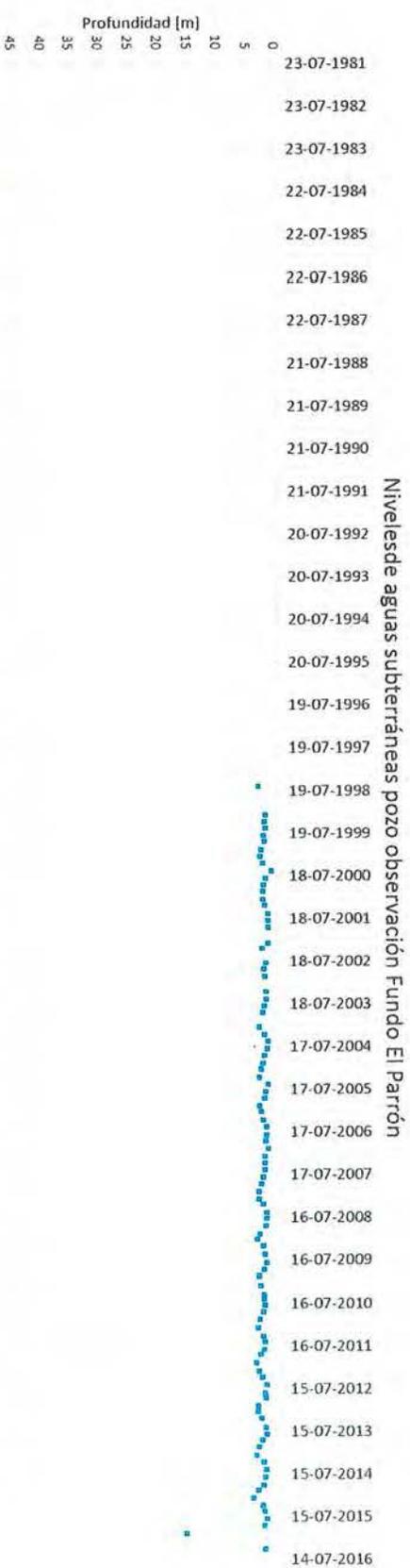
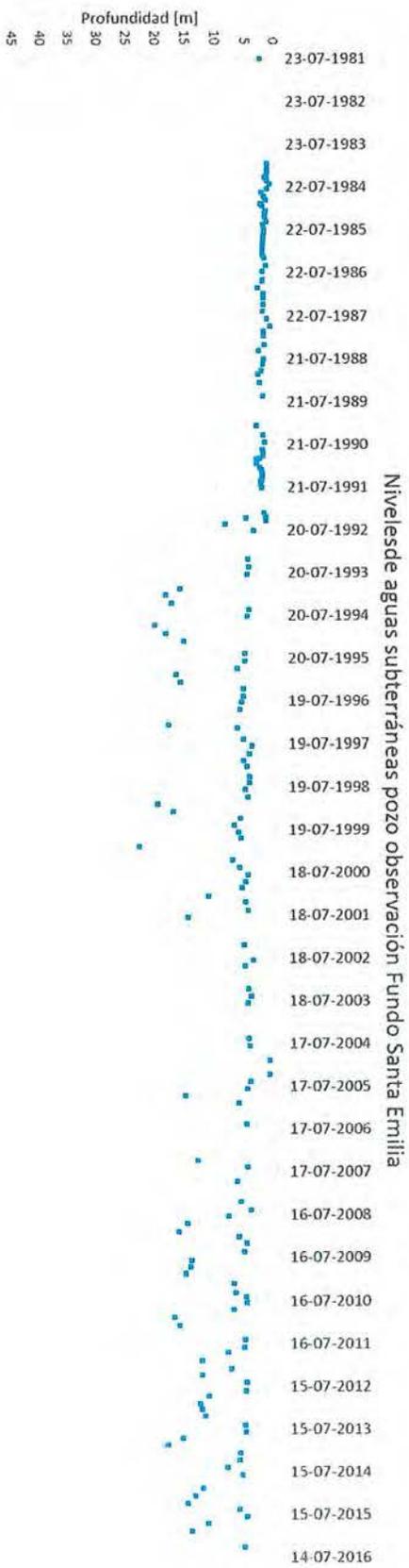


Figura 5-39 Niveles de aguas subterráneas en pozo Fundo Santa Emilia y Fundo El Parrón, acuífero de Puanque Medio

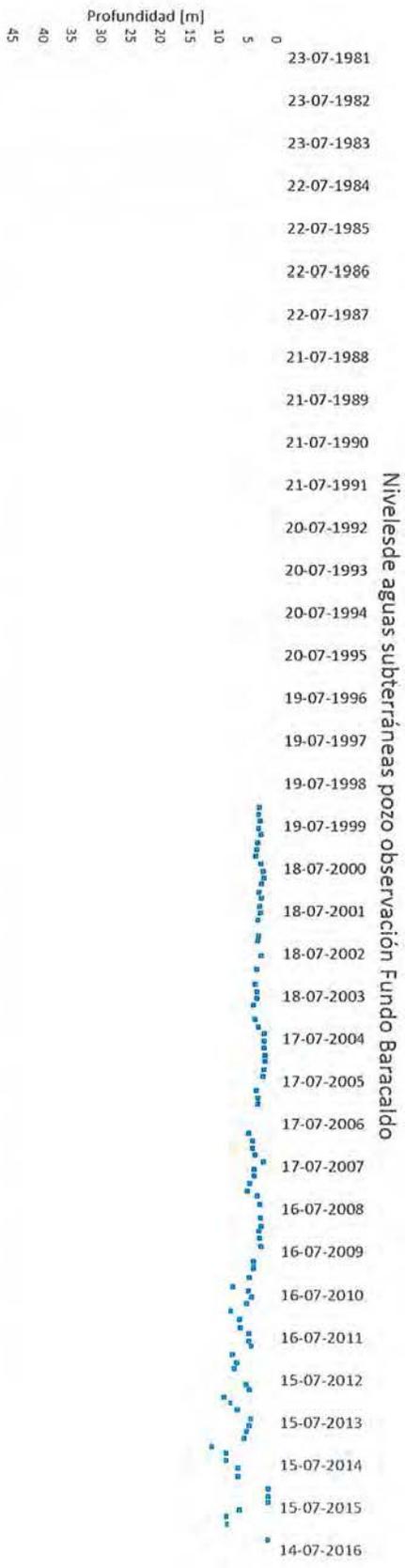


Figura 5-40 Niveles de aguas subterráneas en pozo Fundo Baracaldo, acuífero de Puangue Medio

El nivel dinámico más profundo es cercano a 15 metros de profundidad, indicando que la profundidad del pozo es de al menos 15 metros. Por tanto los niveles caracterizan como máximo los primeros 30 metros de acuífero.

POZO FUNDO SANTA RITA, PUANGUE MEDIO

El pozo Fundo Santa Rita está ubicado a unos 1.700 metros al sur oriente del pueblo de Las Ritas, a unos 504 metros de distancia del estero Puangue y a 240 metros del canal Cancha de Piedra. Sus niveles estáticos oscilan cíclicamente entre 2 y 5 metros de profundidad. En muchos de los meses del periodo de riego, sólo se tienen datos de nivel dinámico. Sin embargo de los periodos de mayor información es posible deducir que la mayor alza de niveles, en el acuífero monitoreado por este pozo, se produce en invierno. Por lo tanto en este sector los niveles en el acuífero están muy relacionados con los escurrimientos superficiales del estero Puangue, constituyendo el tramo de este cauce frente al pozo, un elemento de recarga de importancia para el acuífero.

Por su parte la máxima profundidad de nivel estático registrada está en torno a 20 metros de profundidad. Se sigue entonces que la potencia de acuífero controlada por los niveles de este pozo es de al menos 30 metros.

POZO FUNDO EL PARRÓN, PUANGUE MEDIO

El pozo fundo El Parrón está ubicado a unos 1.700 metros al sur oeste del pozo Fundo Santa Rita, a 45 metros del canal Cancha de Piedra y a unos 1430 metros del estero Puangue. Sus niveles son muy someros, y oscilan cíclicamente entre 1 y 4 metros. Los niveles más cercanos a la superficie se manifiestan en la época de invierno, y los más profundos en la temporada de riego, aunque en invierno de 2006 y hasta principios del verano de 2008, los niveles se mantienen casi planos en torno a los dos metros, con muy pequeñas oscilaciones, indicando con esto que la recarga del periodo de riego fue muy cercana a la recarga del periodo invernal. Pero en general, la recarga invernal predomina por sobre las otras, indicando que los niveles de esta parte del acuífero están muy relacionados con los escurrimientos del estero Puangue.

POZO FUNDO SANTA EMILIA, PUANGUE MEDIO

El pozo Fundo Santa Emilia está ubicado en la localidad de Santa Emilia a 444 metros del canal Las Mercedes. Sus niveles estáticos se presentan bastante estables desde principios del año 1984 hasta el invierno de 1992, después de esta fecha, la densidad de datos de nivel estático disminuye, faltando varios datos de nivel estático en época de riego. No es posible vislumbrar con claridad una tendencia cíclica. Además cabe notar que en las

cercanías de este pozo existen varios pozos, con caudales por sobre los 40 l/s, operando en el sector, afectando sus niveles en época de riego. Los niveles más cercanos a la superficie del suelo se registran en general a comienzos, en y al finalizar la época de riego, es decir sus niveles están supeditados a las filtraciones provenientes del canal Las Mercedes y de las superficies de riego de la zona.

Es posible notar también una tendencia al descenso de los niveles, del orden de 3,3 metros en 32 años, es decir una tasa de descenso de 10 cm por año.

El descenso máximo del nivel dinámico registrado en estos datos es de alrededor de 25 metros, indicando con esto que la potencia del sector acuífero monitoreado es de al menos 35 metros.

POZO FUNDO BARACALDO, PUANGUE MEDIO

El pozo Fundo Baracaldo se ubica en la localidad de María Pinto a 58 metros del estero Puangue. Entre el verano de 1999 y hasta el invierno de 2010, los niveles estáticos se mantienen entre 1 y 4 metros de profundidad. A partir de esa fecha comienza una tendencia al descenso de niveles que se ve interrumpida con valores de surgencia entre el verano de 2015 y hasta el invierno del mismo año. No existe una clara estacionalidad en los datos de niveles, pues muchos de los valores cercanos a la superficie se producen tanto en invierno como en plena época de riego, incluso hay surgencia en meses como junio, abril y febrero. No existe por tanto una dependencia directa de los niveles de la napa en el pozo con los escurrimientos en el estero Puangue.

Muy cerca del lugar donde se emplaza este pozo, opera desde el año 2000 una batería de seis pozos profundos, que en total pueden extraer legalmente 624 l/s (Figura 5-43). Estos pozos se encuentran a una distancia de entre 460 a 1.430 metros del pozo de observación. Estos pozos alcanzan profundidades de entre 100 a 105 metros sin cortar el basamento rocoso, y de acuerdo al informe "Interferencia de pozos y alimentación del estero Puangue" realizado por Eugenio Celedón Silva y Eugenio Celedón Cariola, el material de sedimentación existente entre los 7 a 10 primeros metros de profundidad, corresponde a una arcilla oscura, denominada tosca pomacita, fuertemente impermeable.

Del análisis estratigráfico y de los resultados de las pruebas de bombeo (Cuadro 5-43), se concluye la existencia, en este sector, de un acuífero confinado por debajo de los 15 metros de profundidad.

Si la profundidad del pozo Fundo Baracaldo es superior a 15 metros, pinchando el acuífero inferior, explicaría el comportamiento de los niveles estáticos antes descritos para este pozo.

Pozo	T [m ² /d]	S	Nivel estático	Nivel dinámico	Caudal bombeo [l/s]	Caudal específico [l/s/m]
P-01	1203	0.00002	2.7	17.8	117	7.7
P-02	1009	0.0000009	2.6	19.6	117	6.9
P-03	547	0.00001	1.7	29.6	115	4.1
P-04	1337	0.00001	4.1	24.9	115	5.5
P-05	763	0.00000002	3.1	35.8	100	3.1
P-06	445	0.000001	0	27.9	70	2.5

Cuadro 5-43 Parámetros elásticos determinados para batería pozos Fundo El Refrán. (fuente: Informe Interferencia de Pozos y alimentación estero Puangue Eugenio Celedón S. y Eugenio Celedón C.)



Figura 5-43 Pozo de observación DGA Fundo Baracaldo y batería de pozos de Agrícola El Refrán Limitada.

POZO FUNDO SAN PATRICIO, LA HIGUERA

El pozo Fundo San Patricio está ubicado al sur de la localidad de Santa Clara en el valle de Mallarauco, a unos 540 metros del canal Higuerrillas, y a unos 970 metros del Esterla La Higuera. Los niveles no superan los 10 metros de profundidad, manteniéndose en general entre 2 y 7 metros bajo el nivel de suelo. La serie de niveles mensuales muestra una leve tendencia al descenso, a una tasa que se puede estimar en 3 metros en 23 años (13 cm por año), además de oscilaciones que no muestran un periodo definido, presentándose mesetas en que los valores de nivel son similares en época de riego e invierno, presentándose también peaks (niveles cercanos a la superficie) tanto en pleno verano como en invierno. De aquí se sigue que no existe una relación directa con los escurrimientos superficiales, mayores en invierno que en verano, sino más bien, que tanto la recarga debida a los procesos de riego (infiltración de canales, cauces y zonas de riego) algunas veces se equilibran con la que se produce en invierno, tal como sucede en sectores en donde la napa es de naturaleza confinada, y en donde el área de recarga está más distante.

Un análisis de la estratigrafía de pozos con caudal de extracción mayor a 40 l/s, permite visualizar que en los primeros horizontes de suelo (0,3 a 3 metros de profundidad) se presenta un suelo compuesto por arena fina, limo y 80% de arcilla, y desde 3 metros a 15 metros de profundidad se presentan suelos de similar composición con porcentajes de arcillas que disminuyen a 40% en su parte más baja (Pozo Sociedad agrícola Padre Hurtado, ubicado a 760 metros al oeste del pozo Fundo San Patricio)

POZO AGUA POTABLE BOLLENAR

Este pozo se ubica en la localidad de Bollenar a 343 metros del estero La Higuera. Este pozo fue construido por CORFO en junio de 1967, su profundidad alcanza los 61 metros cortando la roca basal. Sus cribas se ubican a partir de los 40 metros de profundidad, las que enfrentan un suelo compuesto por Arena gruesa, gravilla y limo de buenas propiedades acuíferas. En su parte superior predominan capas de arcilla que tienden a confinar la zona en donde se ubica este pozo.

El limnigrama del pozo A.P. Bollenar muestra que sus niveles estático oscilan entre 6 y 8 metros de profundidad, no pudiéndose distinguir alguna estacionalidad entre época de riego e invierno. Habida cuenta de la ubicación de las cribas, se sigue que los niveles de este pozo dan cuenta del nivel de energía de la napa más profunda.

POZO INDUSTRIA BATA

El limnigrama de este pozo presenta niveles estáticos y dinámicos. Los niveles estáticos se mantienen muy someros, y varían entre 0.5 y 3 metros de profundidad. No es posible definir un patrón estacional que permita inferir el origen predominante de la recarga a la porción de acuífero que controla este pozo. Sin embargo cabe mencionar que ésta zona (entrada a Melipilla) es parte de la singularidad geológica que permite afloramientos de los flujos subterráneos provenientes del río Maipo.

5.4.3 EQUIPOTENCIALES, DIRECCIÓN Y SENTIDO DE FLUJOS

A partir de la actualización del catastro de las captaciones subterráneas en la cuenca de Maipo y Mapocho, realizado para la DGA por Ayala y Cabrera Ingenieros Consultores el primer trimestre de 1998 en el marco del estudio "Modelo de simulación hidrológico operacional, cuencas de los ríos Maipo y Mapocho" (reporte DGA/AC-2000) se obtuvieron las curvas equipotenciales y la dirección y sentido de los flujos subterráneos mostrados en la Figura 5-44, los flujos subterráneos siguen en general la dirección de los cauces principales.

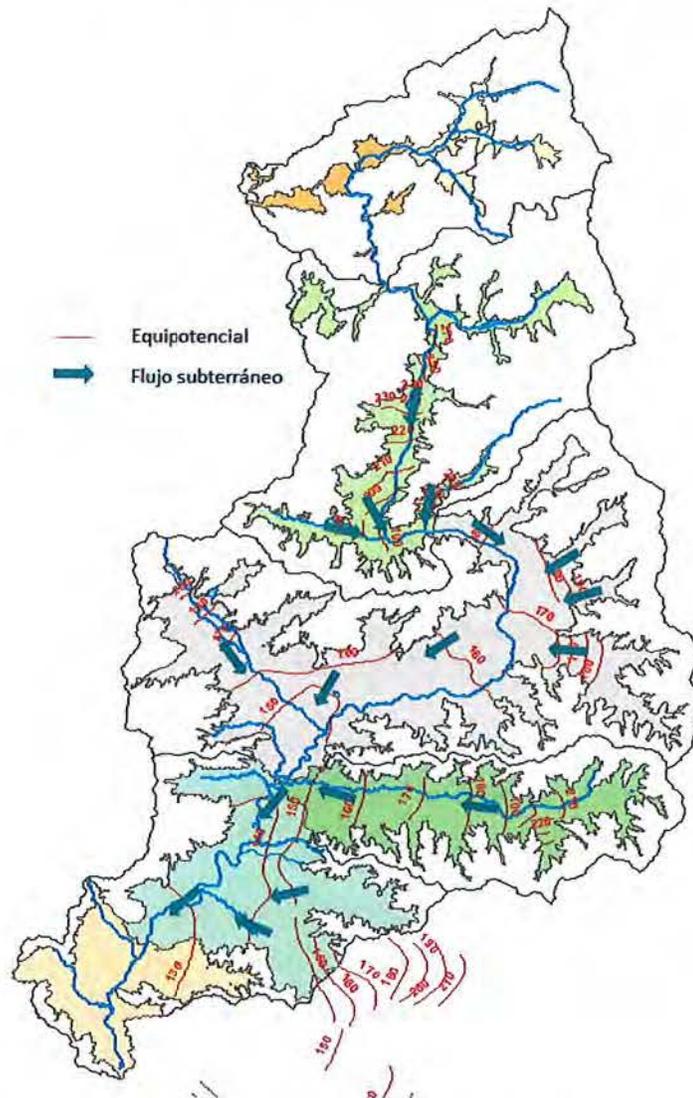


Figura 5-44 Equipotenciales y flujo subterráneo primer trimestre de 1998 (actualización de catastro de pozos Maipo-Mapocho, Estudio DGA/AC-2000)

5.4.4 PARÁMETROS ELÁSTICOS Y FLUJOS SUBTERRÁNEOS

CNR/IPLA-1984

El mapa de igual transmisividad para la cuenca del estero Puangue del reporte CNR/IPLA-1984 (Figura 5-45), permite constatar la existencia de dos zonas de alta transmisividad (mayor que 800 m²/d) y permeabilidades entre $3 \cdot 10^{-3}$ y 10^{-2} m/s (259 y 864 m/d), localizadas en Puangue Medio, aguas arriba de María Pinto y en el acuífero de Puangue Superior (Puangue Alto), al norte de la ciudad de Curacaví.

Un segundo sector de importancia, correspondiente a transmisividades entre 400 y 800 m²/d, mencionado en el reporte, dice relación con el sector bajo de Puangue Alto a la altura del sector denominado Alhué, al norte de Curacaví y terminando en un punto ubicado unos 4 km al Sur Poniente de María Pinto. Este sector encierra en sus dos extremos el área de altas transmisividades descrito en el párrafo precedente. En este segundo sector las formaciones acuíferas más importantes pueden caracterizarse a través de coeficientes de permeabilidad entre $2 \cdot 10^{-4}$ y 10^{-3} m/s (17 y 86 m/d), como máximo.

En el resto de Puangue Medio y Puangue Bajo, dominan ampliamente las áreas de isotransmisividades de 0 a 100 m²/d y de 100-400 m²/d, asociadas a acuíferos cuya permeabilidad sería entre 10^{-5} y 10^{-4} m/s.

En Puangue Alto, aguas arriba de Alhué, dada la naturaleza estrecha del valle y la tendencia a la disminución que muestra la potencia del relleno sedimentario aguas arriba de Curacaví, permiten inferir que el rango de isotransmisividades corresponderá al inferior, es decir, entre 0 y 100 m²/d. En esta zona la permeabilidad de los acuíferos puede estimarse en $0,5 \cdot 10^{-5}$ a $5 \cdot 10^{-5}$ m/s (0,4 a 4 m/d).

En la mayor parte de Puangue Alto, el coeficiente de almacenamiento se estimó entre 0,03 y 0,08, donde se verifica la presencia predominante de napas libres y acuíferos compuestos de materiales más bien gruesos de variada granulometría.

En Puangue medio aparecen como característica las napas confinadas por lo que el coeficiente de almacenamiento se estimó inferior a 0,01. En la parte baja de Puangue Medio, lo mismo que en Puangue Bajo, la presencia más frecuente de napas libres induce a estimar valores para el almacenamiento entre 0,03 y 0,05.

El escurrimiento de las aguas subterráneas tiene en general la misma dirección y sentido que el escurrimiento de los cauces superficiales.

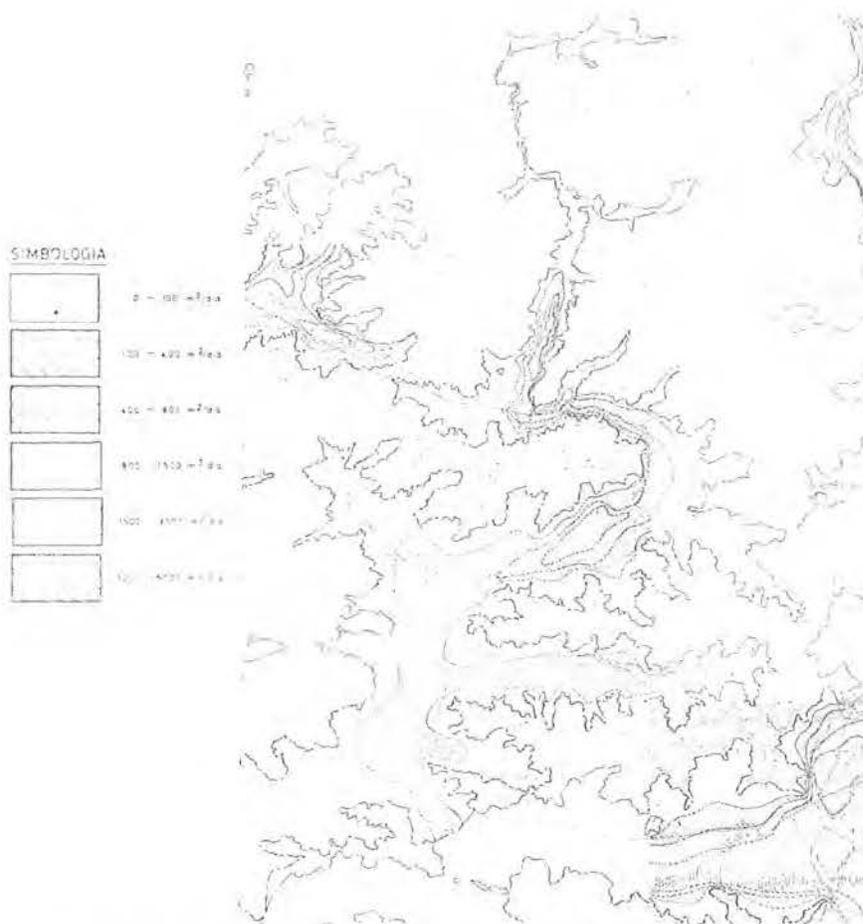


Figura 5-45 Zonas de iso-transmisibilidad en la cuenca del estero Puague (CNR/IPLA-1984)

Se definieron seis secciones transversales a lo largo del valle principal y en los valles laterales más importantes, para analizar el movimiento del agua subterránea y la magnitud de su caudales.

- Puague Alto
 - Aguas arriba de Curacaví: 40 l/s.
 - Confluencia Estero Cuyuncaví: 8 l/s.
- Puague Medio:
 - Aguas arriba Los Rulos-Potrero Alvarado: 51 l/s.
 - María Pinto: 42 l/s.

- Aguas arriba confluencia con valle del Mallarauco: 15 l/s.
- Salida del valle del Mallarauco: 9 l/s.

En Puangue Bajo no fue posible estimar caudales debido a la escasa información existente al momento de realizar el reporte. Sin embargo la entrada de flujo subterráneo se estimó en 24 l/s, suma de los aportes del valle de Mallarauco y de la salida de Puangue Medio.

Los resultados de los caudales de flujo subterráneo determinados anteriormente son de baja magnitud, explicados por las bajas transmisividades y reducidos gradientes hidráulicos. Estos caudales resultan significativamente menores a los caudales bombeados desde los acuíferos, por lo que en el periodo de explotación extensiva de los embalses subterráneos, los volúmenes de agua extraídos deben ser suplidos desde el almacenamiento subterráneo o por recargas en las zonas donde la napa y los cauces subterráneos se hallan conectados.

En el sector de Puangue Alto, existe una dependencia directa entre la napa subterránea y el escurrimiento superficial en el estero Puangue, constituyéndose este curso superficial en una de las principales fuentes de recarga de los acuíferos del sector.

Por su parte, en Puangue Medio, durante los meses de estiaje, existe una zona de recarga de la napa que se ubica aguas arriba de la localidad de María Pinto; en esta localidad, lo mismo que aguas abajo de ella se produce una descarga permanente de la napa que se constituye en un aporte directo al estero Puangue, el cual también es alimentado por los derrames de riego provenientes del canal Las Mercedes. Estos derrames constituyen asimismo la principal fuente de recarga de la napa durante el periodo de riego, como también lo es la infiltración directa de las aguas del canal Las Mercedes, habiéndose constatado que cuando este canal se seca en invierno, las norias de uso doméstico vecinas muestran un descenso de los niveles, aunque el estero Puangue aumente su caudal producto de las lluvias.

En Puangue Bajo se verifican condiciones de recarga semejantes a las del sector de Puangue Medio, con la diferencia de que, en este sector, se presentan condiciones más desfavorables para la infiltración, debido a la existencia de una capa superficial de baja permeabilidad, lo cual hace que los derrames de riego escurran superficialmente y se incorporen a los cauces y al estero Puangue. En esta zona se cuenta con aportes externos provenientes de canales que tienen sus tomas fuera de la hoya.

6 DEMANDA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

Actualmente, el agua generada en la cuenca del estero Puangue se utiliza en uso doméstico, agua potable, industria y agricultura. Antes de la construcción de los Canales que trasvasan aguas desde el río Mapocho y Maipo a la cuenca del estero Puangue, las distintas actividades que utilizaban el recurso hídrico para su desarrollo estaban limitadas al agua disponible naturalmente en la cuenca.

6.1 DEMANDAS DE AGUA EN AGRICULTURA

Con la construcción del Canal Las Mercedes y Mallarauco en el siglo diecinueve y posteriormente los canales San José, Picano y Puangue, comenzó una expansión de la agricultura constituyéndose en la principal actividad económica de la cuenca y la principal consumidora de agua. Esta actividad estuvo limitada por la campaña para combatir la fiebre tifoidea que afectó a la región metropolitana en la década de los 70's. Los agentes patógenos que llegaban al río Mapocho a través de las numerosas descargas de aguas servidas, eran trasvasados a la cuenca del estero Puangue a través de los canales antes mencionados. Diversas resoluciones prohibieron el riego directo con aguas provenientes del río Mapocho, sobre todo en hortalizas. Esto generó un aumento en el uso de agua subterránea, la cual no tenía este problema. No fue hasta la puesta en marcha de las plantas de tratamiento de aguas servidas en la región Metropolitana que se produce una fuerte expansión en el rubro agrícola en los valles de Puangue Medio, Mallarauco y Puangue Bajo. Se aborda la demanda de agua en la actividad agrícola de toda la cuenca del estero Puangue, a través del análisis de los resultados de los censos agrícolas de 1997 y 2007.

6.1.1 DEMANDA AGRÍCOLA POR LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CUENCA DEL ESTERO PUANGUE.

Los requerimientos hídricos mensuales de los cultivos agrícolas establecidos en la cuenca del estero Puangue se estimaron mediante la sumatoria de la evapotranspiración de cultivo para cada especie a nivel mensual en función de la evapotranspiración de referencia de la zona (ET_o), el coeficiente de cultivo (K_c) de cada especie según su estado fenológico y la superficie cultivada en cada zona establecida, tal como se expresa en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

$$\text{Demanda Hídrica mensual de los Cultivos} \left[\frac{m^3}{seg} \right] = \sum_{n=1}^n \text{Demanda hídrica real mensual Cultivo}_n \left[\frac{m^3}{seg} \right]$$

Ecuación 6-1

Por su parte, la demanda hídrica real de un cultivo <c> en el mes <m> es:

$$Dda\ Hídrica\ real\ mensual\ del\ Cultivo_{(c,m)} \left[\frac{m^3}{seg} \right] = ETC_{(c,m)} * Sup_{(c)} * \frac{1}{N^{\circ}días_{(m)}} * \frac{10}{86.400}$$

Ecuación 6-2

Donde: $ETC_{(c,m)}$ = Evapotranspiración real de un cultivo <c> en el mes <m>; [mm/mes]

$Sup_{(c)}$ = Superficie total del cultivo <c> según censos agrícolas; [hás]

$N^{\circ}días_{(m)}$ = Número de días del mes <m>

$\frac{10}{86.400}$ = factor de conversión de unidades

Asimismo, la Evapotranspiración real de cultivo (ETC) en el mes <m> se estima con la siguiente relación:

$$ETC_{(c,m)} = ETO_{(m)} * Kc_{(c,m)}$$

Donde: $ETC_{(c,m)}$ = Evapotranspiración real de cultivo en el mes <m>; [mm/mes]

$ETO_{(m)}$ = Evapotranspiración de referencia en el mes <m>; [mm/mes]

$Kc_{(c,m)}$ = Coef. de cultivo especie <c>, para el estado fenológico en el mes <m>

6.1.2 EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ETO)

La ETO se obtuvo del reporte AGRIMED/UCHILE-2015, en el cual se elaboró una cartografía de ETO mensual a nivel nacional, basada en modelos topoclimáticos con una resolución espacial de 1x1 km. La cartografía se realizó sobre la base de regresiones múltiples no lineales usando como variables independientes la altitud, latitud y distancia al mar. Para determinar la altitud en la modelación espacial se utilizó un modelo de terreno de alta definición (90x90 m).

Los modelos numéricos se elaboraron para las variables de temperatura, precipitación, humedad relativa y radiación solar, estableciendo una base climática para cada una de

ellas cuyos resultados fueron validados con las mediciones de terreno de las estaciones de la Dirección Meteorológica de Chile, Dirección General de Aguas, y otras pertenecientes a diferentes instituciones tanto públicas como privadas. Finalmente, con estos antecedentes se utilizó el método de Penman-Monteith para el cálculo de la ETo. a nivel mensual para diferentes localidades de todo el país, dentro de las cuales se utilizaron para este estudio las correspondientes a las localidades de Quilpué, Curacaví y Melipilla, estos valores se presentan en el **Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Comuna	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ETo Anual
Quilpué	4,8	4,3	3,5	2,6	1,8	1,4	1,4	1,8	2,4	3,3	4,2	4,7	1101
Curacaví	5,6	5,1	4,1	2,9	2	1,5	1,5	1,9	2,7	3,7	4,8	5,5	1255
Melipilla	5,5	5	4	2,9	2,1	1,6	1,5	1,9	2,7	3,7	4,7	5,4	1246

Cuadro 6-1 Evapotranspiración de referencia utilizada en [mm/día]

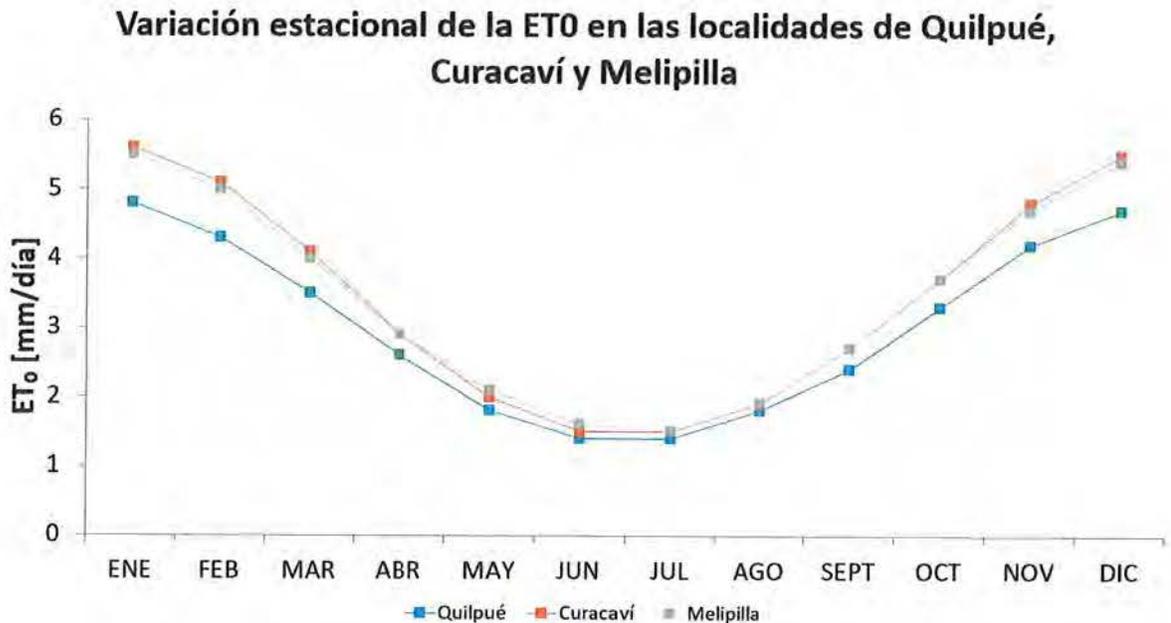


Figura 6-1 Variación estacional de la ETo en localidades utilizadas como referencia para la cuenca del estero Puangue

Para los efectos del cálculo de las evapotranspiraciones de cultivo se asignaron estos valores locales a las diferentes unidades censales denominadas distritos agrocensales en los cuales se encuentran presentados los antecedentes de superficie de cultivos. La asociación se muestra en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Localidad para Et.	Censo 1997	Censo 2007
Quilpué	1 Providencia	1 Los Yuyos
	2 Colliguay	2 Colliguay
Curacaví	3 Carén	3 Carén
	4 Zapata	4 Alhué
		5 Zapata
	5 Curacaví	6 Curacaví
		7 Curacaví Sur
Curacaví	6 Bustamante	8 Bustamante
		9 Lolenco
	7 Lo Prado	10 Lo Prado
	8 Lo Ovalle	11 El Parrón
		12 Lo Ovalle
	9 María Pinto	13 María Pinto
Melipilla	10 Chorombo	14 Ibacache
		15 Chorombo
	11 Mallarauco	16 Mallarauco
		17 San Bernardo
	12 San José	18 Bollenar
		19 San José
Melipilla	13 Pomaire	20 Pomaire
	14 Melipilla Orien	21 Melipilla Oriente
	15 Melipilla Ponie	22 Melipilla Poniente
		23 Cementerio
	16 Lumbrera	24 Lumbrera
	17 Puangue Ponie	25 Puangue Poniente
	18 Huechún	26 Huechún

Cuadro 6-2 Distritos Agrocensales asociadas a localidades con ET₀

6.1.3 COEFICIENTE DE CULTIVO K_c

Corresponde al factor adimensional que relaciona la ET_0 con la Evapotranspiración de Cultivo (ET_c), mediante la siguiente expresión matemática:

$$ET_c = K_c * ET_0$$

Ecuación 6-3

Donde:

ET_c Evapotranspiración de cultivo [mm/día]

K_c coeficiente de cultivo [adimensional]

ET_0 evapotranspiración del cultivo de referencia [mm/día]

Como la mayoría de los efectos de los diferentes factores meteorológicos se encuentran incorporados en la estimación de ET_0 representando así un indicador de la demanda climática, el valor de K_c varía principalmente en función de las características particulares del cultivo, variando solo en una pequeña proporción en función del clima. Esto permite la transferencia de valores estándar del coeficiente del cultivo entre distintas áreas geográficas y climas.

Los valores de K_c se obtuvieron principalmente del reporte "Evapotranspiración de Referencia para la Determinación de las Demandas de Riego en Chile", de la Facultad de Ciencias Agronómicas y del Centro de Agricultura y Medio Ambiente (Agrimed) de la Universidad de Chile (2015).

En el reporte citado se indican valores de K_c para cada especie con una variación mensual función de su fenología, obtenidos de la literatura. En algunos casos en los cuales no existía un valor determinado, se asociaron valores de especies fisiológicamente similares.

En los casos de cultivos anuales (forrajeras, hortalizas, cereales o flores), frutales de hoja caduca y viñas, se asignó un K_c mínimo de 0,2 en los meses en que el suelo no está cultivado, en barbecho o receso invernal en el caso de los frutales, para los efectos de tener una demanda continua mínima o basal de referencia.

La tabla con los valores de K_c mensuales por especie se presentan en el Anexo 2 de este informe.

6.1.4 RELACIONES ENTRE LAS SUPERFICIES DE DISTRITOS AGROCENSALES Y SUBCUENCAS

La evolución de la superficie agrícola cultivada en el valle del estero Puangue se obtuvo desde los resultados tabulados de los Censos Agropecuarios realizados por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE en los años 1997 y 2007). Los datos fueron obtenidos directamente del sitio: <http://icet.odepa.cl/> perteneciente al sistema de consulta estadístico territorial (ICET) de la Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) del Ministerio de Agricultura, (consultado en abril de 2017).

Los resultados de superficie para las distintas especies agrícolas se presentan a nivel de distritos Agrocensales, los cuales conforman la unidad mínima de tabulación de los datos y que comprende un determinado territorio que puede coincidir o no con la división comunal y la división hidrográfica, en este caso, las subcuencas de la cuenca del estero Puangue (**iError! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Como se aprecia, algunos distritos agrocensales no coinciden con los límites hidrográficos de los diferentes sectores hidrográficos en los cuales se dividió la cuenca del estero Puangue para los efectos de este informe, por lo tanto estos distritos han sido subdivididos proporcionalmente a la superficie cultivada total o por tipo de cultivo, en aquellos lugares donde se pudo realizar esta diferenciación (con apoyo de imágenes satelitales de Google Earth), para ser adecuados a los sectores hidrográficos de la cuenca del Puangue. La equivalencia de estas subdivisiones se presenta en el **iError! No se encuentra el origen de la referencia.**.

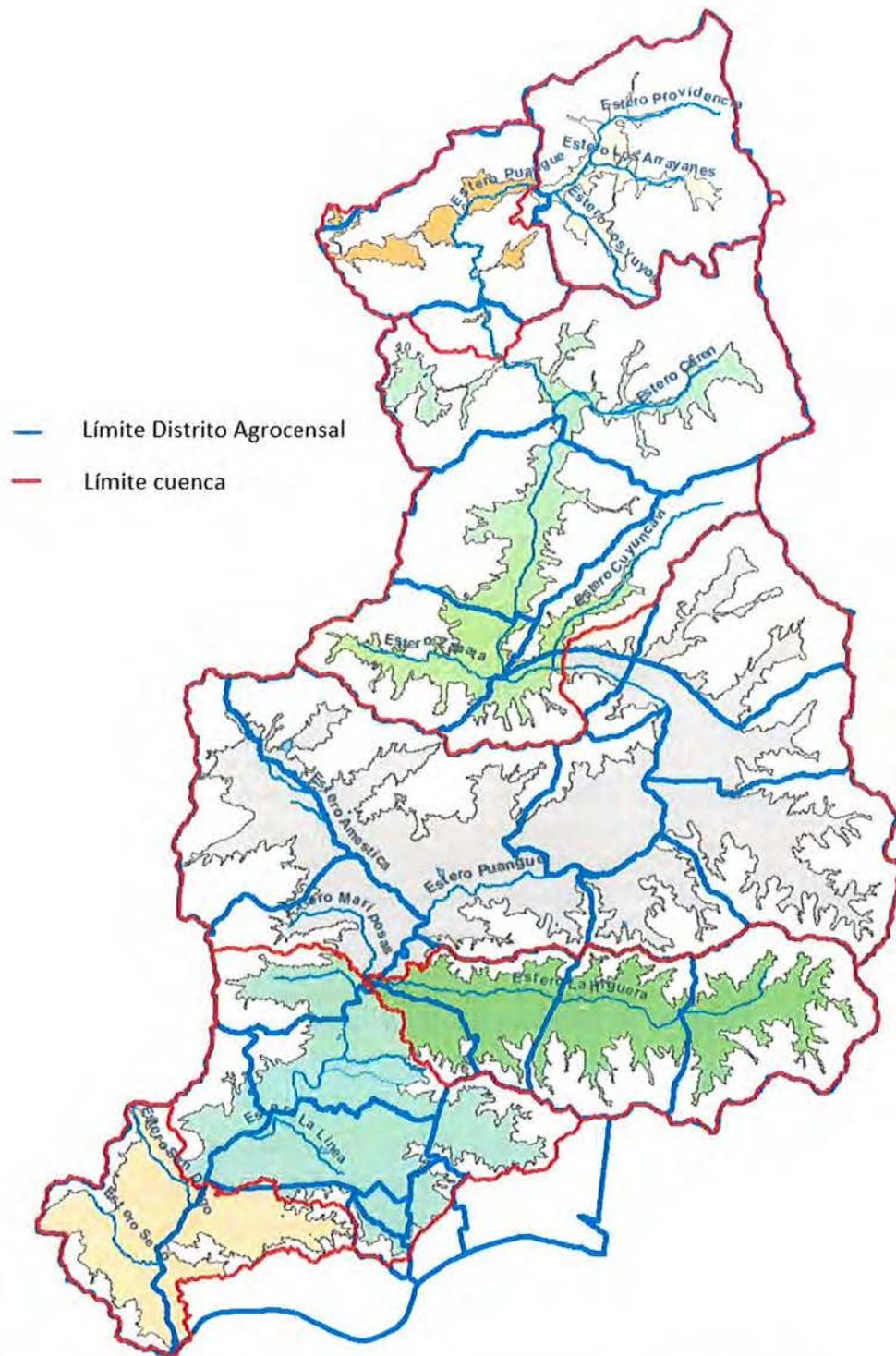


Figura 6-2 Distritos agrocensales correspondientes a la cuenca del estero Puangue

Sector Hidrológico Estero Puangue	Distritos Censo 1997	Distritos Censo 2007
1 Altos de Puangue, aguas arriba de Boquerón	1 Providencia	1 Los Yuyos
2 Altos de Puangue, aguas abajo de Boquerón	2 Colliguay	2 Colliguay
3 Puangue Alto	3 Carén	3 Carén
	4 Zapata	4 Alhué
	5 Curacaví	5 Zapata
		6 Curacaví
		7 Curacaví Sur
4 Puangue Medio	6 Bustamante	8 Bustamante
	7 Lo Prado	9 Lolenco
	8 Lo Ovalle	10 Lo Prado
	9 María Pinto	11 El Parrón
	12a Chorombo en Puangue Medio	12 Lo Ovalle
		13 María Pinto
		14 Ibacache
		18a Chorombo Puangue medio
5 Estero La Higuera	10 Mallarauco	15 Mallarauco
	11a San José en La Higuera	16 San Bernardo
		17 Bollenar
		19a San José en la Higuera
6 Puangue Bajo, aguas arriba de ruta 78	11b San José en Puangue Bajo	18b Chorombo Puangue Bajo
	12b Chorombo en Puangue Bajo	19b San José en Puangue Bajo
	13a Pomaire en Puangue Bajo	20a Pomaire en Puangue Bajo
	14a Melipilla Oriente en Puangue Bajo	21a Melipilla Oriente en Puangue Bajo
	15 Melipilla Poniente	22 Melipilla Poniente
	16 Lumbreira	23 Cementerio
	17a Puangue Poniente aguas arriba de Ruta 78	24 Lumbreira
		25a Puangue Poniente aguas arriba de ruta 78
7 Puangue Bajo, aguas abajo de ruta 78	17b Puangue Poniente bajo ruta 78	25b Puangue Poniente bajo ruta 78
	18a Huechún en Puangue bajo	26a Huechún en Puangue bajo
8 Fuera cuenca Puangue	13b Pomaire Fuera de Puangue	20b Pomaire fuera Puangue
	14b Melipilla Oriente fuera de Puangue	21b Melipilla Oriente Fuera de Puangue
	18b Huechún fuera de Puangue	26b Huechún fuera de Puangue

Cuadro 6-3 correspondencia entre subdivisiones de distritos agrocensales y subcuencas consideradas en la cuenca del estero Puangue

La división de los resultados de cada censo se realizó considerando la distribución proporcional de la superficie cultivada en cada sector. Los criterios de distribución se mantuvieron para cada censo a fin de mantener la consistencia de la comparación.

6.1.5 RESULTADOS

6.1.5.1 EFICIENCIA DE APLICACIÓN DE RIEGO

En todas las subcuencas hubo un aumento en la eficiencia de aplicación de riego. Este aumento varió desde cerca de un 10% a un 35%, en las subcuencas de Altos de Puangue sobre Boquerón. Puangue Alto, Puangue Medio y La Higuera tuvieron un alza cercana a 11%, muy parecida entre ellas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)

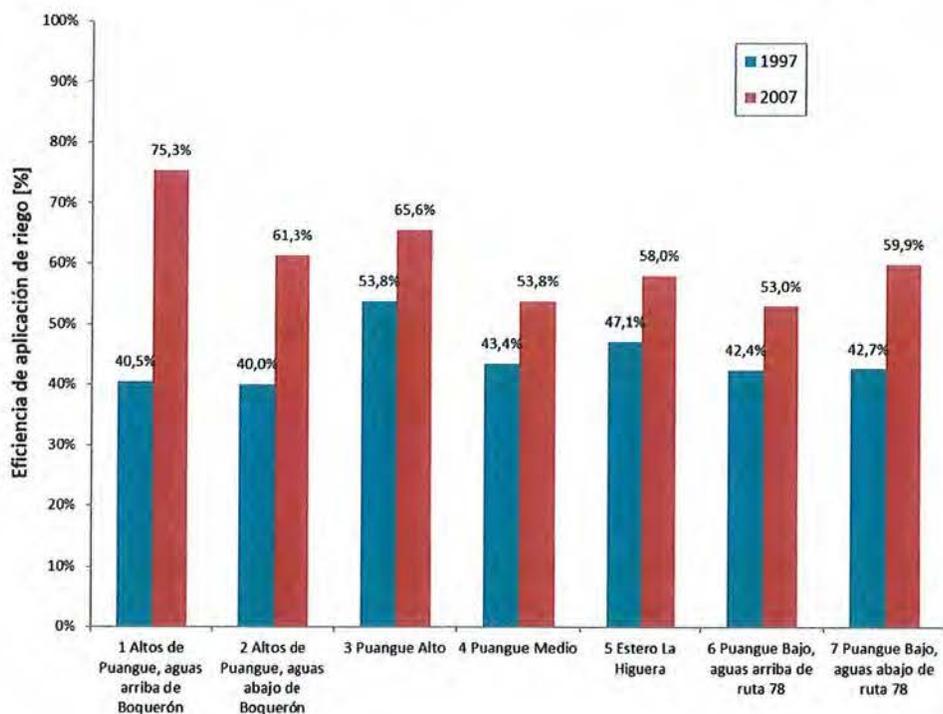


Figura 6-3 Eficiencia de aplicación de riego para subcuencas de la cuenca del estero Puangue, Censos de 1997 y 2007

Sector	Eficiencia de Aplicación de Riego [%]	
	1997	2007
1 Altos de Puangue, aguas arriba de Boquerón	40,5%	75,3%
2 Altos de Puangue, aguas abajo de Boquerón	40,0%	61,3%
3 Puangue Alto	53,8%	65,6%
4 Puangue Medio	43,4%	53,8%
5 Estero La Higuera	47,1%	58,0%
6 Puangue Bajo, aguas arriba de ruta 78	42,4%	53,0%
7 Puangue Bajo, aguas abajo de ruta 78	42,7%	59,9%
8 Fuera cuenca Puangue	43,5%	61,7%
Total	44,2%	61,1%

Cuadro 6-4 Eficiencias de aplicación de riego en subcuencas de la cuenca del estero Puangue

6.1.5.2 SUPERFICIE TOTAL CULTIVADA, RIEGO Y SECANO

La superficie de riego en la cuenca del estero Puangue aumento en casi 2.000 hectáreas en el año 2007 respecto del año 1997, representando un aumento de 4,5%, por su parte la superficie de secano disminuyó en casi 670 hectáreas en el año 2007 respecto de lo acontecido en el año 1997 (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Sectores Hidrológicos estero Puangue	Censo 1997			Censo 2007			Incremento 1997 a 2007		
	Riego [hás]	Secano [hás]	Total [hás]	Riego [hás]	Secano [hás]	Total [hás]	Riego [%]	Secano [%]	Total [%]
1 Altos de Puangue, aguas arriba de Boquerón	130,5	7,8	138,3	250,8	6,2	257,0	92,2%	-20,5%	85,8%
2 Altos de Puangue, aguas abajo de Boquerón	61,8	8,5	61,8	33,2	7,0	40,2	-46,2%	-17,6%	-34,9%
3 Puangue Alto	1.332,6	2,0	1.334,6	1.398,3	0,9	1.399,2	4,9%	-55,0%	4,8%
4 Puangue Medio	11.477,3	184,9	11.662,2	13.865,9	26,5	13.892,4	20,8%	-85,7%	19,1%
5 Estero La Higuera	7.246,7	11,0	7.246,7	7.343,8	9,0	7.352,8	1,3%	-18,2%	1,5%
6 Puangue Bajo, aguas arriba de ruta 78	6.217,3	183,0	6.400,3	5.810,2	42,0	5.852,2	-6,5%	-77,0%	-8,6%
7 Puangue Bajo, aguas abajo de ruta 78	2.436,9	396,3	2.833,2	2.192,8	31,0	2.223,8	-10,0%	-92,2%	-21,5%
Total	28903,2	793,5	29677,1	30895,1	122,6	31017,7	6,9%	-84,5%	4,5%

Cuadro 6-5 Superficie total cultivada, riego y secano

El mayor aumento porcentual se produjo en la cuenca de Altos de Puangue sobre Boquerón, en donde la superficie de riego en el año 2007, aumentó casi el doble, pasando de 130 a 250 hectáreas. Los recursos hídricos utilizados son esencialmente superficiales, se descarta un uso intensivo de aguas subterráneas debido a que los derechos aprobados para esta fuente son de escaso monto, inferior a 2 l/s, y el monto total aprobado no supera los 20 l/s, su uso es primordialmente doméstico. Las fuentes principales la constituyen los esteros providencia y estero Los Arrayanes. La eficiencia de aplicación de riego es alta, supera el 75%, utilizando dos tranques para embalsar agua que se distribuye con riego mecanizado.

Por su parte en la cuenca Altos de Puangue bajo Boquerón, en donde se ubica la localidad de Colliguay, la superficie de riego entre 1997 y 2007 disminuyó en cerca de 30 hectáreas. Algunos de los hechos que pueden explicar este fenómeno es que básicamente la parte alta y media de esta subcuenca, se alimenta con recursos hídricos propios que aportan al estero Puangue. Estos recursos hídricos son esencialmente superficiales, pues la cuenca carece de suelos con buenas capacidades acuíferas, con rellenos cuaternarios de poca potencia y baja distribución espacial. lo anterior incide también en la calidad del suelo para riego.

Puangue Alto tuvo un aumento marginal de alrededor de 70 hectáreas dedicadas al riego, pasando de 1.333 a 1.1398 hectáreas. Si bien es cierto la superficie de riego permite un aumento mayor, la escases del recurso hídrico controla el crecimiento. Cabe recordar que

el estero Puangue en este sector se agota y que muchos de sus usuarios tratan de suplir los recursos hídricos faltantes con agua subterránea estresando el acuífero en época de riego.

Sin embargo, en el subsector de Puangue Medio, se produjo un aumento de la superficie de riego en alrededor de un 21% en desmedro de la superficie de secano, aumentando en alrededor de 2.400 hectáreas, pasando de 11.477 en el año 1997 a 13.866 en el año 2007 hectáreas. También aumentó la eficiencia de aplicación de riego en alrededor de un 10%. Esto está en concordancia con el aumento en el uso de superficies de secano sobre la cota del Canal Las Mercedes, superficies que se riegan ahora en forma tecnificada, elevando el agua necesaria para los cultivos.

En el subsector de La Higuera se produjo un aumento marginal de 97 hectáreas de la superficie bajo riego, pasando de 7.217 a 7.344 hectáreas. Por su parte, la eficiencia en la aplicación de riego aumentó en un 10% al igual que en Puangue Medio. La superficie de riego, debido a la morfología de la cuenca, se encuentra mayoritariamente bajo la cota del canal Mallarauco, obra que provee de casi todo el recurso hídrico disponible en la cuenca.

Finalmente las superficies de riego ligadas al acuífero de Puangue Bajo, disminuyeron sus áreas tanto en Puangue Bajo sobre Ruta 78 como en Puangue Bajo bajo Ruta 78. La disminución total alcanzó las 651 hectáreas. Por su parte la eficiencia de aplicación de riego fue mayor al 10% en el periodo considerado, indicando una disminución del agua utilizada en estos procesos.

6.1.5.3 ESTRUCTURA DE CULTIVOS

La evolución de la estructura de cultivos para los subsectores de la cuenca del estero Puangue se presenta en el **iError! No se encuentra el origen de la referencia.**, y la **iError! No se encuentra el origen de la referencia.** y **iError! No se encuentra el origen de la referencia.**. Se puede constatar que en todos los subsectores se ha producido un aumento importante en la superficie ocupada por frutales entre 1997 y 2007, disminuyendo las superficies ocupadas a forrajeras permanentes y hortalizas.

Por su parte en el subsector de Puangue Medio, aumentan las superficies dedicadas a frutales, hortalizas y cereales, y disminuyen las superficies dedicadas a forrajeras permanentes y anuales y semilleros.

Sector	Cereales	Cultivos Industriales	Flores	Forrajeras Anuales	Forrajeras Permanentes	Frutales	Hortalizas	Huertos caseros	Leguminosas y Tubérculos	Semilleros	Viñas y Parronales	Viveros	Superficie Cultivada
	[hás]	[hás]	[hás]	[hás]	[hás]	[hás]	[hás]	[hás]	[hás]	[hás]	[hás]	[hás]	[hás]
1 Altos de Puangue, aguas arriba de Boquerón	120,0			3,0		4,1	0,2	1,4			1,3	0,5	130,5
2 Altos de Puangue, aguas abajo de Boquerón	4,1	0,3		0,8	2,3	9,9	23,1	13,4	7,9				61,8
3 Puangue Alto	37,7	1,0	1,3	80,4	182,4	598,3	257,5	25,4	132,0	9,0	7,6		1.332,6
Censo 1997 4 Puangue Medio	2.321,2		0,3	771,3	2.439,2	1.480,8	1.955,3	7,9	1.343,6	836,4	321,1	0,3	11.477,3
5 Estero La Higuera	682,7	0,2	1,6	997,1	2.091,9	2.652,5	513,6	13,2	207,9	64,1	21,9		7.246,7
6 Puangue Bajo, aguas arriba de ruta 78	1.326,1	0,1	2,8	618,8	2.021,0	995,3	645,5	20,4	108,0	379,4	93,0	7,0	6.217,4
7 Puangue Bajo, aguas abajo de ruta 78	1.052,1		0,4	94,0	387,3	246,9	248,6	1,3	61,6	338,8	6,0		2.436,9
Total Cuenca	5.543,9	1,6	6,5	2.565,3	7.124,0	5.987,8	3.643,7	83,1	1.861,0	1.627,7	450,8	7,8	28.903,2
1 Altos de Puangue, aguas arriba de Boquerón	2,7	0,0		14,5	1,0	214,5	7,0	7,3	2,7		1,1		250,8
2 Altos de Puangue, aguas abajo de Boquerón		0,0	0,1	0,1	5,8	20,8	3,5	2,6	0,3				33,2
3 Puangue Alto	62,1	0,0	0,6	208,1	122,2	840,3	31,7	5,7	101,8	17,2	4,6	4,0	1.398,3
Censo 2007 4 Puangue Medio	2.975,1	0,5	5,3	560,4	1.833,6	4.301,1	2.114,3	4,1	1.220,3	557,1	291,0	3,2	13.865,9
5 Estero La Higuera	817,9	13,0	0,0	556,7	1.356,7	3.958,0	380,4	6,7	78,5	150,2	25,6	0,1	7.343,8
6 Puangue Bajo, aguas arriba de ruta 78	675,6	1,6	0,3	258,8	1.292,2	1.942,9	819,2	2,1	114,1	418,2	283,0	2,4	5.810,2
7 Puangue Bajo, aguas abajo de ruta 78	827,9	7,5		5,3	199,8	608,2	231,8	0,1	121,5	184,7	6,0	0,2	2.192,8
Total Cuenca	5.361,2	22,6	6,4	1.603,9	4.811,3	11.885,8	3.587,8	28,6	1.639,2	1.327,3	611,3	9,9	30.895,1

Cuadro 6-6 Estructura de cultivos en cuenca del estero Puangue (censo agropecuario de 1997 y 2007)

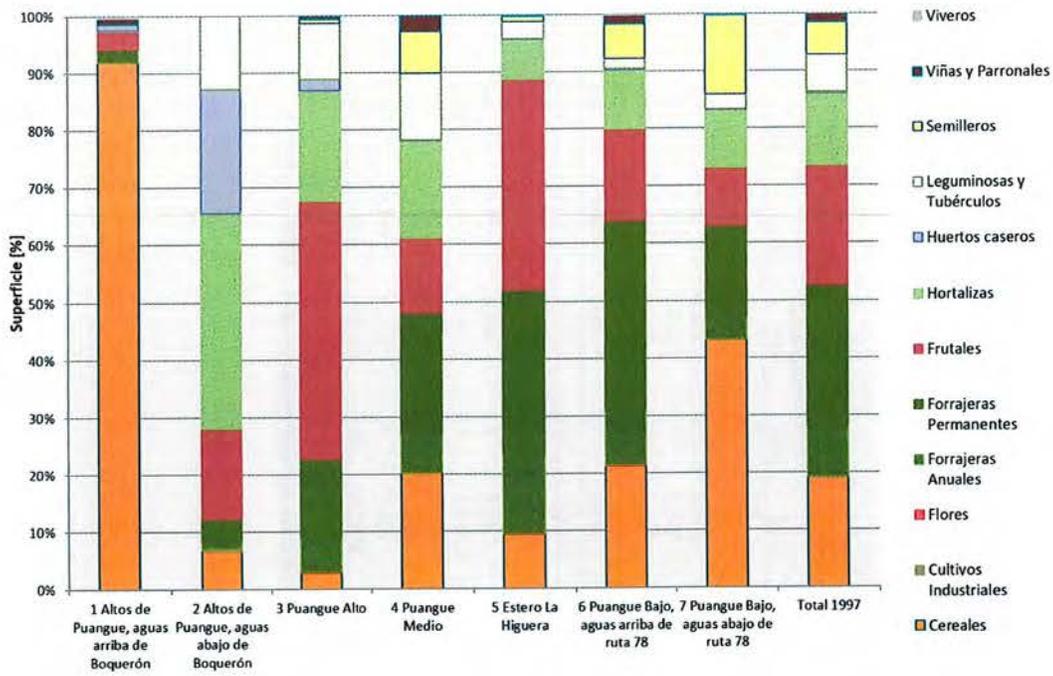


Figura 6-4 Estructura de cultivos y porcentaje de superficie utilizada (censo 1997)

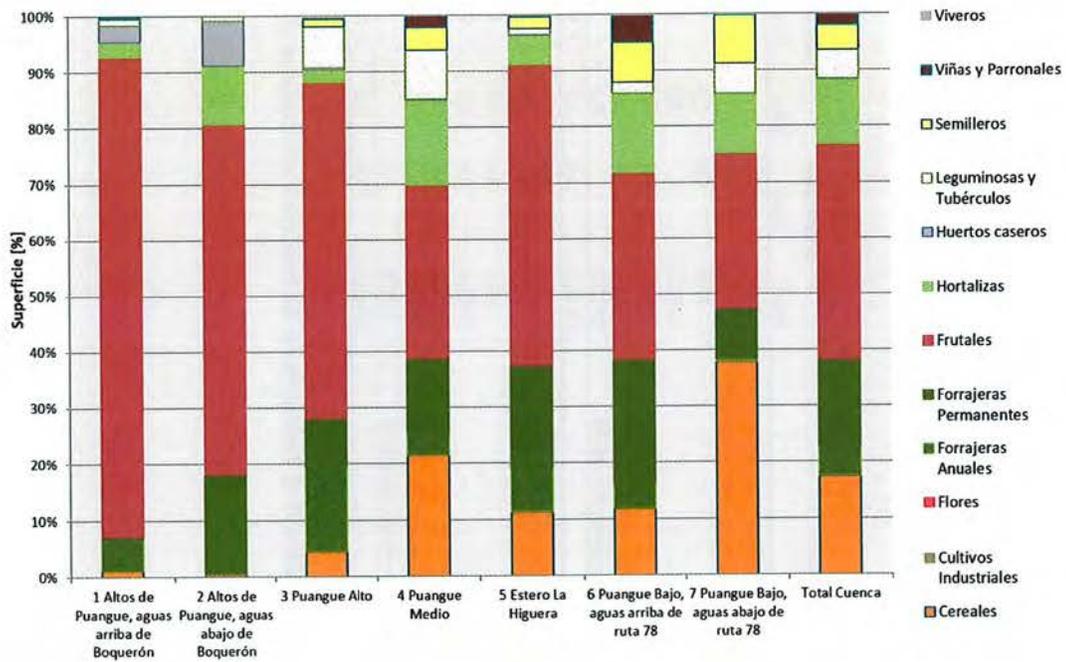


Figura 6-5 Estructura de cultivos y porcentaje de superficie utilizada (censo 2007)

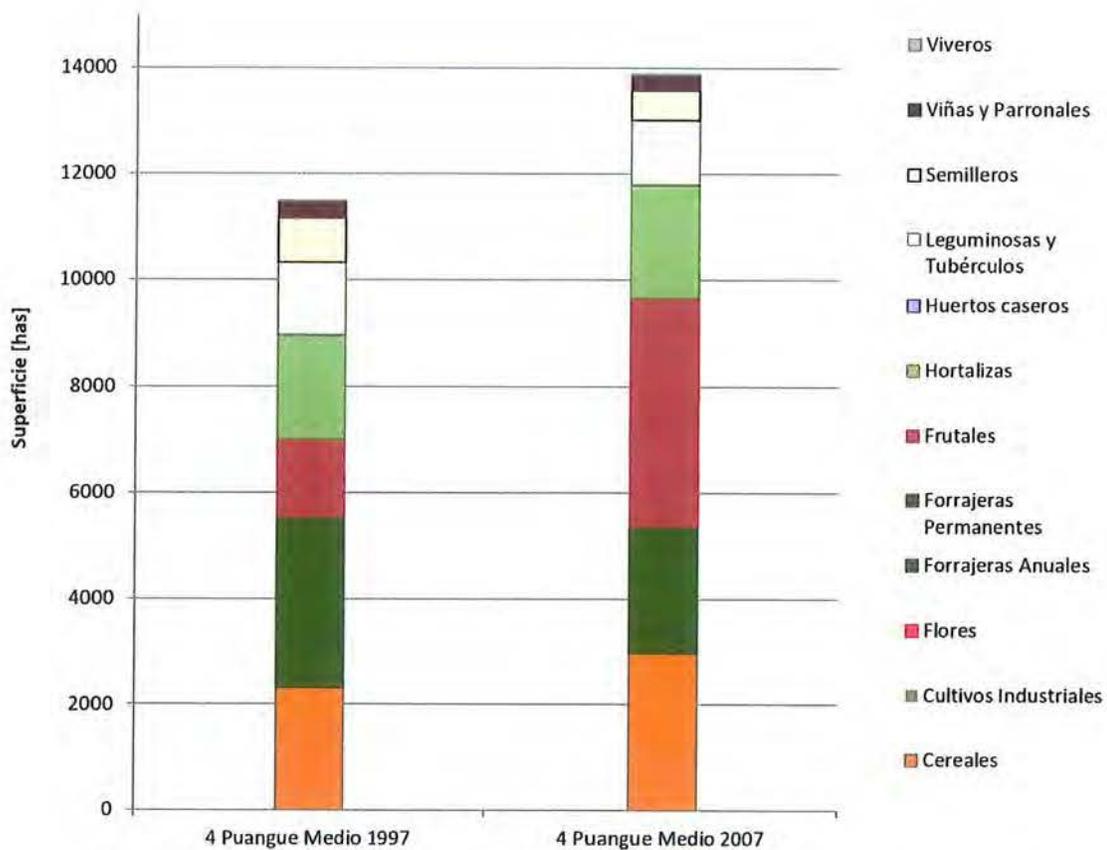


Figura 6-6 Estructura de cultivos y superficie cultivada en el subsector de Puangue Medio para censos de 1997 y 2007

6.1.5.4 DEMANDA HÍDRICA DE CULTIVOS.

De acuerdo a los censos agropecuarios de 1997 y 2007, la demanda hídrica de los cultivos de la cuenca del estero Puangue creció en un 7% (**iError! No se encuentra el origen de la referencia.** y **iError! No se encuentra el origen de la referencia.**), siendo el subsector de Altos de Puangue sobre Boquerón que paso de 25 a 57 l/s, y el subsector de Puangue Medio con un crecimiento en la demanda hídrica de un 23% (746 l/s) más con respecto a 1997.

En cuanto al subsector del estero de la Higuera, éste se mantiene prácticamente en torno a 2.200 l/s. Los otros subsectores disminuyeron su demanda asociada a riego entre 1997 y 2007.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, muestra la comparación de la demanda hídrica para riego para cada subsector acuífero de la cuenca del estero Puangue, para los censos de 1997 y 2007.

Sectores Cuenca Puangue	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual	Anual
	[m³/s]	[m³/año]	[m³/s]											
1 Altos de Puangue, aguas arriba de Boquerón	0,016	0,014	0,011	0,008	0,011	0,016	0,020	0,030	0,040	0,056	0,047	0,025	780.397	0,025
2 Altos de Puangue, aguas abajo de Boquerón	0,027	0,021	0,014	0,008	0,004	0,003	0,003	0,005	0,009	0,016	0,024	0,029	428.599	0,014
3 Puangue Alto	0,683	0,588	0,405	0,217	0,134	0,103	0,106	0,145	0,258	0,395	0,600	0,745	11.474.231	0,364
4 Puangue Medio	5,856	5,234	3,488	1,598	1,157	0,927	0,958	1,312	2,407	3,574	5,940	7,158	103.793.118	3,291
5 Estero La Higuera	3,603	3,234	2,363	1,305	0,973	0,778	0,758	1,021	1,784	2,520	3,786	4,305	69.290.775	2,197
6 Puangue Bajo, aguas arriba de ruta 78	2,896	2,576	1,804	0,928	0,737	0,619	0,627	0,877	1,569	2,240	3,422	3,815	57.986.805	1,839
7 Puangue Bajo, aguas abajo de ruta 78	1,083	0,953	0,681	0,419	0,327	0,276	0,277	0,372	0,589	0,845	1,487	1,686	23.601.890	0,748
Total general	14,165	12,620	8,767	4,482	3,341	2,723	2,750	3,762	6,657	9,646	15,306	17,763	267.355.815	8,478

Cuadro 6-7 Evapotranspiración de cultivo en cuenca del estero Puangue (censo 1997)

Sectores Cuenca Puangue	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual	Anual
	[m³/s]	[m³/año]	[m³/s]											
1 Altos de Puangue, aguas arriba de Boquerón	0,097	0,085	0,067	0,048	0,030	0,020	0,020	0,027	0,042	0,059	0,089	0,102	1.797.739	0,057
2 Altos de Puangue, aguas abajo de Boquerón	0,018	0,015	0,011	0,006	0,002	0,002	0,002	0,003	0,006	0,009	0,014	0,018	275.542	0,009
3 Puangue Alto	0,662	0,580	0,423	0,239	0,145	0,117	0,123	0,168	0,278	0,401	0,599	0,710	11.649.290	0,369
4 Puangue Medio	7,121	6,267	4,301	2,322	1,590	1,224	1,265	1,687	2,754	4,109	7,202	8,732	127.308.996	4,037
5 Estero La Higuera	3,634	3,246	2,442	1,503	1,078	0,824	0,787	1,050	1,713	2,446	3,779	4,355	70.416.668	2,233
6 Puangue Bajo, aguas arriba de ruta 78	2,862	2,510	1,705	0,966	0,706	0,557	0,541	0,728	1,268	1,861	2,965	3,452	52.744.205	1,673
7 Puangue Bajo, aguas abajo de ruta 78	1,072	0,948	0,682	0,431	0,307	0,242	0,232	0,304	0,473	0,691	1,293	1,534	21.530.693	0,683
Total general	15,466	13,652	9,631	5,514	3,859	2,986	2,969	3,967	6,533	9,576	15,941	18,902	285.723.134	9,060

Cuadro 6-8 Evapotranspiración de cultivo en cuenca del estero Puangue (censo 2007)



Figura 6-7 Comparación de la demanda por riego para los distintos subsectores de la cuenca del estero Puangue, censo de 1997 y 2007

7 MODELACIÓN NUMÉRICA

Se han realizado, por parte de instituciones del estado, tres modelos numéricos de flujo de aguas subterráneas, que consideran la cuenca o parte de la cuenca del estero Puangue en su dominio de aplicación. El primer modelo se realizó bajo el desarrollo del reporte DGA/AC-2000, en donde se modeló parte del acuífero de Puangue Medio, correspondiente al sector que presenta un grado de confinamiento de este acuífero, este modelo fue implementado en Visual Modflow versión 3.0.0.180. El segundo modelo numérico, denominado Puangue-Melipilla, fue realizado durante el desarrollo del reporte CNR/GEOFUN-2001, el cual incluyó los valles de los esteros Puangue, La Higuera, Popeta y Cholqui, y el tramo del río Maipo comprendido entre El Monte y Cuncumén. Este modelo sirvió de base para la construcción del tercer modelo realizado por la DGA en el año 2006 y que considera el mismo dominio del modelo de la CNR. En los siguientes apartados, se presentarán los aspectos más relevantes de estos modelos.

7.1 MODELO NUMÉRICO DGA/AC-2000

7.1.1 LÍMITES DEL MODELO

La zona considerada en éste modelo, cercana al pueblo de María Pinto, corresponde a un sector del estero Puangue, incluyendo al canal La Patagüilla y una parte del canal Las Mercedes. Los límites en planta de la zona modelada corresponden en todo su perímetro al límite del contacto roca relleno de la cuenca, abarcando una superficie de 11.647 hectáreas. La Figura 7-1, muestra la ubicación del dominio del modelo respecto del acuífero del subsector de Puangue Medio.

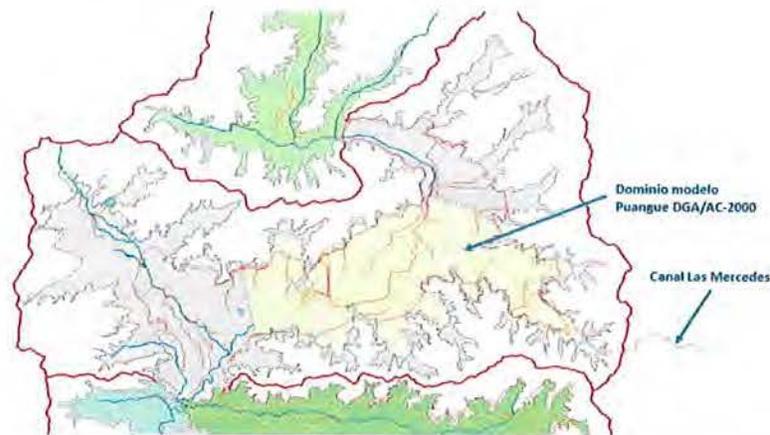


Figura 7-1 Ubicación del dominio del modelo hidrogeológico de Puangue DGA/AC-2000

7.1.2 FUNCIONAMIENTO GENERAL DEL SISTEMA MODELADO

En la mayor parte de la zona modelada se tiene un acuífero freático o no confinado. Este estrato acuífero presenta una relativa continuidad espacial en el sector en estudio.

La principal fuente de recargas en todo el sector modelado está constituido por las recargas directas al acuífero desde las zonas de riego, desde los cauces superficiales, y las recargas provenientes de caudales subterráneos a través de la sección de entrada.

La información existente obliga a definir el periodo de calibración y validación del modelo entre enero de 1990 y marzo de 1998, en el que para el último periodo se tiene una situación de sequía seguida de un brusco incremento de las recargas debido a la gran pluviosidad del año 1997. En tales circunstancias el periodo mencionado contiene condiciones medias, secas y húmedas.

Como flujos de entrada a la zona modelada se consideraron las recargas provenientes de percolaciones de riego, aportes desde los cauces superficiales a la napa subterránea, percolaciones por pérdidas de conducción en canales (incluidas en las pérdidas debidas al riego), precipitaciones y flujos subterráneos entrantes al sector modelado. Como flujos de salida, se tienen el flujo propio de la napa en el extremo de aguas abajo del modelo, las descargas hacia el sistema de drenaje superficial y las extracciones desde pozos y norias.

7.1.3 DISCRETIZACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL

Se definió un rectángulo en planta de 132 filas por 80 columnas, con celdas de 200 metros por 200 metros, el total de celdas alcanzó las 10.560 celdas.

Verticalmente, el modelo se definió con tres estratos, el estrato superior no confinado, y como confinado o no confinado, dependiendo del nivel freático, los estratos intermedio e inferior, de modo que si el nivel se ubica por debajo del techo del estrato para alguna celda en algunos periodos de simulación, el estrato opera como no confinado.

Por su parte el periodo de operación y calibración del modelo, corresponde al lapso de 99 meses, comprendido entre enero de 1990 y marzo de 1998. La discretización principal del tiempo está determinada por las reglas de bombeo de las captaciones y por las variaciones de las recargas. De acuerdo a dichos factores, el intervalo fue establecido en 1 mes, por lo que el modelo opera en cada pasada para un total de 99 periodos o intervalos principales (stress period).

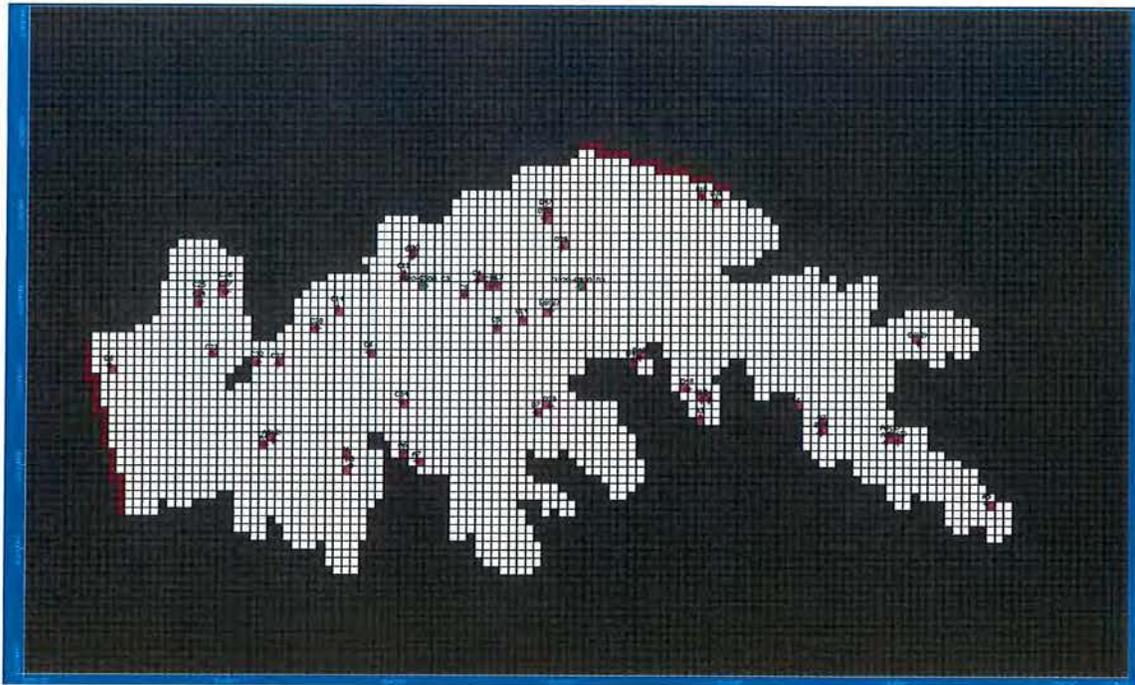


Figura 7-2 Dominio del modelo, zonas activas e inactivas, pozos y condiciones de borde de nivel constante (DGA/AC-2000)

7.1.4 PARÁMETROS DEL MODELO

Los valores de permeabilidad para cada estrato, se obtuvieron a partir de los valores de las transmisividades y espesores aportantes, determinados en los planos de construcción de los sondajes, ubicados en la zona de estudio. En el caso del estrato superior, en que no se contaba con suficiente información, la asignación de permeabilidades se realizó a partir de la descripción geomorfológica de la zona modelada, estas permeabilidades varían entre 0,3 a 259 m/d (Figura 7-3). En tanto que para la capa intermedia las permeabilidades iniciales varían entre 0,5 a 65 m/d. En el caso del estrato inferior, se consideró una permeabilidad uniforme de 0,05 m/d.

Debido a la poca extensión de la zona de estudio y a insuficientes antecedentes para definir localmente el coeficiente de almacenamiento, se consideró uniforme a lo largo de toda la zona en estudio, alcanzando un valor de 0,08 para el caso de napa libre y de 0,00001 para el caso de napa confinada.

7.1.6 CONDICIONES DE BORDE

7.1.6.1 CONDICIÓN INICIAL

A partir de la información de niveles existente, medidos en terreno y limnigramas históricos, se definieron las líneas isofreáticas de la zona de estudio, para enero de 1990, cuya fecha corresponde al inicio del periodo de calibración y validación del modelo (Figura 7-6).

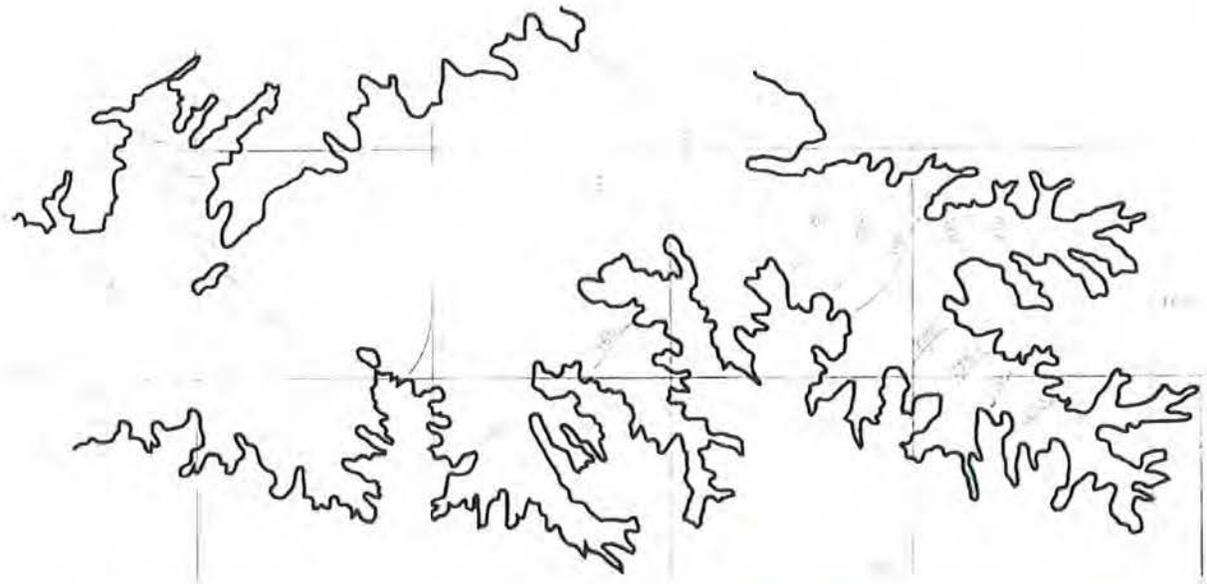


Figura 7-6 Superficie isofreática para la condición inicial de nivel del modelo (enero-1990) Modelo DGA/AC-2000

7.1.6.2 CONDICIONES DE BORDE DE NIVEL

Los valores de los niveles en las celdas definidas como condiciones de borde de nivel constante, se asignaron a partir de una extrapolación e interpolación de la información histórica de niveles interpretada para los años 1990 y 1998. De esta forma se obtuvieron los niveles de aguas subterráneas de entrada y salida del modelo. Los niveles asignados en tales fronteras son variables en el espacio, pero constantes en el tiempo (Figura 7-7)

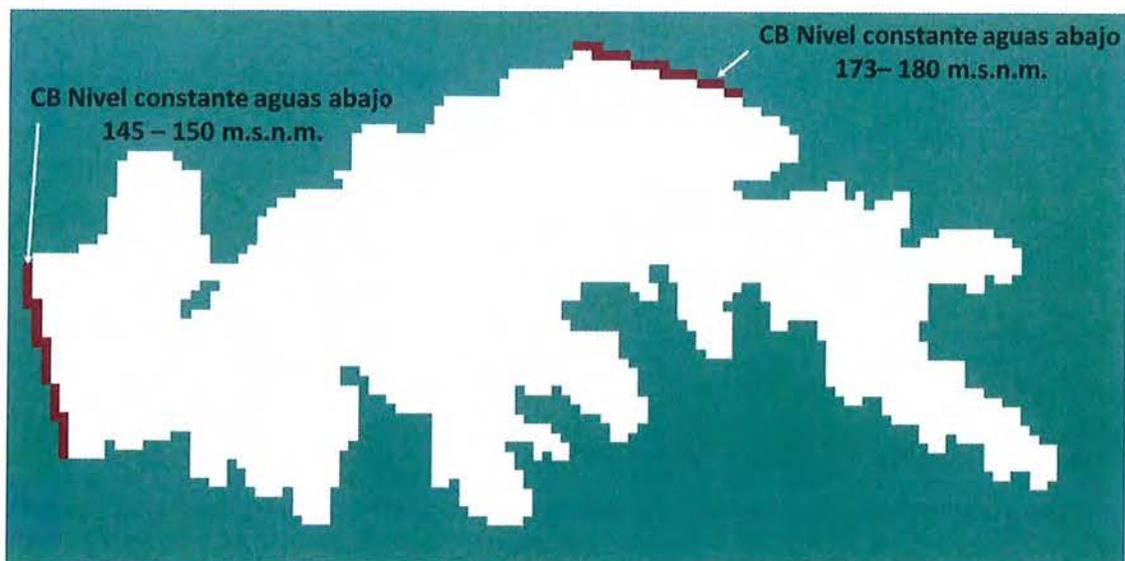


Figura 7-7 Condiciones de borde de nivel constante en modelo DGA/AC-2000

7.1.7 PATRÓN DE AJUSTE DE LA CALIBRACIÓN

Se consideraron dos pozos de observación con información de niveles en el periodo de calibración y validación del modelo, pozo 3320-7100 C3 y pozo 3320-7100 D3 (Figura 7-8)



Figura 7-8 Ubicación de pozos de observación para el contraste de niveles en modelo DGA/AC-2000

Los limnigramas con los valores observados y simulados del modelo se muestran en la Figura 7-9 y Figura 7-10

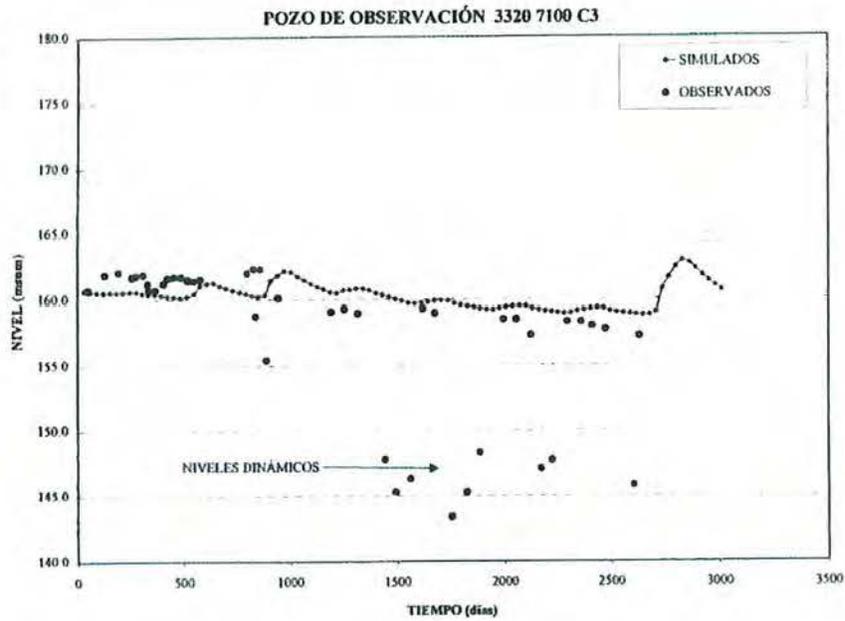


Figura 7-9 Niveles observados versus simulados en pozo de observación 3320-7100 C3, Modelo DGA/AC-2000

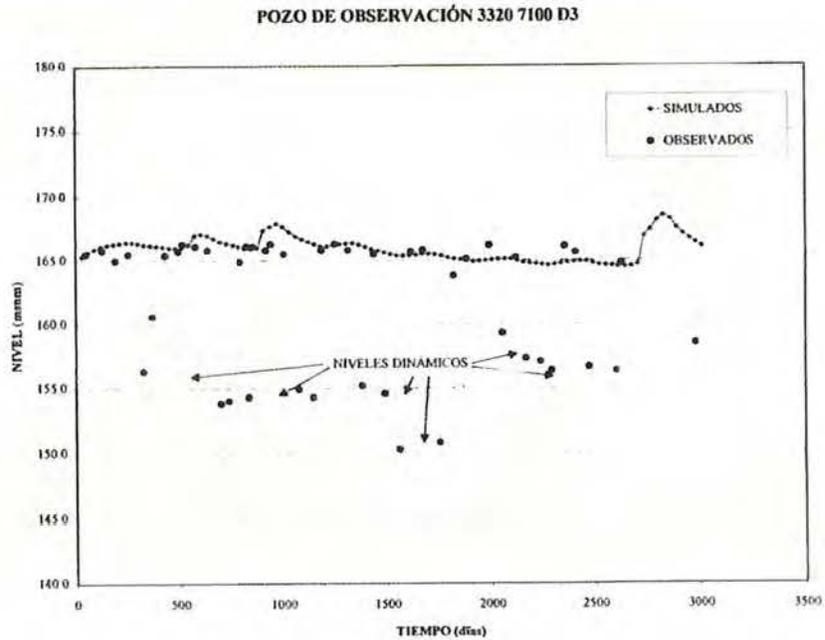


Figura 7-10 Niveles observados versus simulados en pozo de observación 3320-7100 D3, Modelo DGA/AC-2000

Los valores finales del coeficiente de permeabilidad quedaron comprendidos entre 10 m/d y 800 m/d (Figura 7-11, Figura 7-12 y Figura 7-13), dichos valores corresponden a un tipo de medio permeable que va entre arena fina limosa hasta arena gruesa y grava. El valor del rendimiento específico final corresponde a 10%, el que es uniforme para toda la zona modelada.

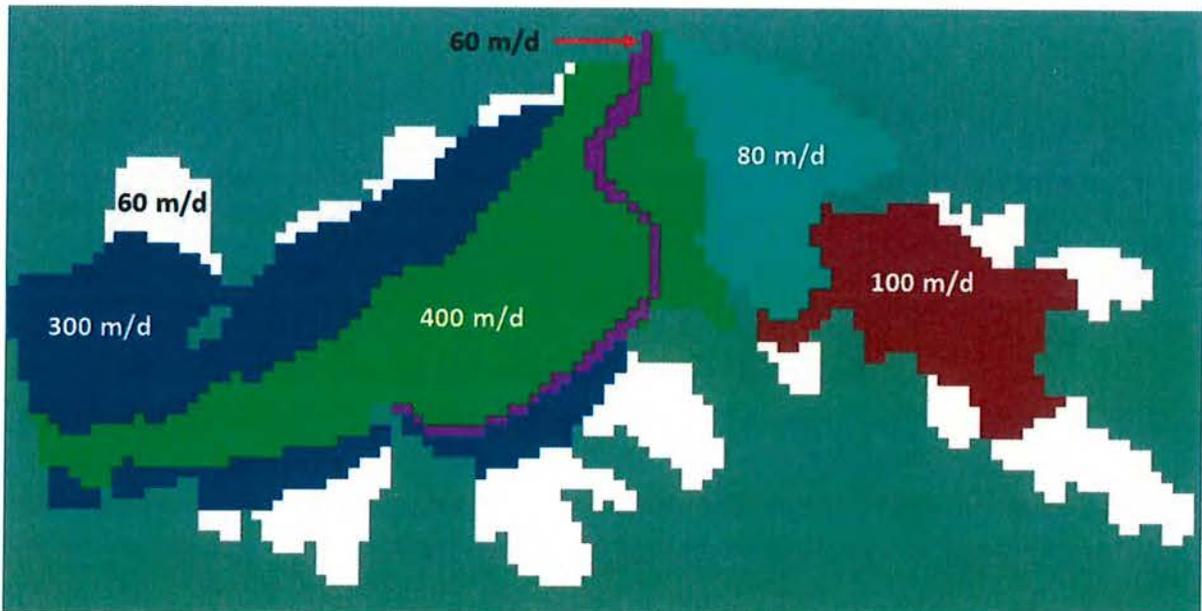


Figura 7-11 Permeabilidades finales estrato superior

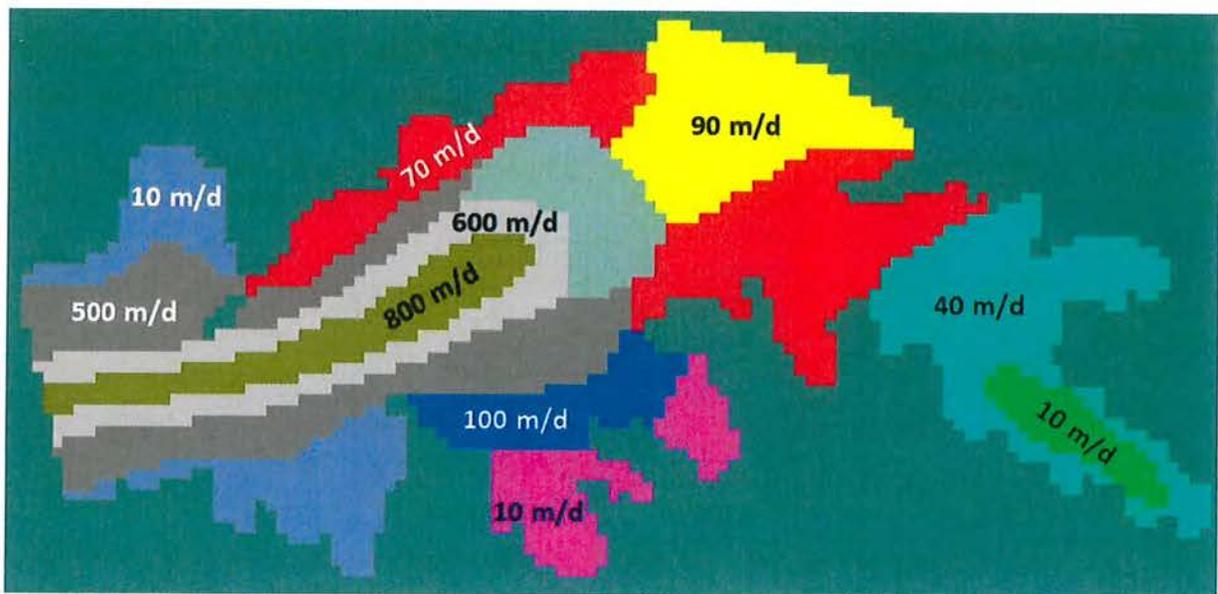


Figura 7-12 Permeabilidades finales estrato intermedio

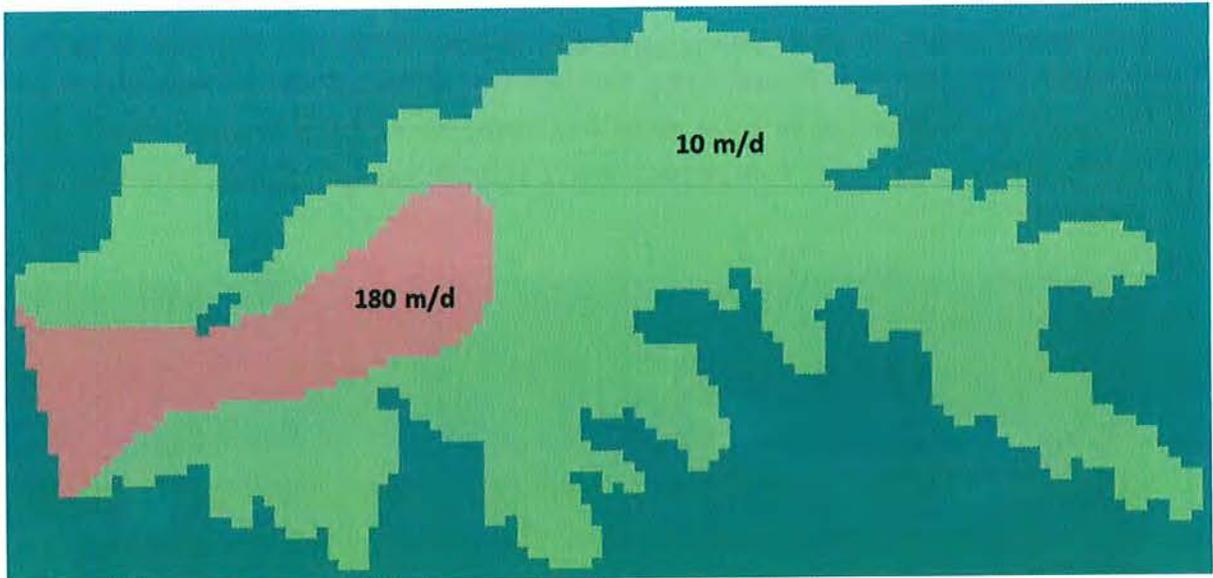


Figura 7-13 Permeabilidades finales estrato inferior

Cabe destacar que la recarga desde el sistema de riego y cauces corresponde a un 50% de la calculada inicialmente por el modelo superficial (MOS), puesto que el acuífero no es capaz de transmitir un mayor flujo de entrada que el señalado sin tener que recurrir a forzar los parámetros del medio más allá de los valores plausibles físicamente.

El Cuadro 7-1, muestra el balance global de la calibración del modelo, expresados en caudales medios para el periodo de calibración (1990-1998)

Flujos de entrada	[m ³ /s]
Condición de nivel de aguas arriba	2,8
Recarga de riego y cauces	1,6
Flujo total de entrada	4,4
Flujos de salida	[m ³ /s]
Condición de nivel de aguas abajo	4,3
Pozos de bombeo	0,3
Flujo total de salida	4,6
Variación del almacenamiento	-0,2

Cuadro 7-1 Balance hídrico global para el periodo de calibración 1990-1998

7.1.8 CONCLUSIONES

A pesar de la carencia de información de niveles en la superficie cubierta por el modelo, los resultados obtenidos en la calibración muestran un alto grado de ajuste.

El balance hídrico muestra que la entrada total al sistema (4,4 m³/s) es menor a la salida total (4,6 m³/s), produciendo una disminución del almacenamiento en 0,2 m³/s. sin embargo, a pesar de la disminución del almacenamiento apreciado en el proceso de calibración, no existiría sobreexplotación del sistema, ya que existe una gran cantidad de agua que está saliendo de la zona a través de la condición de nivel de aguas abajo del modelo.

Por otro lado, se debe considerar que las recargas utilizadas en el modelo fueron reducidas en un 50%, considerando que el acuífero no es capaz de transmitir una mayor flujo de entrada que el señalado sin tener que recurrir a incrementar los parámetros elásticos del medio más allá de los valores razonables.

El caudal de afloramiento no alcanza a ser apreciable en la zona específica modelada, opuestamente a lo que sucede aguas abajo de ella, donde se concentra un mayor número de vertientes de agua subterránea.

Respecto de una posible explotación futura, según los resultados del proceso de calibración del modelo, se concluye que el acuífero en dicha zona se encuentra en equilibrio durante todo el periodo analizado. Esto se traduce en que el nivel de la napa permanece relativamente constante, salvo las variaciones naturales del sistema acuífero. Como consecuencia de lo anterior, se tiene que los bombeos realizados en la situación actual, no representan una extracción de importancia como para generar efectos notorios en aquellos acuíferos. Para que se modifique de manera significativa el nivel de la napa es necesario aumentar considerablemente el orden de magnitud de las extracciones.

7.2 MODELO NUMÉRICO PUANGUE-MELIPILLA CNR-2001

Por su parte el reporte CNR/GEOFUN-2001 realizó un modelo numérico de flujos subterráneos en la plataforma Visual Modflow para el sector denominado Puangue-Melipilla. Los límites del modelo consideran los valles asociados a los esteros Puangue, La Higuera, Cholqui y Popeta (Figura 7-14)

7.2.1 LÍMITES DEL MODELO

La zona modelada corresponde, en su mayor parte, al perímetro del contacto roca-relleno de la cuenca considerada, excepto en los extremos oriente y poniente del acuífero asociado al río Maipo, donde los límites están constituidos por secciones transversales al valle.

El límite asociado al extremo oriente corresponde a una sección de entrada de flujo subterráneo y el extremo poniente, a una sección de salida, pero de flujo superficial, puesto que en esa zona (Cuncumén) se produce un angostamiento del relleno y éste prácticamente desaparece.

En el área de estudio quedan comprendidas las localidades de Carén, Curacaví, María Pinto, Mallarauco, Talagante, El Monte, Puangue, Melipilla, Pomaire, Cholqui, Popeta, Quinchahue, y Cuncumén entre otras.

7.2.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA MODELADO

La configuración del subsuelo en los acuíferos de la zona modelada fue abordada en el reporte CNR/IPLA-1984 y DGA/AC-2000, y de acuerdo a los análisis geológicos realizados, la zona de estudio incluye dos sistemas geológicos principales; un primer sistema denominado Maipo Inferior (Talagante-Cuncumén Bajo), conformado por tres unidades hidrogeológicas (unidades A, B y C), unidades que también se encuentran en gran parte de la cuenca de Santiago, y un segundo sistema denominado Valle del estero Puangue, que también se conceptualiza en tres unidades (unidades Puangue1, Puangue 2 y Puangue 3).

En el modelo numérico de flujos de aguas subterráneas implementado, ambos subsistemas fueron representados a través de un único estrato equivalente.

El periodo definido para la calibración es de 5 años, y se extiende entre el 1 de enero de 1995 y el 1 de enero de 2000.

7.2.2.1 UNIDADES ACUÍFERAS

SISTEMA 1, MAIPO INFERIOR (TALAGANTE-CUNCUMÉN BAJO)

UNIDAD A

De granulometría fina, altas proporciones de arcillas, unidad de carácter impermeable. Permeabilidades medias estimadas entre 10^{-6} y 10^{-4} m/s (0,0864 y 8,64 m/d), sobreyace a la roca basal e infrayace a la unidad B.

UNIDAD B

De granulometría gruesa y media, buena permeabilidad, valores medios estimados entre 10^{-4} y 10^{-2} m/s (8,64 y 864 m/d), sobreyace a la unidad A.

UNIDAD C

De granulometría media a fina, baja permeabilidad, valores estimados de permeabilidad entre 10^{-5} y 10^{-3} m/s (0,864 a 86,4 m/d).

La roca basal se detectó en Puangue a 153 metros y en Peralillo a 20 metros, muy descompuesta. La unidad A tiene su techo a los 27 metros en el Paico, llegando a los 90 metros cerca de Melipilla. En las inmediaciones de Puangue, su espesor es de poco más de 10 metros. La unidad B exhibe espesores de entre 20 y 30 metros entre Talagante y El Paico, aumentando hasta 90 metros al este de Melipilla, además de espesores de entre 20 y 30 metros hacia el noroeste de esta última localidad. La unidad C es muy discontinua en esta zona, desde el sector de Santiago Sur se presenta con un espesor de unos 20 metros, cerca de 10 metros al norte de Melipilla, alcanzando unos 30 metros de potencia en dicha localidad.

SISTEMA 2, VALLE DEL ESTERO PUANGUE

UNIDAD PUANGUE 1

Corresponde a sedimentos finos con permeabilidades cercanas a 10^{-6} m/s (0,0864 m/d) sobreyaciendo a la roca basal, la que se localiza entre 45 y 65 metros de profundidad en el sector alto de la cuenca, y a 60 metros de profundidad en el sector bajo de la misma. Desde Los Rulos hacia aguas abajo se estimó, para la Unidad Puangue 1, un espesor medio de 120 metros

UNIDAD PUANGUE 2

Sobreyace a la Unidad Puangue 1 y corresponde a un nivel permeable con valores de permeabilidad hidráulica de entre 10^{-5} y 10^{-4} m/s (0,864 y 8,64 m/d). El espesor medio de esta unidad varía entre 25 y 45 metros.

UNIDAD PUANGUE 3

Se dispone hacia el techo de la secuencia sedimentaria y está constituido por sedimentos finos, cuyas permeabilidades varían entre 10^{-7} y 10^{-6} m/s (0,00864 y 0,0864 m/d). El mayor espesor detectado fue de 50 metros en el sector de María Pinto, mientras que cerca de Melipilla no supera los 5 metros.



Figura 7-14 Zona cubierta por el modelo Puangue-Melipilla CNR/GEOFUN-2001

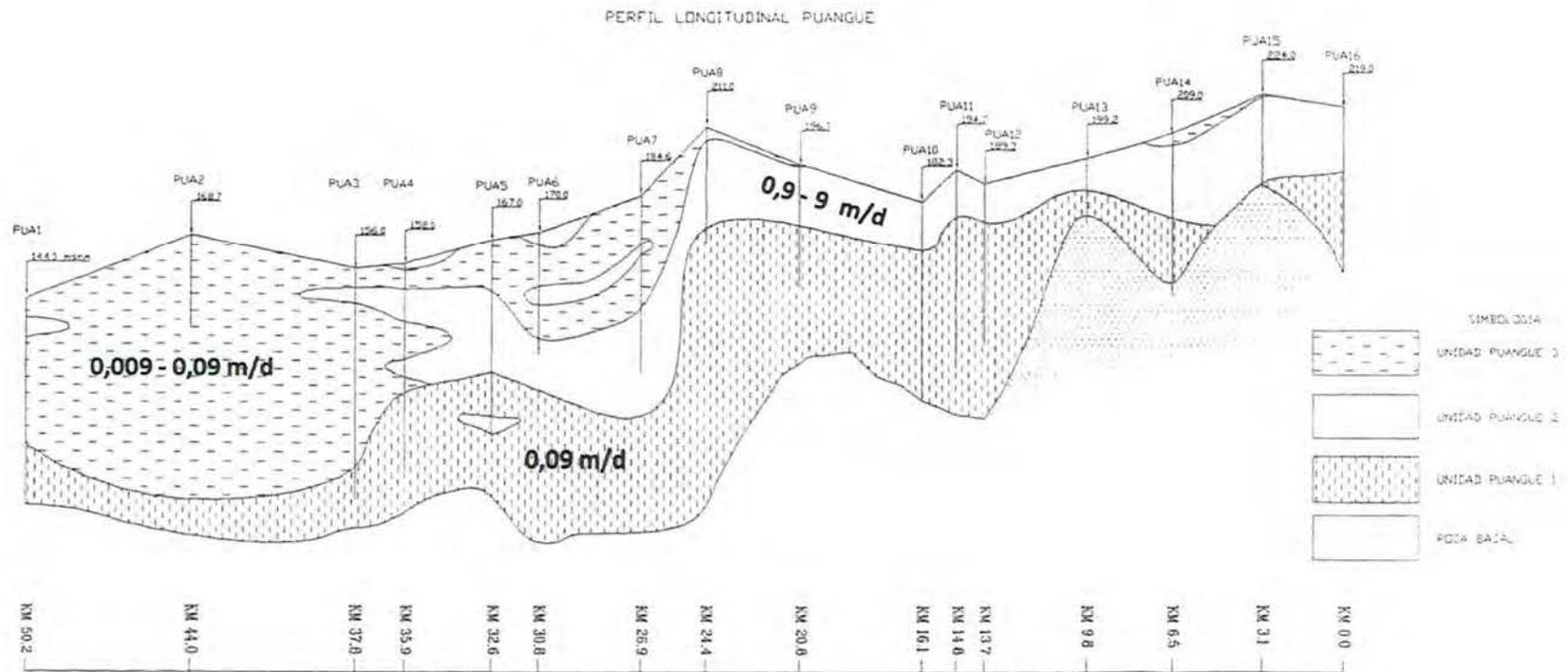


Figura 7-15 Perfil longitudinal del estero Puangue, unidades hidrogeológicas y permeabilidades

7.2.2.2 NIVELES DE POZOS

En toda la zona del valle del estero Puangue, especialmente donde el relleno es más importante (aguas abajo de Curacaví), los niveles históricos muestran una tendencia constante en el largo plazo, con variaciones estacionales periódicas, con niveles más altos registrados en el mes de abril aproximadamente.

En el tramo intermedio del valle del río Maipo, especialmente entre El Monte y Melipilla, se observa una gran estabilidad en los niveles a lo largo del tiempo, incluso con prescindencia de las variaciones hidrológicas superficiales. Es el caso del pozo 3340-7100 B1 (parcela Los Cañones) ubicado en el sector de Chiñihue, poco aguas abajo de El Monte, el cual ha mantenido un nivel prácticamente constante desde los años sesenta hasta la fecha de realización del reporte CNR/GEOFUN-2001. Esto debido a que este tramo del valle concentra todos los recursos hídricos provenientes desde aguas arriba.

En el valle del estero Cholqui, se aprecia también una constancia de los niveles registrados durante la década de los años noventa, salvo sus variaciones estacionales propias.

En el valle del estero Popeta, también se registra la misma tendencia de los niveles a mantenerse casi constantes en el tiempo.

7.2.3 DISCRETIZACIÓN ESPACIAL Y TEMPORAL

7.2.3.1 DISCRETIZACIÓN ESPACIAL HORIZONTAL

El dominio de modelación se definió a través de 180 filas y 287 columnas con celdas de 300 por 300 metros de longitud, por tanto, el número de celdas en planta alcanzó a 51.660 (Figura 7-16)

7.2.3.2 DISCRETIZACIÓN VERTICAL

En sentido vertical se definió inicialmente la superficie de terreno, con curvas de nivel interpoladas cada 10 metros respecto del relleno en sentido vertical, se representó el sistema a través de un único estrato equivalente, en condiciones de napa libre, a pesar que los perfiles estratigráficos muestran una variabilidad en la vertical, la información disponible y los alcances del estudio no justificaron una representación de más de un estrato. Por lo que se definió la representación del acuífero a través de un estrato único de espesor uniforme y de permeabilidad y coeficiente de almacenamiento equivalentes. Considerando que la variabilidad del espesor del relleno se reproducirá a través de la distribución de la permeabilidad equivalente utilizada.



Figura 7-16 Dominio del Modelo Puangue-Melipilla (CNR/GEOFUN-2001)

El fondo del relleno se definió en 100 metros por debajo del nivel freático de equilibrio, de forma que se representara la profundidad del relleno explorada a través de los pozos construidos. Los estratos ubicados a profundidades mayores generalmente presentan permeabilidades muy bajas, dado que a menudo se encuentran más compactados y cementados. Por esta razón, el aporte al flujo subterráneo de los estratos más profundos puede ser considerado como parte del flujo modelado a través de la distribución de permeabilidades equivalente y el espesor de relleno de 100 metros.

Finalmente con la información de los perfiles estratigráficos y la topografía de la zona de estudio, se definieron los límites del contacto roca-relleno en la zona.

7.2.3.3 DISCRETIZACIÓN TEMPORAL

El periodo de calibración fue dividido en 60 meses (stress periods) entre el 1 de enero de 1995 y el 1 de enero de 2000.

7.2.4 PROPIEDADES ACUÍFERAS

PERMEABILIDAD

La distribución de permeabilidades inicial se generó a partir de los valores puntuales calculados en los puntos donde existe un pozo con estratigrafía y prueba de bombeo de gasto variable disponible, y de la caracterización geológica del relleno, generando un mapa de isopermeabilidades iniciales (Figura 7-17). Los valores iniciales oscilaron entre 0,0864 a 86,4 m/d.

Finalizada la calibración se obtuvo la distribución de permeabilidades finalmente adoptada por el modelo.

COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO

Debido a que no se dispuso de suficientes antecedentes para definir local o regionalmente el coeficiente de almacenamiento, se consideró un valor intermedio en el rango de variación de éste coeficiente para un acuífero libre. (0,05 a 0,20).

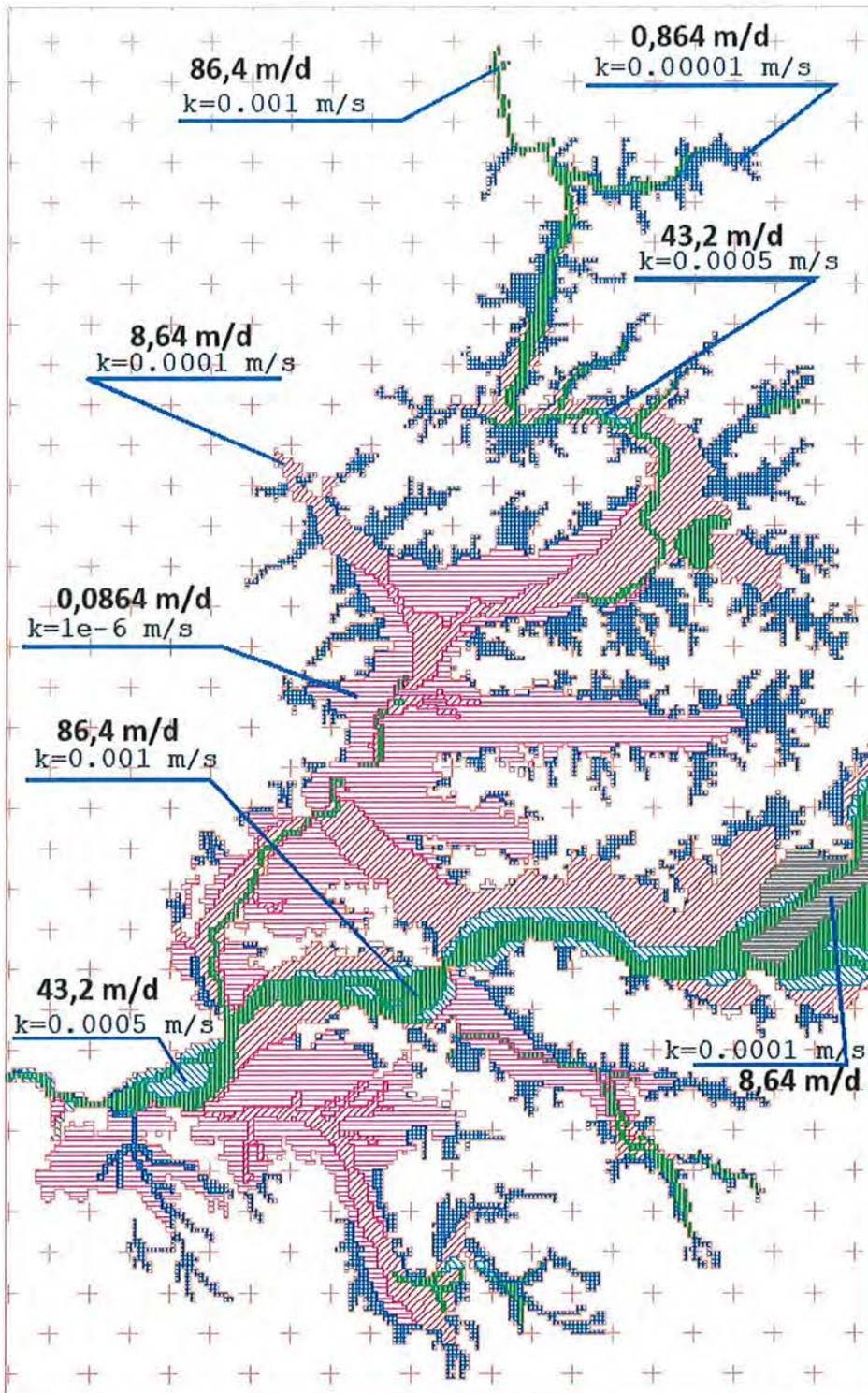


Figura 7-17 Permeabilidades iniciales modelo Puangue-Melipilla CNR/GEOFUN-2001

7.2.5 RECARGAS Y DESCARGAS

RECARGAS

Las infiltraciones por precipitación, riego, pérdidas desde canales y cauces naturales, fueron estimadas a partir de los resultados del Modelo Superficial desarrollado para el estudio del reporte CNR/GEOFUN-2001.

El modelo superficial calcula caudales de oferta de recarga, una parte de ésta puede infiltrar e incorporarse al flujo subterráneo y el resto escurre superficialmente saliendo del sistema. La parte que llega al acuífero se estima a través de un proceso iterativo operando el modelo hidrogeológico. En las zonas donde el nivel freático se encuentra muy superficial (entre 3 y 5 metros) se producen afloramientos que incrementan el flujo superficial de los cauces existentes. Estos afloramientos son representados en el modelo a través de los caudales captados por las celdas de tipo río ubicadas en coincidencia con los cauces naturales.

Las tasas de recarga que se ingresaron al modelo hidrogeológico, corresponden a las que teóricamente se habrían producido en el periodo 1995-1997.

Debido a que el Modelo Superficial del estudio del reporte CNR/GEOFUN-2001, no considera recargas en la zona media del valle del estero Puangue, ni en la zona del valle del estero de La Higuera, se han ingresado en estos sectores los valores medios de recarga para el periodo 1995-1997 del modelo de operación superficial del reporte DGA/AC-2000. A estos valores se le denominaron Sectores A y B respectivamente.

Sector	Área Total [m³/s]	Área modelo [km²]	Oferta de recarga en modelo [m³/s]											
			ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
1	154,4	142,1	3,17	3,10	5,41	3,49	5,48	1,52	1,90	2,47	2,19	1,95	1,92	1,67
2	106,5	84,4	0,81	0,77	2,25	1,21	1,06	0,54	0,85	1,39	1,43	1,22	1,11	0,78
3	178,5	178,5	2,09	2,20	3,74	3,44	4,31	1,23	1,61	2,21	2,12	1,96	1,97	1,86
4	66,8	66,8	0,15	0,08	0,06	0,04	0,07	0,12	0,13	0,09	0,07	0,06	0,06	0,07
5	32,6	32,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A	328,1	328,1	1,38	1,35	3,16	2,26	2,55	2,26	1,85	1,86	1,76	1,63	1,57	1,47
B	102,7	102,7	0,39	0,28	1,06	0,59	0,75	0,66	0,5	0,7	0,76	0,96	0,75	0,49
TOTAL	969,6	935,2	7,99	7,78	15,68	11,03	14,22	6,33	6,84	8,72	8,33	7,78	7,38	6,34

Cuadro 7-2 Oferta de recargas CNR/GEOFUN-2001

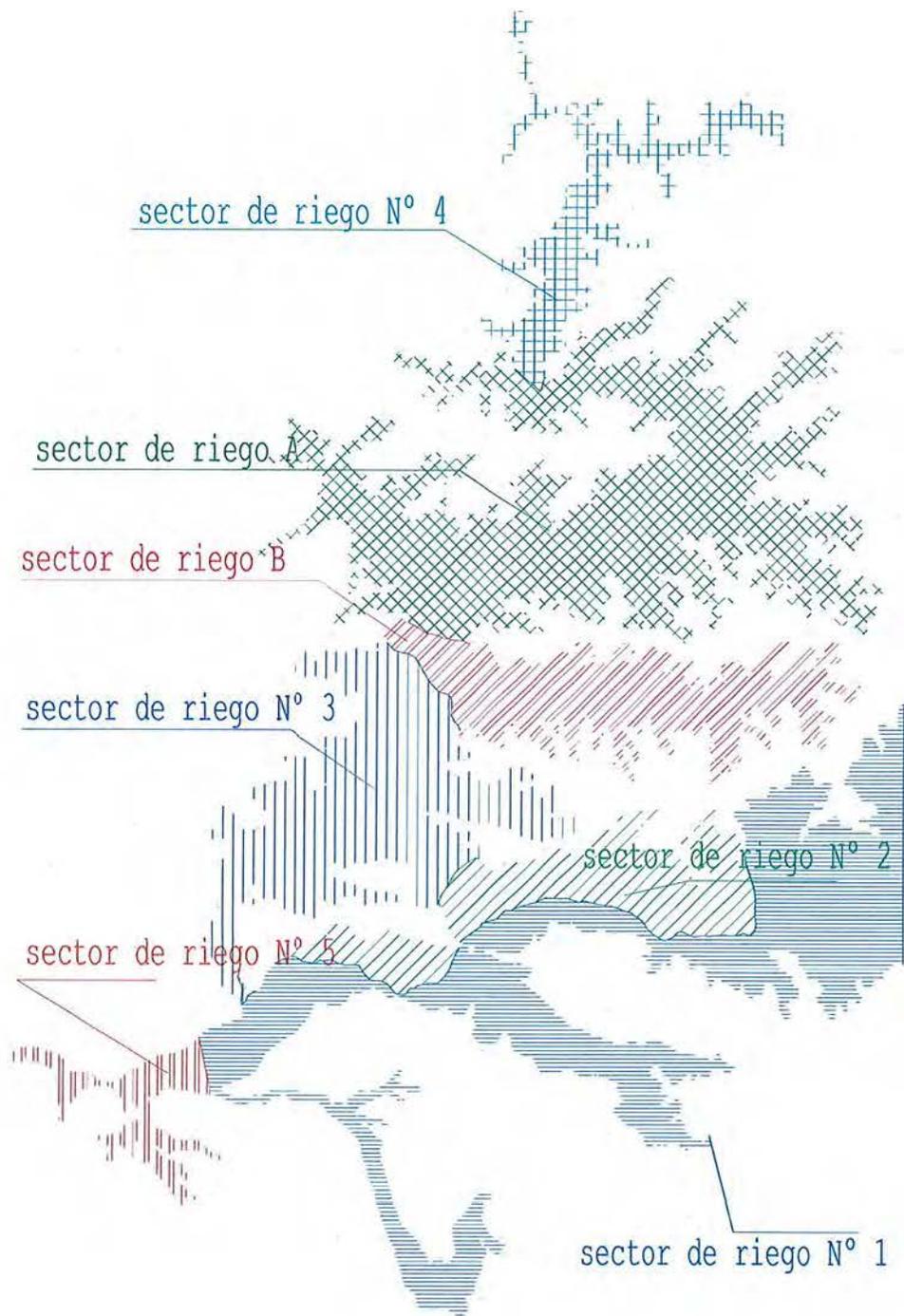


Figura 7-18 Sectores de recarga superficial (CNR/GEOFUN-2001)

DESCARGAS

Las principales descargas del embalse subterráneo en la zona de estudio corresponden a los bombeos desde pozos y norias, a los afloramientos naturales y al flujo propio de la napa que aflora en el angostamiento de Cuncumén.

Los caudales de los pozos y norias de la zona de estudio, fueron obtenidos del estudio del reporte DGA/AC-2000, los cuales fueron determinados a partir de encuestas de terreno y de la información de producciones de las diferentes empresas que usan agua subterránea. La información fue rellenada e interpolada cuando no era completa.

Los caudales determinados cubren el periodo 1990-1998, para el desarrollo del estudio del reporte CNR/GEOFUN-2001 se utilizaron los datos correspondientes al periodo 1995-1998. Se extendió la distribución de caudales disponibles hasta 1999, repitiendo los caudales del año 1995, de esa forma se generó la regla de explotación para el periodo de calibración comprendido entre el 1 de enero de 1995 y hasta el 1 de enero de 2000.

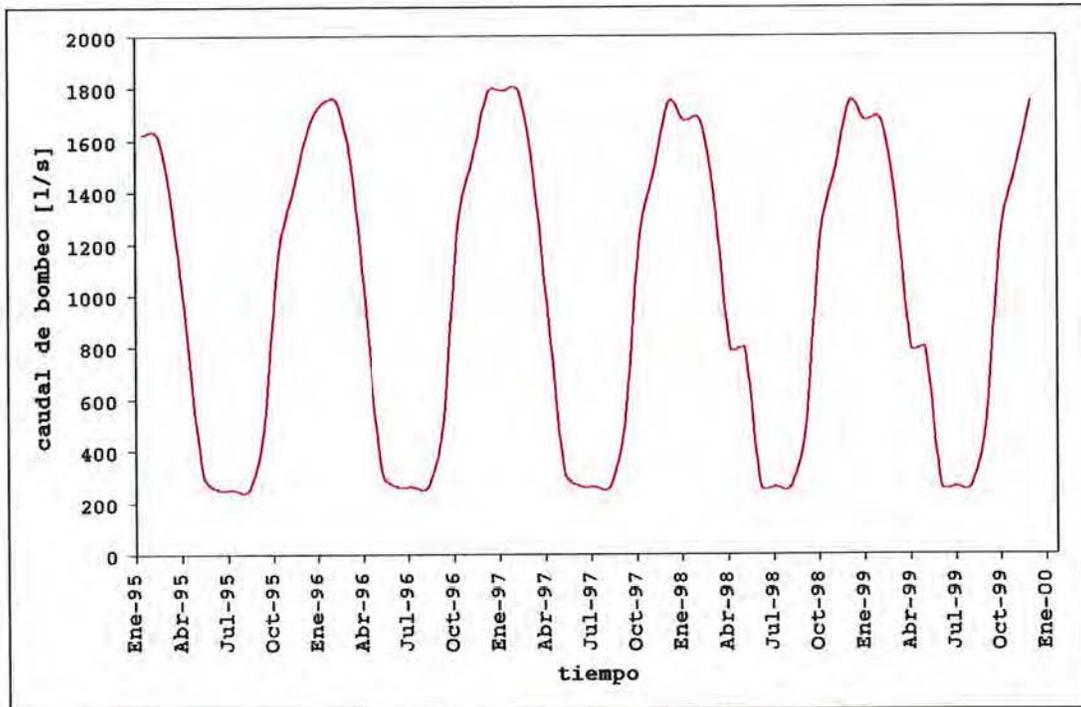


Figura 7-19 Serie de caudales bombeados por pozos CNR/GEOFUN-2001

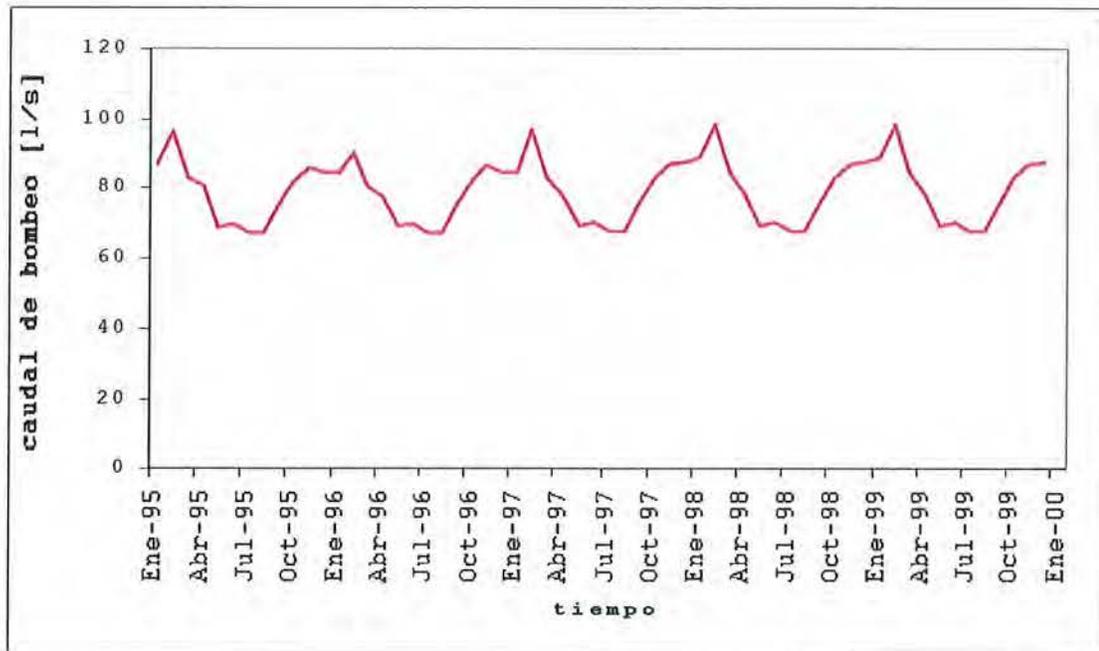


Figura 7-20 Serie de caudales bombeados por norias CNR/GEOFUN-2001

7.2.6 CONDICIONES DE BORDE

CONDICIONES INICIALES

A partir de la información de niveles existentes a la fecha de realización del estudio (niveles medidos en terreno y limnigramas históricos), se definieron las líneas isofreáticas de la zona de estudio para enero de 1995, que corresponde al inicio del periodo de calibración (Figura 7-21).

CONDICIONES DE BORDE DE NIVEL

Los valores de los niveles en las celdas definidas como condiciones de borde de nivel, se asignaron a partir de información histórica de niveles existentes, de manera de representar el comportamiento histórico de los niveles en dichas secciones para el periodo modelado. Estas condiciones de nivel constante se ubican en los extremos oriente y poniente de la malla (Figura 7-22)

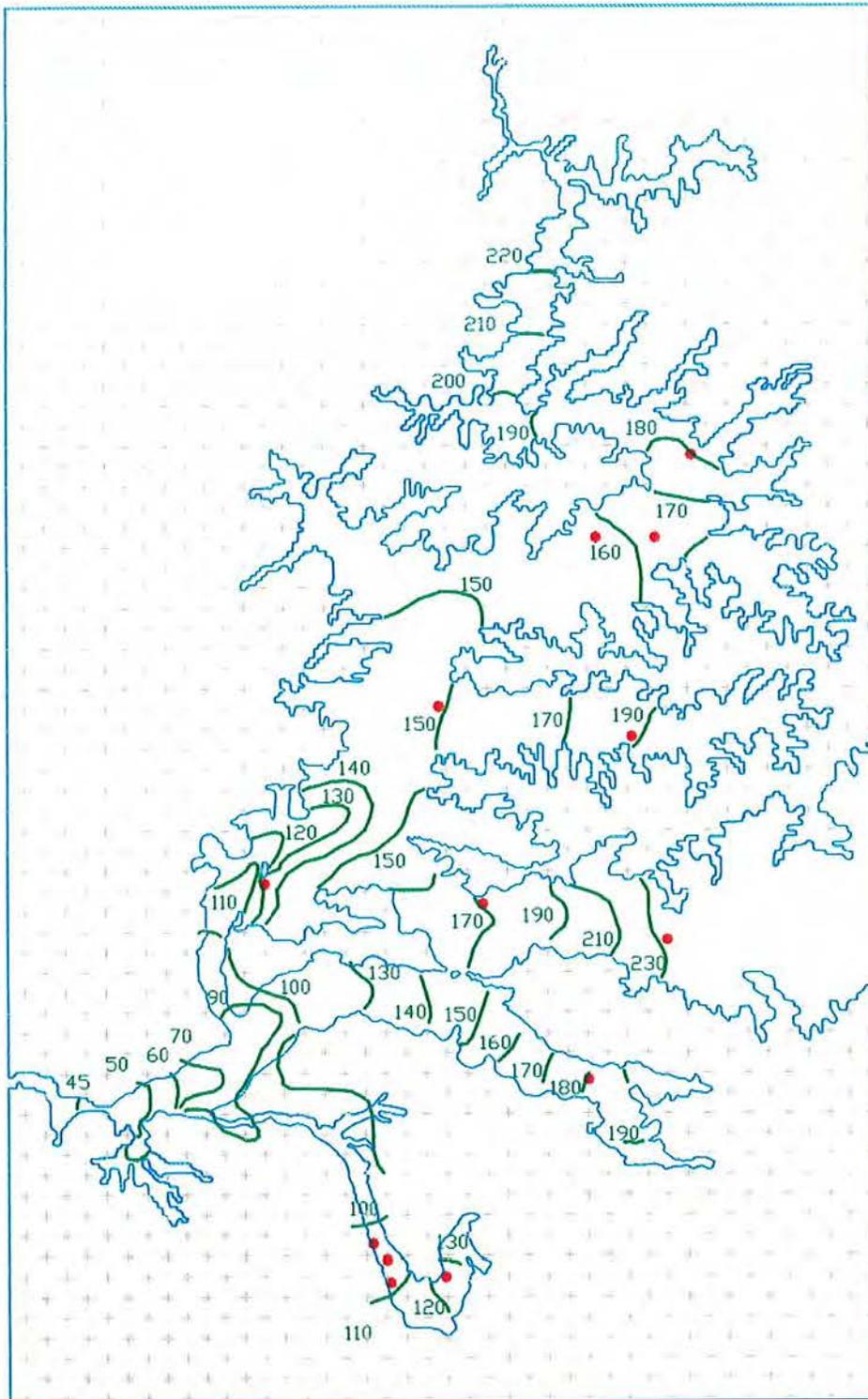


Figura 7-21 Condición isofreática inicial CNR/GEOFUN-2001

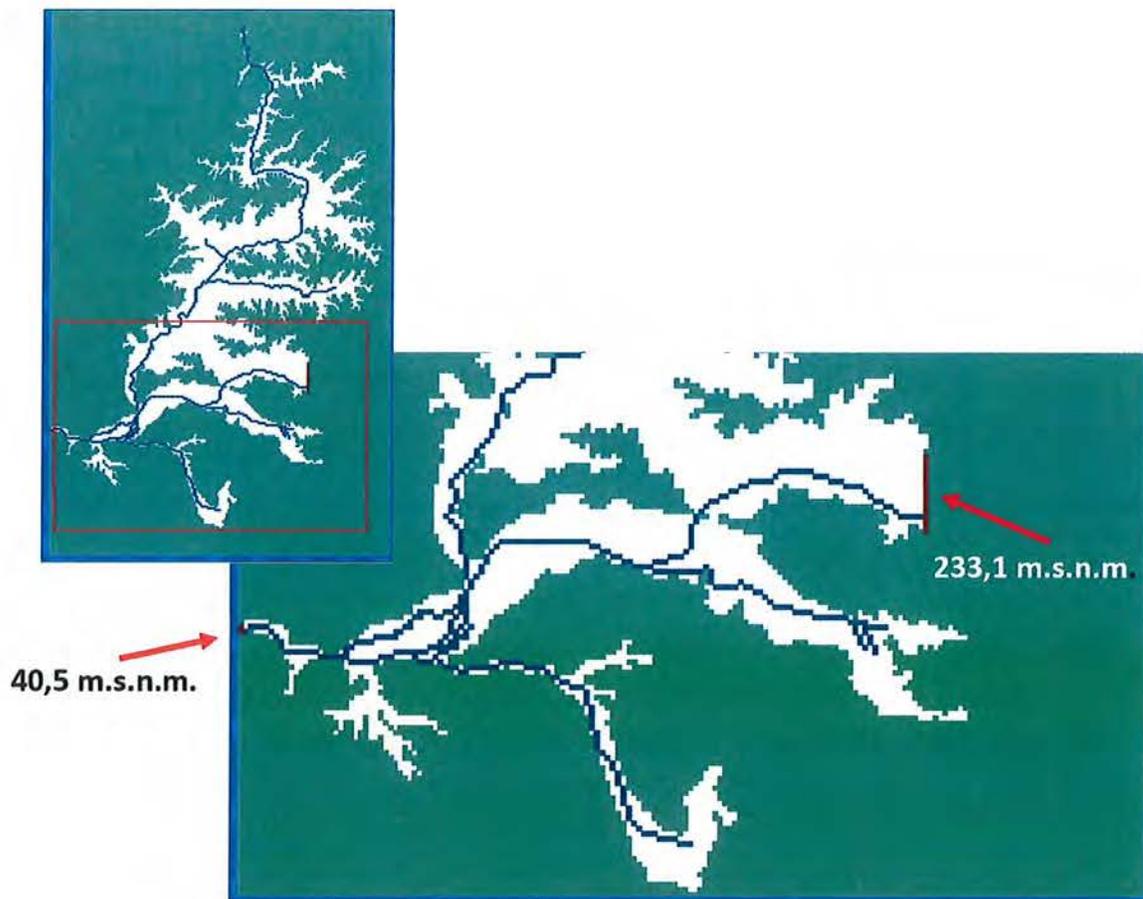


Figura 7-22 Condiciones de borde de nivel constante y río CNR/GEOFUN-2001

CONDICIÓN DE BORDE DE TIPO RÍO

Los ríos y cauces superficiales tienen una importancia radical en la evacuación del agua subterránea que sale del sistema analizado y que no es capaz de ser conducida subterráneamente por la sección de salida. En algunos de los sectores de los cauces principales generan una importante recarga hacia el acuífero.

La representación del elemento río se realiza a través del paquete River de Modflow, el cual permite flujos desde y hacia los cauces dependiendo de la conductividad hidráulica del lecho y de la diferencia de niveles entre el acuífero y el cauce. Mediante esta rutina, se han representado el río Maipo y los esteros Puangue, Cholqui, Popeta y La Higuera.

Las conductancias asociadas a los cauces son del orden de 5.000 m²/día y 10.000 m²/día para el río Maipo, y de entre 500 m²/día y 3.000 m²/día para los esteros. De esta forma la

determinación de pérdidas y recuperaciones pasa a ser un proceso automático y dependiente de las condiciones del sistema.

7.2.7 PATRÓN DE AJUSTE DE LA CALIBRACIÓN

Se seleccionaron de entre los sondeos con información histórica, 12 sondeos. La selección consideró que tuvieran información suficiente para el periodo de calibración y que no presentaran comportamientos anómalos respecto de la evolución global del sistema acuífero, así como de evitar duplicidad de información en determinados puntos del área, disponible para el periodo de análisis, y ubicados en diferentes sectores de la zona de estudio (Figura 3-1).

7.2.8 RESULTADO DE LA CALIBRACIÓN

Las distribuciones espaciales finales de la permeabilidad y del coeficiente de almacenamiento, junto con el contraste de niveles en la ubicación de los pozos de observación, se muestran en las figuras: Figura 7-24, Figura 7-25, Figura 7-26, Figura 7-27, Figura 7-28, Figura 7-29, Figura 7-30, Figura 7-31, Figura 7-32, Figura 7-33, Figura 7-34, Figura 7-35, Figura 7-36 y Figura 7-37.

En el balance global del modelo para todo el período de calibración (Cuadro 7-3), se observa que los afloramientos en los ríos y esteros de la zona alcanzan un valor cercano a la recarga superficial del orden de 8,6 m³/s. El caudal medio de los sondeos alcanza un valor de 0,87 m³/s, en tanto que por la condición de borde de aguas arriba ingresan de manera subterránea, 1,13 m³/s. El almacenamiento está prácticamente en equilibrio ya que en los 5 años de simulación sólo se registra una variación de llenado de 7 l/s.

	Flujo	Caudal Medio [l/s]
Entradas	Recarga Superficial	8.602
	Condición de Borde Aguas Arriba	1.125
	Total	9.727
Salidas	Bombeo desde Pozos	872
	Condición de Borde Aguas Abajo	278
	Afloramiento en Ríos y Esteros	8.567
	Total	9.717
	Variación de Almacenamiento	7
	Error de Cierre	3

Cuadro 7-3 Balance modelo hidrogeológico Puangue-Meipilla CNR-GEOFUN-2001

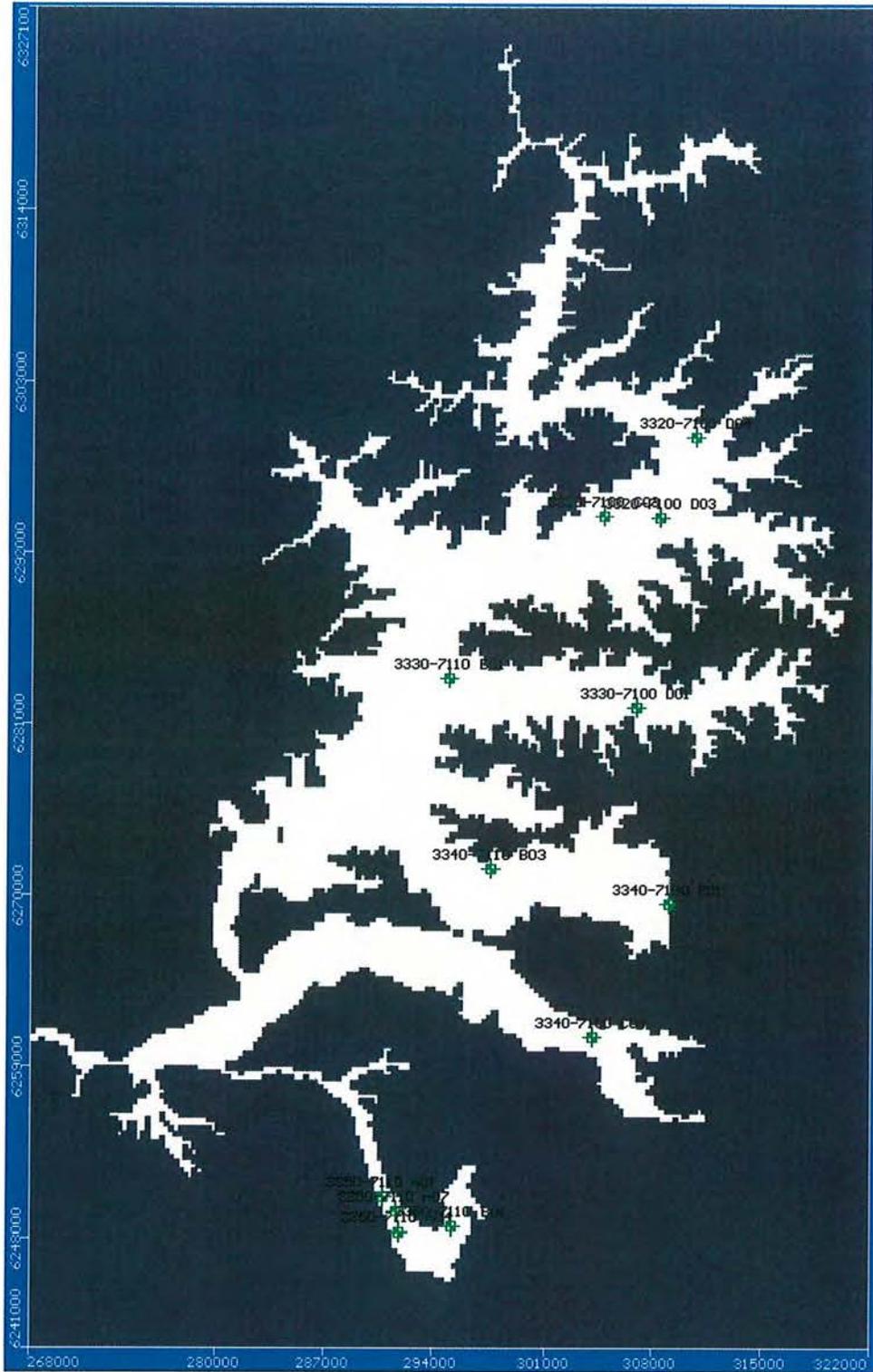


Figura 7-23 Ubicación de los 12 pozos de observación para la calibración del modelo CNR/GEOFUN-2001

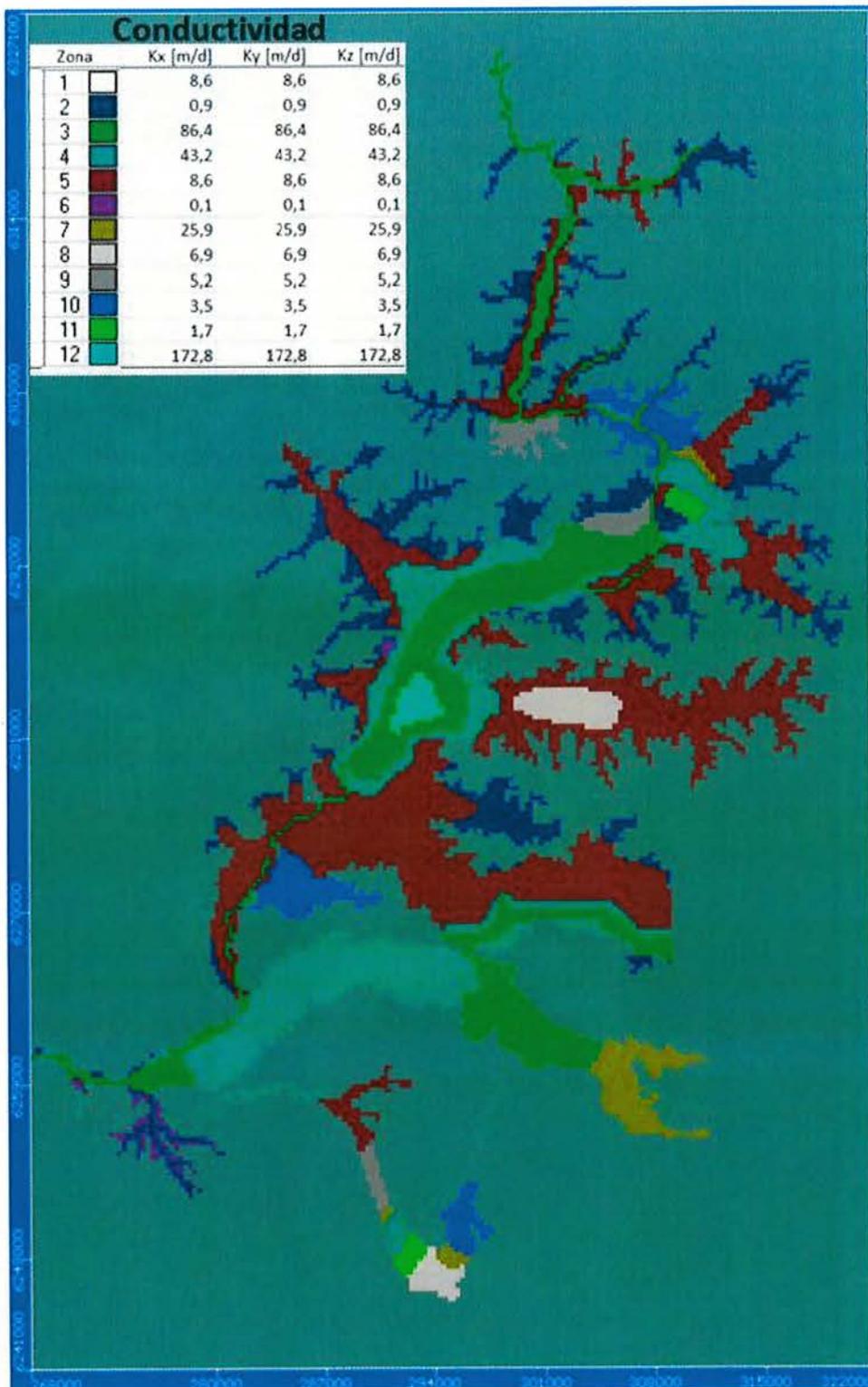


Figura 7-24 Distribución de conductividades finales modelo CNR/GEOFUN-2001

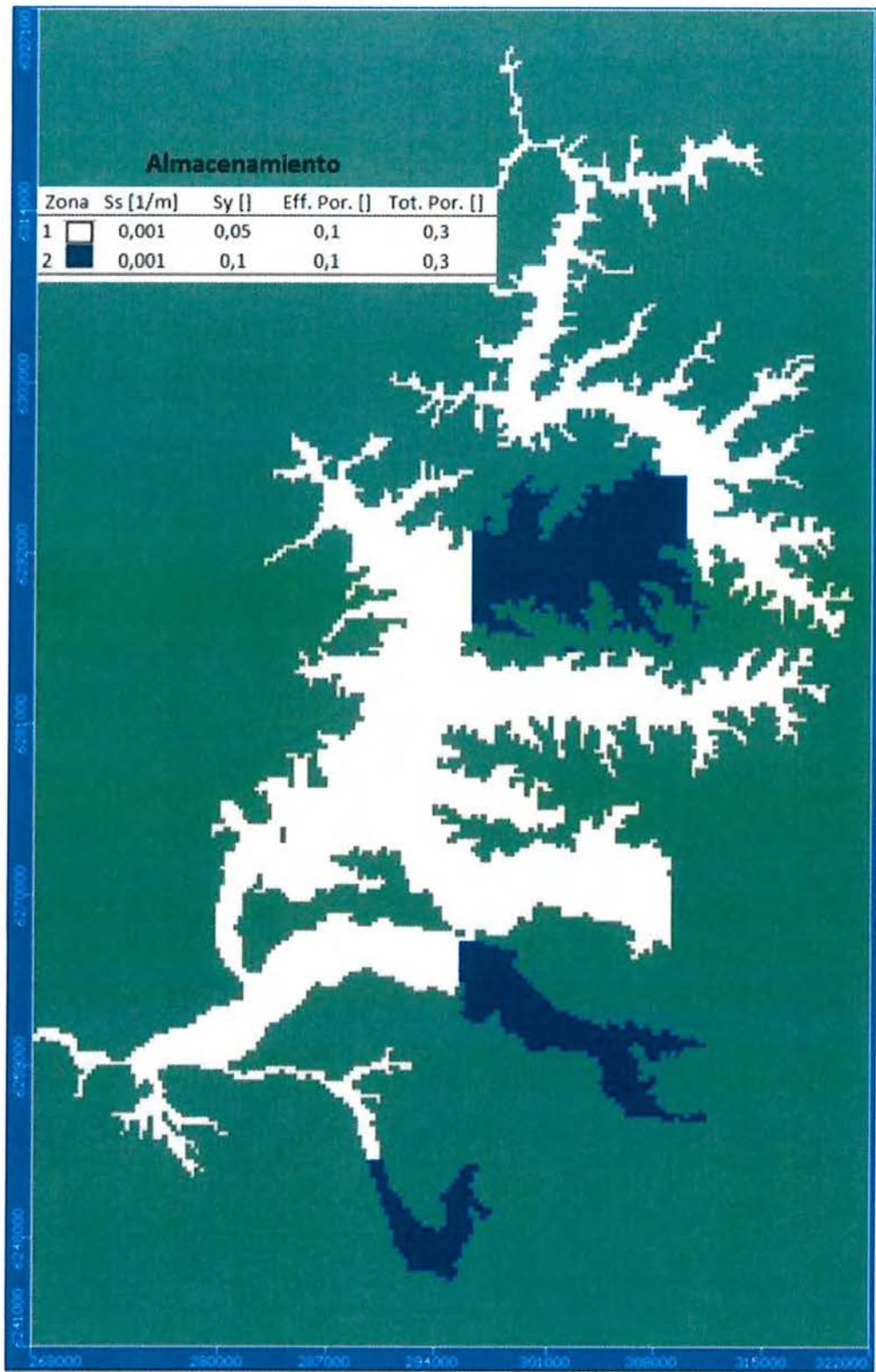


Figura 7-25 Distribución del Coeficiente de almacenamiento final CNR/GEOFUN-2001

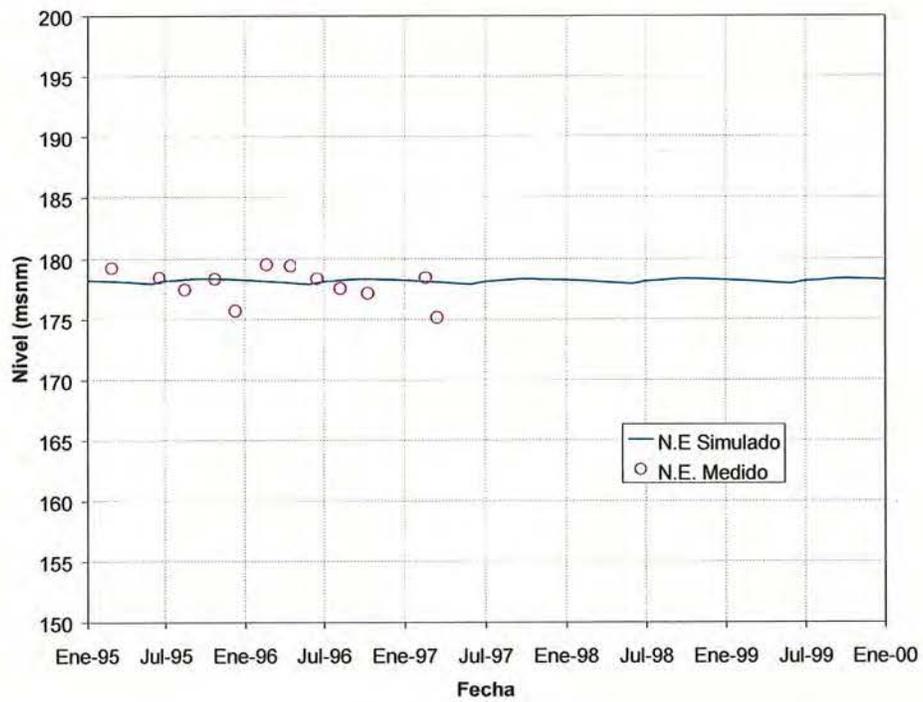


Figura 7-26 Pozo Observación 3320-7100 D04

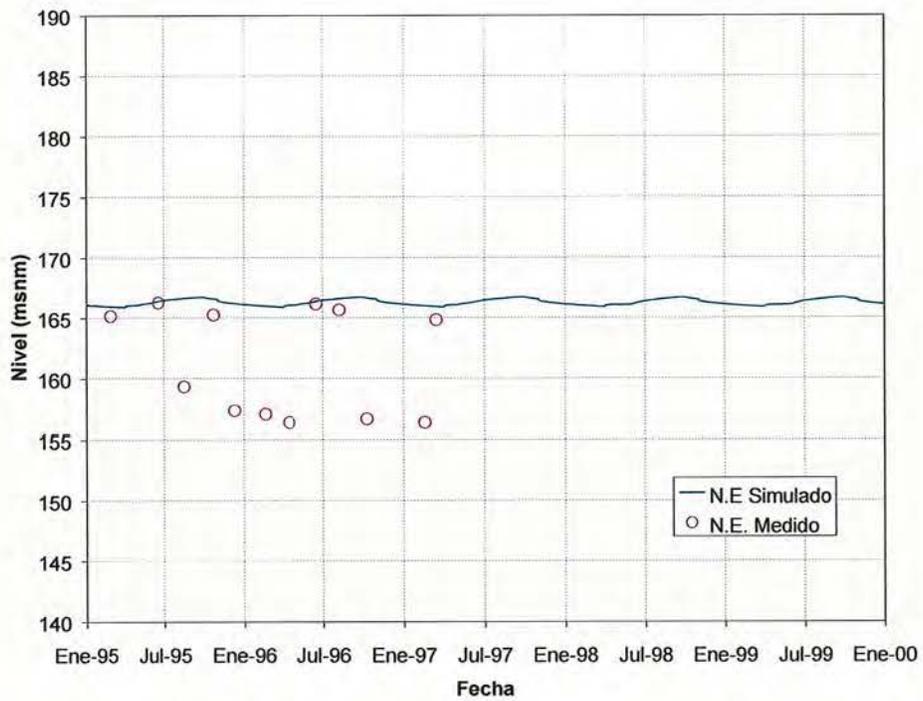


Figura 7-27 Pozo Observación 3320-7100 D03

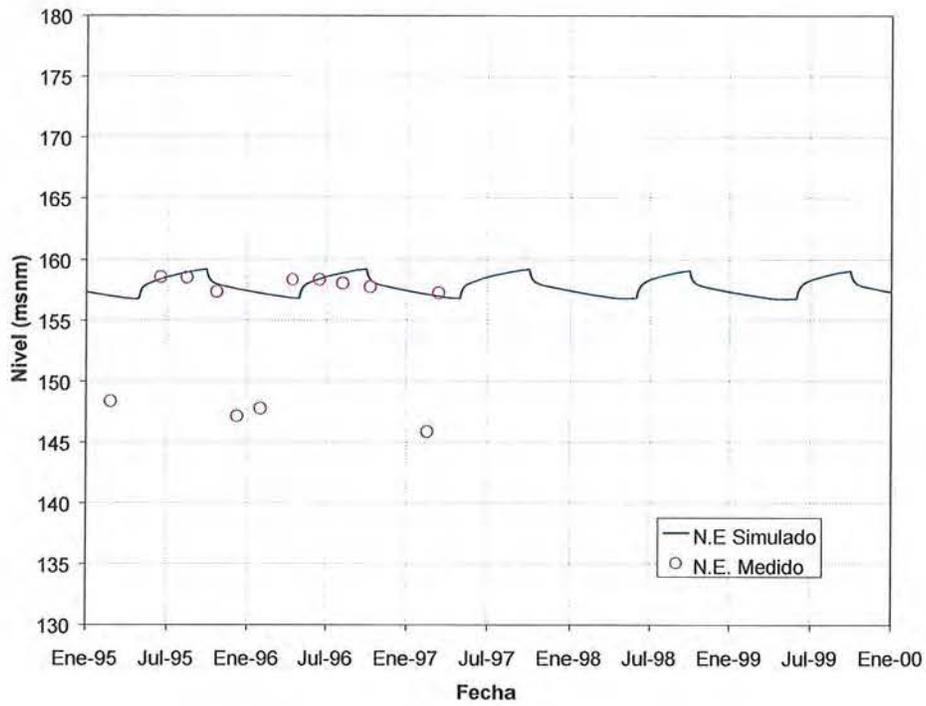


Figura 7-28 Pozo de observación 3330-7100 C03

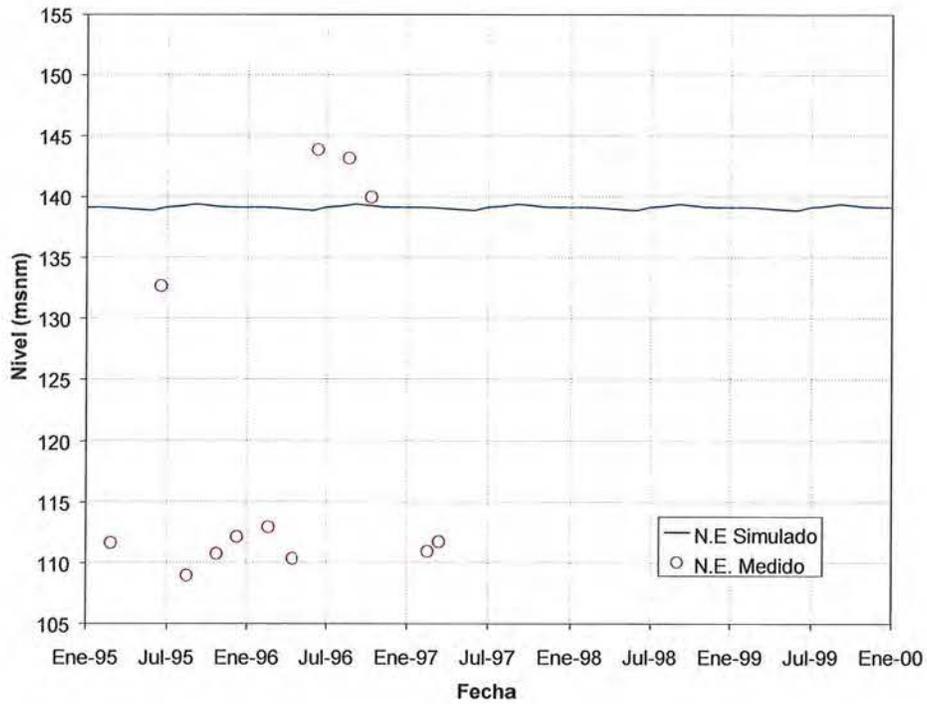


Figura 7-29 Pozo de observación 3330-7110 B01

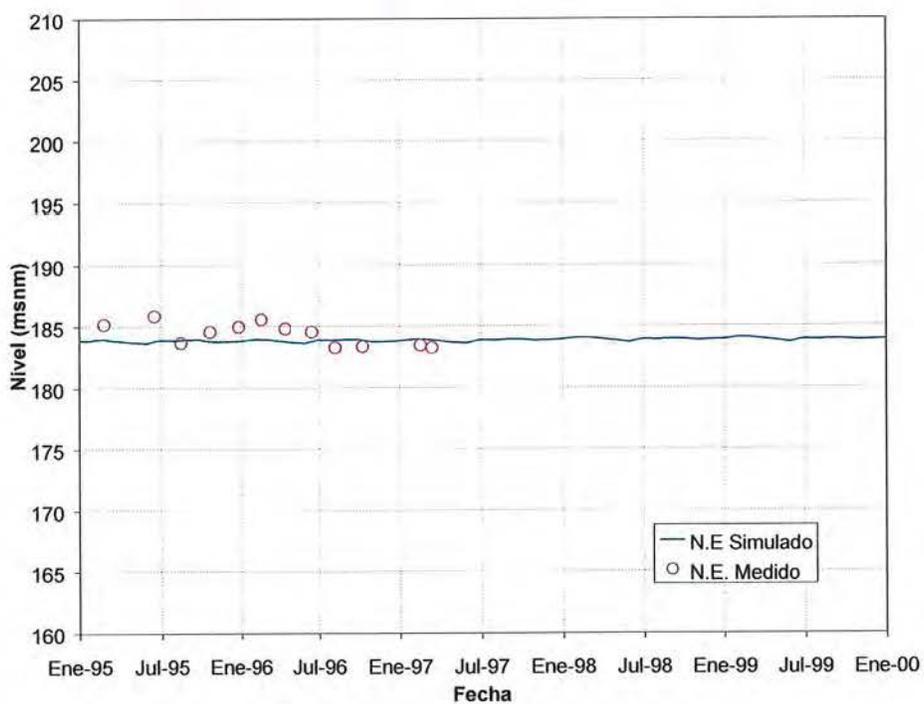


Figura 7-30 Pozo de observación 3330-7100 D01

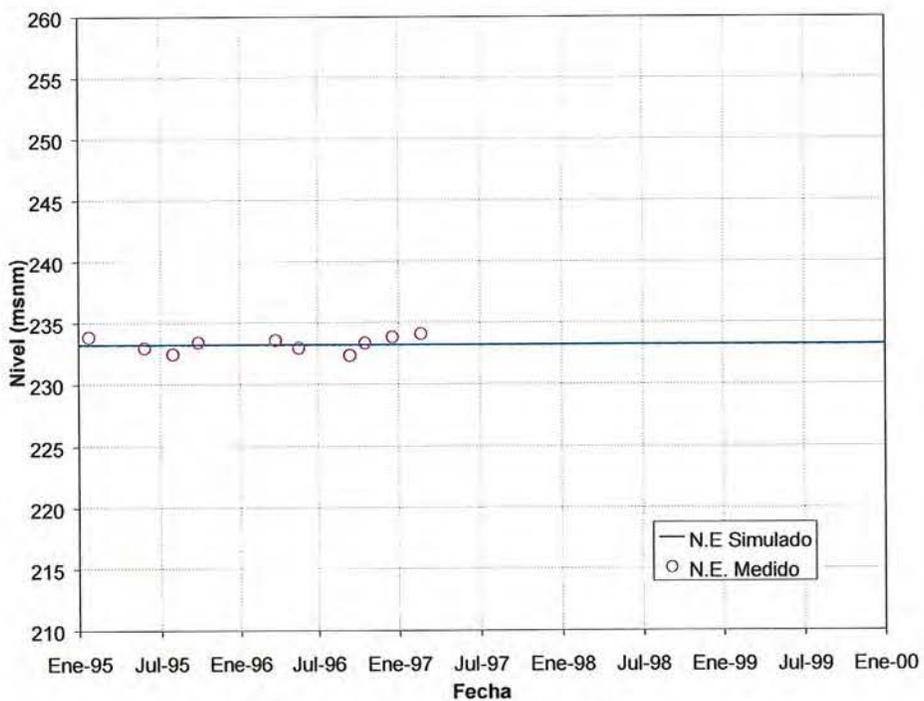


Figura 7-31 Pozo de observación 3340-7100 B01

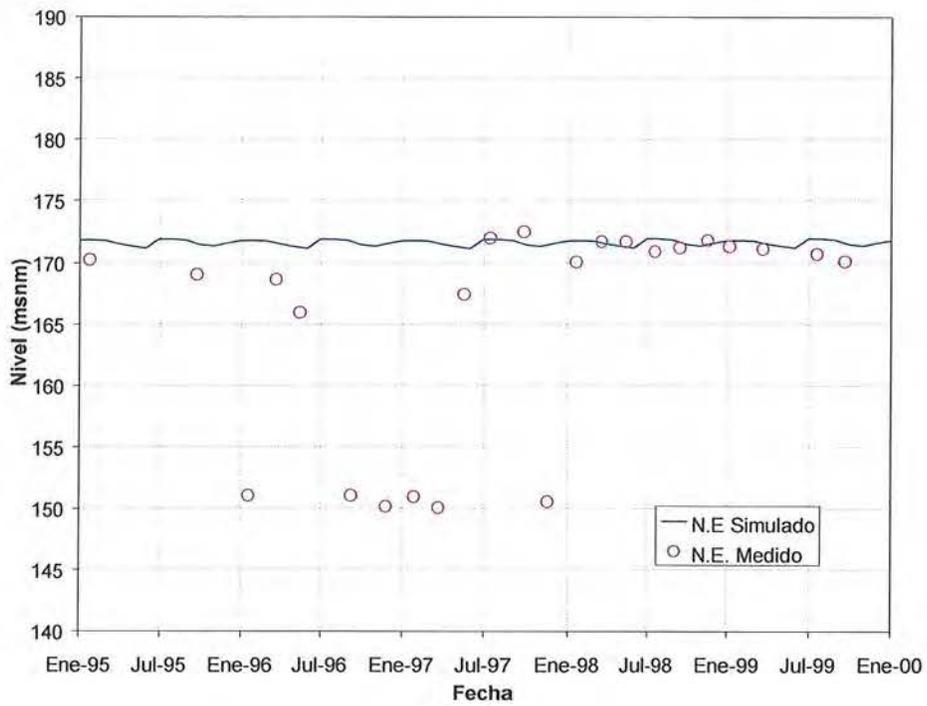


Figura 7-32 Pozo de observación 3340-7110 B03

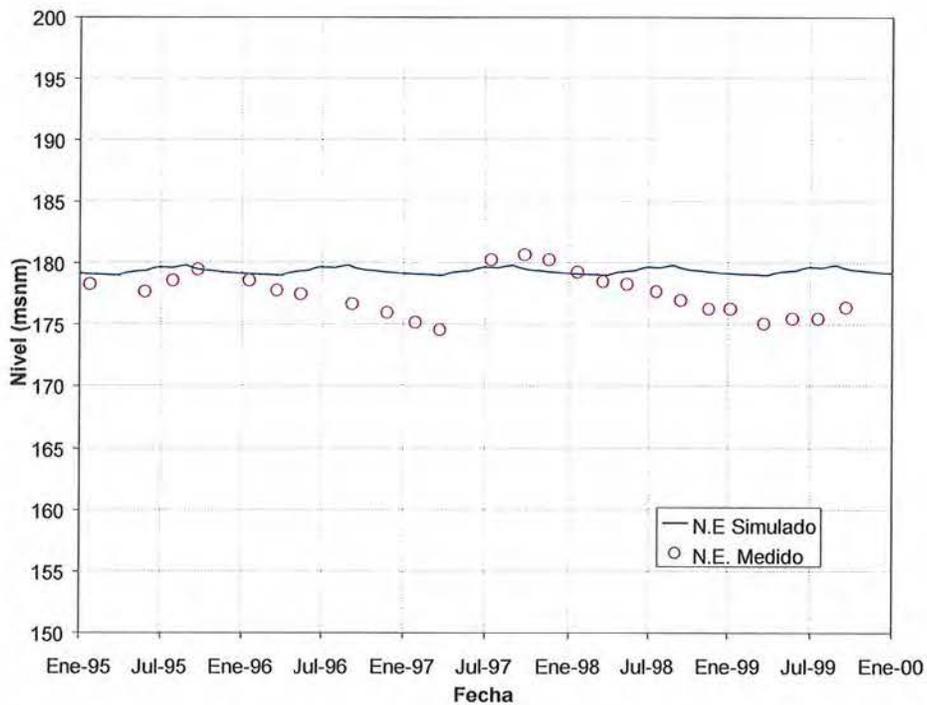


Figura 7-33 Pozo de observación 3340-7100 C04

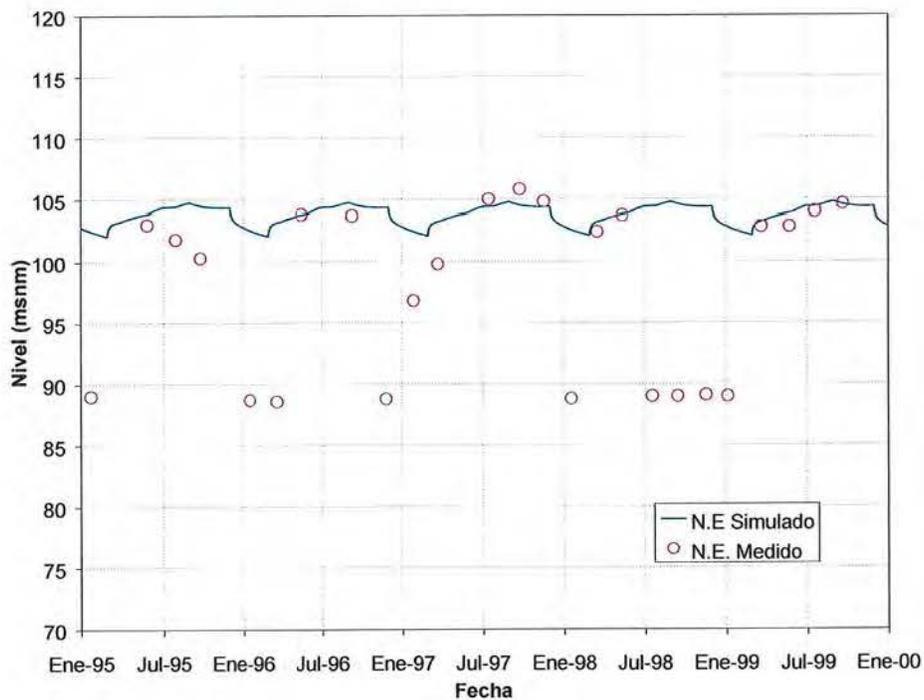


Figura 7-34 Pozo de observación 3350-7110 A01

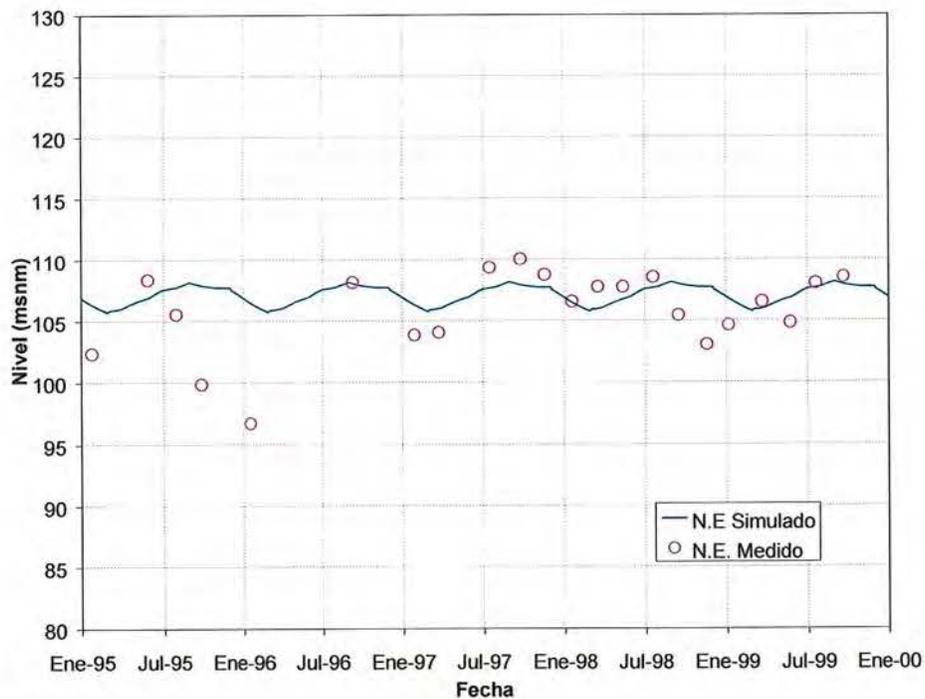


Figura 7-35 Pozo de observación 3350-7110 A07

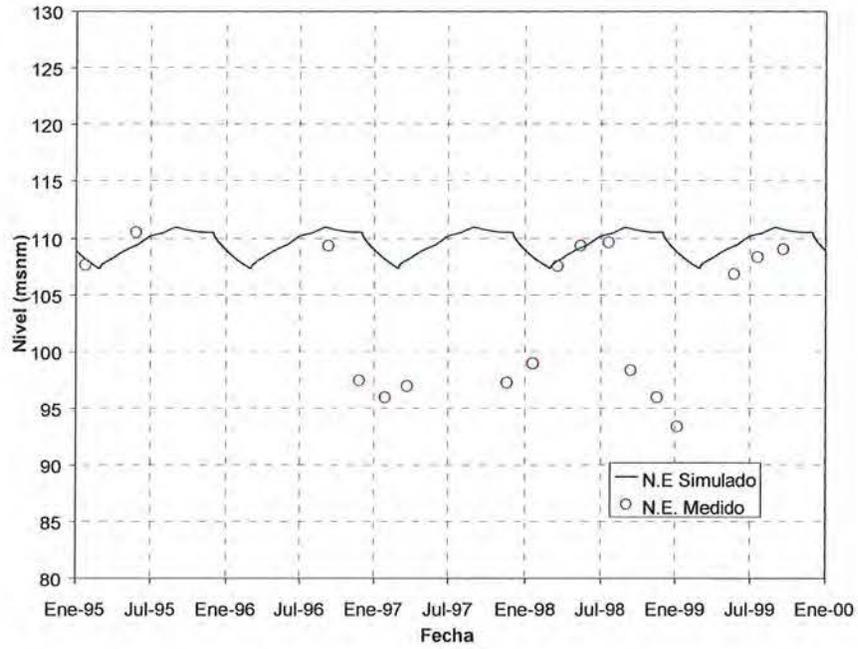


Figura 7-36 Pozo de observación 3350-7110 A04

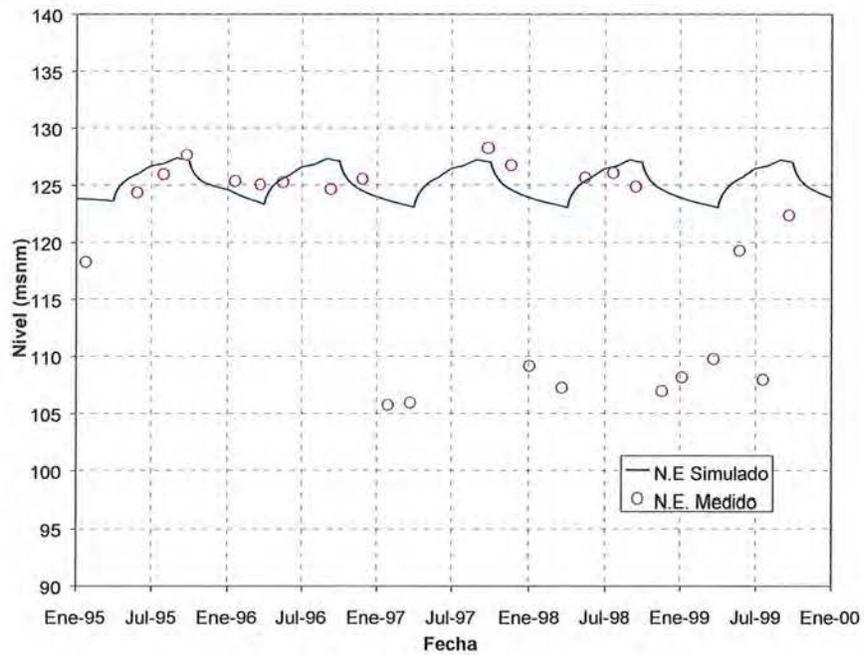


Figura 7-37 Pozo de observación 3350-7110 B01

7.3 MODELO NUMÉRICO DGA-2006

Con la finalidad de contar con una herramienta numérica actualizada para la evaluación de los recursos hídricos subterráneos de los acuíferos en el sector denominado Puangue-Melipilla, la Dirección General de Aguas realizó dos informes técnicos denominados: "Evaluación de los recursos hídricos subterráneos del valle del estero Puangue: Diagnóstico situación actual", SIT N°118 noviembre de 2006 y "Evaluación de los recursos subterráneos del valle del estero Puangue, sectores: Puangue Alto; Medio y Bajo; La Higuera; Cholqui; Popeta y Melipilla", SIT N°237, noviembre de 2006.

El primero de los estudios tuvo como objetivo actualizar la modelación hidrogeológica en los acuíferos de Puangue-Melipilla, realizada en el marco del desarrollo del estudio del reporte CNR/GEOFUN-2001. El segundo de los estudios, analiza la disponibilidad del recurso hídrico considerando el modelo hidrogeológico actualizado para los acuíferos de Puangue-Melipilla y la demanda sobre el acuífero ingresada, como derechos aprobados o pendientes, hasta el 31 de diciembre de 2005.

7.3.1 INFORME TÉCNICO S.I.T N° 118

Para actualizar la modelación hidrogeológica de la cuenca del estero Puangue, se tuvieron a la vista cuatro documentos:

- Mapa geológico del área de Valparaíso-Curacavi, escala 1:100.000., SERNAGEOMIN 1996.
- Mapa geológico del área San Antonio-Melipilla, escala 1:100.000., SERNAGEOMIN 1996.
- Reporte DGA/AC-2000.
- Reporte CNR/GEOFUN-2001.

No hubo modificaciones al área de estudio (Figura 7-38), de manera que los límites del modelo numérico incluyen las cuencas de los esteros Puangue, Cholqui, Popeta y el tramo del río Maipo entre El Monte y Cuncumén.

7.3.1.1 HIDROLOGÍA

Se mantuvo la caracterización hidrológica propuesta en el estudio del reporte CNR/GEOFUN-2001. De manera que la precipitación efectiva y los caudales medios

mensuales utilizados en el Modelo Operacional Superficial (MOS) se deducen del análisis realizado anteriormente.

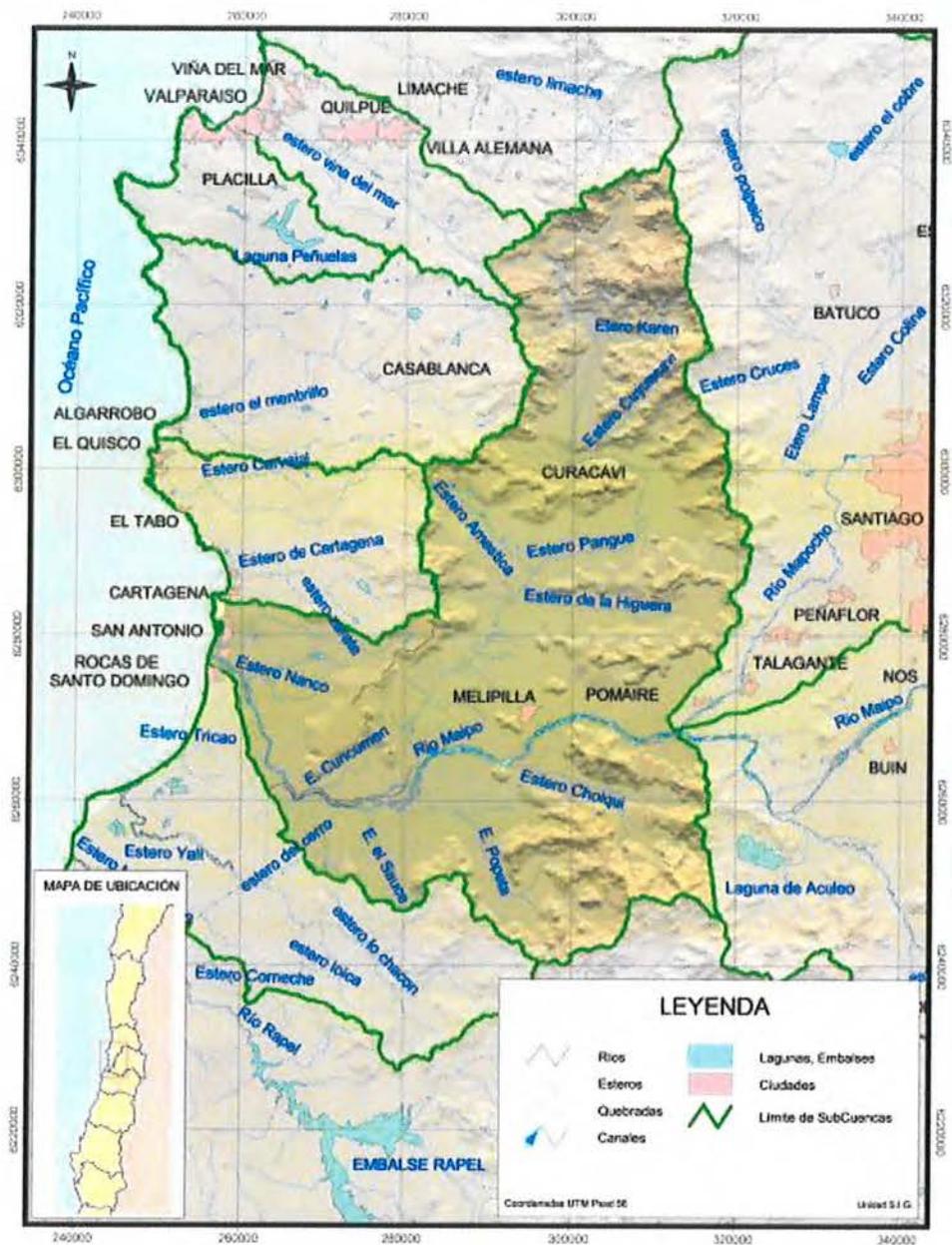


Figura 7-38 Área de estudio de la actualización de la modelación hidrogeológica de los acuíferos de Pungue Melipilla (DGA/DEP Actualización-2006)

7.3.1.2 HIDROGEOLOGÍA

A partir de los mapas geológicos de SERNAGEOIN, escala 1:100.000, para la zona de estudio, se construyó un mapa geológico de la zona (Figura 7-39), la simbología utilizada se explica en el Cuadro 7-4.

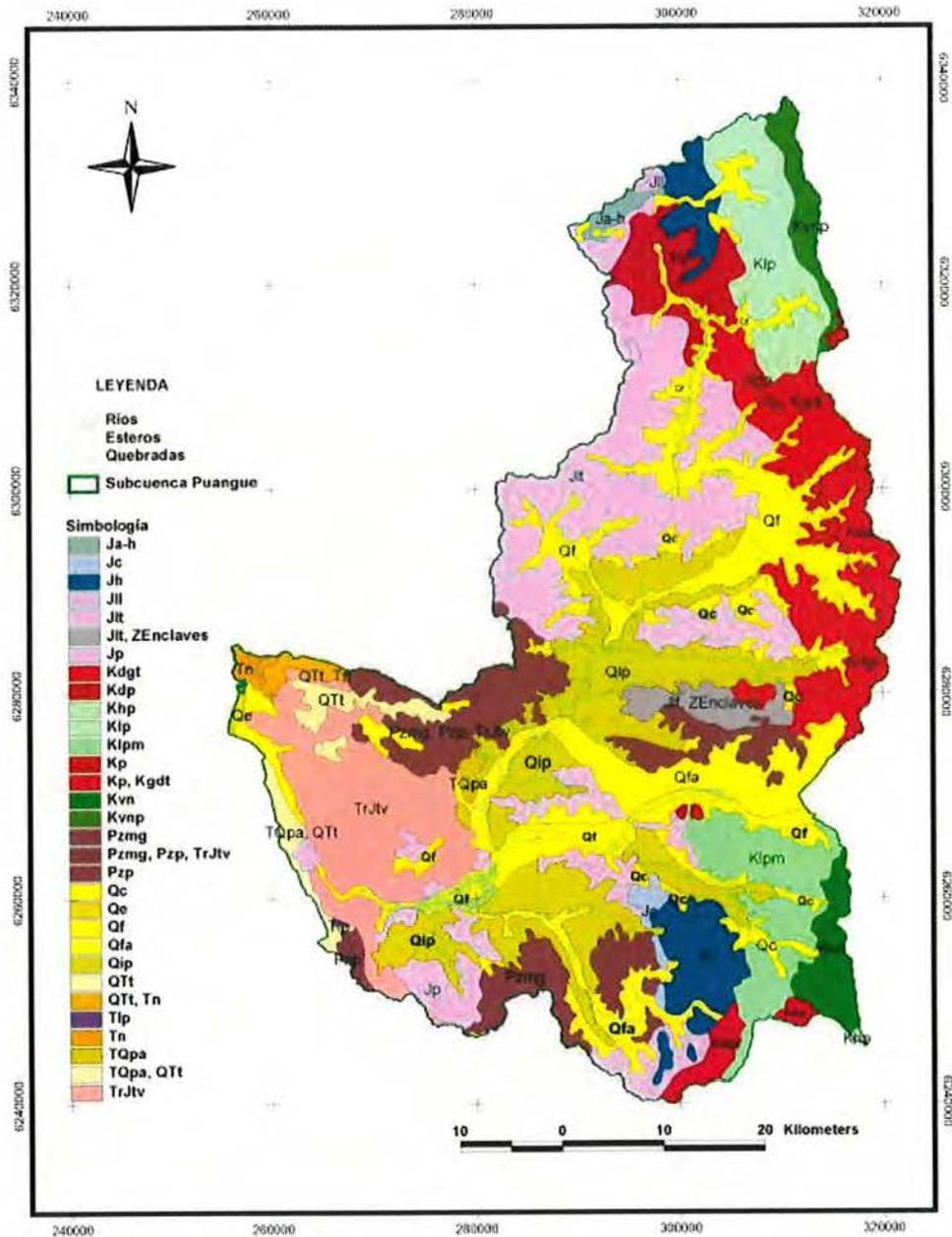


Figura 7-39 Geología subcuenca Puangue-Melipilla (DGA/DEP Actualización-2006)

Código	Descripción	Edad geológica
Qe	Depósitos Litorales y Eólicos actuales	Cuaternario (Holoceno)
Qf	Sedimentos Fluviales	Cuaternario (Holoceno)
Qc	Sedimentos Coluviales	Cuaternario (Holoceno)
Qfa	Sedimentos Fluviales Antiguos	Cuaternario (Holoceno)
Qip	Ignimbrita Pudahuel	Cuaternario (Pleistoceno)
QTt	Terrazas de Abrasión	Cuaternario (Pleistoceno)
TQpa	Estartos de Potrero Alto	Terciario (Neógeno)
Tn	Formación Navidad	Terciario (Neógeno)
Tlp	Lava Las Pataguas	Terciario (Neógeno)
Kdgt	Intrusivas	Cretácico Superior
Kdp	Intrusivas	Cretácico Superior
Khp	Estartos Horcón de Piedra	Cretácico Inferior
Kvn	Formación Veta Negra	Cretácico Inferior
Kvnp	Miembro Purehue, cretacico inferior	Cretácico Inferior
Klp	Formación Lo Prado	Cretácico Inferior
Klpm	Formación Lo Prado, Mienbro Medio	Cretácico Inferior
Kp	Intrusivas	Cretácico Inferior
Jll	Intrusivas	Jurásico
Ja-h	Formación Ajjal y Horqueta indiferenciadas	Jurásico
Jh	Formación Horqueta	Jurásico
Jc	Formación Cerro Calera	Jurásico
Jlt	Intrusivas	Jurásico
Jlt, Zenclaves	Intrusivas con zonas de enclaves	Jurásico
Jp	Intrusivas	Jurásico
Trlty	Intrusivas	Triásico-Jurásico
Pzmg	Intrusivas	Paleozoico
Pzp	Intrusivas	Paleozoico

Cuadro 7-4 Simbología utilizada en el mapa geológico de la zona de estudio

7.3.1.3 NIVELES DE AGUAS SUBTERRÁNEAS

En la medición de niveles de aguas subterráneas, se incluyeron más datos de nivel a los 12 pozos de observación considerados, se eliminan los niveles dinámicos y se agregan cotas de cada uno de los pozos.

7.3.1.4 CATASTRO

La demanda, el uso del recurso y el número de captaciones consideradas en la modelación numérica provino de la información considerada en el reporte CNR/GEOFUN-2001. El cual incluye un catastro con un total de 418 captaciones, cuyo principal uso en la cuenca es de riego (71% de las captaciones), seguido del uso en agua potable alcanzando un 13% del total de captaciones. Los otros usos se mantienen por debajo del 3% del total (Cuadro 7-5).

Tipo de Uso	Código	N° captaciones	% del total
Riego	R	298	71.3%
Riego Abandonado	R-AB	10	2.4%
Riego Sin Uso	R-SU	14	3.3%
Potable	P	54	12.9%
Potable Abandonado	P-AB	4	1.0%
Potable Sin Uso	P-SU	11	2.6%
Industrial	I	10	2.4%
Industrial y Potable	I-AP	9	2.2%
Industrial Abandonado	I-AB	6	1.4%
Minero	M	1	0.2%
Sin Uso	S-U	1	0.2%
TOTAL		418	

Cuadro 7-5 Número de captaciones y uso en zona de estudio

7.3.1.5 PERIODO DE CALIBRACIÓN

El periodo de calibración considerado es el mismo que el del modelo del reporte CNR/GEOFUN-2001, enero de 1995 a diciembre de 1999, a nivel mensual, alcanzando 60 stress periods.

7.3.1.6 ESPESOR Y GEOMETRÍA DEL BASAMENTO

Se incorporó información estratigráfica de 23 pozos ingresados a la DGA con fecha posterior a 1998 para mejorar la conceptualización de los acuíferos. Esta información permitió modificar la geometría del basamento, incorporando nueva información de profundidad.

7.3.1.7 LÍMITES DEL MODELO

No hubo modificaciones a los límites de la zona modelada, esta zona corresponde al contacto roca-relleno de las cuencas de los esteros Puangue, tramo del río Maipo entre El monte y Cuncumén, Cholqui y Popeta.

DISCRETIZACIÓN EN PLANTA

La malla de diferencias finitas corresponde a una planta de celdas de 300 x 300 metros, con un total de 51.660 celdas conformada por 287 filas y 180 columnas.

DISCRETIZACIÓN VERTICAL

Verticalmente se consideró un estrato acuífero de espesor variable, se mantuvo el relieve original y se modificó la profundidad con nueva información de profundidad de pozos.

7.3.1.8 PROPIEDADES ELÁSTICAS

La distribución inicial de conductividades hidráulicas se determinó en base a la información recopilada en el reporte CNR/GEOFUN-2001. Por su parte la distribución espacial inicial del coeficiente de almacenamiento quedó definida en tres zonas (Figura 7-40), con un rango de variación para S_y que va desde un 2,5% a 10%.

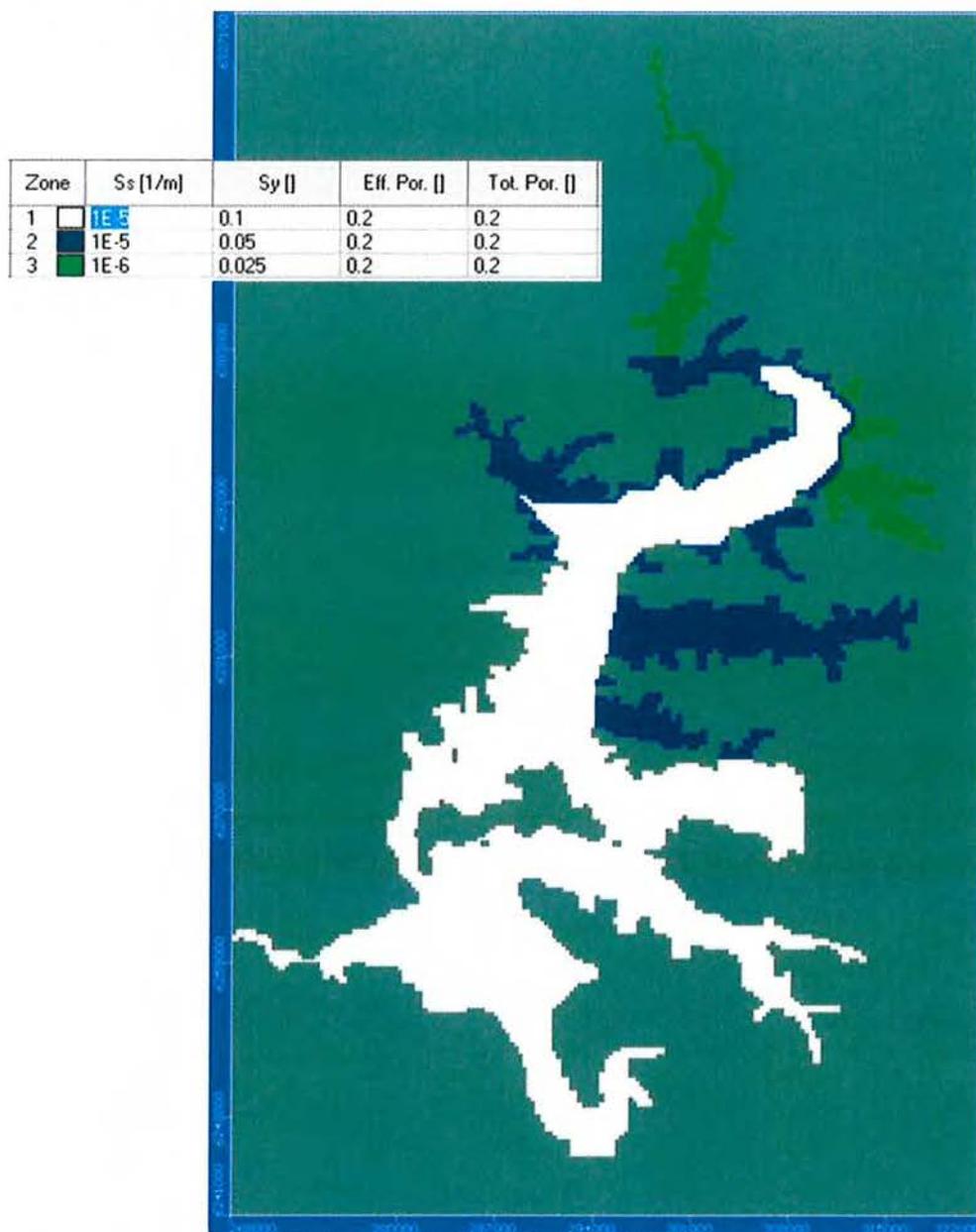


Figura 7-40 Distribución inicial del coeficiente de almacenamiento modelo Puangue-Melipilla DGA/DEP-2006

7.3.1.9 RECARGAS Y DESCARGAS

La recarga a los acuíferos considera la percolación desde zonas de riego, infiltración debida a la lluvia sobre la superficie del acuífero, pérdidas en canales y cauces naturales y flujos subterráneos provenientes desde otros acuíferos. La magnitud de estos aportes se determinó a través de la operación del MOS-Maipo (Cuadro 5-1), el cual se implementó durante el desarrollo del estudio del reporte DGA/AC-2000, y en el que se definieron siete zonas de riego equivalentes al mismo número de áreas de recarga en el modelo numérico (Figura 7-41).

Sector	Área Total	Oferta de Recarga [m ³ /s]											
		ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
1	154,4	3,17	3,10	5,41	3,49	5,48	1,52	1,90	2,47	2,19	1,95	1,92	1,67
2	106,5	0,81	0,77	2,25	1,21	1,06	0,54	0,85	1,39	1,43	1,22	1,11	0,78
3	178,5	2,09	2,20	3,74	3,44	4,31	1,23	1,61	2,21	2,12	1,96	1,97	1,86
4	66,8	0,15	0,08	0,06	0,04	0,07	0,12	0,13	0,09	0,07	0,06	0,06	0,07
5	32,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	328,1	1,38	1,35	3,16	2,26	2,55	2,26	1,85	1,86	1,76	1,63	1,57	1,47
7	102,7	0,39	0,28	1,06	0,59	0,75	0,66	0,50	0,70	0,76	0,96	0,75	0,49
TOTAL	969,6	7,99	7,78	15,68	11,03	14,22	6,33	6,84	8,72	8,33	7,78	7,38	6,34

Cuadro 7-6 Recarga Potencial según sector de riego (MOS-Maipo)

Por otro lado las principales descargas corresponden a bombeos desde pozos y norias y a flujos subterráneos de salida, en cauces (afloramientos) y acuíferos.

El caudal de explotación alcanza 1,78 m³/s y fue determinado a través de encuestas de terreno durante el desarrollo de estudio del reporte DGA/AC-2000.

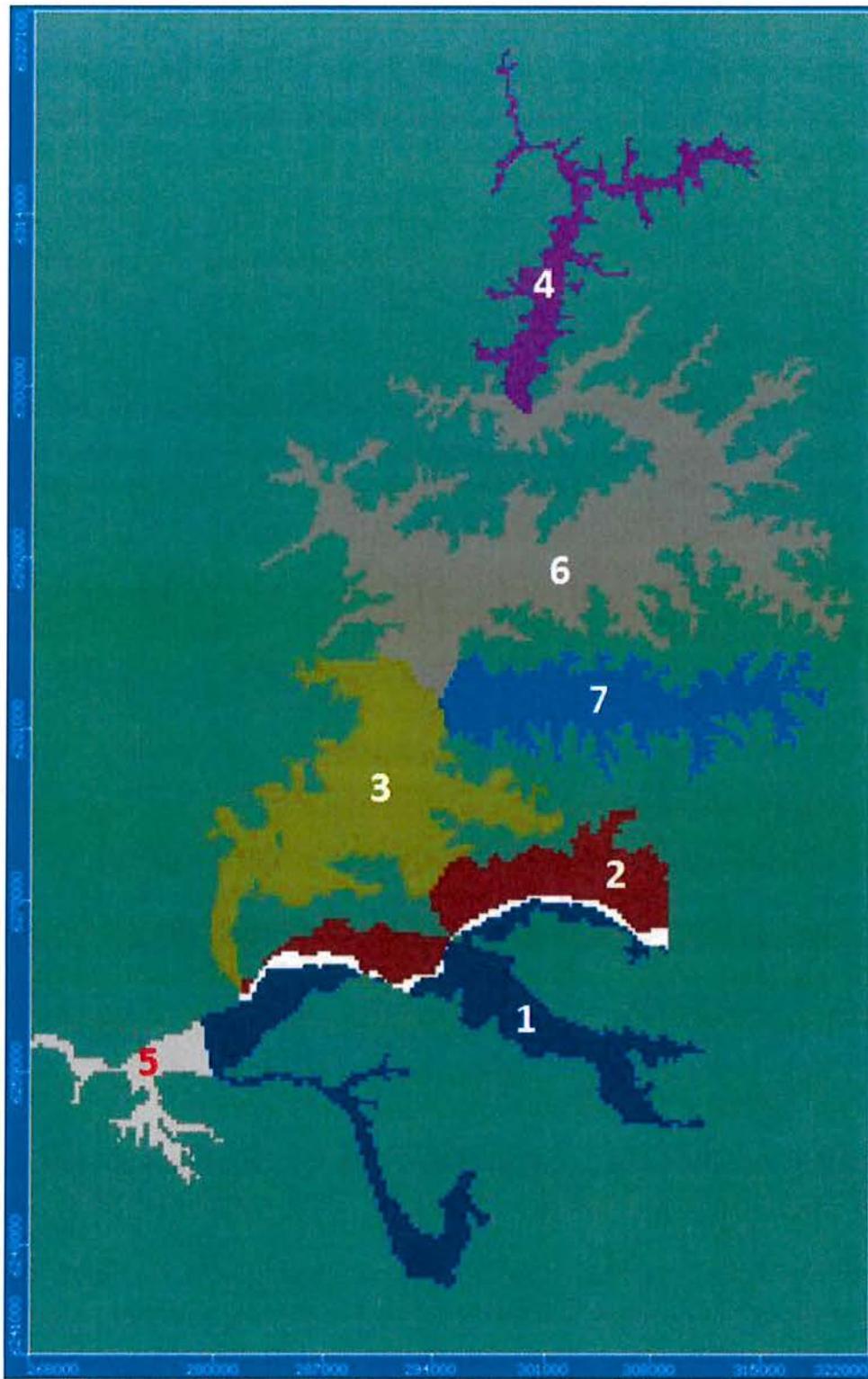


Figura 7-41 Áreas de recarga en modelo Puangue Melipilla DGA/DEP-2006

7.3.1.10 CONDICIONES DE BORDE

Se utilizaron dos tipos de condiciones de borde: de nivel constante y de río. La primera para reproducir los flujos de entrada y salida del sistema, y la segunda para cuantificar la interrelación entre el acuífero y los cauces.

El valor del nivel a la entrada del sistema en el sector de El Monte, alcanzó la magnitud de 229 m, cuyo caudal dado por el modelo numérico Maipo-Mapocho es de 2,62 m³/s. La otra condición de nivel constante, caracteriza la salida del sistema en el sector de Cabimbao y corresponde a un nivel de 42 m.

Por su parte la condición de tipo río se implementó en coincidencia con los principales cauces de la zona de estudio para representar la interacción de los esteros Puangue, La Higuera, Cholqui, Popeta y del río Maipo. Los valores de conductancia adoptados en las celdas correspondientes a esta condición, alcanzan valores de entre 3.000 m²/d en esteros y de 10.000 m²/d para el río Maipo.

7.3.1.11 PATRÓN DE AJUSTES

Se consideraron tres elementos para conformar el patrón de ajuste para la calibración:

- Los niveles estáticos observados en los doce pozos elegidos, para el periodo enero de 1995 a diciembre de 1999.
- El caudal subterráneo de entrada en el sector de El Monte equivalente a 2,62 m³/s.
- Los flujos recuperados por el río Maipo por un monto de 6 m³/s.

7.3.1.12 CALIBRACIÓN

Los valores finales de permeabilidades oscilan entre 1,3 a 86,4 m/d, su distribución espacial se muestra en la Figura 7-42.

Se modificó además la condición de nivel constante de entrada al sistema (sector El Monte), sus valores finales quedaron en un rango comprendido entre 228,6 y 245 m.

Las modificaciones planteadas anteriormente permitieron obtener los valores de nivel y flujo adecuados para obtener una calibración satisfactoria del sistema, la cual alcanzó un RMS normalizado de 2,8%.

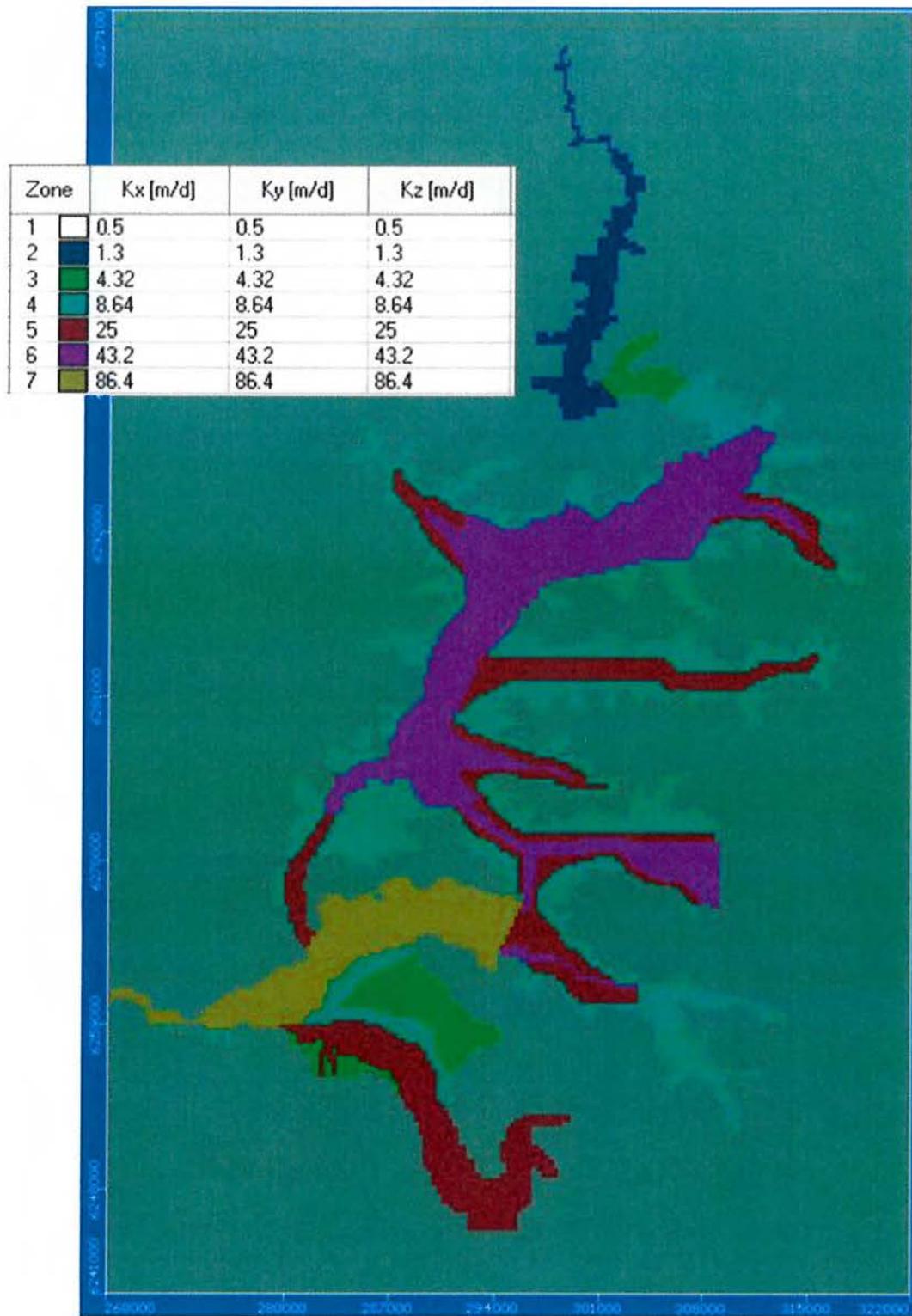


Figura 7-42 Distribución final de permeabilidades en modelo DGA/DEP-2006

7.3.1.13 RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

El balance másico general del modelo se presenta en el Cuadro 7-7 y los balances por sector acuífero se presentan en los cuadros Cuadro 7-8, Cuadro 7-9 y Cuadro 7-10

Balance general	
Entradas	[m ³ /s]
Recarga	9,910
Río	2,504
Nivel constante	2,842
Almacenamiento	1,570
TOTAL	16,826

Salidas	[m ³ /s]
Río	14,898
Pozos	0,827
Nivel Constante	0,045
Almacenamiento	1,096
TOTAL	16,866
error de cierre	-0,040

Cuadro 7-7 Balance general del modelo DGA/DEP-2006

Zona 1: Puangue Alto	
Entradas	[m ³ /s]
Recarga	0,140
Río	0,119
Almacenamiento	0,045
Salidas	[m ³ /s]
Río	0,109
Pozos	0,151
Almacenamiento	0,025

Zona 2: Puangue Medio	
Entradas	[m ³ /s]
Recarga	1,423
Río	0,118
Almacenamiento	0,258
Salidas	[m ³ /s]
Río	1,345
Pozos	0,365
Almacenamiento	0,176

Cuadro 7-8 Balance Puangue Alto y Puangue Medio Modelo DGA/DEP-2006

Zona 3: Puangue Bajo	
Entradas	[m ³ /s]
Recarga	2,124
Río	0,105
Almacenamiento	0,364
Salidas	[m ³ /s]
Río	2,518
Pozos	0,013
Almacenamiento	0,210

Zona 4: La Higuera	
Entradas	[m ³ /s]
Recarga	0,545
Río	0,052
Almacenamiento	0,059
Salidas	[m ³ /s]
Río	0,483
Pozos	0,022
Almacenamiento	0,053

Zona 5: Melipilla	
Entradas	[m ³ /s]
Recarga	2,547
Río	1,924
Almacenamiento	0,295
Salidas	[m ³ /s]
Río	5,242
Pozos	0,050
Almacenamiento	0,244

Zona 6: Cholqui	
Entradas	[m ³ /s]
Recarga	1,207
Río	0,123
Almacenamiento	0,227
Salidas	[m ³ /s]
Río	1,143
Pozos	0,049
Almacenamiento	0,162

Zona 7: Popeta	
Entradas	[m ³ /s]
Recarga	1,536
Río	0,062
Almacenamiento	0,297
Salidas	[m ³ /s]
Río	1,444
Pozos	0,174
Almacenamiento	0,202

Zona 8: Entrada	
Entradas	[m ³ /s]
Recarga	0,327
Río	0,000
Nivel constante	2.842
Almacenamiento	0,025
Salidas	[m ³ /s]
Río	2,596
Pozos	0,003
Almacenamiento	0,024

Cuadro 7-9 Balances Puangue Bajo, La Higuera, Melipilla, Cholqui, Popeta y Entrada Modelo DGA/DEP-2006

Zona 9: Salida	
Entradas	[m ³ /s]
Recarga	0,062
Río	0,000
Almacenamiento	0,001
Salidas	[m ³ /s]
Río	0,019
Pozos	0,000
Nivel constante	0,045
Almacenamiento	0,000

Balance General	
Entradas	[m ³ /s]
Recarga	9,910
Río	2,504
Nivel constante	2,842
Almacenamiento	1,570
Salidas	[m ³ /s]
Río	14,898
Pozos	0,827
Nivel constante	0,045
Almacenamiento	1,096

Cuadro 7-10 Balances Salida y general Modelo DGA/DEP-2006

7.3.2 INFORME TÉCNICO S.I.T. N° 237

Con el modelo numérico de Puangue-Melipilla validado y calibrado, se procedió a determinar la disponibilidad máxima sustentable de los recursos hídricos subterráneos de los acuíferos de la zona cubierta por el modelo.

Para esto, se utilizaron los criterios de sustentabilidad definidos por el Departamento de Administración de Recursos Hídricos en la Resolución DGA N° 341 de 2005, y cuyos criterios aplicables son:

- Que los descensos generalizados no provoquen el agotamiento de algunas zonas del acuífero, imposibilitando la extracción de aguas subterráneas de derechos de aprovechamiento existentes en dichas zonas.
- Que la recarga del acuífero no sea superada para que no provoque descensos sostenidos de sus niveles, al grado que provoque reducciones superiores al cinco por ciento del volumen almacenado en un plazo de cincuenta años.
- Que no se produzca afección a los caudales de los cursos de aguas superficiales y vertientes en más de un diez por ciento del caudal medio de estiaje del año con un ochenta y cinco por ciento de probabilidad de excedencia, afectando derechos de aprovechamiento existentes.

Se definieron entonces los escenarios de simulación a partir del catastro de solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas ordenado y sistematizado por el Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH). El periodo de simulación de cada escenario fue de 50 años.

El escenario base o de partida, se definió como aquel que considera las solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas hasta el 31 de diciembre de 2005.

Una vez definida la demanda antrópica, se estimó la magnitud del caudal bombeado a través del uso previsible de cada derecho según su uso (Cuadro 7-11). Este caudal de uso previsible se incorporó al MOS para generar las nuevas recargas al sistema. Las nuevas recargas se incorporaron al modelo numérico de aguas subterráneas junto con la explotación previsible, generando las interacciones entre los niveles, cauces superficiales, volúmenes embalsados y entre los distintos subsistemas acuíferos.

Tipo de Uso	Factor de Uso Previsible [%]
Industrial	30
Agua Potable	70
Agrícola	18

Cuadro 7-11 Factor de uso previsible en los acuíferos de Puangue-Melipilla

7.3.2.1 ESCENARIO INICIAL

Es el correspondiente a la demanda equivalente de todas las solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas aprobadas al 31 de diciembre de 2005.

De acuerdo al catastro generado para este reporte, existen ingresadas 741 solicitudes, de las cuales 382 han sido aprobadas, 333 se encuentran pendientes y 26 han sido denegadas. El Cuadro 7-12 muestra los caudales nominales y previsible para las solicitudes aprobadas y pendientes.

Estado	Caudal nominal [l/s]	Caudal previsible [l/s]
Aprobados	9.025,03	2.302,60
Pendientes	5.964,45	1.333,41
TOTAL	14.989,48	3.636,01

Cuadro 7-12 Estado de solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas del escenario inicial se procedió a subterráneas al 31 de diciembre de 2005

Para la evaluación del escenario inicial se procedió a correr el modelo numérico de aguas subterráneas con un caudal de 2.302,6 L/s.

7.3.2.2 MODELACIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS (MOS)

El modelo MOS operó con bombeos impuestos por un caudal de extracción equivalente a 2.302,6 L/s. Las magnitudes de los caudales superficiales de los principales esteros se obtuvieron de los nodos asociados a ellos, a saber, nodos 51, 52, 53, 47 y 54, esto es, salida subsector de Puangue Alto (NO-51), junta del estero Puangue con La Higuera (NO-52), junta del estero Puangue con el río Maipo (NO-53), junta del estero Cholqui con el río Maipo (NO-47) y junta del estero Popeta con el río Maipo respectivamente (NO-54). La operación del modelo MOS-Maipo determinó además las recargas a los acuíferos desde distintas fuentes, precipitación, riego, pérdidas en canales y cauces y cuencas laterales.

7.3.2.3 MODELACIÓN HIDROGEOLÓGICA

El modelo numérico utilizado para la evaluación de los recursos hídricos subterráneos es el modelo actualizado en el reporte DGA/DEP Actualización-2006 (SIT N°118). A este modelo numérico se ingresaron las series de bombeos y las recargas correspondientes provenientes del MOS-Maipo para los distintos subsectores acuíferos de la cuenca del estero Puangue. Luego de ejecutar el modelo, se obtienen como resultados los niveles, flujos pasantes y los impactos sobre cauces para cada uno de los subsectores acuíferos. La Figura 7-43 muestra las zonas de balance consideradas.

7.3.2.4 RESULTADOS DE LA MODELACIÓN HIDROGEOLÓGICA

La determinación de los valores límites de extracción sin que se transgredan los criterios establecidos en la resolución 341, requiere de un proceso iterativo, de manera de aumentar los volúmenes de extracción paulatinamente en todos los subsectores hasta que algún criterio no se cumpla. Los resultados de este proceso para la explotación autorizada (derechos aprobados) al 31 de diciembre de 2005 en un periodo de 50 años, se muestran en los cuadros Cuadro 7-13 y Cuadro 7-14. La Figura 7-44, muestra la tendencia de los niveles simulados en 50 años de operación del modelo para el escenario inicial.

Zona 1: Puangue Alto		[m ³ /s]	Zona 2: Puangue Medio		[m ³ /s]
Entradas	Recarga	0,139	Recarga	1,414	
	Río	0,209	Río	0,157	
	Almacenamiento	0,035	Almacenamiento	0,131	
	2 a 1	0,000	4 a 2	0,066	
			1 a 2	0,021	
			3 a 2	0,028	
			Río	0,956	
			Pozos	0,722	
Salidas	Almacenamiento	0,012	Salidas Almacenamiento	0,098	
	1 a 2	0,021	2 a 3	0,036	
			2 a 4	0,005	

Cuadro 7-13 Balance Acuíferos Puangue Alto y Puangue Medio, efecto a 50 años, situación actual (derechos aprobados al 31 diciembre de 2005)

Zona 3: Puangue Bajo		[m ³ /s]
	Recarga	2,124
	Río	0,112
Entradas	Almacenamiento	0,188
	5 a 3	0,180
	2 a 3	0,036
	4 a 3	0,082
	Río	2,324
	Pozos	0,017
Salidas	Almacenamiento	0,201
	3 a 5	0,102
	3 a 2	0,028
	3 a 4	0,050

Zona 4: La Higuera		[m ³ /s]
	Recarga	0,541
	Río	0,078
Entradas	Almacenamiento	0,074
	3 a 4	0,050
	2 a 4	0,005
	Río	0,379
	Pozos	0,107
Salidas	Almacenamiento	0,201
	4 a 3	0,082
	4 a 2	0,066

Zona 5: Melipilla		[m ³ /s]
	Recarga	2,554
	Río	2,185
Entradas	Almacenamiento	0,195
	3 a 5	0,102
	8 a 5	0,653
	7 a 5	0,141
	6 a 5	0,234
	Río	5,124
	Pozos	0,364
Salidas	Almacenamiento	0,240
	5 a 9	0,001
	5 a 8	0,070
	5 a 7	0,066
	5 a 3	0,180
	5 a 6	0,019

Zona 6: Cholqui		[m ³ /s]
	Recarga	1,186
	Río	0,144
Entradas	Almacenamiento	0,219
	5 a 6	0,019
	Río	0,963
	Pozos	0,221
Salidas	Almacenamiento	0,149
	6 a 5	0,234

Zona 7: Popeta		[m ³ /s]
	Recarga	1,530
Entradas	Río	0,056
	Almacenamiento	0,275
	5 a 7	0,066
	Río	1,264
Salidas	Pozos	0,294
	Almacenamiento	0,182
	7 a 5	0,141

Cuadro 7-14 Balance Acuíferos Puangue Bajo, La Higuera, Melipilla, Cholqui y Popeta, efectos a 50 años, situación actual (derechos aprobados al 31 diciembre de 2005)

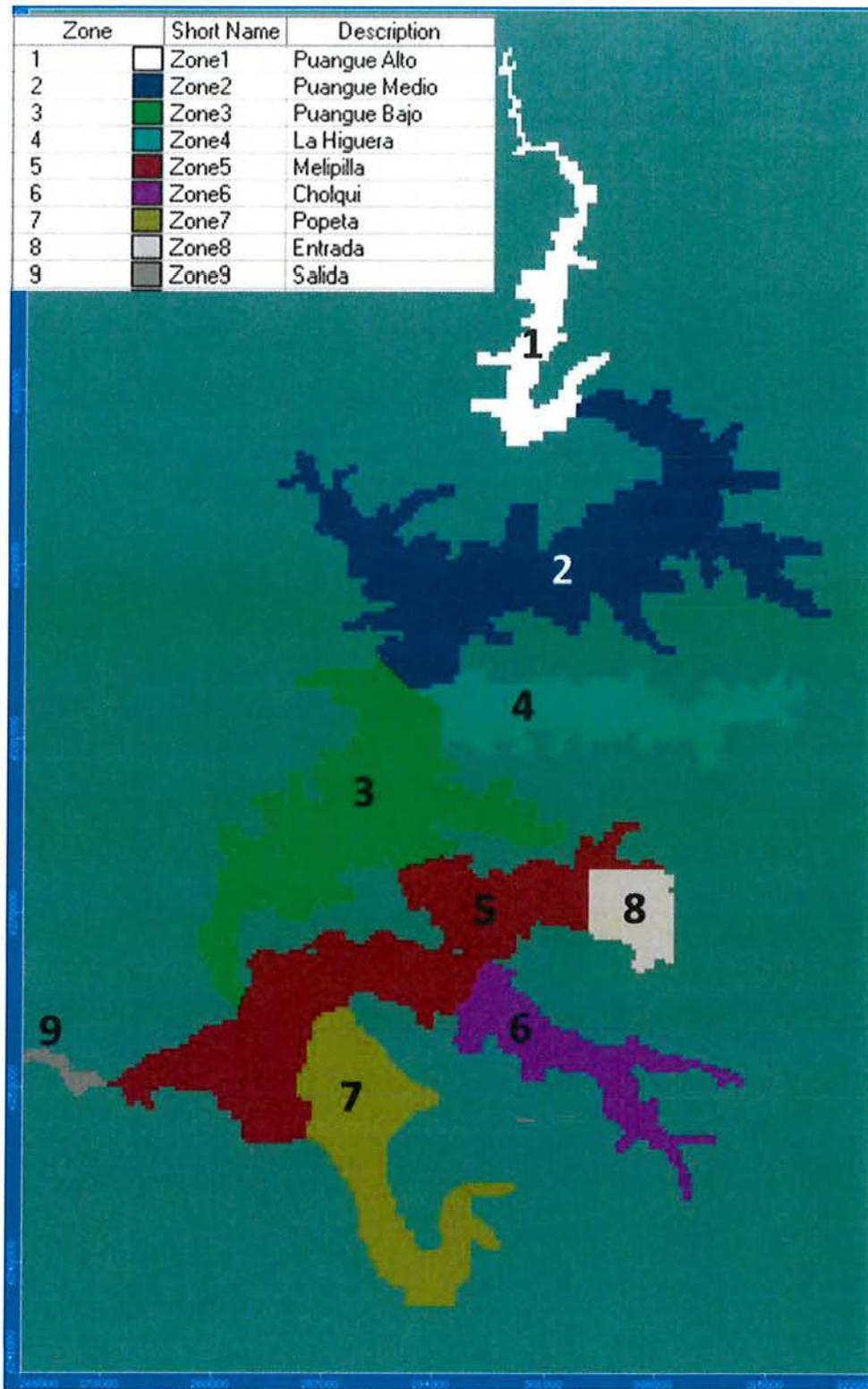


Figura 7-43 Zonas de balance en modelo DGA/DEP-2006

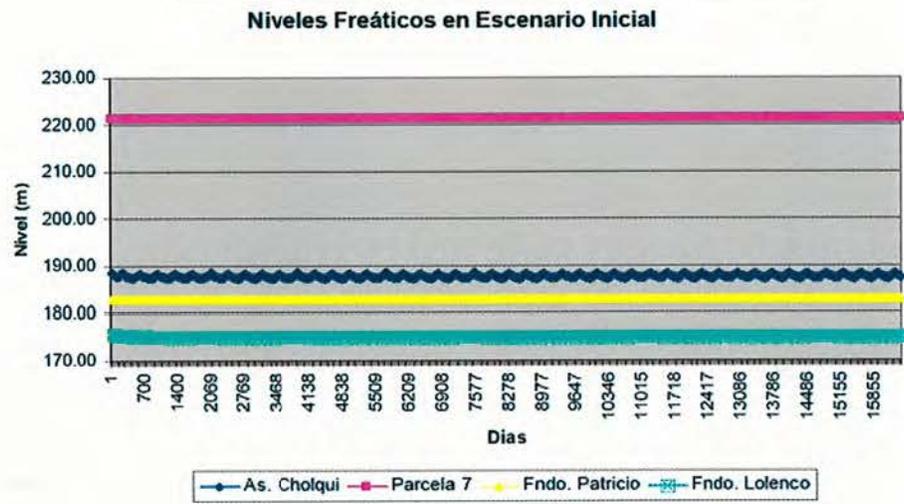
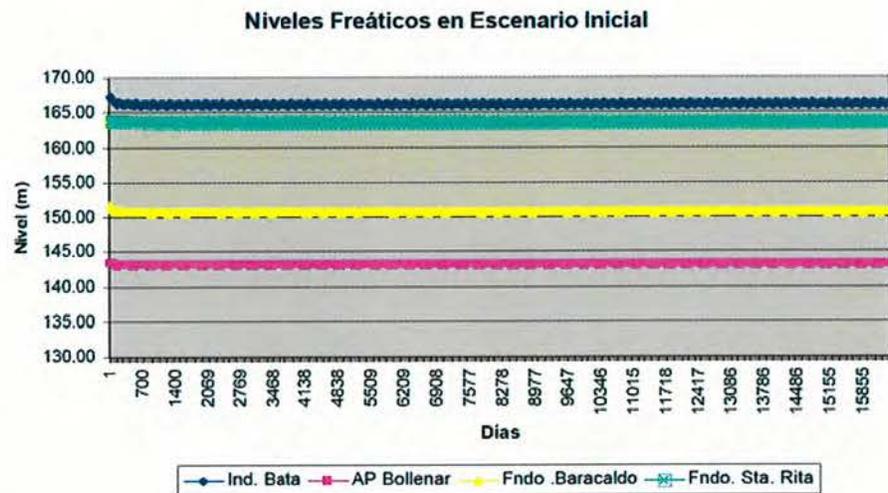
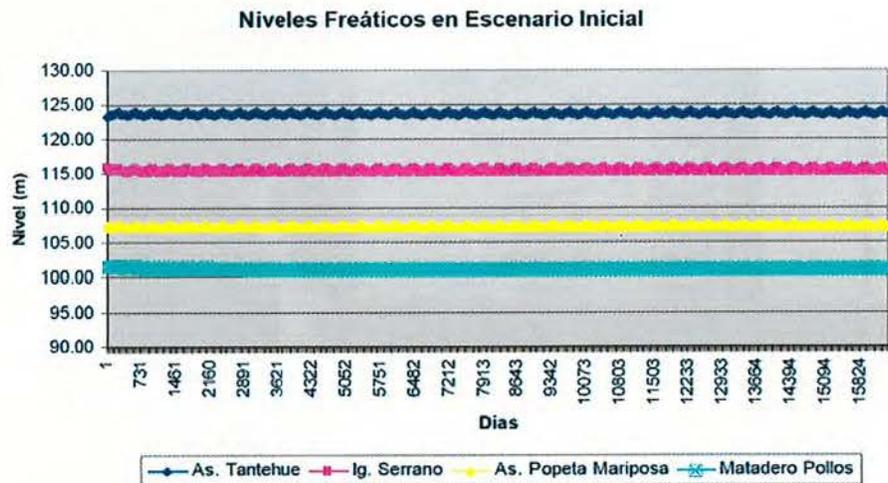


Figura 7-44 Niveles en pozos de observación Escenario inicial

7.3.2.5 AFECCIONES

Utilizando como referencia de niveles y flujos el escenario base (calibración del modelo, periodo enero-1995 a diciembre de 1999), se tiene entonces que el balance hídrico (Cuadro 7-15) de las celdas tipo río para los distintos subsectores es:

Sector	Nombre	River in [m ³ /d]	River out [m ³ /d]	Drenaje Neto (Out-In) [m ³ /s]	Comportamiento
1	Puangué Alto	10.299,703	9.387,653	-0,011	Percola
2	Puangué Medio	10.199,430	116.250,967	1,227	Drena
3	Puangué Bajo	9.092,795	217.566,167	2,413	Drena
4	La Higuera	4.526,642	41.751,467	0,431	Drena
5	Maipo	166.193,833	452.866,333	3,318	Drena
6	Cholqui	10.658,905	98.771,483	1,020	Drena
7	Popeta	5.345,526	124.741,983	1,382	Drena

Cuadro 7-15 Comportamiento del sistema en escenario Base

Se determinó la afección media anual sobre los caudales superficiales de salida debido al descenso de niveles producto de la operación del modelo numérico de aguas subterráneas (Cuadro 7-16). El caudal pasante del estero correspondiente en el punto de salida de cada subsector acuífero, se obtuvo del nodo representativo en el modelo MOS-Maipo.

Sector	Caudal de Bombeo [L/s]	Afección
Puangué Alto	472,56	9,05%
Puangué Medio	828,65	5,49%
Puangué Bajo	16,62	3,65%
La Higuera	106,53	4,16%
Maipo	363,57	0,22%
Cholqui	211,1	14,08%
Popeta	293,57	13,55%

Cuadro 7-16 afección neta a cauces naturales en escenario inicial

La simulación de largo plazo para el escenario inicial muestra que no existen desembalses en ninguno de los subsectores acuíferos y que los niveles no muestran una tendencia de descensos. Sin embargo las afecciones a cauces naturales superan el valor límite de 10% en los sectores de Cholqui y Popeta.

Se generaron ocho escenarios adicionales para establecer los límites de extracción de aguas subterráneas en cada sector acuífero, manteniendo los valores para los caudales

bombeados en los sectores de Cholqui y Popeta pues representan pozos con derechos concedidos. Los resultados de la corrida de cada uno de los ocho nuevos escenarios creados, coincidieron con el comportamiento del escenario inicial, es decir, no se apreciaron descensos de niveles significativos ni tampoco desembalses en ningún sector acuífero. Las afecciones a cauces naturales, para cada uno de los escenarios, se muestran en el Cuadro 7-17, y los resultados del escenario de máxima explotación sustentable, se muestra en los cuadros Cuadro 7-18 y Cuadro 7-19.

SECTOR	Escenario Inicial		Escenario 2		Escenario 3	
	Caudal (l/s)	Afección	Caudal (l/s)	Afección	Caudal (l/s)	Afección
Puangue Alto	472.56	9.05%	499.11	11.19%	479.55	9.80%
Puangue Medio	828.65	5.49%	1376.29	10.27%	1265.71	9.21%
Puangue Bajo	16.62	3.65%	78.63	6.94%	78.63	6.46%
La Higuera	106.53	4.16%	189.32	5.07%	189.32	5.25%
Melipilla	363.57	0.22%	442.34	0.25%	442.34	0.25%
Cholqui	221.10	14.08%	221.10	14.08%	221.10	14.19%
Popeta	293.57	13.55%	293.57	13.60%	293.57	13.54%

SECTOR	Escenario 4		Escenario 5		Escenario 6	
	Caudal (l/s)	Afección	Caudal (l/s)	Afección	Caudal (l/s)	Afección
Puangue Alto	484.41	10.01%	484.41	10.01%	484.41	10.01%
Puangue Medio	1312.24	9.53%	1354.09	10.13%	1332.40	9.87%
Puangue Bajo	78.63	6.62%	78.63	6.90%	110.00	6.97%
La Higuera	189.32	5.26%	189.32	5.26%	200.00	5.59%
Melipilla	442.34	0.25%	442.34	0.25%	500.00	0.29%
Cholqui	221.10	14.20%	221.10	14.20%	221.10	14.20%
Popeta	293.57	13.55%	293.57	13.55%	293.57	13.56%

SECTOR	Escenario 7		Escenario 8		Escenario 9	
	Caudal (l/s)	Afección	Caudal (l/s)	Afección	Caudal (l/s)	Afección
Puangue Alto	484.41	10.01%	484.41	10.01%	484.41	10.02%
Puangue Medio	1332.40	9.88%	1332.40	9.88%	1332.40	9.90%
Puangue Bajo	175.00	7.31%	250.00	7.35%	300.00	8.10%
La Higuera	220.00	6.05%	220.00	6.07%	300.00	6.40%
Melipilla	800.00	0.53%	1000.00	0.58%	1200.00	0.71%
Cholqui	221.10	14.22%	221.10	14.23%	221.10	14.29%
Popeta	293.57	13.63%	293.57	13.67%	293.57	14.04%

Cuadro 7-17 Afecciones medias para cada escenario

Zona 1: Puangue Alto		[m ³ /s]
	Recarga	0,139
	Río	0,215
Entradas	Almacenamiento	0,024
	2 a 1	0,000
<hr/>		
	Río	0,071
	Pozos	0,274
Salidas	Almacenamiento	0,015
	1 a 2	0,019

Zona 2: Puangue Medio		[m ³ /s]
	Recarga	1,407
	Río	0,286
Entradas	Almacenamiento	0,169
	4 a 2	0,065
	1 a 2	0,019
	3 a 2	0,026
<hr/>		
	Río	0,741
	Pozos	1,072
Salidas	Almacenamiento	0,133
	2 a 3	0,032
	2 a 4	0,004

Zona 3: Puangue Bajo		[m ³ /s]
	Recarga	2,122
	Río	0,116
Entradas	Almacenamiento	0,277
	5 a 3	0,180
	2 a 3	0,032
	4 a 3	0,080
<hr/>		
	Río	2,210
	Pozos	0,182
Salidas	Almacenamiento	0,245
	3 a 5	0,101
	3 a 2	0,026
	3 a 4	0,049

Zona 4: La Higuera		[m ³ /s]
	Recarga	0,542
	Río	0,097
Entradas	Almacenamiento	0,075
	3 a 4	0,049
	2 a 4	0,004
<hr/>		
	Río	0,296
	Pozos	0,264
Salidas	Almacenamiento	0,062
	4 a 3	0,080
	4 a 2	0,065

Zona 5: Melipilla		[m ³ /s]
	Recarga	2,552
	Río	2,589
	Almacenamiento	0,282
Entradas	3 a 5	0,101
	8 a 5	0,659
	7 a 5	0,136
	6 a 5	0,235
<hr/>		
	Río	4,838
	Pozos	1,148
	Almacenamiento	0,253
Salidas	5 a 9	0,001
	5 a 8	0,060
	5 a 7	0,064
	5 a 3	0,180
	5 a 6	0,018

Zona 6: Cholqui		[m ³ /s]
	Recarga	1,196
	Río	0,144
	Almacenamiento	0,196
Entradas	5 a 6	0,016
<hr/>		
	Río	0,965
	Pozos	0,184
	Almacenamiento	0,171
Salidas	6 a 5	0,235

Cuadro 7-18 Balances hídricos en subsectores acuíferos de Puangue Alto, Puangue Medio, Puangue Bajo, La Higuera, Melipilla y Cholqui, para escenario de máxima explotación sustentable.

Zona 7: Popeta		[m ³ /s]
Entradas	Recarga	1,530
	Río	0,055
	Almacenamiento	0,222
	5 a 7	0,064
Salidas	Río	1.258
	Pozos	0,276
	Almacenamiento	0,203
	7 a 5	0,136

Cuadro 7-19 Balance hídrico en subsector acuífero de Popeta, para escenario de máxima explotación sustentable.

7.3.2.6 NIVELES

El comportamiento de los niveles en los 12 pozos de observación presentes en el modelo se muestran en la Figura 7-45, Figura 7-46 y Figura 7-47.

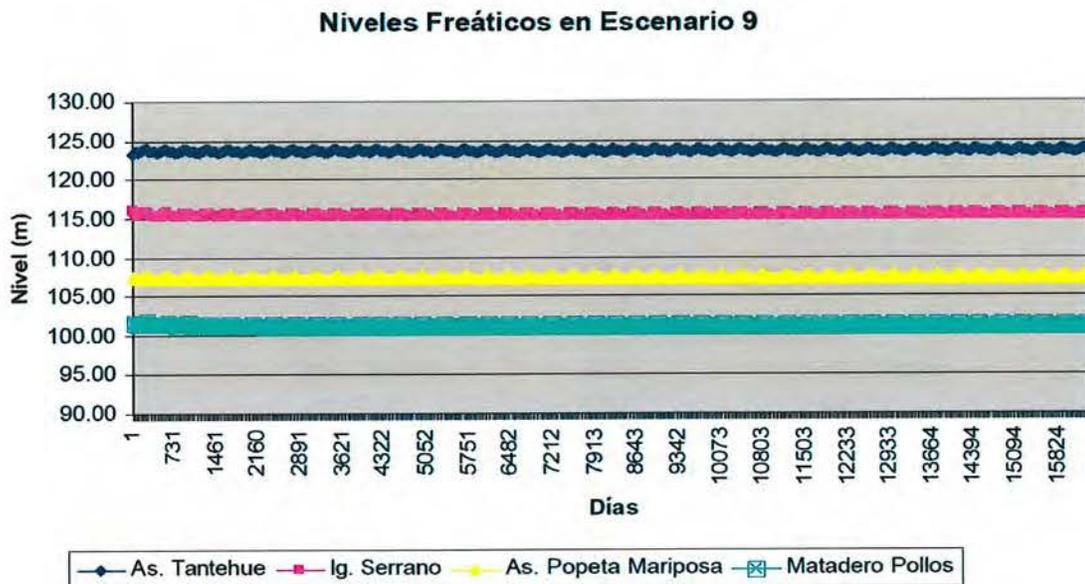


Figura 7-45 Niveles de pozos en escenario 9

Niveles Freáticos en Escenario 9

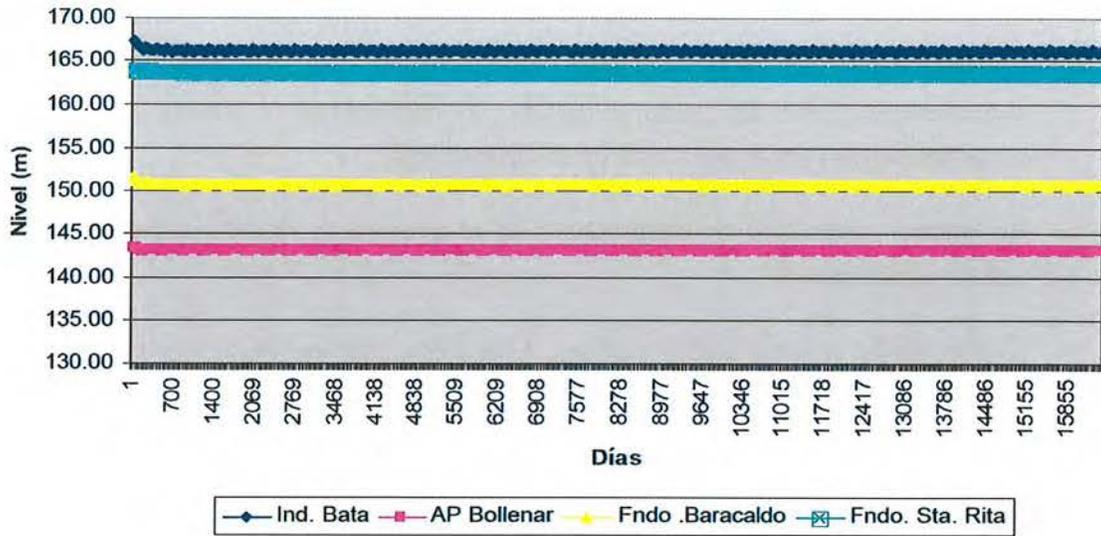


Figura 7-46 Niveles de pozos en escenario 9

Niveles Freáticos en Escenario 9

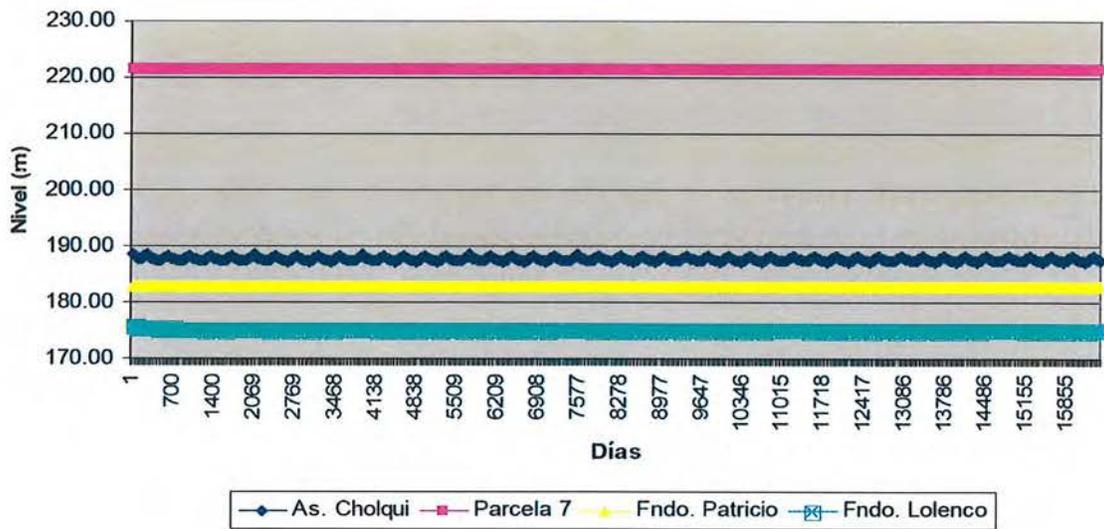


Figura 7-47 Niveles de pozos en escenario 9

7.3.2.7 CONCLUSIONES

Las principales conclusiones de este trabajo son:

- El acuífero Puangue-Melipilla no presenta signos de agotamiento.
- La respuesta del sistema ante un aumento del número de captaciones subterráneas, como del caudal explotado, es homogénea en el largo plazo, es decir, no se identifican áreas particulares de descensos.
- No existen evidencias de desembalse en el acuífero ni en ninguno de los sectores que lo conforman.
- La simulación a largo plazo, esto es, a 50 años, demuestra la interconexión de los sistemas superficial y subterráneo, debido a que un aumento en los bombeos produce un aumento en las afecciones de los cauces superficiales.
- El escaso descenso de los niveles freáticos durante la simulación con diferentes caudales de explotación subterránea, indica que los pozos comienzan a abastecerse desde otra fuente, que no es directamente la reserva del acuífero.
- El caudal de explotación sustentable límite para el acuífero Puangue-Melipilla se estima en 4.131,48 L/s, simulado en el escenario 9.
- Los caudales de explotación en Cholqui y Popeta de 221,1 L/s y 293,57 L/s se sostienen con afecciones medias por sobre el 10%.
- Los caudales máximos de explotación sustentable por sector, que no provocan afecciones superiores al límite establecido son 784,41 L/s en Puangue Alto, 1.332,4 L/s en Puangue Medio, 300 L/s en Puangue Bajo, 300 L/s en La Higuera y 1.200 L/s en Melipilla.

8 SITUACIÓN ADMINISTRATIVA

Administrativamente tres de los cinco subsectores acuíferos que conforman los acuíferos de la cuenca del estero Puangue están declarados como áreas de restricción.

Desde que se publicó el reporte DGA/DEP Explotación máxima-2006, que determinó los volúmenes sustentables para cada acuífero del acuífero Puangue-Melipilla, los acuíferos de la cuenca del estero Puangue han conservado el estado de área de restricción, sin embargo, los montos de los volúmenes para derechos de aguas subterráneas en calidad de provisionales han variado con la utilización de la metodología establecida por la Resolución DGA N° 239 del 13 de octubre de 2011.

A continuación, se presenta un breve detalle de los hitos administrativos más relevantes que han dado lugar a los resultados enunciados.

8.1 EVALUACIÓN DE LA EXPLOTACIÓN MÁXIMA SUSTENTABLE, S.D.T. N° 250

Con fecha 9 de octubre de 2007 a través de la resolución DGA Exenta N° 2397, se aprobó el Informe técnico S.D.T N° 250, Realizado por el Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH) denominado "Evaluación máxima sustentable del acuífero Puangue-Melipilla" (DGA/DARH-2007) y que tuvo por objetivo definir sectores acuíferos y determinar los volúmenes totales anuales posibles de otorgar como derechos de aguas subterráneas en el Sector Acuífero denominado Puangue-Melipilla.

Este estudio resume los contenidos y conclusiones de dos estudios realizados por el Departamento de Estudios y Planificación de la DGA el año 2006, denominados: "Evaluación de los recursos hídricos subterráneos del valle del estero Puangue: diagnóstico de situación actual" S.I.T. N° 118, noviembre de 2006 (DGA/DEP Actualización-2006) y "Evaluación de los recursos subterráneos del valle del estero Puangue sectores Puangue Alto, Medio y Bajo, La Higuera, Cholqui, Popeta y Melipilla" S.I.T. N° 237, noviembre de 2006 (DGA/DEP Explotación máxima-2006).

El primer estudio actualiza la modelación hidrogeológica de los acuíferos del sector Puangue-Melipilla realizado por la Comisión Nacional de Riego (CNR) en agosto de 2001 en el estudio denominado "Estudio integral de optimización del regadío de la 3ra sección del río Maipo y valles de Yali y Alhué" (CNR/GEOFUN-2001), y el segundo estudio, utiliza la actualización de la modelación hidrogeológica, para determinar la explotación máxima sustentable de los acuíferos del sector Puangue-Melipilla.

8.1.1 SECTORIZACIÓN PUANGUE-MELIPILLA

El sistema acuífero Puangue-Melipilla se dividió en siete sectores de interés hidrogeológico (Figura 8-1) en los cuales se ha determinado la demanda máxima sustentable que puede ser extraída sin provocar perjuicio o daños al sistema de aguas subterráneas y superficiales.

La superficie de cada uno de los sectores acuíferos definidos cubre el área de la cuenca hidrológica correspondiente. Su denominación oficial es la siguiente: Puangue Alto; Puangue Medio; La Higuera; Puangue Bajo; Melipilla; Cholqui y Popeta.

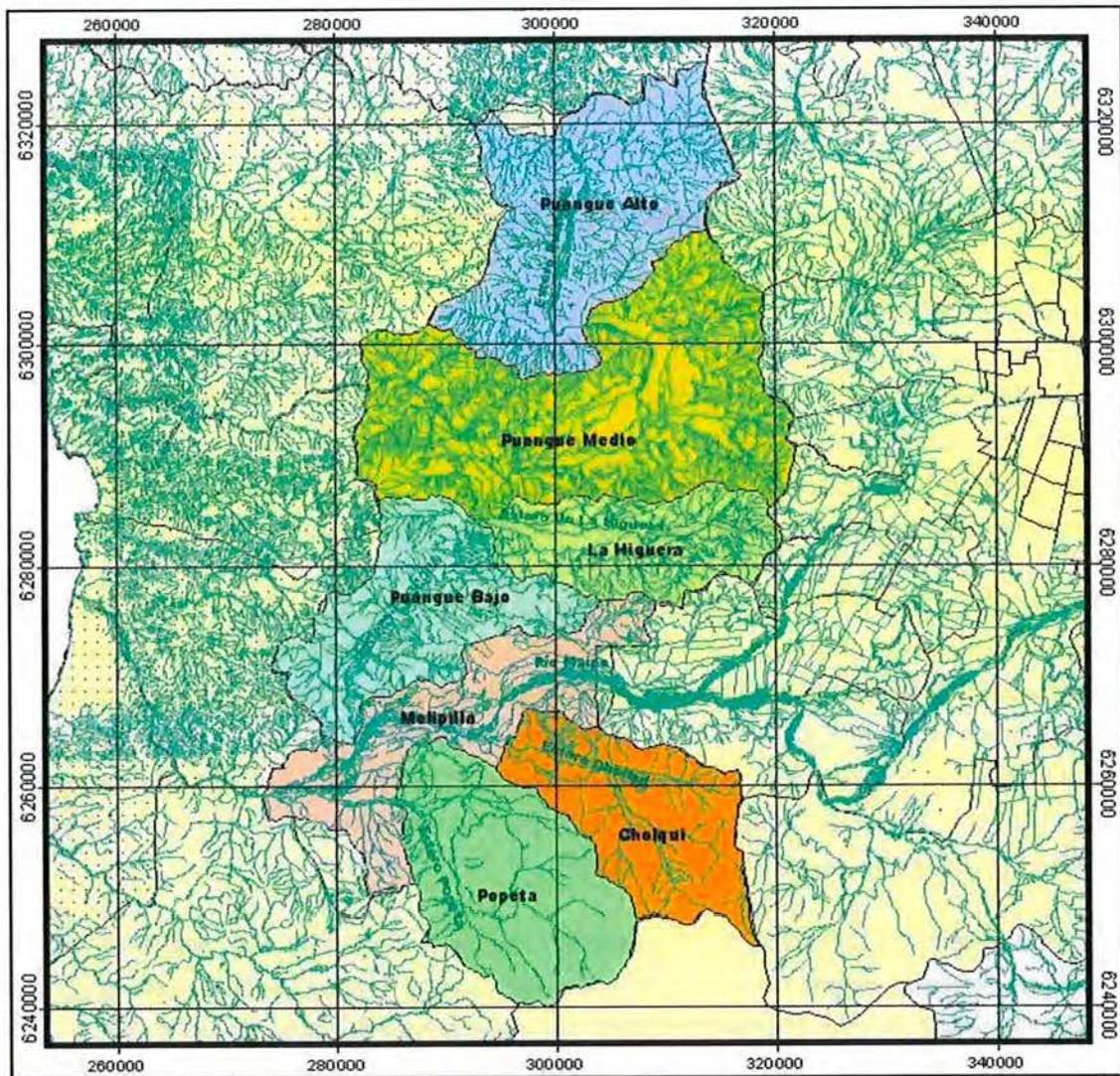


Figura 8-1 Sectorización acuíferos Puangue-Melipilla

8.1.2 DISPONIBILIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL ACUÍFERO DE PUANGUE-MELIPILLA

La simulación de largo plazo, esto es, a 50 años, demostró la interconexión de los sistemas superficial y subterráneo, debido a que un aumento en los bombeos produce un aumento en las afecciones de los cauces superficiales.

Evaluada la afección producida en los caudales superficiales de cada sector con los bombeos de los derechos de aguas subterráneas aprobados al 31 de diciembre de 2005, se presenta la situación de que en los sectores de Cholqui y Popeta las afecciones medias a los cauces superficiales superan el valor límite aceptado de 10%.

En consecuencia, los sectores de Cholqui y Popeta se encuentran cerrados para nuevas extracciones de agua subterránea, siendo la explotación neta de 6.972.610 m³/año (221,1 l/s) y 9.258.024 m³/año (293,57 l/s) respectivamente.

Para los sectores Puangue Alto, Puangue Medio, La Higuera, Puangue Bajo y Melipilla los máximos caudales de explotación sustentable que no provocan afecciones superiores al límite establecido en los cauces superficiales son 484,41 l/s, 1.332,4 l/s, 300 l/s, 300 l/s y 1200 l/s respectivamente. Por lo tanto la recomendación es no avanzar en la explotación previsible de los derechos de aprovechamiento más allá del caudal equivalente a la explotación neta sustentable en cada sector acuífero, que se resume en el Cuadro 8-1.

Sector	Volumen sustentable total [m ³ /año]	Explotación neta sustentable [L/s]	Estado final
Puangue Alto	15.276.354	484,41	Cerrado (*)
Puangue Medio	42.018.566	1.332,40	Cerrado (*)
La Higuera	9.460.800	300,00	Cerrado (*)
Puangue Bajo	9.460.800	300,00	Cerrado (*)
Melipilla	37.843.200	1.200,00	Cerrado (*)
Cholqui	6.972.610	221,10	Cerrado
Popeta	9.258.024	293,57	Cerrado

(*) Sectores actualmente abiertos que quedarán cerrados una vez otorgado el volumen sustentable total

Cuadro 8-1 Disponibilidad de aguas subterráneas de los sectores acuíferos de Puangue-Melipilla

8.2 DECLARACIÓN ÁREA DE RESTRICCIÓN PUANGUE ALTO, PUANGUE MEDIO, LA HIGUERA, MELIPILLA, CHOLQUI Y POPETA. INFORME TÉCNICO N° 128

El informe técnico N° 128, del 22 de julio de 2008, tuvo como objetivo demostrar la procedencia de declarar áreas de restricción a algunos subsectores del sector acuífero de aprovechamiento común de Puangue-Melipilla, para esto se tuvo a la vista el reporte DGA/DARH-2007.

8.2.1 SITUACIÓN DE LA DEMANDA ACTUAL

Se determinó la demanda vigente en los sectores acuíferos de Puangue-Melipilla a diciembre de 2007 (Cuadro 8-2). Entendiéndose como demanda vigente a las solicitudes de aguas subterráneas, correspondientes al área de estudio, ingresadas a la DGA que se encuentran constituidas, en trámite, aquellas que pueden ser regularizadas a través del Artículo Segundo Transitorio y a las solicitudes ingresadas a la Dirección por los Artículos Cuarto y Sexto Transitorio del Código de Aguas. No se incluyen las solicitudes de derechos de aprovechamiento que han sido denegadas.

Subsector hidrogeológico	Demanda [l/s]	Número de pozos	Número de expedientes
Puangue Alto	642,0	494	407
Puangue Medio	1.901,9	453	412
La Higuera	257,5	93	87
Puangue Bajo	90,6	79	77
Melipilla	923,6	155	147
Cholqui	442,7	124	91
Popeta	454,9	124	91
Total	4.713,2	1522	1312

Cuadro 8-2 Demanda vigente sector acuífero Puangue-Melipilla, 2007

8.2.1.1 USO PREVISIBLE

El uso previsible refleja la naturaleza de la explotación de aguas subterráneas, que hace que las captaciones sean empleadas sólo en forma temporal y de ese modo, la extracción media de largo plazo desde el acuífero sea sustancialmente menor que la explotación máxima autorizada como derecho de aprovechamiento.

La hipótesis inicial es que la captación de aguas subterráneas se usará según los fines de la solicitud original. De acuerdo a la naturaleza de esta solicitud, existen coeficientes

técnicos dados por estudios específicos, información de organismos técnicos, o la experiencia práctica, que permiten estimar este coeficiente o factor de uso previsible.

Para el caso del sector acuífero Puangue-Melipilla, el factor de uso por actividad se determinó con información recolectada de encuestas a usuarios a través de catastros, registros de extracción, información de la SISS y de diversos estudios realizados sobre la materia (Cuadro 8-3).

Actividad	Usos
Agua Potable	0,70
Riego	0,18
Industrial	0,30

Cuadro 8-3 Factor de uso previsible por actividad

La demanda previsible vigente comprometida, corresponde al total de la demanda previsible que considera hasta la última solicitud autorizada como derecho de aprovechamiento, es decir, aprobada.

El total de la demanda previsible solicitada a diciembre del año 2007 en el sector acuífero de Puangue-Melipilla, según subsector hidrogeológico de aprovechamiento común alcanza a 187.164.854 m³/año (5.935 L/s) (Cuadro 8-4)

Subsector hidrogeológico	Demanda previsible solicitada (31-dic-2007) [m ³ /año]	Demanda previsible solicitada (31-dic-2007) [l/s]
Puangue Alto	24.854.930	788,1
Puangue Medio	78.779.093	2.498,1
La Higuera	9.866.124	312,9
Puangue Bajo	3.993.542	126,6
Melipilla	38.165.086	1.210,2
Cholquí	14.212.057	450,7
Popeta	17.294.022	548,4
Total	187.164.854	5.935,0

Cuadro 8-4 Demanda previsible solicitada al 31 de diciembre de 2007 en acuíferos de Puangue-Melipilla

8.2.2 SITUACIÓN DEL SISTEMA

En el reporte DGA/DARH-2007 se estableció que los sectores acuíferos de Cholqui y Popeta se encuentran cerrados con la explotación autorizada al 31 de diciembre de 2005, y que se

recomienda no avanzar en la explotación previsible de los derechos de aprovechamiento más allá del caudal equivalente a la explotación neta sustentable en cada sector acuífero del sector Puangue-Melipilla (Cuadro 8-1).

Al comparar el volumen sustentable con la demanda previsible de cada sector hidrogeológico (Cuadro 8-5), se tiene que todos los sectores, a excepción de Puangue Bajo, se encuentran sobrepasados.

Sector hidrogeológico	Volumen sustentable total [m ³ /año]	Demanda previsible solicitada (31-dic-2007) [m ³ /año]
Puangue Alto	15.276.354	24.854.930
Puangue Medio	42.018.566	78.779.093
La Higuera	9.460.800	9.866.124
Puangue Bajo	9.460.800	3.993.542
Melipilla	37.843.200	38.165.086
Cholqui	6.972.610	14.212.057
Popeta	9.258.024	17.294.022
Total	130.290.354	187.164.854

Cuadro 8-5 Disponibilidad de aguas subterráneas de los sectores acuíferos de Puangue-Melipilla y demanda solicitada al 31 de diciembre de 2007

8.2.3 CONCLUSIONES

Dado que se cumplen las condiciones señaladas en el artículo 65 del Código de Aguas y en el artículo 31 letra c) de la Resolución DGA N° 425 de 2007, se recomienda proceder a declarar Área de Restricción a los sistemas acuíferos de aprovechamiento común, correspondientes a los sectores denominados Puangue Alto, Puangue Medio, La Higuera, Melipilla, Cholqui y Popeta. Además, se estima prudente el otorgamiento de derechos de aguas provisionales para los sectores Puangue Medio de 10.504.642 m³/año, La Higuera de 2.365.200 m³/año, Melipilla de 9.460.800 m³/año y Popeta de 1.139.691 m³/año.

Asimismo, para los sectores de Puangue Alto y Cholqui, se estima que la demanda comprometida, supera con creces la afección media a los cauces superficiales, sobrepasando el valor límite aceptado, por ello se considera que no es prudente otorgar derechos provisionales en dichos sectores con el objeto de garantizar su apropiada protección y conservación en el largo plazo.

8.3 RESOLUCIÓN DGA N° 241 DECLARA ÁREA DE RESTRICCIÓN

La Resolución DGA N° 241 del 31 de julio de 2008 menciona que, visto el informe técnico N° 128 de 22 de julio de 2008 y las atribuciones que le confiere la ley resuelve:

- Declarar como Área de Restricción para nuevas explotaciones de aguas subterráneas, los subsectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de Puangue Alto; Puangue Medio; La Higuera; Melipilla; Cholquí y Popeta, que se encuentran definidos por la figura N°4 del informe técnico N° 128 del 22 de julio de 2008,
- Establécese que la DGA estima prudente otorgar provisionalmente derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas por 10.504.642 m³/año para el sector de Puangue Medio; 2.365.200 m³/año para el sector de La Higuera; 9.460.800 m³/año para el sector de Melipilla y 1.139.691 m³/año para el sector de Popeta.

En los subsectores acuíferos de Puangue Alto y Cholqui, no se considera prudente el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en carácter de provisionales.

8.4 INFORME TÉCNICO N°48, MODIFICA DEMANDA COMPROMETIDA EN ACUÍFERO PUANGUE-MELIPILLA

El informe técnico N° 48 del 27 de enero de 2010, tuvo por objetivo modificar la demanda comprometida y el otorgamiento de derechos provisionales en los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de Puangue-Melipilla, esto debido a que la DGA estableció un nuevo criterio para decidir en los casos de colisión entre sustentabilidad y prelación. Dicho criterio definió la demanda comprometida como la suma de todos los derechos otorgados en términos de usos previsible, cuya fecha de ingreso es anterior al último derecho constituido, dentro de los cuales están consideradas las solicitudes tramitadas por el artículo sexto transitorio, aquellas que pueden ser regularizadas a través del artículo segundo transitorio del Código de Aguas y aquellas que se encuentran aprobadas por el artículo cuarto transitorio de la Ley 20.017 que modificó el Código de Aguas. Se incluyen como demanda comprometida, aquellas solicitudes tramitadas por el artículo cuarto transitorio que corresponden a las presentadas por pequeños productores agrícolas y campesinos que se encuentran definidos en el artículo 13 de la Ley N° 18.910.

8.4.1 SITUACIÓN ACTUAL (ENERO 2010)

Aplicando el nuevo criterio DGA antes mencionado se determinaron los nuevos volúmenes de demanda comprometida para cada uno de los sectores acuíferos de Puangue-Melipilla (Cuadro 8-6), además se determinó la demanda total solicitada, la cual sobrepasa el volumen sustentable correspondiente en todos los sectores acuíferos a excepción de Puangue Bajo, manteniéndose, por tanto, las áreas de restricción para cada uno de los sectores acuíferos.

Sector Hidrogeológico	Volumen sustentable total [m ³ /año]	Demanda comprometida [m ³ /año]	Demanda Total solicitada [m ³ /año]
Puangue Alto	15.276.354	15.115.263	28.569.282
Puangue Medio	42.018.566	36.706.067	117.067.894
La Higuera	9.460.800	7.504.302	13.810.284
Puangue Bajo	9.460.800	4.913.684	8.268.275
Melipilla	37.843.200	22.633.079	39.765.923
Cholqui	6.972.610	7.428.346	17.715.633
Popeta	9.258.024	11.504.146	27.924.309
TOTAL	130.290.354	105.804.887	253.121.600

Cuadro 8-6 Volumen sustentable y demanda comprometida bajo nuevo criterio

En lo que respecta a los derechos provisionales, se modifica la situación del sector de Puangue Alto, estimándose prudente el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en carácter de provisionales de hasta 3.819.089 m³/año. Para el resto de los sectores acuíferos de Puangue-Melipilla se mantienen los volúmenes de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en carácter de provisionales definidos en la Resolución N° 241 del 31 de julio de 2008, a saber: 10.504.642 m³/año para Puangue Medio, 2.365.200 m³/año para La Higuera, 9.460.800 m³/año para Melipilla y 1.139.691 m³/año para Popeta.

8.5 RESOLUCIÓN DGA N° 2455, ACUÍFERO PATRÓN

La resolución exenta DGA N° 2455 modifica el punto 6.4.2 Áreas de Restricción (Expediente tipo VAR) del manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos – 2008.

La principal modificación dice relación con que la magnitud de los derechos de aprovechamiento provisionales quedará determinada para cada sector hidrogeológico de

aprovechamiento común, utilizando otro sector hidrogeológico de aprovechamiento común como patrón de referencia, cuyas características son comparables y en el cual no se han detectado o establecido afectación a derechos de terceros ni afectación a la fuente. Dicho sector hidrogeológico de aprovechamiento de referencia o patrón se definirá en función de las características hidrogeológicas, régimen hídrico, características morfológicas, ubicación geográfica, interrelación con fuentes superficiales, áreas productivas predominantes y la relación entre la demanda comprometida y el volumen sustentable.

El volumen a otorgar como derechos provisionales, se calculará como el volumen determinado en la relación "demanda comprometida partido por volumen sustentable del patrón, multiplicado por el volumen sustentable del sector acuífero en estudio, menos la demanda comprometida a la fecha en el sector".

Se entenderá como demanda comprometida los derechos constituidos, derechos regularizados y regularizables mediante el artículo segundo Transitorio del Código de Aguas, así como los derechos constituidos y susceptibles de ser constituidos conforme a los artículos tercero, cuarto y sexto de la Ley 20.017 de 2005.

En el sector acuífero utilizado como patrón, se otorgarán nuevos derechos en calidad de provisionales, por un volumen igual al 20% de su volumen sustentable.

Para aquellos sectores en los cuales no sea aplicable la metodología anterior, debido a las características particulares del sector, o bien no exista un sector hidrogeológico de aprovechamiento común patrón, se otorgarán derechos provisionales en magnitud equivalente al volumen sustentable en dicho sector, sujeto al monitoreo de la explotación y seguimiento del comportamiento del acuífero. La Dirección General de Aguas podrá exigir además un Plan de Alerta Temprana (PAT), en aquellos casos cuya evaluación y características particulares justifiquen la conveniencia de establecer un mejor control y seguimiento del estado del acuífero y su condición de explotación.

8.6 INFORMES TÉCNICOS N° 341, N° 346 Y N° 360

En los informes Informe Técnico N° 341, de 19 de agosto de 2011, Informe Técnico N° 346, de 24 de agosto de 2011 e Informe Técnico N° 360, de 29 de agosto de 2011, todos del Departamento de Administración de Recursos Hídricos, se efectuó una reevaluación de la disponibilidad de recursos hídricos subterráneos en sectores acuíferos de la región Metropolitana, en los cuales se señala que, en los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de Puangue Alto, Puangue Medio, La Higuera, Cholqui y Popeta, la

demanda de aguas subterráneas comprometida al 30 de junio de 2010, supera el volumen sustentable, estimándose que existe riesgo de grave disminución del respectivo acuífero con el consiguiente perjuicio de derechos de terceros ya establecidos en ellos, recomendando proceder de acuerdo al artículo 65 del Código de Aguas, a permanecer como áreas de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas. Sin embargo, el sector hidrogeológico de aprovechamiento común denominado Melipilla debe permanecer abierto para nuevos derechos definitivos, recomendando alzar el área de restricción establecida en ese sector.

El análisis de la disponibilidad de los recursos hídricos subterráneos determinado en cada uno de los informes técnicos anteriormente individualizados, consideró la aplicación de dos criterios fundamentales para la determinación de la demanda hídrica comprometida, tales son:

- Que el balance hídrico en un sector acuífero, debe considerar, para aquellos derechos constituidos con anterioridad a la Ley 20.017 de 2005 que modificó el Código de Aguas, y en cuya Resolución constitutiva no se indica en forma expresa el volumen total anual de extracción, que el volumen total anual otorgado es el que proviene de utilizar el caudal constituido todos los segundos del año.
- Que la demanda comprometida de un sector acuífero a una fecha determinada, corresponde a la suma de: todos los derechos otorgados; las solicitudes tramitadas conforme al artículo segundo Transitorio del Código de Aguas de 1981; las solicitudes tramitadas en virtud del artículo cuarto Transitorio de la Ley 20.017 de 2005 que modificó el Código de Aguas, que corresponden a aquellas presentadas por pequeños productores agrícolas y campesinos que se encuentran definidos en el artículo 13 de la Ley 18.910 y también aquellas solicitudes pendientes tramitadas de acuerdo a este mismo artículo cuarto transitorio, siempre que el sector acuífero analizado no se encuentre en el listado detallado en la Ley 20.411 de 2009; las solicitudes tramitadas en virtud del artículo tercero Transitorio de la Ley 20.017 de 2005 que modificó el Código de Aguas; y las solicitudes tramitadas por el artículo sexto Transitorio de la Ley 20.017 de 2005 que modificó el Código de Aguas.

La magnitud de derechos provisionales en estos sectores acuíferos, fue determinada con el procedimiento definido en la Resolución exenta DGA N° 2455. Definiendo el sector acuífero del estero Alhué como acuífero Patrón de los sectores acuíferos de Cholqui y Popeta, y el sector acuífero de Puangue Medio como acuífero patrón de La Higuera.

Estos cambios de criterio buscan un mejor aprovechamiento de los recursos hídricos existentes, los cuales implican un cambio fundamental en la determinación del volumen total anual comprometido de un sector acuífero.

8.6.1 INFORME TÉCNICO N° 341 REEVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS EN LOS SECTORES ACUÍFEROS DE ALHUÉ, CHOLQUI Y POPETA.

El informe técnico S.D.T. N° 229, "Evaluación de la explotación máxima sustentable de los acuíferos de la VI Región", de julio de 2006 y el reporte DGA/DARH-2007 determinaron la magnitud del volumen sustentable para el sector acuífero del Estero Alhué, y los sectores acuíferos de Cholqui y Popeta respectivamente (Cuadro 8-7).

Sector Acuífero	Volumen sustentable	
	[L/s]	[m ³ /año]
Estero Alhué	880,00	27.751.680
Cholqui	221,10	6.972.610
Popeta	293,57	9.258.024

Cuadro 8-7 Volumen sustentable

La demanda comprometida en derechos definitivos al 30 de junio de 2010 (Cuadro 8-8) supera el volumen sustentable de cada uno de los acuíferos, estimándose que existe riesgo de grave disminución de los acuíferos con el perjuicio de derechos de terceros ya establecidos en ellos, procediendo de acuerdo a los artículos 65 del Código de Aguas y 31 letra b) de la Resolución DGA N° 425 de 2007, a mantener como áreas de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas, a los sectores acuíferos de Estero Alhué, Cholqui y Popeta, no existiendo disponibilidad de recursos hídricos subterráneos para otorgar nuevos derechos de aprovechamiento en calidad de definitivos.

Sector acuífero	Demanda comprometida al 30 de junio de 2010 derechos definitivos [m ³ /año]
Estero Alhué	97.296.260
Cholqui	38.811.225
Popeta	31.315.687

Cuadro 8-8 Demanda comprometida en derechos definitivos al 30 de junio de 2010

Sin embargo, declarada el área de restricción, la DGA puede otorgar derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en carácter de provisionales de acuerdo al procedimiento legal actualizado vigente.

Considerando las características hidrogeológicas, régimen hídrico, características morfológicas, ubicación geográfica e interrelación con fuentes superficiales, se agruparon los sectores acuíferos de Estero Alhué, Cholqui y Popeta.

De la relación entre los volúmenes sustentables y sus respectivas demandas comprometidas, se observa que, aun cuando la demanda comprometida es superior al volumen sustentable en más de tres veces en cada uno de los acuíferos, no existen antecedentes que indiquen afección a derechos de terceros, o que la sustentabilidad de estos acuíferos esté comprometida. Por tanto, es posible otorgar en estos acuíferos, derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en calidad de provisionales, para estos efectos se eligió como acuífero patrón de los acuíferos Cholqui y Popeta al sector acuífero Estero Alhué, el cual presenta un factor de Demanda comprometida/Volumen sustentable de 3,5 deduciéndose de aquí la disponibilidad total de los acuíferos de Cholqui y Popeta (Cuadro 8-9).

Sector acuífero	Caudal sustentable [l/s]	Volumen sustentable [m ³ /año]	Demanda comprometida Patrón / volumen sustentable Patrón	Disponibilidad Total (definitivos + provisionales) [m ³ /año]
Cholqui	221,10	6.972.610	3,5	24.404.135
Popeta	293,57	9.258.024	3,5	32.403.084

Cuadro 8-9 Disponibilidad total en sectores acuíferos de Cholqui y Popeta

No hay derechos provisionales otorgados en los acuíferos de Estero Alhué, Cholqui y Popeta, por tanto, la demanda comprometida coincide con la demanda comprometida total (Cuadro 8-10).

Demanda comprometida Total al 30 de junio de 2010			
Sector acuífero	Derechos definitivos [m ³ /año]	Derechos provisionales otorgados [m ³ /año]	Total derechos otorgados [m ³ /año]
Estero Alhué	97.296.260		97.296.260
Cholqui	38.811.225		38.811.225
Popeta	31.315.687		31.315.687

Cuadro 8-10 Demanda comprometida total Estero Alhué, Cholqui y Popeta

En el acuífero de Estero Alhué corresponde otorgar como derechos provisionales un 20% del volumen sustentable (5.550.336 m³/año) y en los acuíferos de Cholqui y Popeta la diferencia entre la disponibilidad total y la demanda comprometida total, quedando el acuífero de Cholqui sin posibilidad de otorgar provisionales, pues la demanda comprometida total supera ampliamente la disponibilidad total (Cuadro 8-11).

Sector acuífero	Volumen sustentable [m ³ /año]	Disponibilidad Total (definitivos + provisionales) [m ³ /año]	Demanda comprometida Total [m ³ /año]	Derechos provisionales a otorgar [m ³ /año]
Estero Alhué	27.751.680	sector patrón	sector patrón	5.550.336
Cholqui	6.972.610	24.404.135	38.811.225	-
Popeta	9.258.024	32.403.084	31.315.687	1.087.397

Cuadro 8-11 Derechos provisionales a otorgar en acuíferos de Estero Alhué, Cholqui y Popeta.

CONCLUSIONES

- Es posible otorgar derechos provisionales en los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de Estero Alhué (5.550.336 m³/año) y de Popeta (1.087.397 m³/año)
- Procede modificar las Resoluciones DGA N° 183, del 26 de mayo de 2008 y DGA N° 241 del 31 de julio de 2008 y dejar sin efecto la Resolución DGA Exenta N° 304 del 8 de febrero de 2010.

8.6.2 INFORME TÉCNICO N° 346, REEVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS EN LOS SECTORES ACUÍFEROS DE PIRQUE, BUIN, EL MONTE, MELIPILLA Y SANTIAGO CENTRAL.

Los informes técnicos: S.I.T N° 119, "Evaluación de la explotación máxima sustentable del acuífero Santiago Sur" de enero de 2007; S.D.T. N° 171, "Determinación de la disponibilidad de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en la cuenca del río Maipo hasta la confluencia con el estero Puangue", de 2004 y reporte DGA/DARH-2007 definieron los volúmenes sustentables para los sectores acuíferos de Pirque, Buin y El Monte; Santiago Central y de Melipilla respectivamente (Cuadro 8-12).

Sector Acuífero	Caudal sustentable [l/s]	Volumen sustentable [m ³ /año]
Santiago Central	15.620,0	492.592.320
Pirque	2.317,1	73.072.066
Buin	2.874,2	90.640.771
El Monte	3.106,9	97.979.198
Melipilla	1.200,0	37.843.200

Cuadro 8-12 Volumen sustentable acuíferos

La demanda comprometida en derechos definitivos al 30 de junio de 2010 (Cuadro 8-13) supera el volumen sustentable en todos los acuíferos, a excepción del sector acuífero de Melipilla, estimándose que existe riesgo de grave disminución de estos acuíferos con el consiguiente perjuicio de derechos de terceros ya establecidos en ellos, procediendo de acuerdo a los artículos 65 del Código de Aguas y 31 letra b) de la Resolución DGA N° 425 de 2007, a mantener como áreas de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas, a los sectores acuíferos de Santiago Central y El Monte y ser declarados áreas de restricción los sectores acuíferos de Pirque y Buin, no existiendo disponibilidad de recursos hídricos subterráneos para otorgar nuevos derechos de aprovechamiento en calidad de definitivos en estos acuíferos.

En el sector acuífero de Melipilla, la demanda de aguas subterráneas comprometida al 30 de junio de 2010 es inferior al volumen sustentable, por lo que debe permanecer abierto para nuevos derechos definitivos. Procede entonces, alzar el área de restricción establecida en este sector acuífero.

Sector Acuífero	Demanda comprometida al 30 de junio de 2010
	Derechos definitivos [m ³ /año]
Santiago Central	992.535.955
Pirque	88.302.614
Buín	250.920.932
El Monte	260.223.979
Melipilla	31.952.515

Cuadro 8-13 Demanda comprometida en sectores acuíferos de Santiago Central, Pirque, Buín, El Monte y Melipilla

Sin embargo, declarada el área de restricción, la DGA puede otorgar derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en carácter de provisionales de acuerdo al procedimiento legal actualizado vigente.

En los acuíferos de El Monte, Pirque y Buín, no existen antecedentes que indiquen afección a derechos de terceros, o que la sustentabilidad del acuífero esté comprometida. Por tanto, es posible otorgar en estos sectores acuíferos, derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en calidad de provisionales.

Considerando las características hidrogeológicas, régimen hídrico, características morfológicas, ubicación geográfica e interrelación con fuentes superficiales, se agruparon los sectores acuíferos de El Monte, Pirque y Buín.

De la relación entre los volúmenes sustentables y sus respectivas demandas comprometidas, se observa que, aun cuando la demanda comprometida es superior al volumen sustentable en cada uno de los acuíferos, no existen antecedentes que indiquen afección a derechos de terceros, o que la sustentabilidad de estos acuíferos esté comprometida. Por tanto, es posible otorgar en estos acuíferos, derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en calidad de provisionales, para estos efectos se eligió como acuífero patrón de los acuíferos Pirque y El Monte al sector acuífero de Buín, el cual presenta un factor de Demanda comprometida/Volumen sustentable de 2,8 deduciéndose de aquí la disponibilidad total de los acuíferos de Pirque y El Monte (Cuadro 8-14).

Sector acuífero	Caudal sustentable [l/s]	Volumen sustentable [m ³ /año]	Demanda comprometida Patrón / Volumen sustentable Patrón	Disponibilidad Total (definitivos + provisionales) [m ³ /año]
Pirque	2.317,10	73.072.066	2,8	204.601.785
Buin	2.874,20	90.640.771	sector patrón	sector patrón
El Monte	3.106,90	97.979.198	2,8	274.341.754

Cuadro 8-14 Disponibilidad Total acuíferos Pirque y El Monte

Por su parte, de acuerdo a los antecedentes con los que cuenta el Servicio, en el acuífero Santiago Central, durante los últimos 25 años de registros, se han verificado descensos sostenidos de los niveles estáticos en los pozos de observación del sector. Por lo tanto, para el sector acuífero Santiago Central, no se considera prudente otorgar nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, en calidad de derechos provisionales, pues, se comprometería tanto la sustentabilidad del acuífero, como los derechos de terceros previamente establecidos en él.

No hay derechos provisionales otorgados en los acuíferos de Pirque, Buin, El Monte y Melipilla, sólo se han otorgado derechos provisionales en el sector acuífero de Santiago Central, los que deben ser considerados en la demanda comprometida total (Cuadro 8-15)

Sector acuífero	Demanda comprometida Total al 30 de junio de 2010		
	Derechos definitivos [m ³ /año]	Derechos provisionales otorgados [m ³ /año]	Total derechos otorgados [m ³ /año]
Santiago Central	992.535.955	140.153.471	1.132.689.426
Pirque	88.302.614		88.302.614
Buin	250.920.932		250.920.932
El Monte	260.223.979		260.223.979
Melipilla	31.952.515		31.952.515

Cuadro 8-15 Demanda comprometida total

En el sector acuífero de Buin corresponde otorgar como derechos provisionales un 20% del volumen sustentable (18.128.154 m³/año) y en los acuíferos de Pirque y El Monte la diferencia entre la disponibilidad total y la demanda comprometida total, quedando el acuífero de Santiago Central sin posibilidad de otorgar provisionales, pues la demanda comprometida total supera ampliamente la disponibilidad total con descensos de niveles sostenidos en el tiempo (Cuadro 8-16).

Sector acuífero	Volumen sustentable [m ³ /año]	Demanda comprometida Total al 30 de junio de 2010 derechos definitivos [m ³ /año]	Disponibilidad total (definitivos + provisionales) [m ³ /año]	Derechos Provisionales [m ³ /año]
Santiago Central	492.592.320	1.132.689.426		
Pirque	73.072.066	88.302.614	204.601.785	116.299.171
Buin	90.640.771	250.920.932	sector patrón	18.128.154
El Monte	97.979.198	260.223.979	274.341.754	14.117.775
Melipilla	37.843.200	31.952.515	sector abierto	sector abierto

Cuadro 8-16 Derechos provisionales a otorgar en sectores acuíferos de Pirque, Buin y El Monte

CONCLUSIONES

- Deben permanecer como áreas de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas, los sectores acuíferos de Santiago Central y El Monte.
- Deben ser declarados áreas de restricción los sectores acuíferos de Pirque y Buin.
- Es posible otorgar derechos provisionales en los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de Pirque (116.299.171 m³/año), de Buin (18.128.154 m³/año) y de El Monte (14.117.775 m³/año)
- En el sector acuífero de Santiago Central, no se considera prudente otorgar nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, en calidad de derechos provisionales.
- En el sector acuífero de Melipilla procede alzar el área de restricción establecida en este sector acuífero.
- Procede modificar las Resoluciones DGA N° 277, del 24 de septiembre de 2008; DGA N° 286, del 1 de septiembre de 2005 y DGA N° 241, del 31 de julio de 2008; y dejar sin efecto las Resoluciones DGA Exenta N° 248, del 4 de febrero de 2010 y DGA Exenta N° 304, del 8 de febrero de 2010.

8.6.3 INFORME TÉCNICO N° 360, REEVALUACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE LA DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS EN LOS SECTORES ACUÍFEROS DE PUANGUE ALTO, PUANGUE MEDIO, LA HIGUERA Y PUANGUE BAJO

El reporte DGA/DEP Explotación máxima-2006, definió los volúmenes sustentables para los sectores acuíferos de Puangue Alto, Puangue Medio, La Higuera y Puangue Bajo (Cuadro 8-17).

Sector acuífero	Caudal sustentable [l/s]	Volumen sustentable [m ³ /año]
Puangue Alto	484,41	15.276.354
Puangue Medio	1.332,40	42.018.566
La Higuera	300,00	9.460.800
Puangue Bajo	300,00	9.460.800

Cuadro 8-17 Volumen sustentable sectores acuíferos Puangue Alto, Puangue Medio, La Higuera y Puangue Bajo

La demanda comprometida en derechos definitivos al 30 de junio de 2010 (Cuadro 8-18 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) supera el volumen sustentable en todos los acuíferos, a excepción del sector acuífero de Puangue Bajo, estimándose que existe riesgo de grave disminución para estos sectores acuíferos con el consiguiente perjuicio de derechos de terceros ya establecidos en ellos, procediendo de acuerdo a los artículos 65 del Código de Aguas y 31 letra b) de la Resolución DGA N° 425 de 2007, a mantener a los sectores acuíferos de Puangue Alto, Puangue Medio y La Higuera como áreas de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas.

Sector acuífero	Demanda comprometida al 30 de junio de 2010 derechos definitivos [m ³ /año]
Puangue Alto	35.512.119
Puangue Medio	129.417.886
La Higuera	16.392.093
Puangue Bajo	4.934.749

Cuadro 8-18 Demanda comprometida en sectores acuíferos de Puangue Alto, Puangue Medio, La Higuera y Puangue Bajo

En el sector acuífero de Puangue Bajo, la demanda de aguas subterráneas comprometida al 30 de junio de 2010 es inferior al volumen sustentable, por lo que debe permanecer

abierto para el otorgamiento de nuevos derechos definitivos de aprovechamiento de aguas subterráneas, hasta el valor de su volumen sustentable.

Sin embargo, declarada el área de restricción, la DGA puede otorgar derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en carácter de provisionales de acuerdo al procedimiento legal actualizado vigente.

En los acuíferos de Puangue Medio y La Higuera, no existen antecedentes que indiquen afección a derechos de terceros, o que la sustentabilidad del acuífero esté comprometida. Por tanto, es posible otorgar derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en calidad de provisionales.

Considerando las características hidrogeológicas, régimen hídrico, características morfológicas, ubicación geográfica e interrelación con fuentes superficiales, se agruparon los sectores acuíferos de Puangue Medio y La Higuera, eligiéndose como acuífero patrón, al sector acuífero de Puangue Medio, el cual presenta un factor de Demanda comprometida/Volumen sustentable de 3,1 deduciéndose de aquí la disponibilidad total del acuífero de La Higuera.

Por su parte, el sector denominado Puangue Alto, presenta características particulares, que difieren de la de los sectores acuíferos de Puangue Medio y La Higuera, debido a la presencia de diversas quebradas de pendiente pronunciada, donde el acuífero sedimentario se desarrolla principalmente en los sectores adyacentes al cauce del estero Puangue, describiendo un valle angosto y encajonado, distinto a la zona de depósitos sedimentarios fluviales formada por dicho estero, que se ubica aguas abajo, en el sector de Puangue Medio, cuyo acuífero es de mayor espesor y extensión. Por ello, en el sector acuífero de Puangue Alto corresponde otorgar derechos provisionales en magnitud equivalente a su volumen sustentable (Cuadro 8-19).

Sector acuífero	Volumen sustentable [m ³ /año]	Disponibilidad total (definitivos + provisionales) [m ³ /año]
Puangue Alto	15.276.354	30.552.708
Puangue Medio	42.018.566	sector patrón
La Higuera	9.460.800	29.328.480
Puangue Bajo	9.460.800	sector abierto

Cuadro 8-19 Disponibilidad Total acuíferos Puangue Alto y La Higuera

No hay derechos provisionales otorgados en los acuíferos de Puangue Alto, Puangue Medio, La Higuera y Puangue Bajo, de manera que la demanda comprometida coincide con la demanda comprometida total (Cuadro 8-20).

Sector acuífero	Demanda comprometida Total al 30 de junio de 2010		
	Derechos definitivos [m ³ /año]	Derechos provisionales otorgados [m ³ /año]	Total derechos otorgados [m ³ /año]
Puangue Alto	35.512.119		35.512.119
Puangue Medio	129.417.886		129.417.886
La Higuera	16.392.093		16.392.093
Puangue Bajo	4.934.749		4.934.749

Cuadro 8-20 Demanda comprometida total Puangue Alto, Puangue Medio, La Higuera y Puangue Bajo

En el sector acuífero de Puangue Medio corresponde otorgar como derechos provisionales un 20% del volumen sustentable, en el acuífero de Puangue Alto el equivalente al volumen sustentable y en el acuífero de La Higuera la diferencia entre la disponibilidad total y la demanda comprometida total. Por su parte, en el sector acuífero de Puangue Alto la Demanda comprometida total supera la disponibilidad total, no pudiéndose entregar derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en calidad de provisionales (Cuadro 8-21).

Sector acuífero	Volumen sustentable [m ³ /año]	Demanda comprometida		Disponibilidad total (definitivos + provisionales) [m ³ /año]	Derechos Provisionales [m ³ /año]
		Total al 30 de junio de 2010 derechos definitivos [m ³ /año]			
Puangue Alto	15.276.354	35.512.119		30.552.708	
Puangue Medio	42.018.566	129.417.886		sector patrón	8.403.713
La Higuera	9.460.800	16.392.093		29.328.480	12.936.387
Puangue Bajo	9.460.800	4.934.749		sector abierto	sector abierto

Cuadro 8-21 Derechos provisionales a otorgar en sectores acuíferos de Puangue Alto, Puangue Medio y La Higuera

CONCLUSIONES

- Deben permanecer como áreas de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas, los sectores acuíferos de Puangue Alto, Puangue Medio y La Higuera.
- Considerando que la demanda comprometida total es superior a la disponibilidad total en el sector acuífero de Puangue Alto, no se considera prudente otorgar nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, en calidad de derechos provisionales en este sector acuífero.

- Es posible otorgar derechos provisionales en los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de Puangue Medio (8.403.713 m³/año), y de La Higuera (12.936.387 m³/año).
- El sector acuífero de Puangue Bajo, debe permanecer abierto para el otorgamiento de nuevos derechos definitivos de aprovechamiento de aguas subterráneas, hasta el valor de su volumen sustentable.
- Procede modificar las Resolución DGA N° 241, del 31 de julio de 2008.

8.7 RESOLUCIÓN DGA N° 239, MODIFICA RESOLUCIÓN DGA N° 241

Teniendo en cuenta la nueva forma de determinar la demanda comprometida y el cálculo de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en calidad de provisionales definida en la Resolución DGA N° 2455 del 10 de agosto de 2011 y los Informes Técnicos del Departamento de Administración de Recursos Hídricos N°341 del 19 de agosto de 2011, Informe Técnico N° 346, de 24 de agosto de 2011 e Informe Técnico N° 360, de 29 de agosto de 2011, la resolución DGA N° 239 del 13 de octubre de 2011, modifica la Resolución DGA N° 241 del 31 de julio de 2008, en cuanto a los sectores acuíferos afectos a restricción y al monto del volumen anual para derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas a otorgar en calidad de provisionales en las áreas de restricción correspondientes. Estableciendo:

- Alzar la declaración de área de restricción del sector hidrogeológico de aprovechamiento común de Melipilla.
- Declarar como áreas de restricción los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de: Puangue Alto; Puangue Medio; La Higuera; Cholqui y Popeta.
- Otorgar provisionalmente derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas por un volumen total anual de hasta 8.403.713 m³/año en el sector hidrogeológico de aprovechamiento común Puangue Medio, de hasta 12.936.387 m³/año en el sector hidrogeológico de aprovechamiento común La Higuera, y de hasta 1.087.397 m³/año en el sector hidrogeológico de aprovechamiento común Popeta.

8.7.1 SITUACIÓN ACTUAL SECTORES HIDROGEOLÓGICOS DE APROVECHAMIENTO COMÚN PUANGUE ALTO, PUANGUE MEDIO, LA HIGUERA Y PUANGUE BAJO.

Según Informe Técnico DARH N°360, de 29 de agosto de 2011, a la fecha no hay derechos provisionales otorgados en el sector Puangue Medio. En cambio en La Higuera se avanza en la constitución de derechos con estas características. El sector Puangue Alto se mantiene cerrado para nuevas constituciones.

En el caso del sector hidrogeológico de aprovechamiento común Puangue Bajo mediante Decreto MOP N°549, de 9 de agosto de 2016, se decretó reserva por un volumen total anual de 5.684.829 m³/año para el abastecimiento de la población, según lo dispuesto en el artículo 147 bis inciso tercero del Código de Aguas.

Sector hidrogeológico de aprovechamiento común	Situación	Derechos Definitivos, y Provisionales a otorgar s/ IT DARH 360, de 2011 (m ³ /año)	Derechos Definitivos o Provisionales otorgados a agosto de 2017 (m ³ /año)	Reserva (m ³ /año)
Puangue Alto	Area de Restricción	-	-	-
Puangue Medio	Area de Restricción	8.403.713	-	-
Puangue Bajo	Sector abierto	9.460.800	3.772.817	5.684.829
La Higuera	Area de Restricción	12.936.387	2.688.120	-

Cuadro 8-22 Situación actual sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común Puangue Alto, Puangue Medio, La Higuera y Puangue Bajo

9 MODELO NUMÉRICO DE PUANGUE MEDIO, GEOHIDROLOGÍA-2009

9.1 MODELO NUMÉRICO DE PUANGUE MEDIO

9.1.1 INTRODUCCIÓN

Agrícola Ariztía Limitada junto a Sociedad Agrícola El Ranchillo Uno Limitada contrataron el desarrollo de un estudio hidrogeológico en el sector acuífero de Puangue Medio, con la finalidad de aportar antecedentes para solicitar el alzamiento de la declaración de área de restricción del subsector hidrogeológico de aprovechamiento común de Puangue Medio, y mostrar la existencia de una mayor recarga al acuífero que la que se ha determinado hasta ahora con el modelo hidrogeológico de la DGA, lo que implicaría una mayor disponibilidad para los usuarios del acuífero.

El proceso de validación del modelo numérico construido, introdujo el concepto de recarga inducida, con la finalidad de explicar la recarga adicional necesaria para mantener los niveles durante el periodo de validación. Esta recarga adicional resultó igual al 20% del bombeo adicional. En tanto que, la evaluación de los efectos de la explotación de aguas subterráneas en los dos escenarios considerados, fue realizada considerando también una recarga adicional equivalente al 20% del bombeo adicional utilizado en cada uno de ellos.

Se presenta a continuación el trabajo realizado por Geohidrología Consultores Limitada y una discusión acerca de la información e hipótesis utilizadas para la construcción del modelo conceptual y numérico para el acuífero de Puangue Medio.

9.1.2 MODELO CONCEPTUAL

El modelo conceptual desarrollado para el valle del acuífero de Puangue Medio, consideró información geológica de SERNAGEOMIM, información litológica de sondajes catastrados en el desarrollo del estudio DGA/CONIC-2007, e información de prospección geofísica realizada para este estudio con el método de Transiente Electromagnético (TEM).

9.1.2.1 GEOLOGÍA

GEOLOGÍA DE SUPERFICIE

Con el mapa geológico del área de Valparaíso-Curacaví, escala 1:100.000 (SERNAGEOMIN, 1999) y con el mapa geológico del área de San Antonio-Melipilla, escala 1:100.000 (SERNAGEOMIN, 2000), se generó un mapa con la geología de superficie de la cuenca que alberga los acuíferos de Puangue-Melipilla (Figura 9-2). La cuenca de Puangue Medio, quedó representada por cinco unidades, las que explican su formación y su estado actual: Unidad Limache; Unidad La Dormida; Ignimbrita Pudahuel; Depósitos Fluviales y Depósitos Coluviales (Figura 9-1).

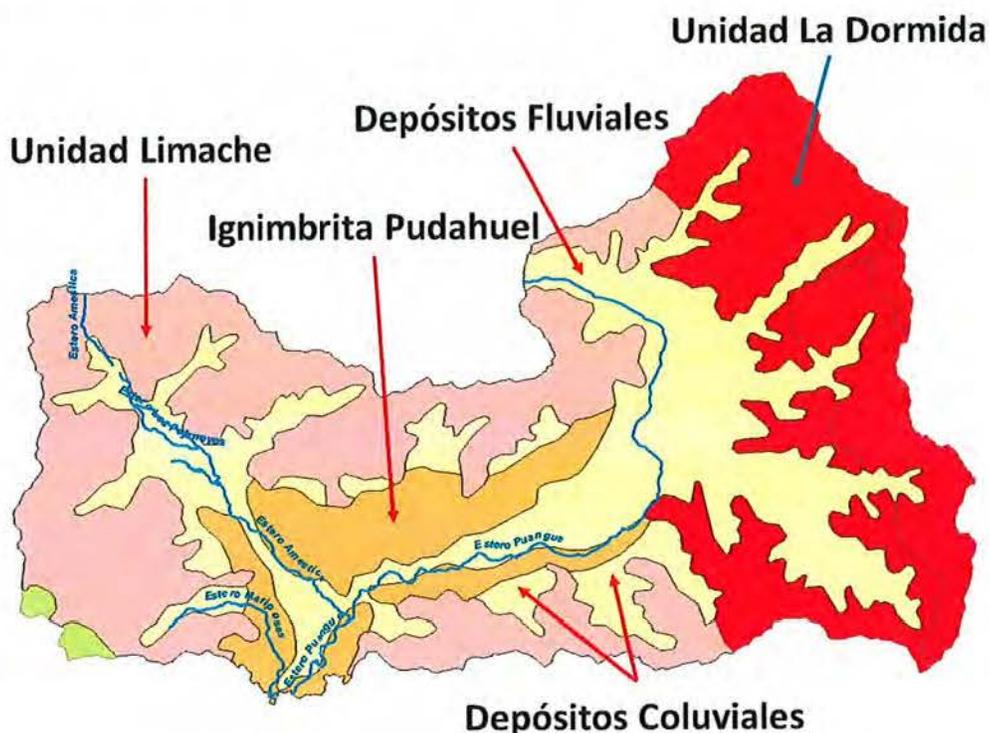


Figura 9-1 Geología superficial en cuenca de Puangue Medio

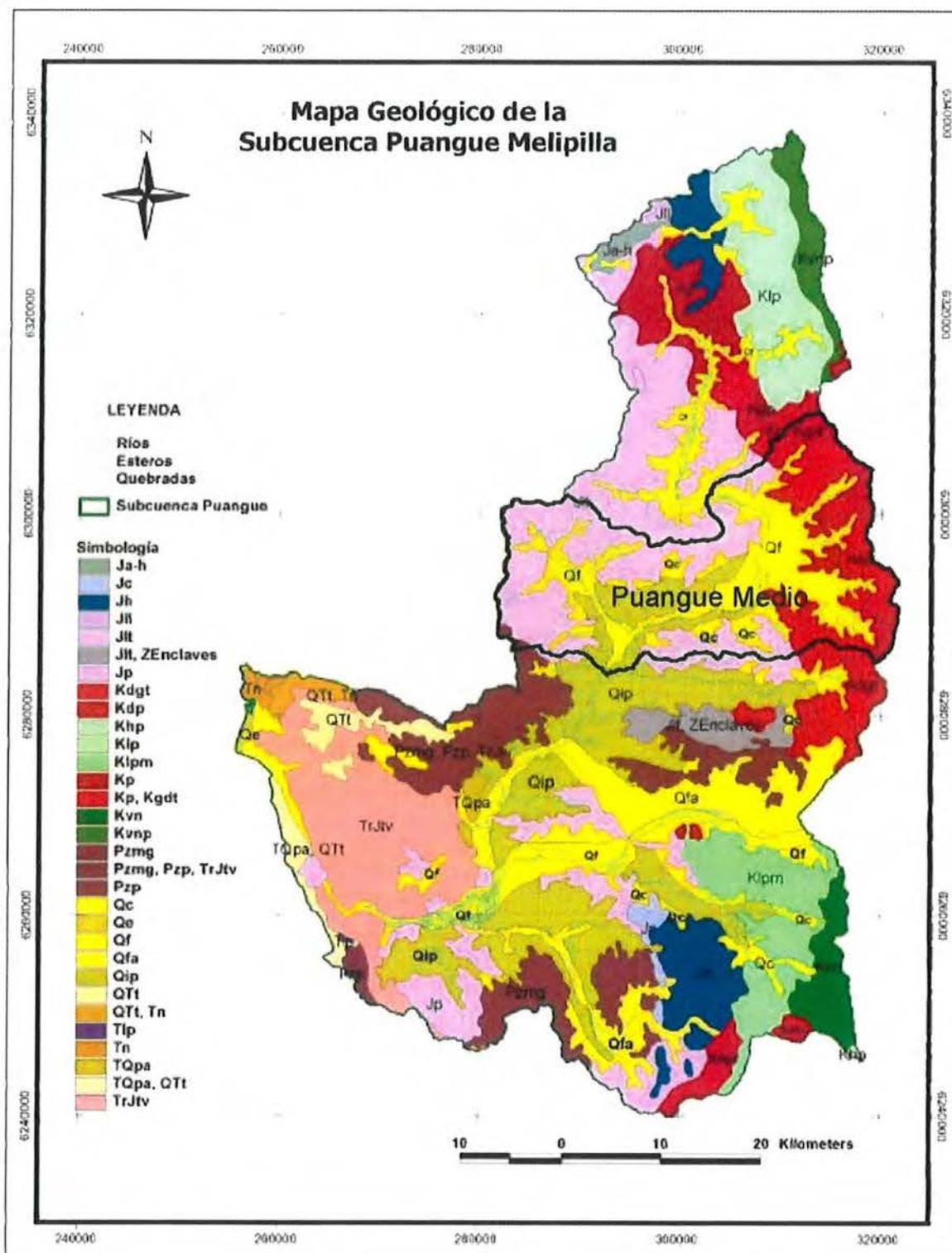


Figura 9-2 Mapa geológico cuenca sector Puangue-Melipilla, SERNAGEOMIN 2000

GEOLOGÍA DE SUBSUPERFICIE

Con la información litológica provista por los sondeos catastrados durante el desarrollo del estudio DGA/CONIC-2007 en la zona del valle de Puangue Medio. Se logró definir cinco estratos: Estrato superficial, Estrato sub-superficial, Estrato intermedio, Estrato inferior y Estrato Basal.

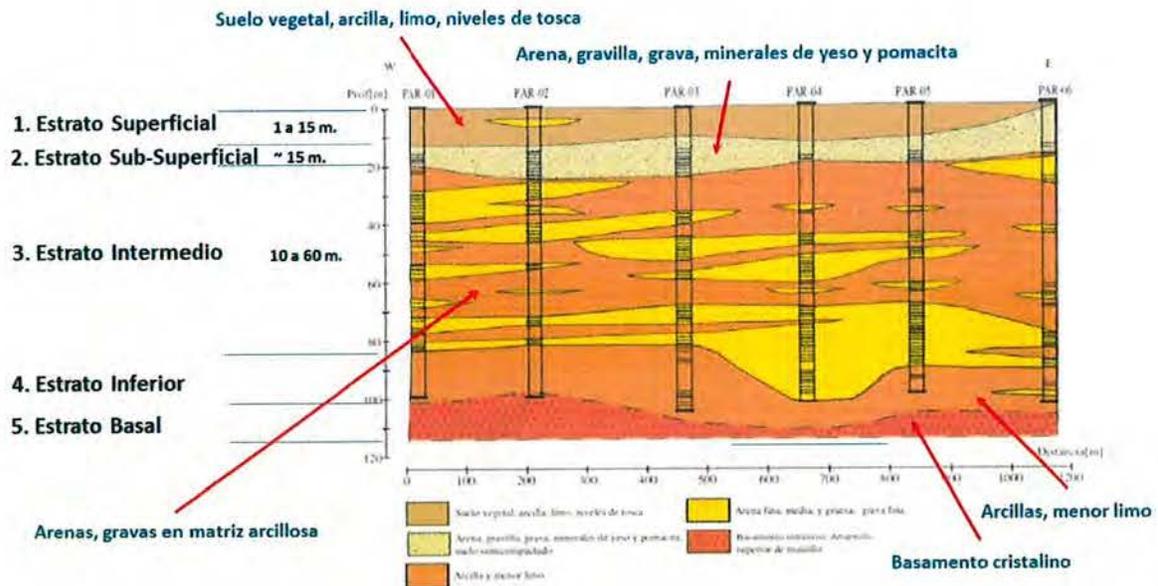


Figura 9-3 Unidades geológicas en Puangue Medio, Geohidrología 2009

La Figura 9-4, muestra la ubicación de tres perfiles geológicos construidos a partir de información litológica de pozos de la zona central del acuífero. Los perfiles geológicos se muestran en las figuras Figura 9-5, Figura 9-6 y Figura 9-7.

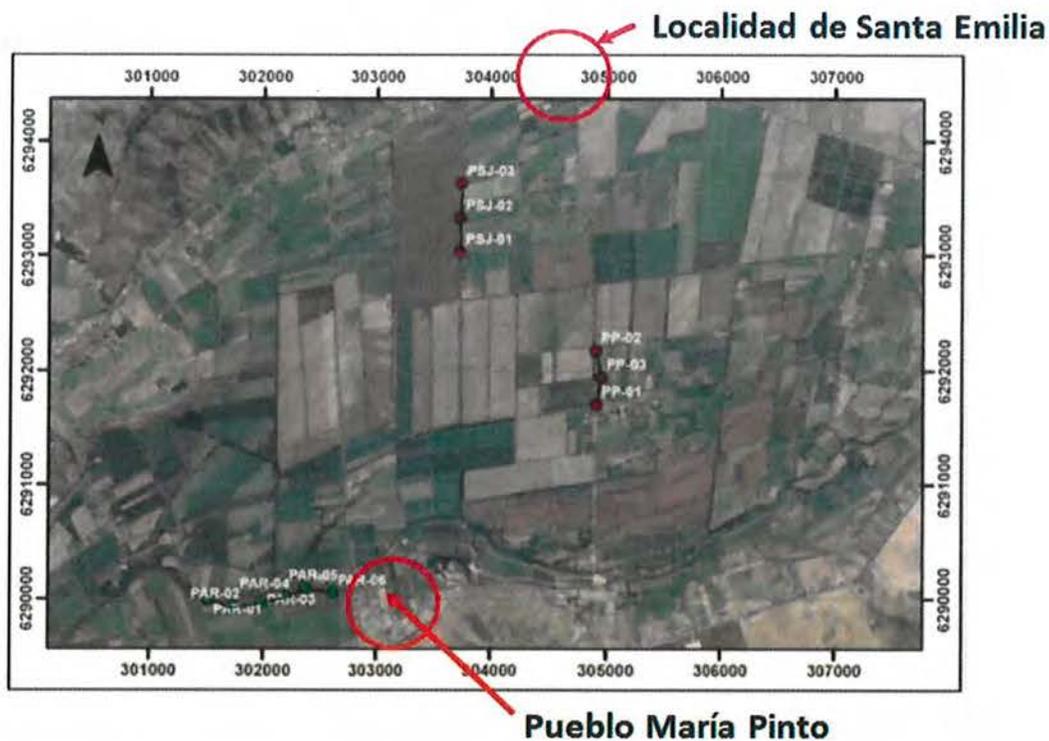


Figura 9-4 Ubicación de perfiles geológicos del valle de Puangue Medio, parte central

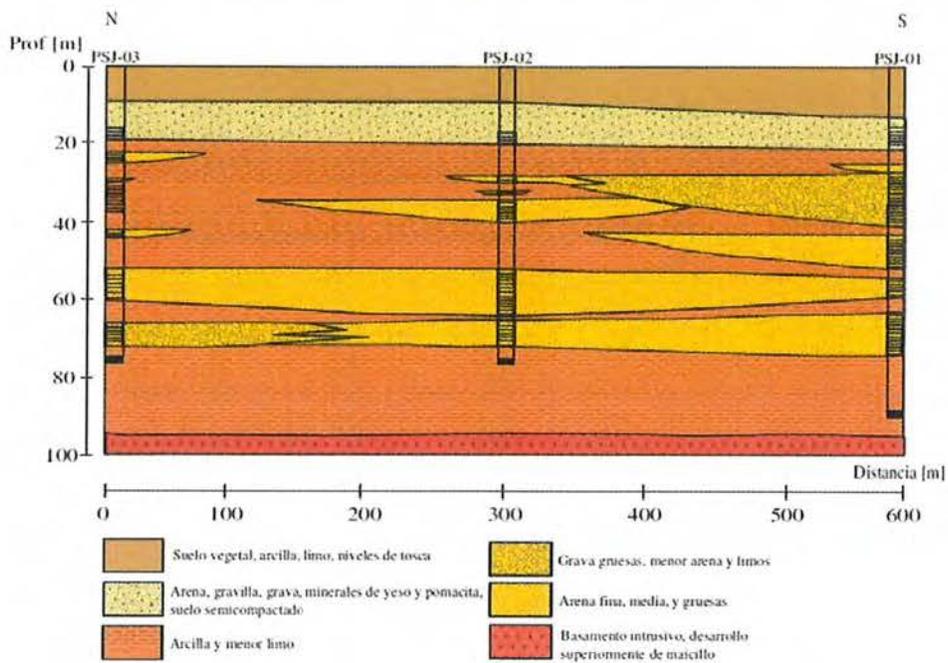


Figura 9-5 Perfil geológico N-S pozos Hijuela San Juan

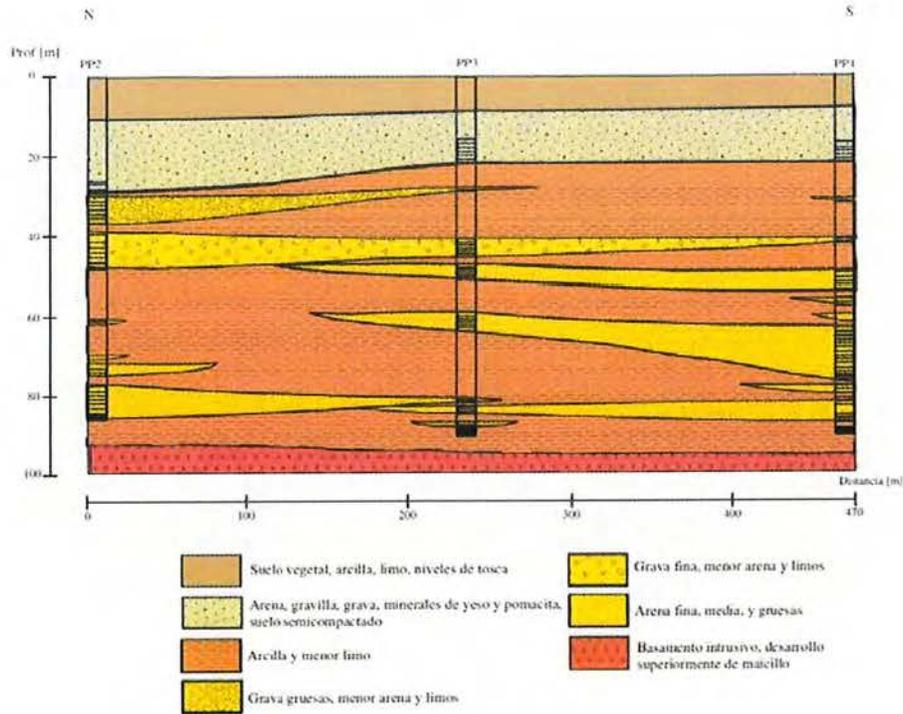


Figura 9-6 Perfil geológico N-S pozos Parcela 19

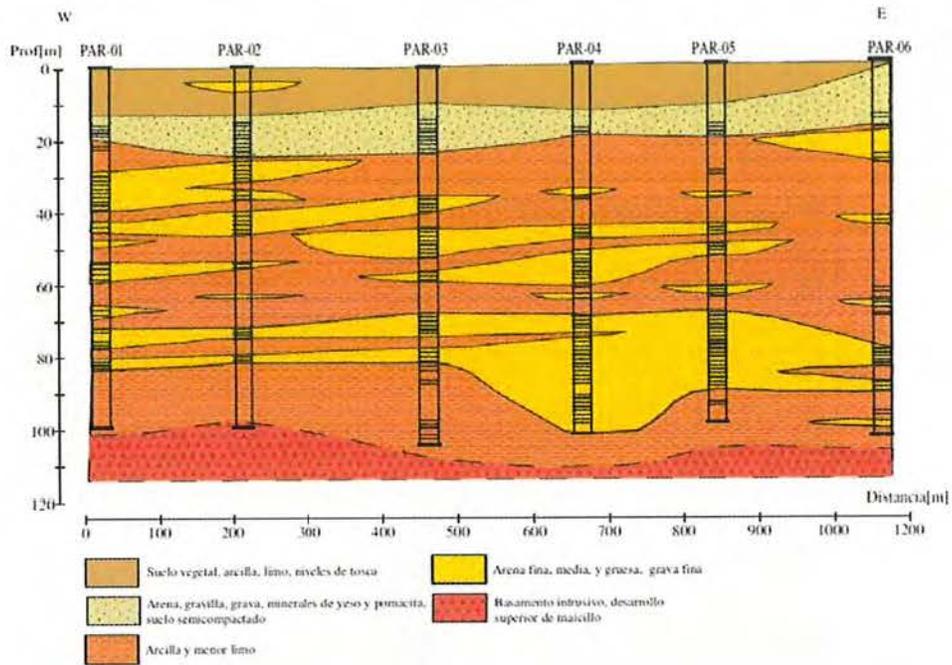


Figura 9-7 Perfil geológico O-E pozos de Agrícola El Refrán

PROSPECCIÓN GEOFÍSICA, TRANSIENTE ELECTROMAGNÉTICO (TEM)

Se realizaron seis perfiles geofísicos (Figura 9-8), con la finalidad de definir la geometría del acuífero y la extensión de los principales estratos que conforman el acuífero.

Para esto se materializaron 44 estaciones de prospección geofísica a través del método TEM.

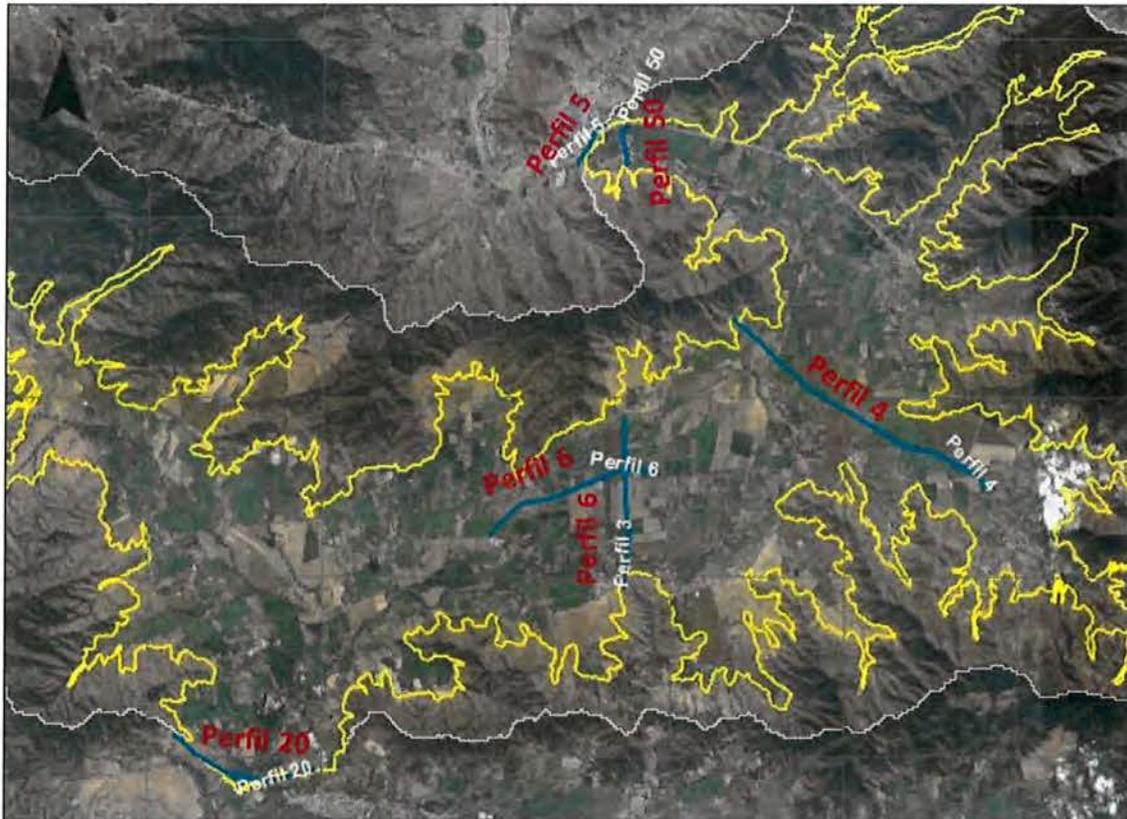


Figura 9-8 Ubicación de Perfiles Geofísicos materializados en el acuífero de Puangue Medio

Se muestran y analizan los resultados del perfil 20, el que corresponde a la salida del acuífero de Puangue Medio. Para esto se utiliza el modelo suavizado (Figura 9-9) y el modelo de capas (Figura 9-10) del respectivo perfil.

El análisis concluye la existencia de tres capas.

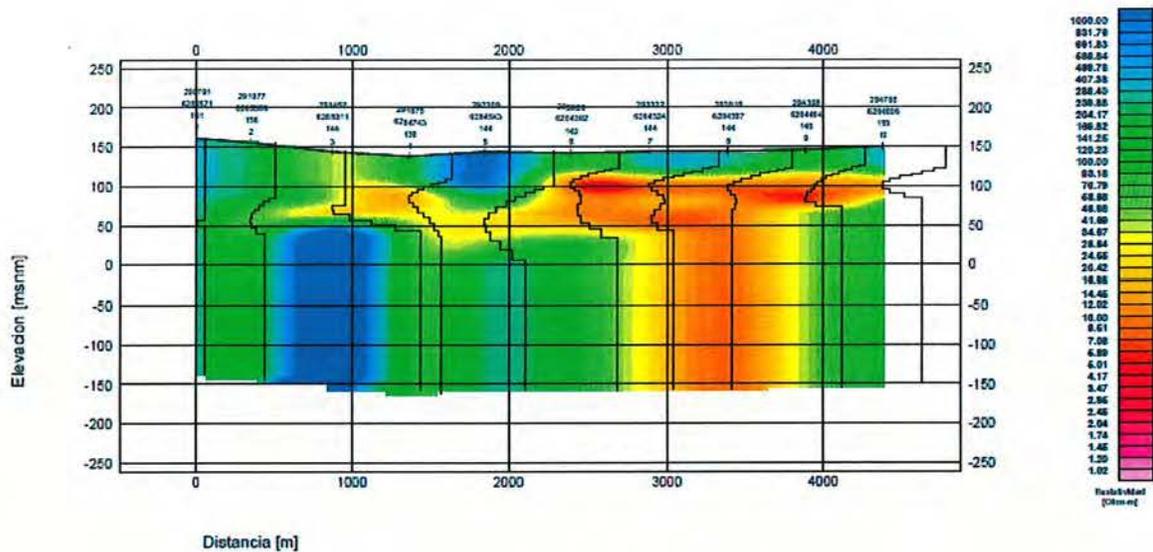


Figura 9-9 Modelo suavizado del perfil 20

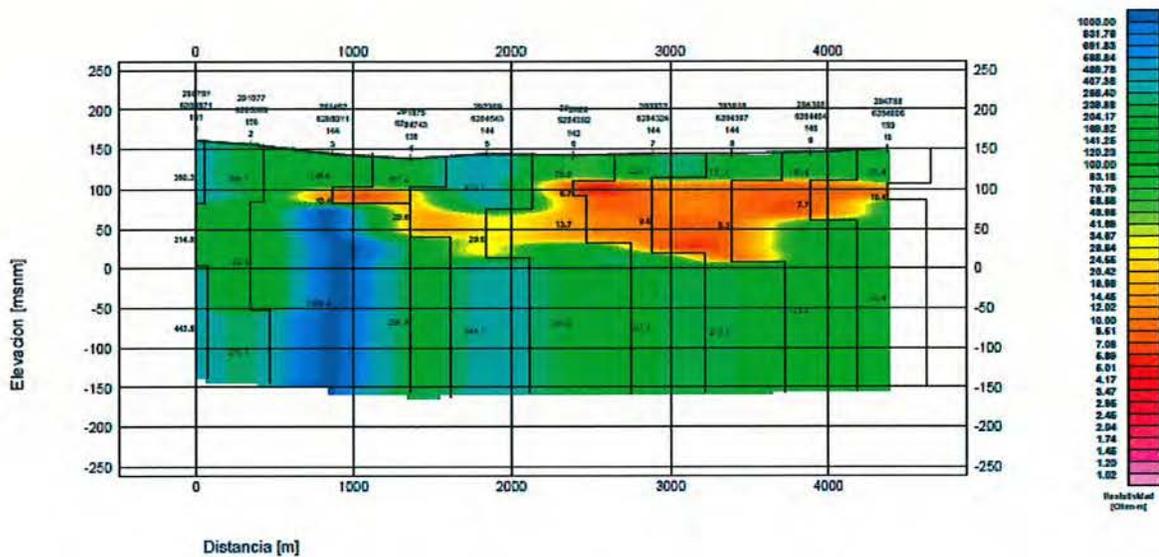


Figura 9-10 Modelo de capas del perfil 20

PERFILES GEOLÓGICOS

Con la información estratigráfica y los resultados de la prospección geofísica, se realizaron cinco perfiles geológicos, cuya ubicación es coincidente con la de los perfiles geofísicos (Figura 9-11). De esta forma se tienen cuatro perfiles transversales al valle y uno longitudinal. Los perfiles se construyeron considerando cinco unidades principales que agrupan las características de los depósitos y sedimentos de la cuenca.

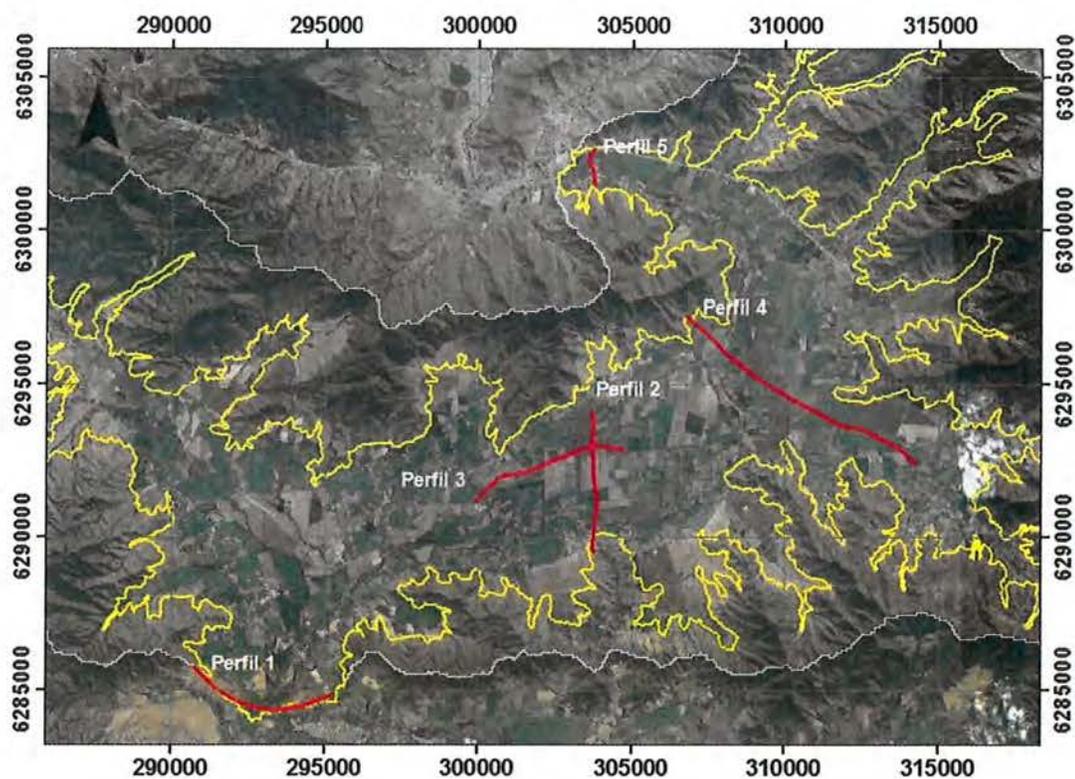


Figura 9-11 Ubicación de perfiles geológicos

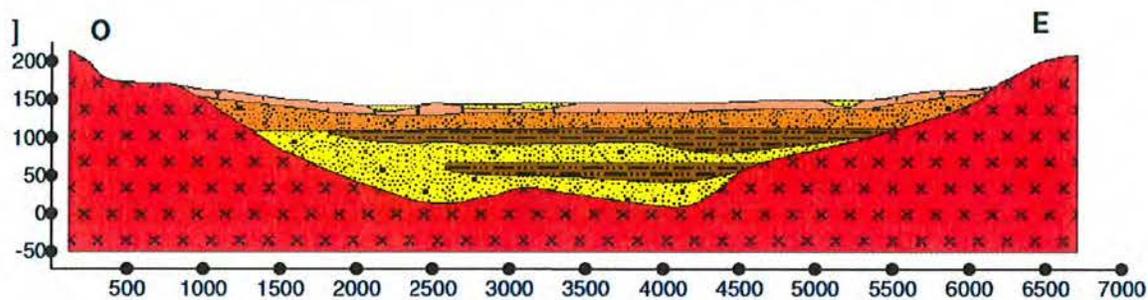


Figura 9-12 Perfil 1

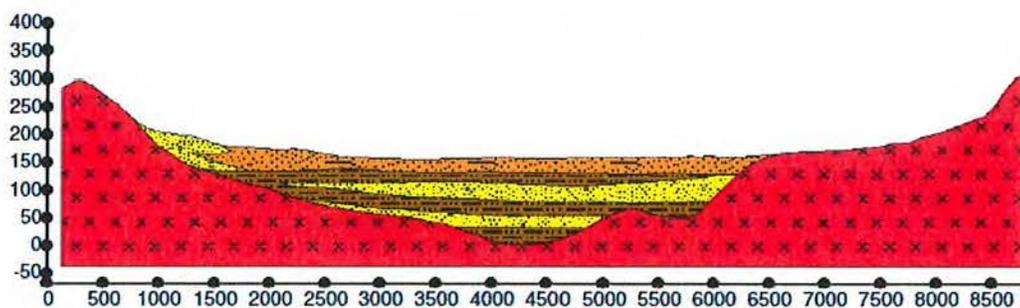


Figura 9-13 Perfil 2

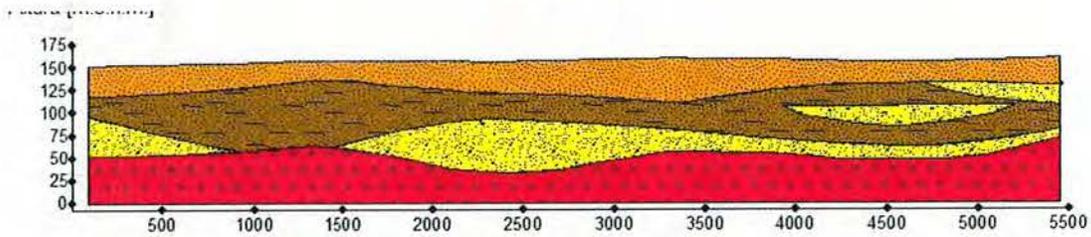


Figura 9-14 Perfil 3

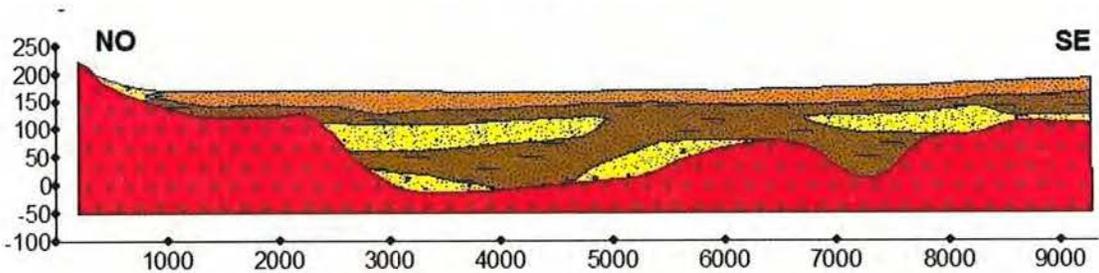


Figura 9-15 Perfil 4

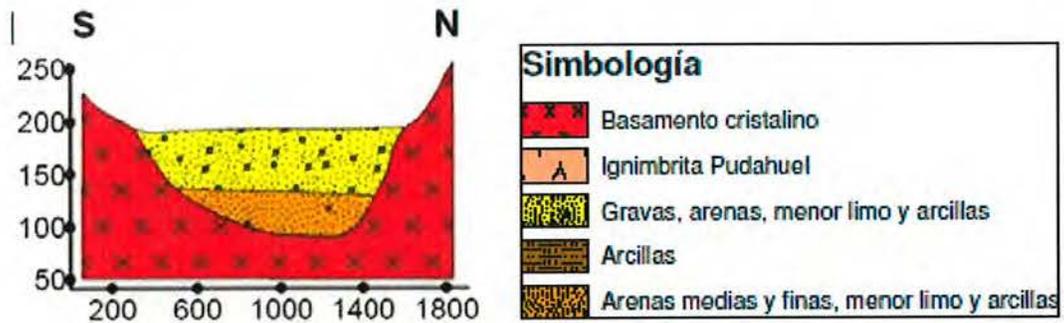


Figura 9-16 Perfil 5

9.1.2.2 HIDROGEOLOGÍA

LÍMITE DEL ACUÍFERO

Utilizando mapas geológicos existentes e imágenes satelitales, se definió como límite del acuífero a la divisoria entre relleno sedimentario y basamento (Figura 9-17)

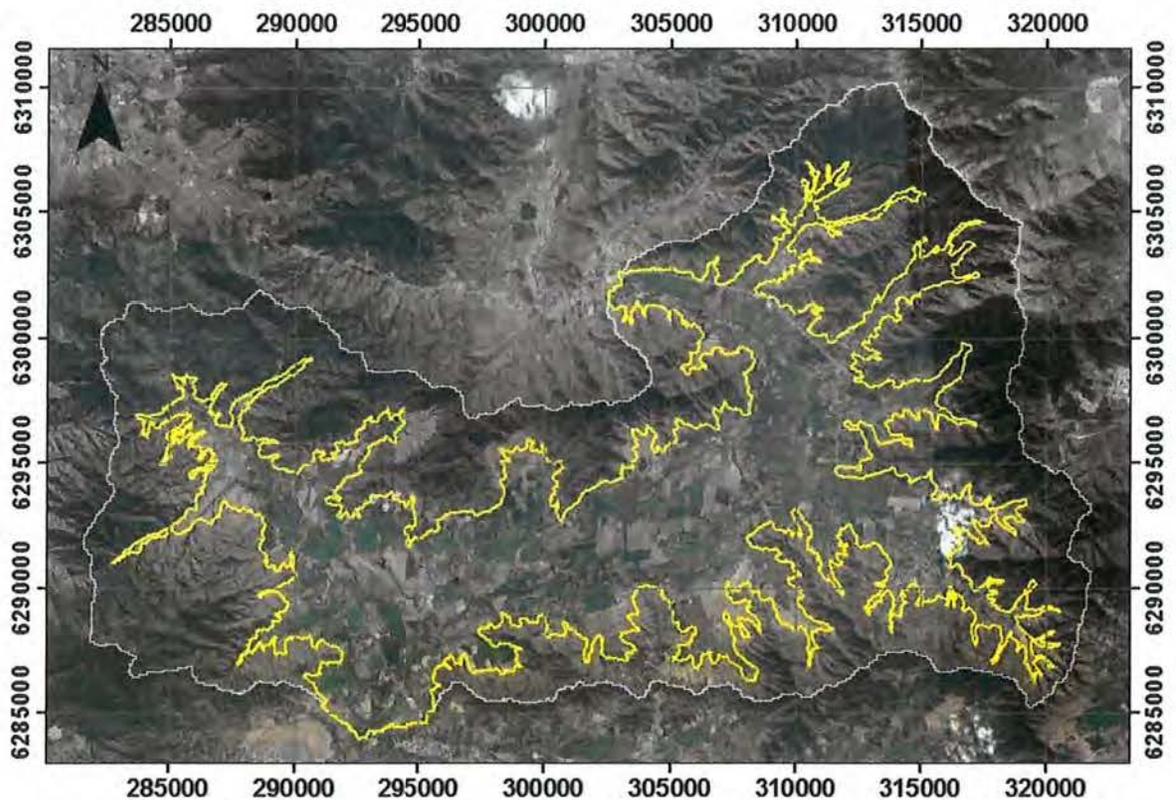


Figura 9-17 Límite del acuífero de Puangue Medio

UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

En base a la información geofísica, litológica de pozos y a la aportada por los perfiles geológicos, se definieron tres unidades hidrogeológicas.

- Unidad 1: corresponde al nivel superficial de arcillas, cenizas, y áreas finas, que en parte corresponde a la Ignimbrita Pudahuel, y a un nivel basal de arenas y gravas gruesas. De buena continuidad a lo largo de la cuenca, con espesores variables desde 20 a 50 metros. La estratigrafía y pruebas de bombeo acusan para esta unidad una permeabilidad de entre 0,1 y 1 m/d. La naturaleza del acuífero alojado en esta unidad es del tipo libre a semiconfinado, identificado por la estratigrafía de pozos y por los buenos ajustes de pruebas de bombeo a modelos de acuífero semiconfinado, en donde los mayores aportes de agua provienen de sedimentos de arenas y de gravas dispuestos en la base de esta unidad.
- Unidad 2: corresponde al conjunto de niveles gravo-arenosos intercalados dentro de una matriz arcillosa. Presenta espesores de entre 80 a 100 metros y tiene buena

continuidad lateral a lo largo de toda la cuenca. En sectores predominan los materiales arcillosos y en otros los depósitos de gravas y arenas. La naturaleza del acuífero alojado en esta unidad es de tipo confinado a semiconfinado, identificado por la estratigrafía de pozos y por los buenos ajustes de pruebas de bombeo a modelos de acuífero semiconfinado, y donde el mayor aporte de agua proviene de los lentes de arenas y gravas inmersos en la matriz arcillosa.

- Unidad 3: corresponde al basamento cristalino impermeable. Su profundidad es variable desde los 90 m.s.n.m. en la entrada de la cuenca, hasta los -13 m.s.n.m. en la salida de ésta. Está compuesta por todas las rocas intrusivas y volcánicas que afloran en superficie en el borde de la cuenca.

Las Figuras Figura 9-18, Figura 9-19 y Figura 9-20 muestran las distintas unidades hidrogeológicas en los Perfiles geológicos 1, 2 y 3

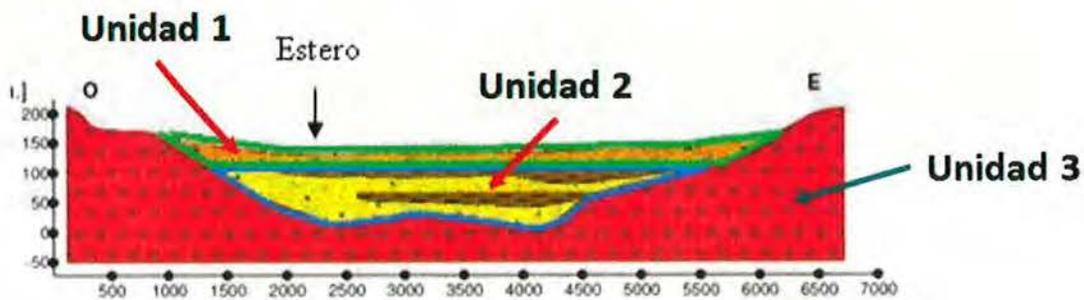


Figura 9-18 Unidades hidrogeológicas en Perfil 1

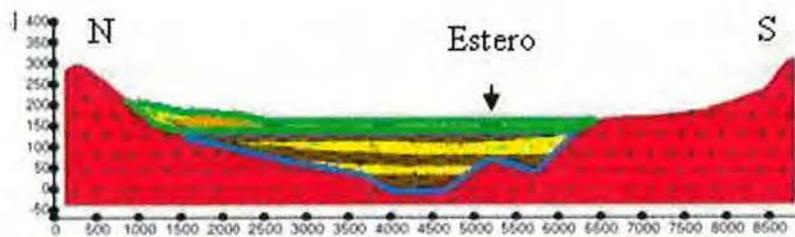


Figura 9-19 Unidades hidrogeológicas en Perfil 2

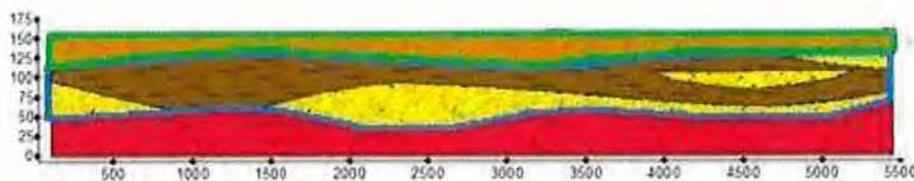


Figura 9-20 Unidades hidrogeológicas en Perfil 3

PERMEABILIDADES

A partir de la información estratigráfica de pozos y a pruebas de bombeo, se construyeron dos mapas de permeabilidades, uno para el acuífero superior (Figura 9-21) y otro para el acuífero inferior (Figura 9-22). Los valores de las permeabilidades están en [m/d] y se han descrito cuatro rangos de valores (Cuadro 9-1):

Rango	Permeabilidad [m/d]
Baja	0 - 1
Media Baja	1,1 - 5
Media Alta	5,1 - 10
Alta	10,1 - 33,8

Cuadro 9-1 Rango de permeabilidades en acuífero de Puangue Medio

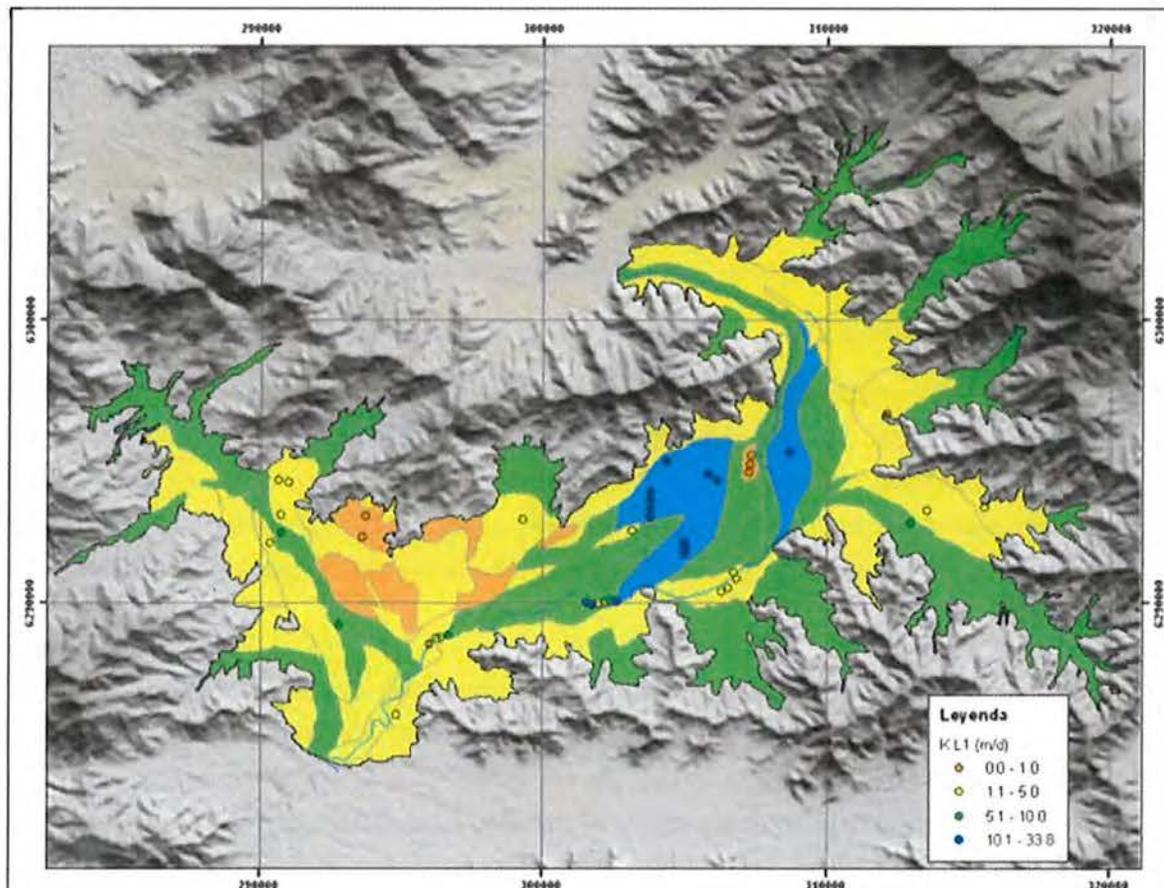


Figura 9-21 Mapa de distribución de permeabilidades [m/d] en el acuífero superior

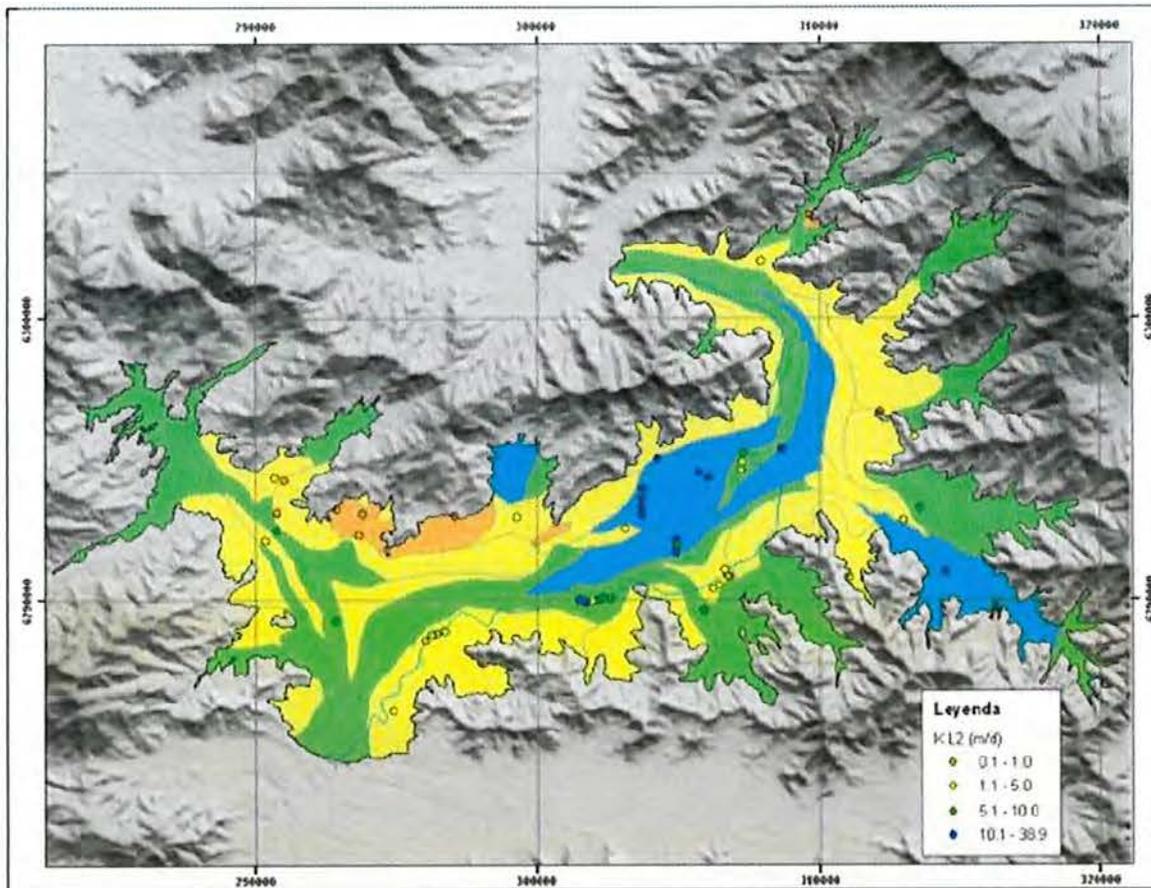


Figura 9-22 Mapa de distribución de permeabilidades [m/d] en el acuífero inferior

NIVELES PIEZOMÉTRICOS

Se construyó un mapa de líneas equipotenciales (Figura 9-23) con la información de niveles de pozos del catastro realizado para el estudio DGA/AC-2000. La información del catastro fue complementada con los datos del nivel piezométrico obtenida de expedientes de solicitud de derechos de aguas en la entrada y salida del acuífero de Puangue Medio, ya que en estos sectores no se tenía información de niveles en la época en que se desarrolló el catastro.

Es posible notar, que las líneas equipotenciales muestran una dirección principal de flujo que sigue al cauce del estero Puangue y que en la zona más baja del valle, desde María Pinto hacia abajo, se observa la influencia del estero Puangue en los niveles, lo que indica que en este sector existe conexión entre el acuífero superficial y el estero, mientras que en la zona alta del valle no se observa esta conexión.

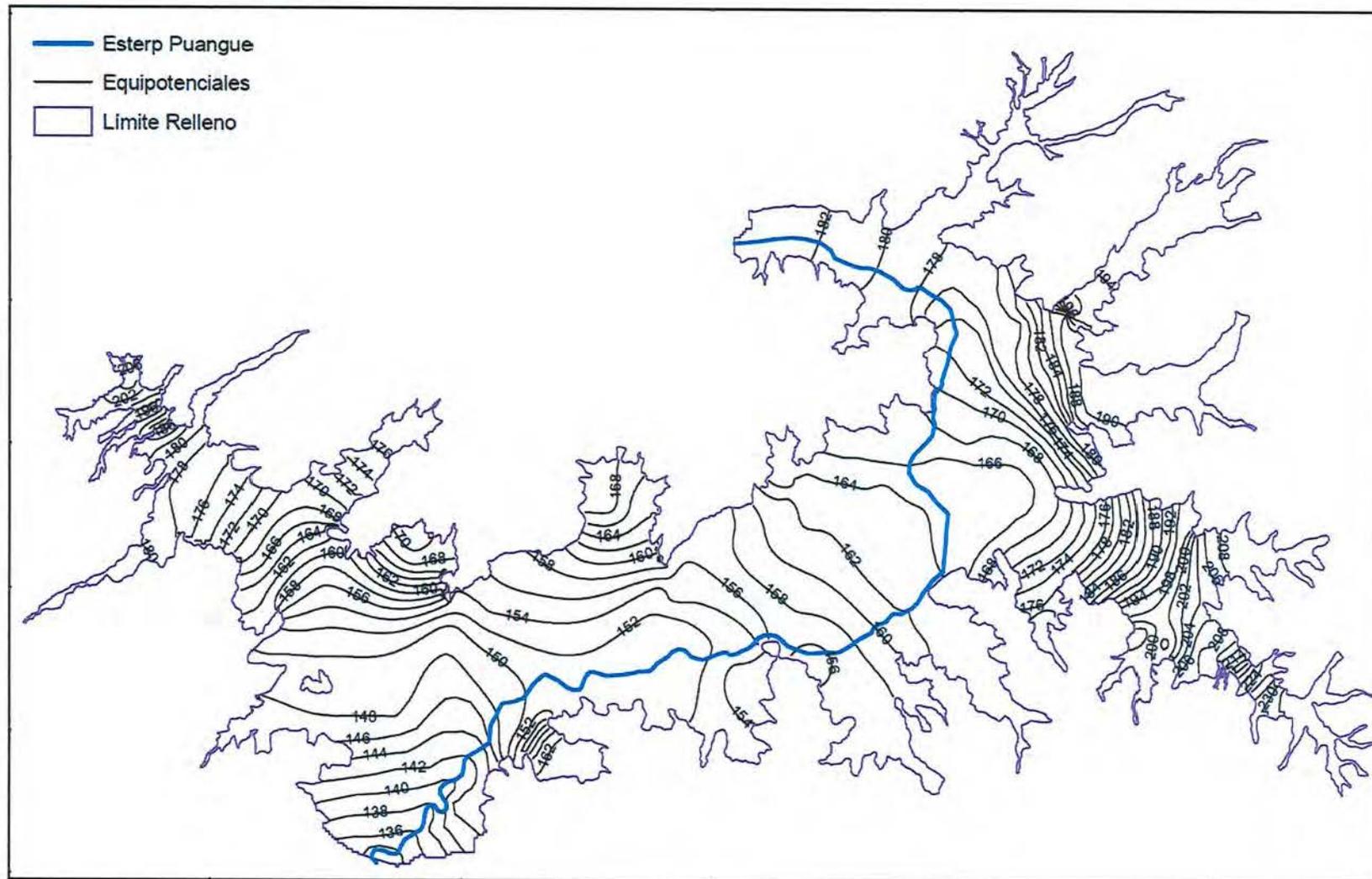


Figura 9-23 Mapa de equipotenciales del sector acuífero de Puangue Medio

El comportamiento de niveles piezométricos en el tiempo, se analizó mediante la información de cinco pozos de observación que monitorea la DGA en el acuífero de Puangue Medio (Figura 9-24).

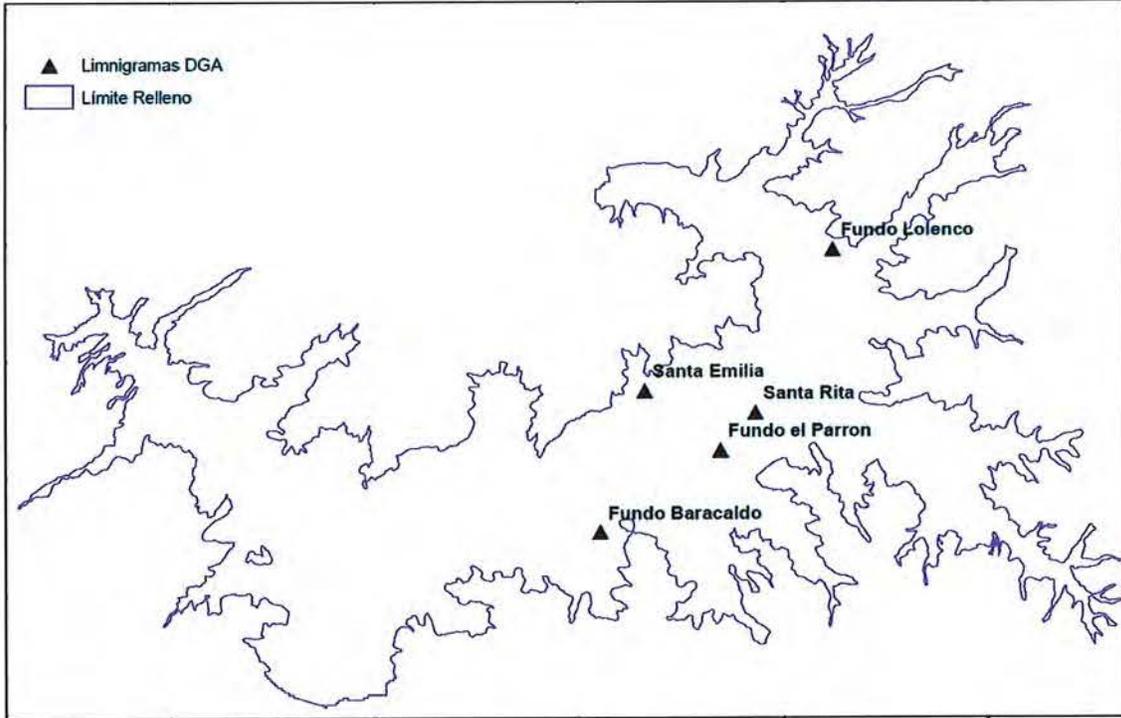


Figura 9-24 Ubicación de pozos de observación DGA en el acuífero de Puangue Medio

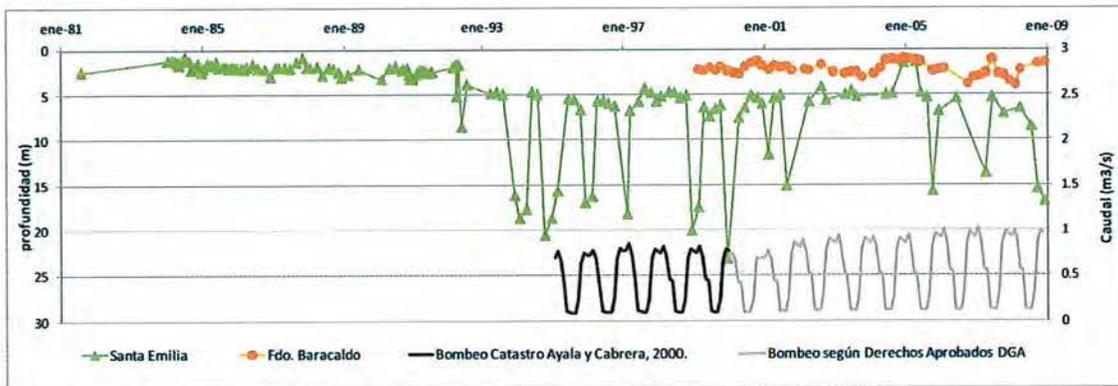


Figura 9-25 Comportamiento de niveles de la napa en pozos de observación DGA y caudal de bombeo en el acuífero de Puangue Medio

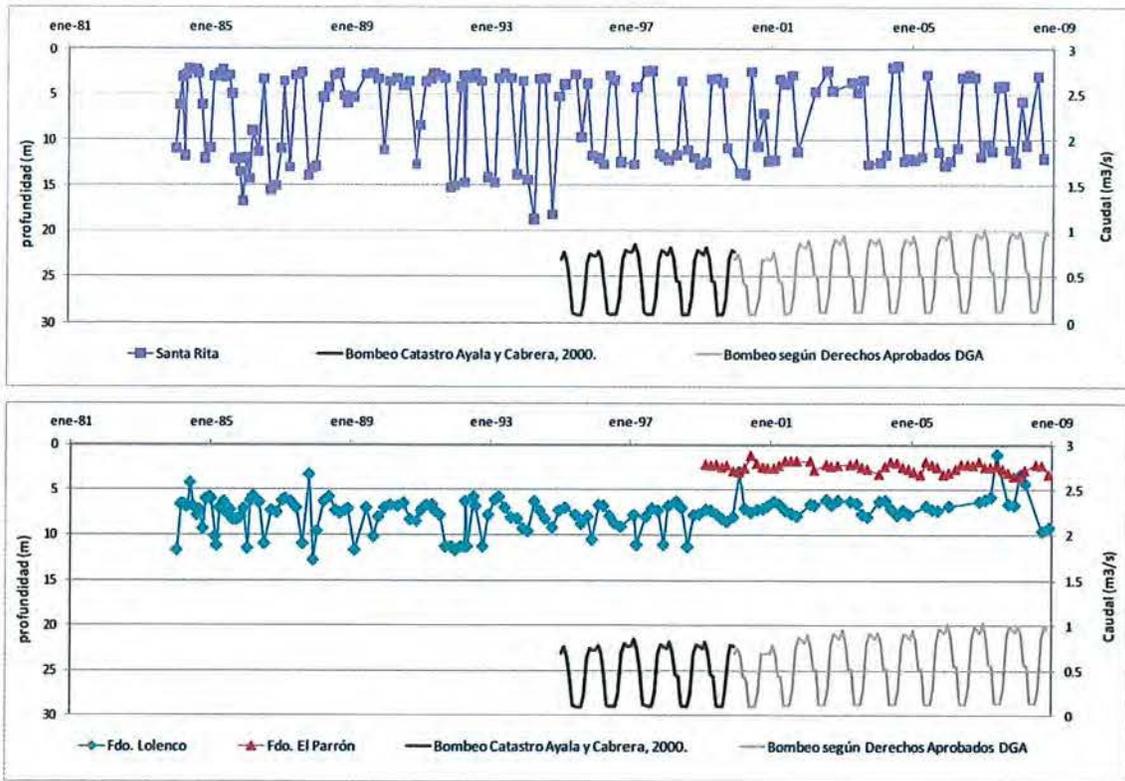


Figura 9-26 Comportamiento de niveles de la napa en pozos de observación DGA y caudal de bombeo en el acuífero de Puangue Medio

Las principales conclusiones de Geohidrología acerca de los niveles se refieren a que se presentan niveles estáticos y dinámicos, que obviados los niveles dinámicos, los niveles estáticos en los pozos de observación se mantienen en el tiempo, sin presentar descensos o aumentos que se asocien a embalses o desembalses en el acuífero. El único pozo que presenta un leve descenso es el pozo Santa Emilia, que después de descender 2 metros a partir del año 1992, su nuevo nivel se mantiene estable en el tiempo.

Se concluye además que frente a un aumento del caudal bombeado desde el acuífero los niveles se mantienen estables, por lo que el acuífero mantiene su volumen embalsado durante todo el periodo registrado (1981-2008).

FLUJO SUBTERRÁNEO

La estimación de los flujos subterráneos de recarga y descarga, desde el acuífero de Puangue Alto y hacia el acuífero de Puangue Bajo respectivamente, fueron determinados a través de la Ley de Darcy en tres perfiles geológicos definidos anteriormente (Figura 9-27), Perfil 5 (entrada al acuífero), Perfil 2 (parte central del acuífero) y perfil 1 (salida del

acuífero). Además se consideró el cálculo de gradientes aparentes entre pozos mediante registros históricos del año 1998, las permeabilidades promedio ponderadas obtenidas del análisis de pruebas de bombeo y el mapa de permeabilidades de las unidades hidrogeológicas.

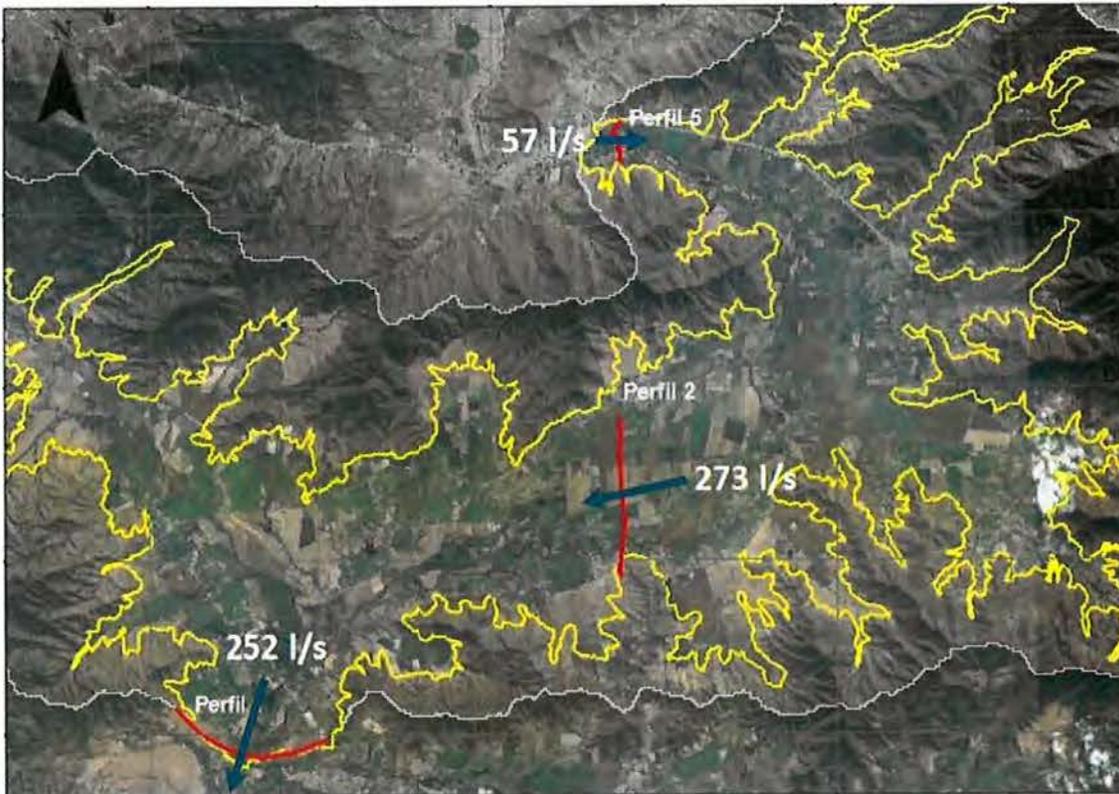


Figura 9-27 Perfiles geológicos utilizados para la determinación de flujos subterráneos de entrada y salida en el acuífero de Puangue Medio

El caudal subterráneo de entrada resultó pequeño e igual a 57 l/s, mientras que la descarga subterránea es sustantivamente mayor e igual a 252 l/s. Este comportamiento se explica por dos motivos: a) La sección de paso de salida es mucho mayor que la sección de entrada, b) Existe una recarga importante en el acuífero del Puangue Medio proveniente de las aguas conducidas por el Canal Las Mercedes que posteriormente es utilizada para labores de riego, a lo que se suma la recarga natural por precipitaciones.

GEOMETRÍA DEL ACUÍFERO

Las superficies de las dos unidades hidrogeológicas definidas para el acuífero de Puangue Medio, fueron digitalizadas en formato rasters con celdas de 25 por 25 metros. La definición de los límites de ambas unidades se basó en datos de los perfiles geológicos

principales, estratigrafía de pozos e interpolación de su información y del análisis de la tendencia natural del basamento a aflorar en la superficie.

Se utilizaron 35 perfiles geológicos (Figura 9-28) en los que no se menciona cual fue el criterio para definir la profundidad en cada uno de ellos.

En el contacto roca-relleno se definió una profundidad arbitraria de 5 metros bajo la topografía de la superficie superior y una profundidad de 7 para la superficie inferior. Luego se procedió a interpolar para obtener la geometría final

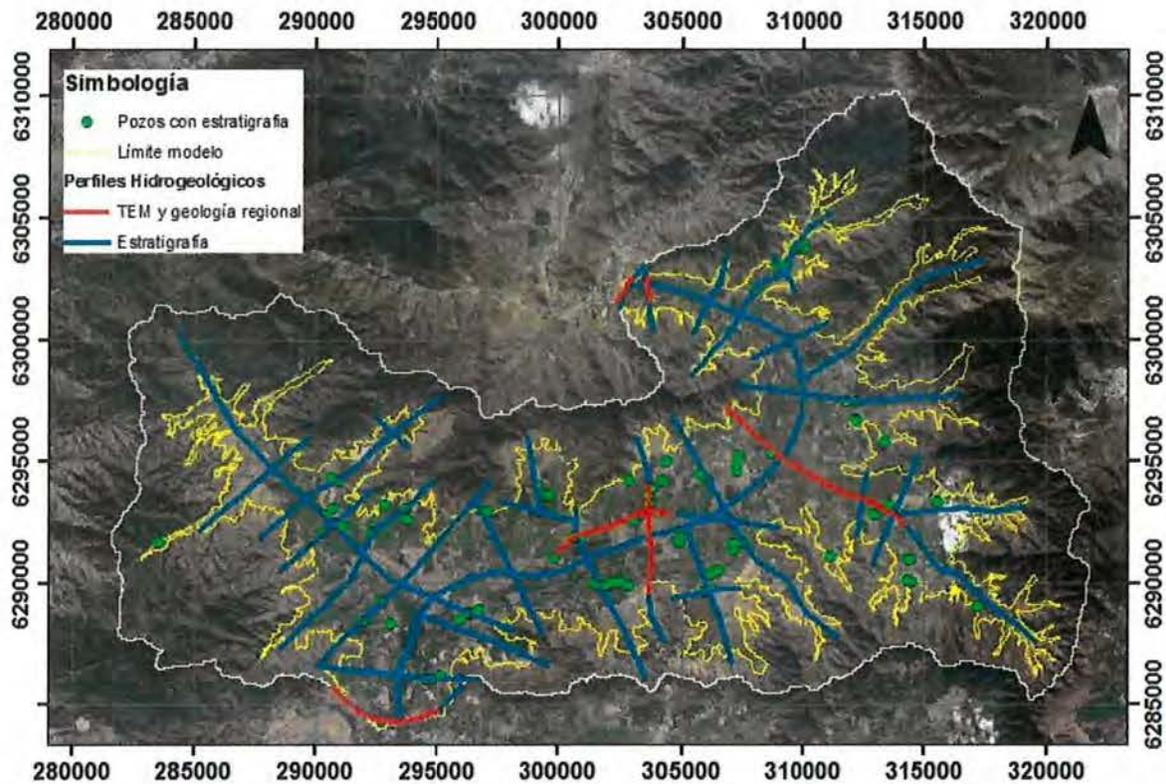


Figura 9-28 Ubicación de perfiles geológicos para la definición de la geometría de los acuíferos de Puangue Medio

INTERACCIÓN RÍO-ACUÍFERO

Para determinar los niveles del estero y del acuífero se realizó una campaña topográfica en agosto de 2009 levantando información para 19 puntos en la ribera del estero, además de 27 pozos. Del conjunto de 27 pozos se midió el nivel estático de 3 norias, para los 24 restantes se usó la información de niveles estáticos contenida en los expedientes generados en la solicitud de derechos de aprovechamiento. Se usó la información

estratigráfica de los pozos para generar siete perfiles geológicos e inferir que tipo de suelo existente por debajo del lecho del estero (Figura 9-29)



Figura 9-29 Ubicación de perfiles geológicos en estero Puangue

El perfil 5 está ubicado a la entrada del acuífero. Tiene un estrato superior compuesto por gravas y arenas (Figura 9-30)

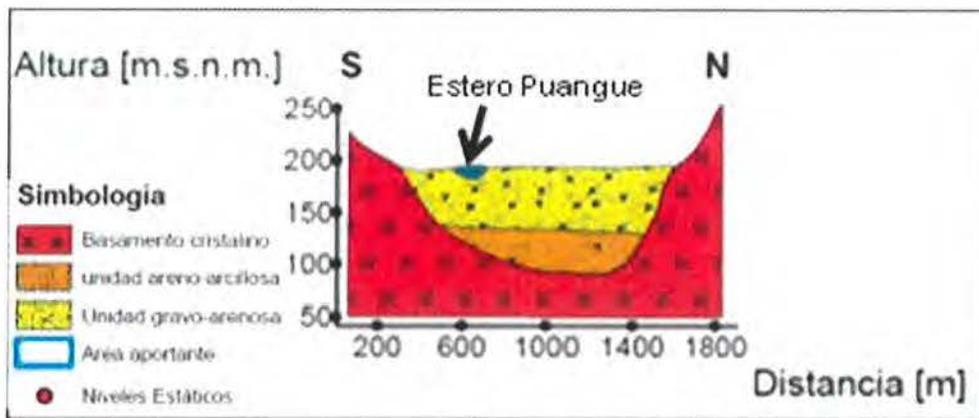


Figura 9-30 Perfil 5

En el Perfil Noria, la cota de la napa es un metro superior a la cota del espejo de agua del estero (Figura 9-31)

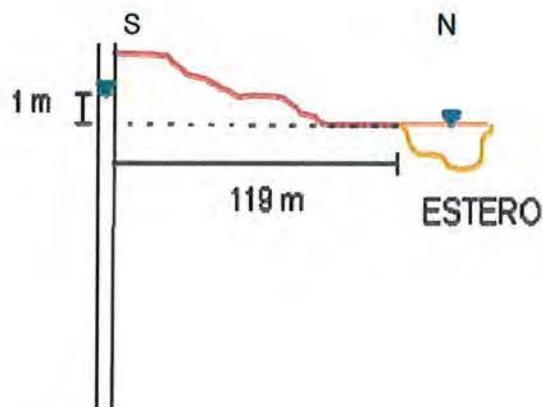


Figura 9-31 Perfil Noria

En perfil 1 los pozos que conforman el perfil están a ambos lados del estero. El lecho del estero yace sobre una capa de 25 metros de arcilla (Figura 9-32)

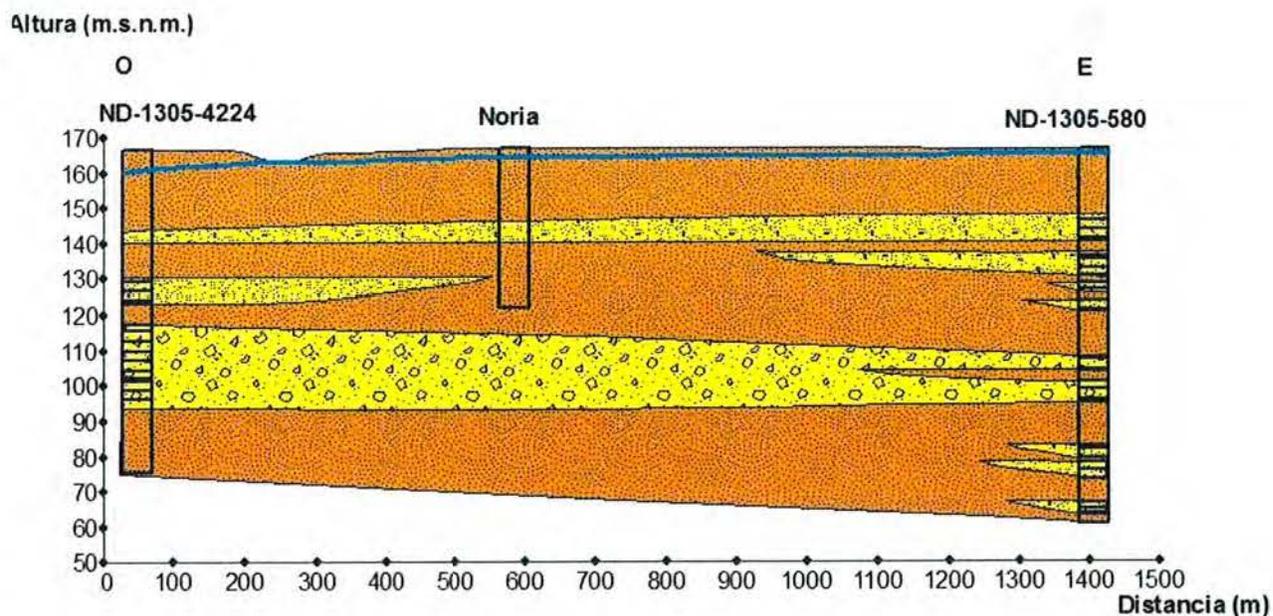


Figura 9-32 Perfil 1

En Perfil 2, el lecho del estero yace sobre una capa de unos 15 metros de espesor, la que contiene arcillas y arenas finas, entrelazada por un lente de pomacita y tosca (Figura 9-33)

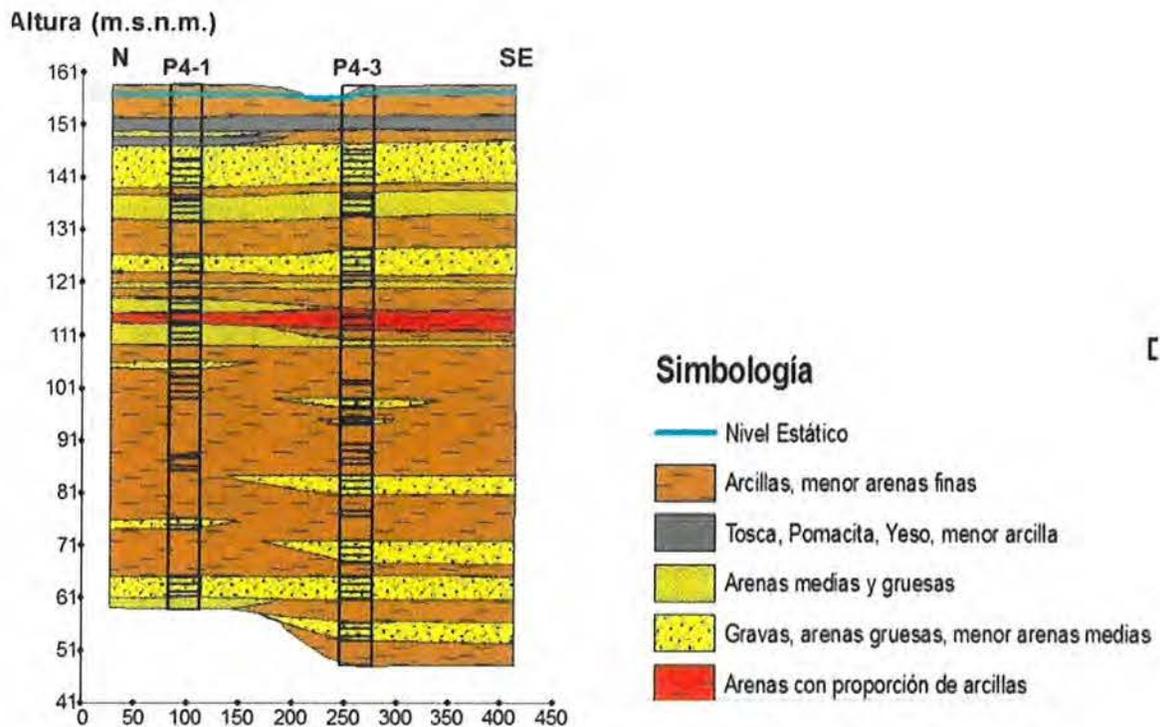


Figura 9-33 Perfil 2

El Perfil 3 está compuesto por 6 pozos de Agrícola El Refrán, es paralelo al cauce del estero. La estratigrafía muestra una capa de arcillas de unos 15 metros de potencia y que tiene continuidad longitudinal. Se asume que esta capa de arcillas se extiende por debajo del lecho del estero (Figura 9-34).

El perfil 4 muestra que el estero en esta zona cambia a un estrato más profundo distinto a lo perfiles anteriores. El estrato está compuesto por gravas y arenas gruesas con un espesor promedio de 12 metros.

Es posible concluir que el estero se encuentra a lo largo de todo el acuífero sobre la Unidad Hidrogeológica 1 o superficial. En ningún sector se observa relación con la Unidad hidrogeológica más profunda, que corresponde a la de mayor interés hidrogeológico y en donde se encuentran habilitados la mayor parte de los pozos productivos del acuífero de Puangue Medio. Lo anterior es relevante para determinar la respuesta del estero frente al bombeo.

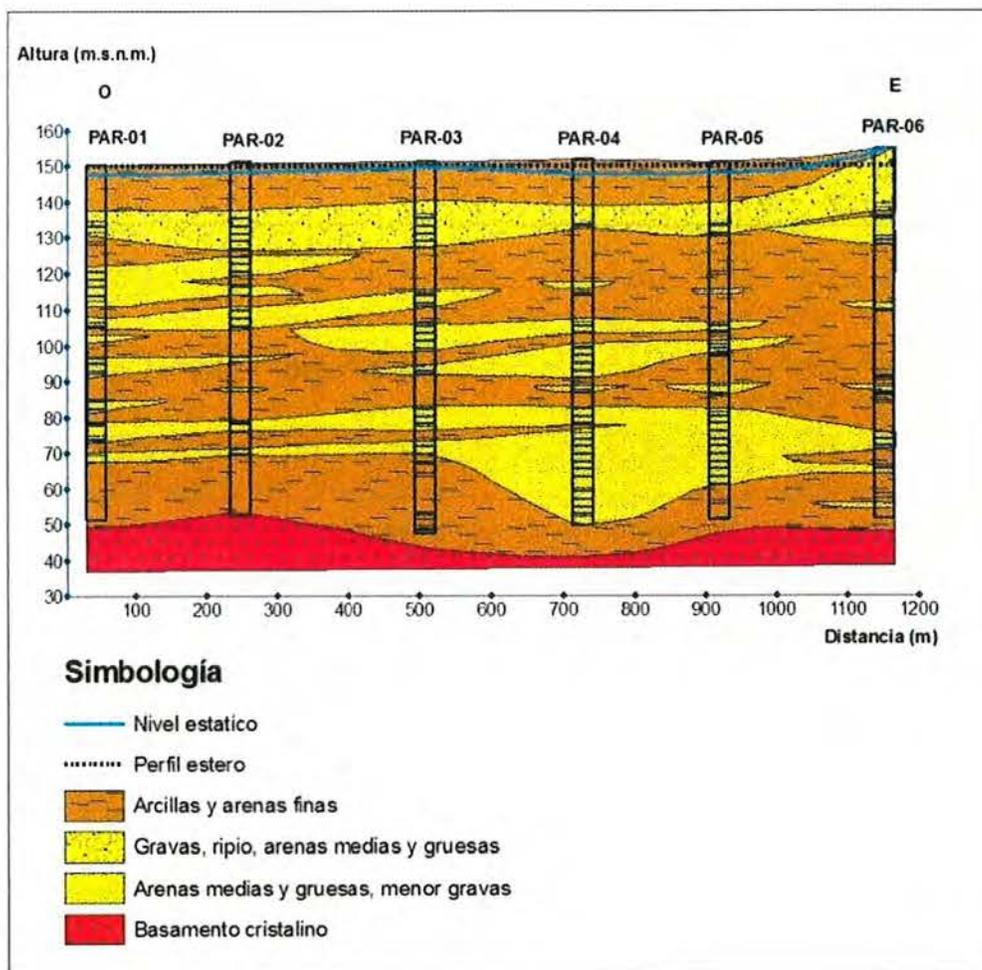


Figura 9-34 Perfil 3

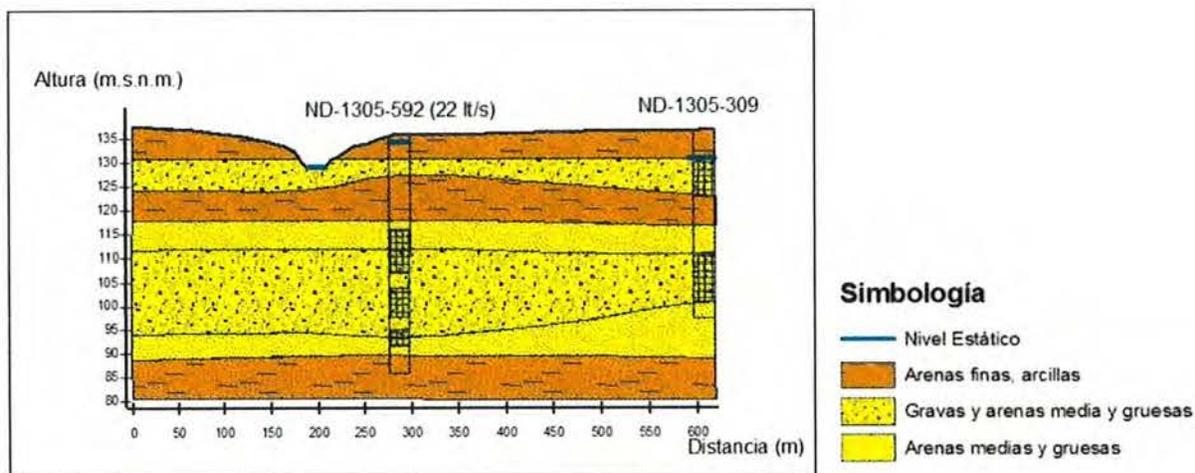


Figura 9-35 Perfil 4

Se definieron cuatro zonas de interacción entre el estero y la Unidad Hidrogeológica 1 (Figura 9-36), lo que permite definir los grados de conexión entre ellos. Se asigna una interacción mayor a las zonas donde el lecho yace sobre estratos con mayor conductividad hidráulica, tales como gravas y arenas gruesas, en tanto en las zonas de menor conductividad, se asigna una interacción menor (arcillas y arenas finas).

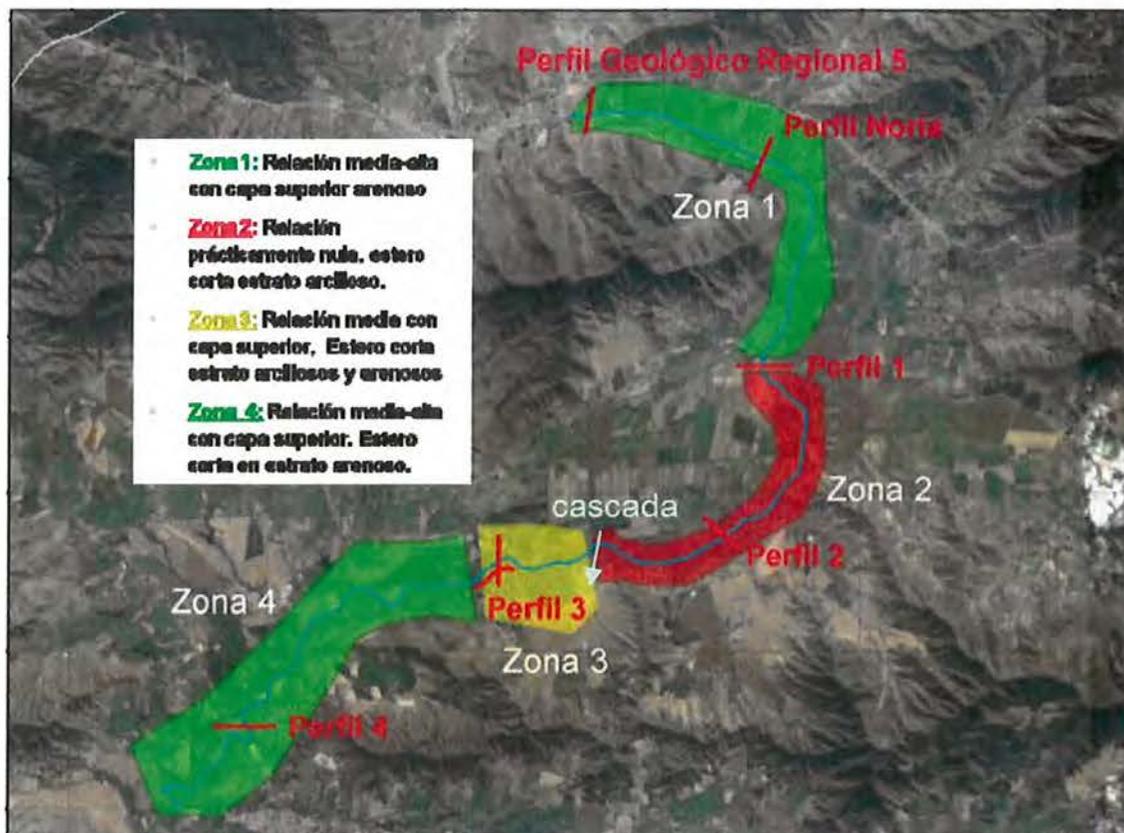


Figura 9-36 Zonas de interacción río-acuífero en el Estero Puangue

- Zona 1: Interacción media-alta, lecho del estero se encuentra sobre permeabilidades altas.
- Zona 2: Interacción nula, lecho del estero sobre estrato arcilloso entrelazado con pomacita, lo debiera aislar el estero con el acuífero. Esta zona continúa hasta la cascada.
- Zona 3: Interacción media, estratos bajo el lecho del estero, de permeabilidades bajas, pero de menor espesor.
- Zona 4: Interacción Media-Alta, lecho sobre estrato más permeable.

Se observa que a lo largo de todo el estero es el acuífero el que aporta flujo hacia el estero. Esto se debe a que en toda la extensión del cauce los niveles del acuífero son mayores que los del estero.

9.1.2.3 SISTEMA HÍDRICO SUPERFICIAL

AFOROS

Se realizaron dos corridas de aforos en 17 puntos ubicados en canales y esteros en la cuenca de Puangue Medio (Figura 9-37). La primera corrida de aforos se realizó en los días 2 y 3 de mayo de 2009 y la segunda corrida durante los días 21 y 22 de mayo de 2009 (Cuadro 9-2).

Punto	Denominación	Ubicación (UTM)		1ª Corrida			2ª Corrida		
		Norte	Este	Caudal (m ³ /s)	fecha	hora	Caudal (m ³ /s)	fecha	hora
P1	Estero Puangue en cruce Canal Las Mercedes	6,301,626	303,024	0.000	02/05/2009	8:35	0.000	21/05/2009	9:00
P2	Canal Las Mercedes en cruce Estero Puangue	6,301,626	303,024	4.230	02/05/2009	8:35	4.850	21/05/2009	9:00
P3	Canal Santa Rita	6,299,512	308,835	0.326	02/05/2009	10:00	0.269	21/05/2009	10:30
P4	Canal Santa Emilia	6,295,752	307,423	0.393	02/05/2009	10:40	0.377	21/05/2009	11:20
P5	Canal Lo Ovalle	6,293,740	307,747	0.047*	02/05/2009		0.553	21/05/2009	13:25
P6	Desague Carena	6,293,440	308,649	3.230	02/05/2009	11:25	3.730	21/05/2009	12:30
P7	Desague La Laguna	6,292,496	307,795	1.580	02/05/2009	13:40	1.300	21/05/2009	15:15
P8	Canal María Pinto	6,290,068	304,757	1.160	02/05/2009	?	0.451	21/05/2009	17:30
P9	Desague Santa Emilia	6,290,822	307,795	0.144	02/05/2009	15:05	0.015	21/05/2009	16:30
P10	Canal Rosario - Tellery	6,290,651	302,779	0.172	02/05/2009	17:20	0.115	22/05/2009	10:00
P11	Estero Puangue en Puente Enrique Madrid	6,290,249	302,852	3.240	02/05/2009	18:00	3.850	22/05/2009	11:00
P12	Estero Amestica	6,287,793	295,529	0.831	03/05/2009	12:05	1.290	22/05/2009	12:00
P13	Estero Puangue en Puente Chorombo	6,285,693	294,389	10.171	03/05/2009	10:15	5.228	22/05/2009	15:00
P14	Estero Mariposa (brazo1)	6,285,864	292,824	0.226	03/05/2009	13:25	0.406	22/05/2009	13:00
P15	Estero Mariposa (brazo2)	6,285,161	293,291	0.429	03/05/2009	13:55	0.293	22/05/2009	13:40
P16	Estero La Higuera en Bollenar	6,284,152	295,060	6.140	03/05/2009	8:30	7.470	22/05/2009	18:20
P17	Estero Puangue en Puente Santa Filomena	6,282,163	291,280	s/d			13.850	22/05/2009	16:40

* Valor estimado

S/d sin dato

Cuadro 9-2 Caudales aforados en primera y segunda corrida de aforos

El análisis de la segunda corrida de aforos indica que entre el Puente Madrid en María Pinto y el Puente Chorombo el estero gana 90 l/s producto de afloramientos, y entre el puente Chorombo y el Puente Santa Filomena el estero gana 250 l/s producto de afloramientos.

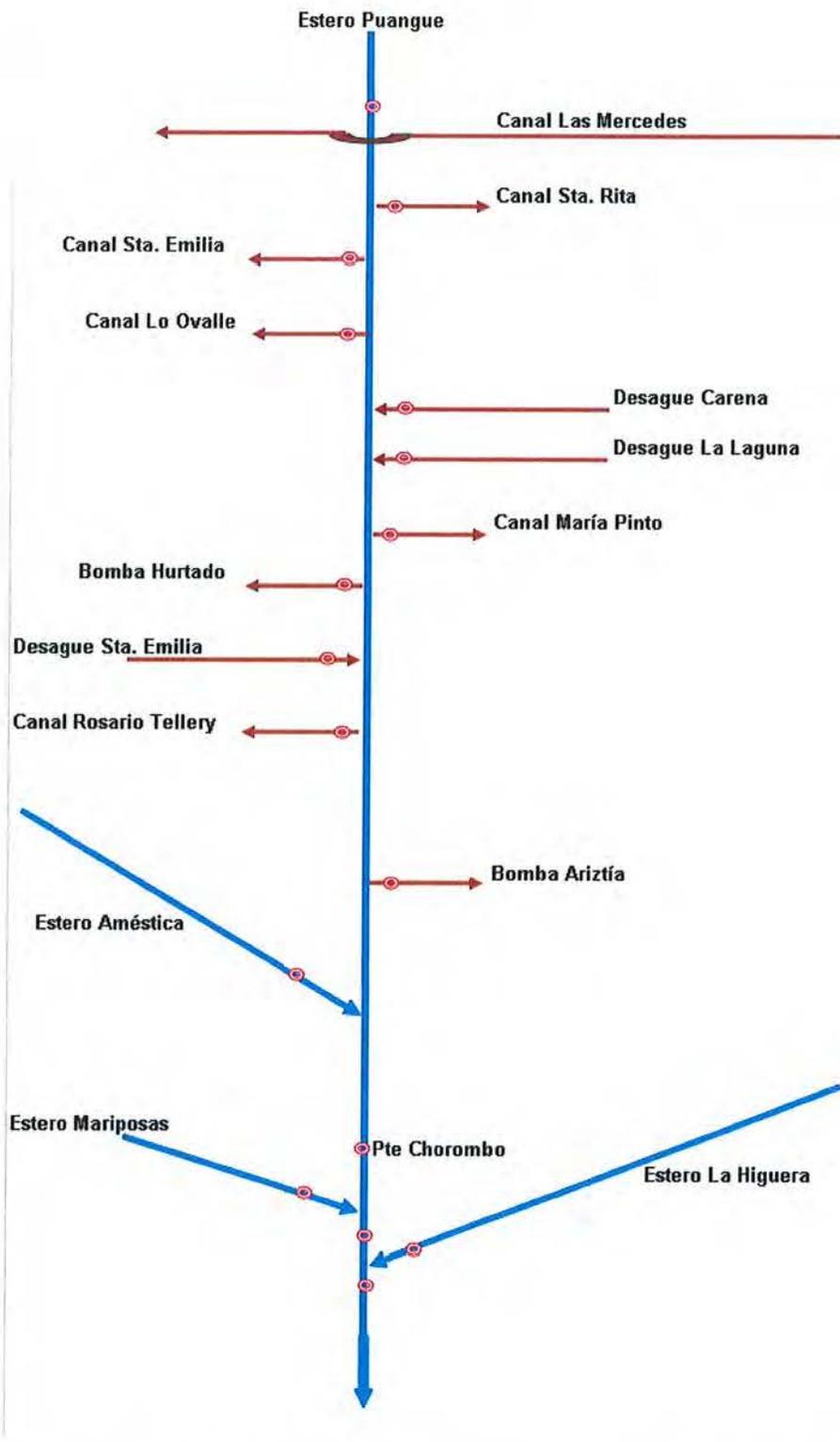


Figura 9-37 Esquema de ubicación de puntos de aforo en cuenca de Puangue Medio

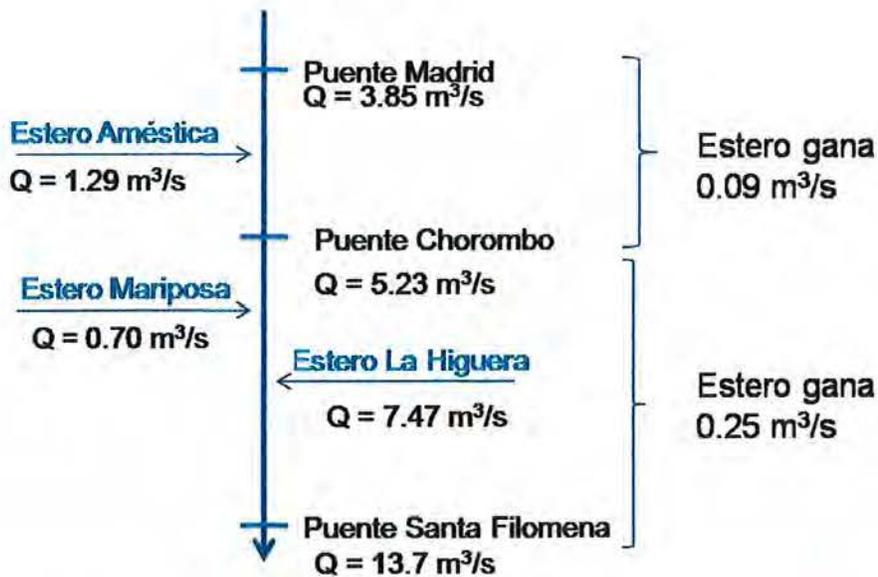


Figura 9-38 Balances en la parte baja de Puangue Medio (Aforos Geohidrología, 2009)

RECARGA SUPERFICIAL DEL ACUÍFERO

La recarga superficial al acuífero de Puangue Medio fue determinada como la suma de cuatro componentes: recarga debida a las zonas de riego; recarga por pérdidas en canales; recarga debida a la precipitación directa sobre el acuífero y recarga debido a la escorrentía generada en cuencas laterales por precipitación directa sobre ellas.

RECARGA DESDE LAS ZONAS DE RIEGO

La recarga generada por el riego sobre zonas cultivadas o plantadas, se determinó calculando la percolación profunda generada por estas zonas. La percolación profunda se obtuvo calculando la percolación y descontando el agua de reuso en cada una de las zonas de riego sobre el acuífero de Puangue Medio. El esquema utilizado se muestra en la Figura 9-39.

De acuerdo al esquema, el agua es utilizada inicialmente para regar las zonas de riego directo, de estas áreas emanan pérdidas de riego, compuestas por percolación y derrames superficiales. Una parte de la percolación vuelve al sistema superficial y es capturada por drenes, los que la disponen para su nueva utilización en riego. Otra parte de la percolación, percola profundamente convirtiéndose en recarga para el acuífero.

Por su parte, los derrames superficiales de riego son capturados por canales, lo cuales conducen las aguas para nuevas zonas de riego. El excedente de los derrames va a parar al estero para su nueva reutilización.

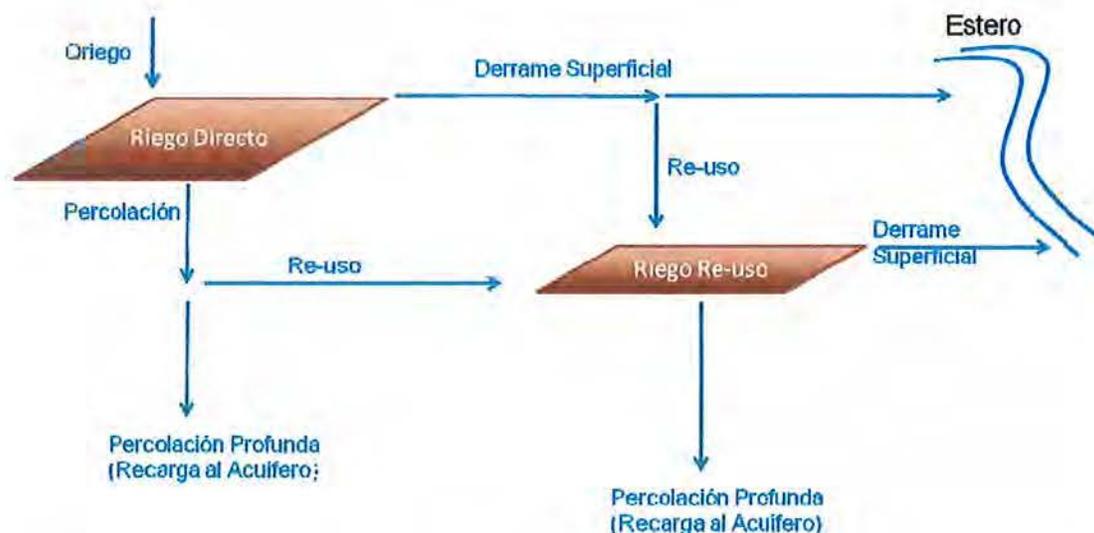


Figura 9-39 Esquema de flujos para la determinación de la recarga desde zonas de riego

REUSO DE PARTE DE LA PERCOLACIÓN Y PARTE DEL DERRAME SUPERFICIAL

Como hipótesis de trabajo, se consideró que el porcentaje de reuso de la percolación y de los derrames superficiales son iguales.

El porcentaje de reuso de las pérdidas se calculó como el porcentaje que representa la demanda de riego en las zonas de riego con reuso, respecto de las pérdidas de riego directo en las zonas de riego directo.

$$\text{Porcentaje de reuso de Pérdidas} = \frac{\text{Demanda de riego en zonas de riego con reuso}}{\text{Pérdidas de riego en zonas de riego directo}}$$

ÁREAS DE RIEGO DIRECTO Y DE REUSO

Las áreas que riegan los diferentes canales matrices, derivados y drenes, se obtuvieron del reporte DGA/IPLA-1989. De acuerdo a este reporte se estimó que alrededor de un 63% de las superficies regadas por canales del estero Puangue y Améstica corresponden a riego con aguas de reuso. Según este porcentaje se obtiene que un 75% de las pérdidas de

agua en riego directo se reusa. Lo anterior se debe a que el caudal del estero Puangue y estero Améstica provienen casi en su totalidad a recuperaciones del riego del canal Las Mercedes, por lo que se consideran aguas de reuso.

Las áreas con riego directo corresponden a las regadas directamente por: el canal Las Mercedes; canales derivados del canal Las Mercedes; 37% del riego de canales del Puangue y 37% del riego de canales del Améstica (Cuadro 9-3).

Las áreas de riego con reuso corresponden a las áreas regadas por: Canales de derrames del canal Las Mercedes; drenes del canal Las Mercedes; 63% del riego de canales del Puangue; y 63% del riego de canales del Améstica (Cuadro 9-4).

Canales	Ha regadas
Directo Las Mercedes	3807
Derivados Las Mercedes	3935
37% Puangue	1619
37% Améstica	219
Total	9580

Cuadro 9-3 Superficie estimada de Riego Directo

Canales	Ha regadas
Derrames Las Mercedes	307
Drenes Las Mercedes	331
63% Puangue	2756
63% Améstica	373
Total	3768

Cuadro 9-4 Superficie estimada de Riego con Reuso

DISTRIBUCIÓN DE CULTIVOS Y TIPOS DE RIEGO

La distribución de cultivos y tipos de riego se tomaron de los datos del Censo Agropecuario de 1997. La cuenca de Puangue Medio está representada por 7 distritos agrocensales (Figura 9-40). Cuatro distritos se encuentran completamente dentro del área de la cuenca y tres de ellos solo tienen un porcentaje de su superficie dentro de la cuenca (Cuadro 9-5).

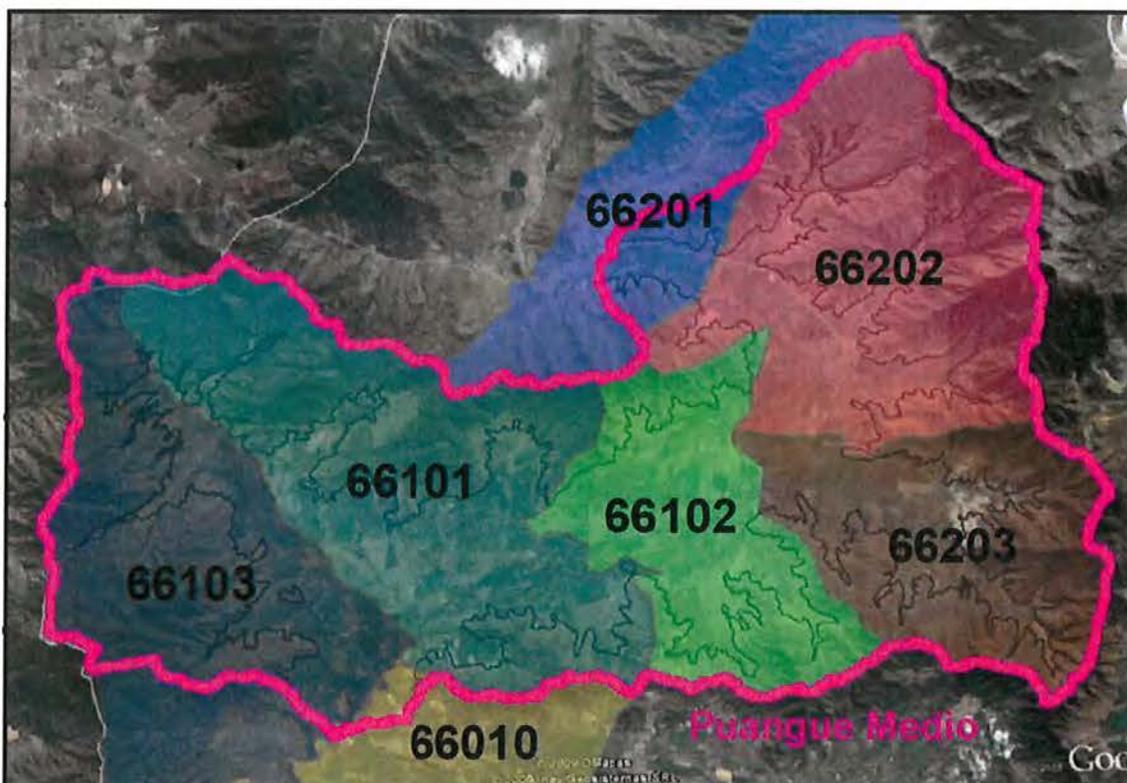


Figura 9-40 Distritos Agrocensales en cuenca de Puangue Medio

Código Distrito	% en el Puangue Medio
66201	19
66202	100
66203	100
66102	100
66101	100
66103	77
66010	4

Cuadro 9-5 Porcentaje de superficie de distritos agrocensales en cuenca de Puangue Medio

La mayor superficie de cultivos corresponde a cultivos anuales, luego hortalizas y frutales, en todos los distritos. El porcentaje de frutales es mayor a la entrada y salida de la cuenca. Mientras la mayor superficie con plantación de hortalizas se ubica al centro de la cuenca. La superficie de cultivos anuales se mantiene entre 40% a 50%, excepto en el distrito de entrada (Figura 9-41).

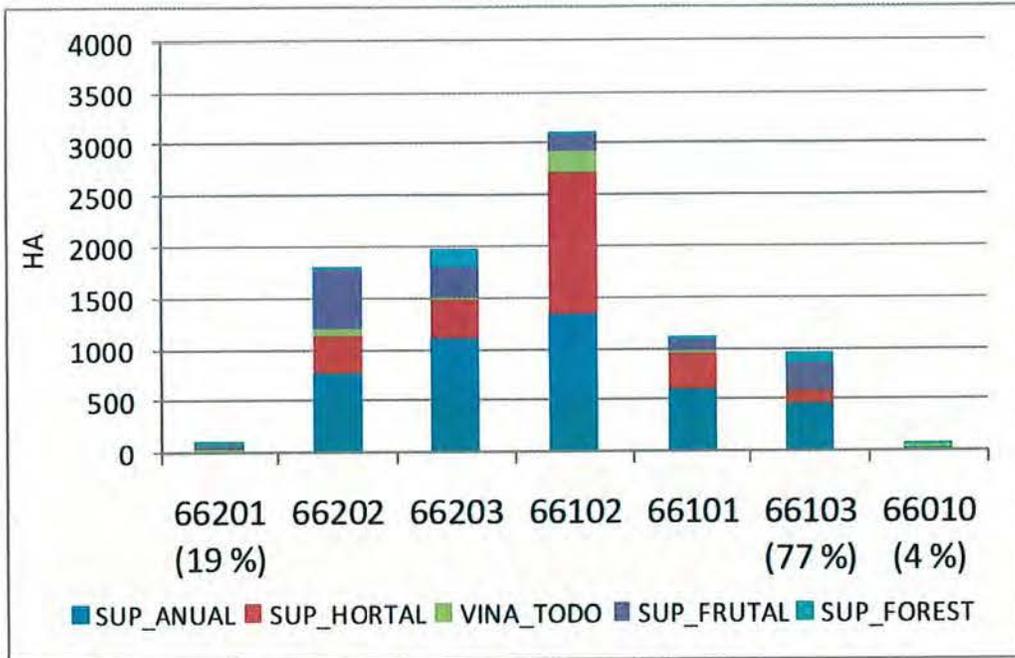


Figura 9-41 Superficie cultivada según tipo de cultivos

En general en todos los distritos el riego tradicional es el más utilizado (sobre 70%). En el distrito 66102 el microriego es mayor que en todos los distritos, se utiliza en 442 hectáreas (cerca del 10%), sin embargo, sigue siendo muy bajo en comparación al riego tradicional (Figura 9-42).

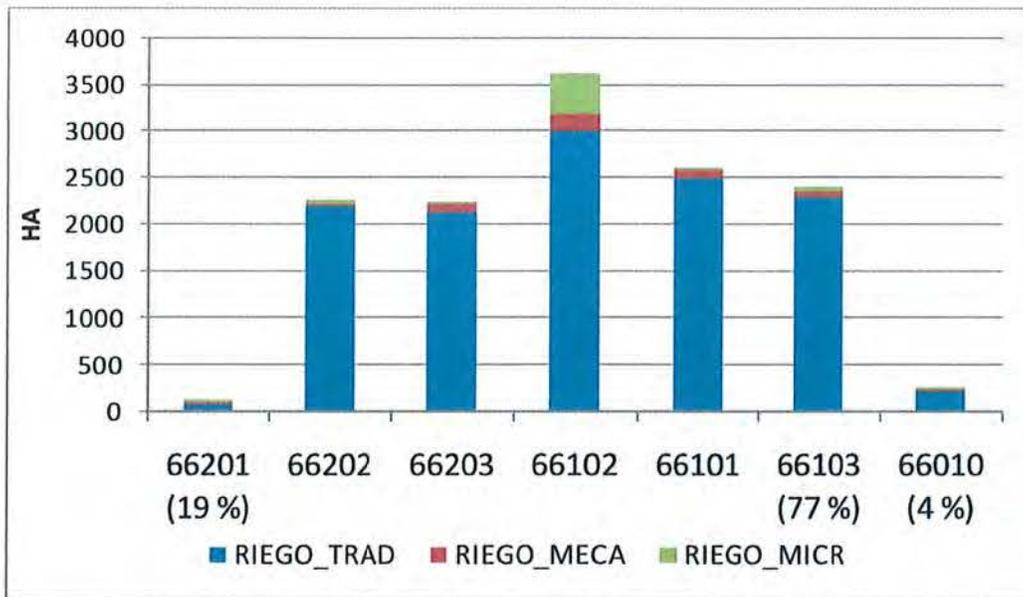


Figura 9-42 Superficie regada según tipo de riego

Se concluyó que los distintos distritos no mostraban diferencias relevantes que pudieran asociarse a diferencias en la recarga que influyeran en la escala del modelo.

La recarga por percolación profunda debida al riego se calculó en las distintas zonas de recarga según las áreas regadas en cada distrito Agro censal del censo de 1997, con una eficiencia de riego, evapotranspiración y coeficiente de percolación ponderados en todo el Puangue Medio (Cuadro 9-6).

Parámetro	Valor
Eficiencia %	48
ETR mm/año	804
Cperc %	26

Cuadro 9-6 Valores de Eficiencia, ETR y Coeficiente de percolación ponderados

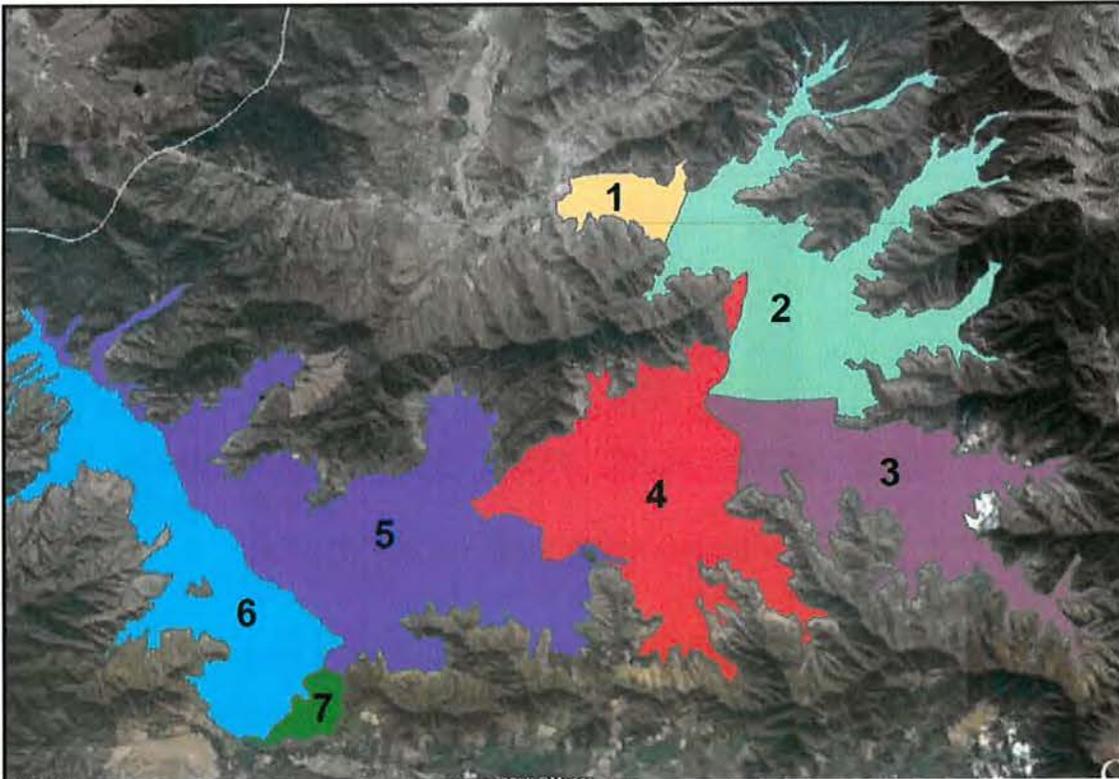


Figura 9-43 Áreas de recarga según distritos Agrocensales

CÁLCULO DE LOS FLUJOS EN EL SISTEMA DE RIEGO

La demanda de riego directo se calculó con la evapotranspiración real de los cultivos en la zona de estudio, obtenida desde el Censo Agropecuario de 1997, considerando además la eficiencia de aplicación de riego ponderada en el Puangue Medio, la cual fue calculada a partir de los tipos de riego del Censo Agropecuario de 1997 y las eficiencias de riego utilizadas por la Comisión Nacional de Riego (CNR).

La evapotranspiración potencial según el tipo de cultivo y los coeficientes de cultivo se obtuvieron del reporte DGA/AC-2000.

La percolación debida al riego se determinó como una fracción del riego directo. Esta fracción está dada por el coeficiente de percolación (FAO, 1979).

RECARGA PRODUCTO DE LAS PÉRDIDAS DE CANALES

Las pérdidas en canales se determinaron a través de la fórmula de Moritz. El coeficiente que depende del material se fijó en 0,08 que corresponde a un suelo franco arcilloso, uno de los suelos menos permeable del sector, considerando un criterio conservador.

Para cada zona de recarga se reconocieron los canales existentes y sus longitudes (Figura 9-44). El caudal y su velocidad se determinaron a partir de los aforos y en caso de no existir éstos, con las demandas según las áreas de riego del reporte DGA/IPLA-1989.

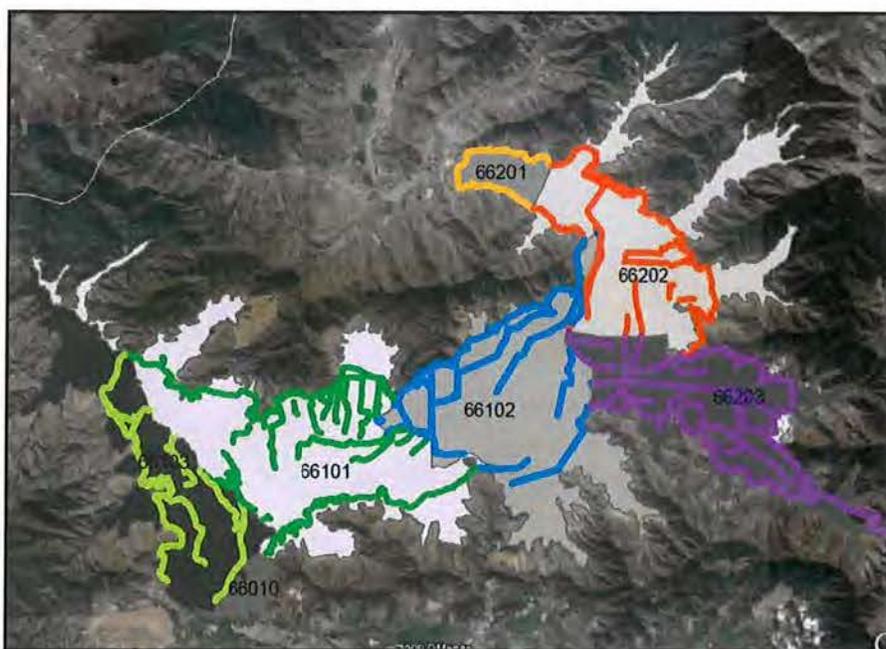


Figura 9-44 Canales en áreas de recarga

RECARGA PRODUCTO DE LA PRECIPITACIÓN DIRECTA

Se determinó según la metodología usada por la DGA en el reporte DGA/DARH-2002, donde la recarga corresponde a una fracción de la precipitación efectiva.

El coeficiente de infiltración utilizado es igual al 5%, determinado en el mismo estudio.

La precipitación efectiva se determinó como la precipitación promedio mensual de la estación Curacaví menos 15 mm (DGA/AC-2000)

Las áreas de precipitación directa corresponden a las áreas del relleno de la cuenca para cada distrito agrocensal.

RECARGA PRODUCTO DE LA PRECIPITACIÓN EN CUENCAS LATERALES

Se definieron las cuencas aportantes asociadas a cada área de recarga (Figura 9-45), luego a cada cuenca lateral se le asoció una precipitación anual según las isoyetas del estudio DGA/AC-2000.

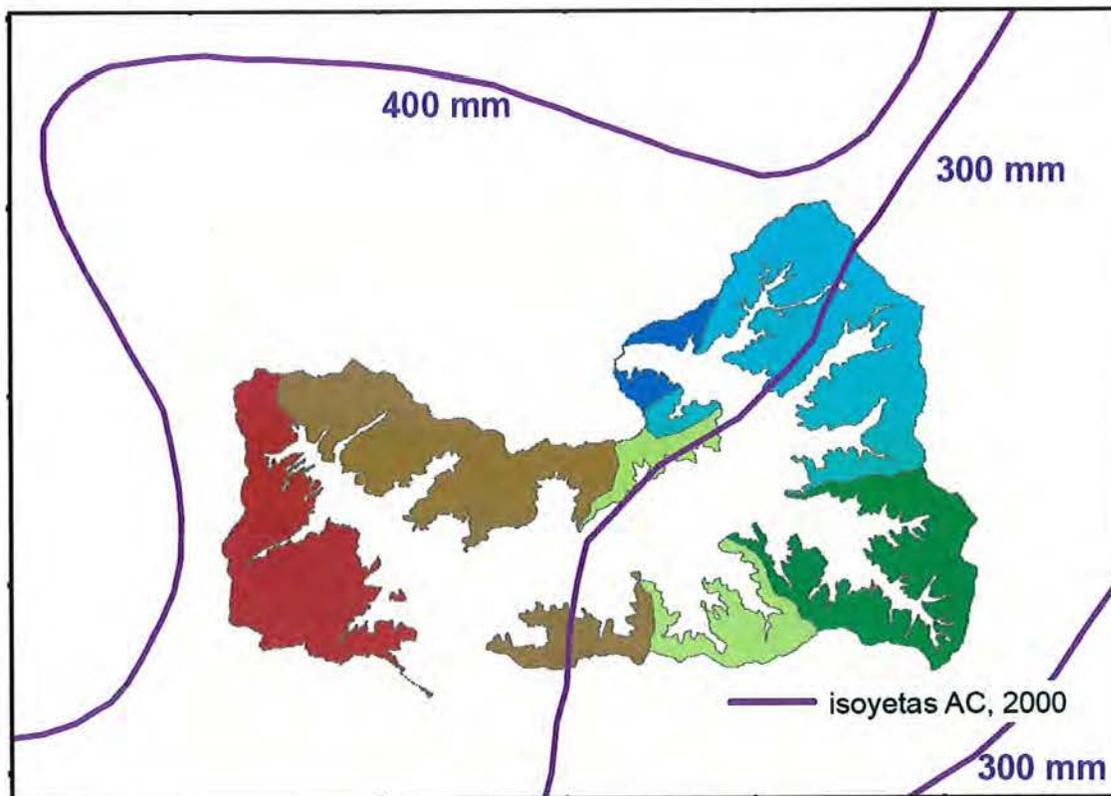


Figura 9-45 Cuencas laterales aportantes a cada área de recarga e isoyetas DGA/AC-2000

La recarga debida a la precipitación en cuencas laterales, se determinó como una fracción de la escorrentía que llega al relleno sedimentario, la fracción está determinada por un coeficiente de infiltración (5% de acuerdo a DGA/DARH-2001).

La escorrentía superficial se determinó como un coeficiente de escorrentía por la precipitación. El coeficiente de escorrentía se determinó según el Manual de Carreteras (MOP, 2001) considerando conservadoramente las características de la zona, se consideró un valor de 0,46.

RESULTADOS DE LA RECARGA AL ACUÍFERO

La recarga al acuífero debido al riego, las pérdidas de canales, la precipitación directa y la precipitación en cuencas laterales se presenta en el Cuadro 9-7 para cada zona de recarga según los distritos agrocensales.

Zona	Código	Recarga m ³ /s				
		Riego	Canales	Pp C. Lat.	Pp directa	Total
1	66201 (19 %)	0.007	0.046	0.003	0.002	0.058
2	66202	0.147	0.178	0.025	0.007	0.357
3	66203	0.146	0.220	0.015	0.006	0.386
4	66102	0.236	0.303	0.009	0.007	0.556
5	66101	0.170	0.179	0.024	0.019	0.391
6	66103 (77 %)	0.156	0.093	0.018	0.007	0.274
7	66010 (4 %)	0.016	0.007	0.000	0.001	0.024
Total		0.878	1.027	0.093	0.049	2.046

Cuadro 9-7 Recarga total al acuífero

9.1.3 MODELO NUMÉRICO

Se construyó un modelo numérico de flujo de aguas subterráneas para el acuífero de Puangue Medio, en MODFLOW, utilizando para ello la plataforma Visual Modflow versión 4.2.

9.1.3.1 GEOMETRÍA DEL ACUÍFERO

El acuífero se representó mediante una malla definida por 236 filas y 380 columnas, con un total de 89.680 celdas de ancho fijo de 100 m, de estas 21.901 celdas son activas y el resto (67.779 celdas) son celdas de no-flujo correspondientes a bordes impermeables de la cuenca (Figura 3-1).

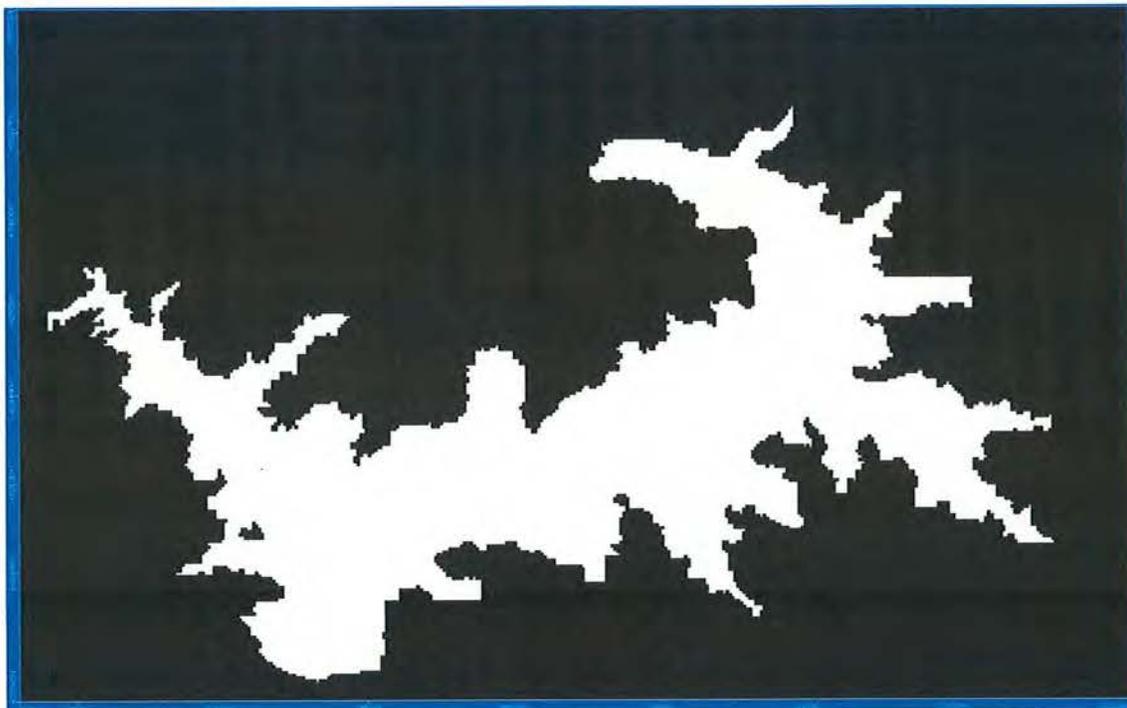


Figura 9-46 Dominio de la zona modelada

La superficie del terreno fue obtenida a partir de curvas de nivel de la zona, construidas cada 2 metros, que fueron proporcionadas por la CNR. La información fue interpolada para obtener la topografía superficial que utiliza el modelo.

De acuerdo a las unidades hidrogeológicas obtenidas en el modelo conceptual, se eligió representar al acuífero mediante dos estratos sobre el basamento (Figura 9-47).

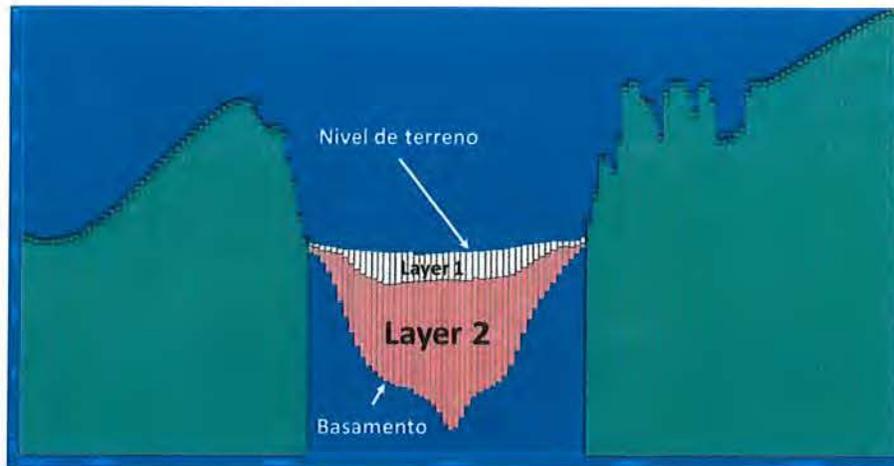


Figura 9-47 Corte Transversal modelo numérico (columna 181)

9.1.3.2 PERMEABILIDAD Y ALMACENAMIENTO

Los valores iniciales de permeabilidad son los definidos en el modelo conceptual (Figura 9-21 y Figura 9-22). Los valores iniciales de almacenamiento (coeficiente de rendimiento específico para acuíferos libres y coeficiente de almacenamiento para acuíferos confinados) se obtuvieron desde la literatura especializada.

9.1.3.3 CONDICIONES DE BORDE

ALTURA CONSTANTE

La entrada de flujo subterráneo desde el acuífero de Puangue Alto y la salida de flujo subterráneo desde el acuífero de Puangue Medio hacia el acuífero de Puangue Bajo, fue representada por condiciones de borde de nivel constante. Las alturas de los niveles piezométricos fueron definidas mediante interpolación de niveles obtenidos en el catastro realizado por el estudio del reporte DGA/AC-2000.

Para la entrada de flujo subterráneo, 18 celdas representan la condición de borde de nivel constante y deben permitir la entrada de 57 l/s. Los niveles para esta condición de borde se establecieron en torno a los 190 m.s.n.m.

Para la salida, se consideraron 53 celdas que deberían extraer del acuífero un caudal de 252 l/s aproximadamente. Los niveles de esta condición de borde se encuentran en torno a 136 m.s.n.m., lo que indica que existe una diferencia de niveles de 54 metros (Figura 9-48).

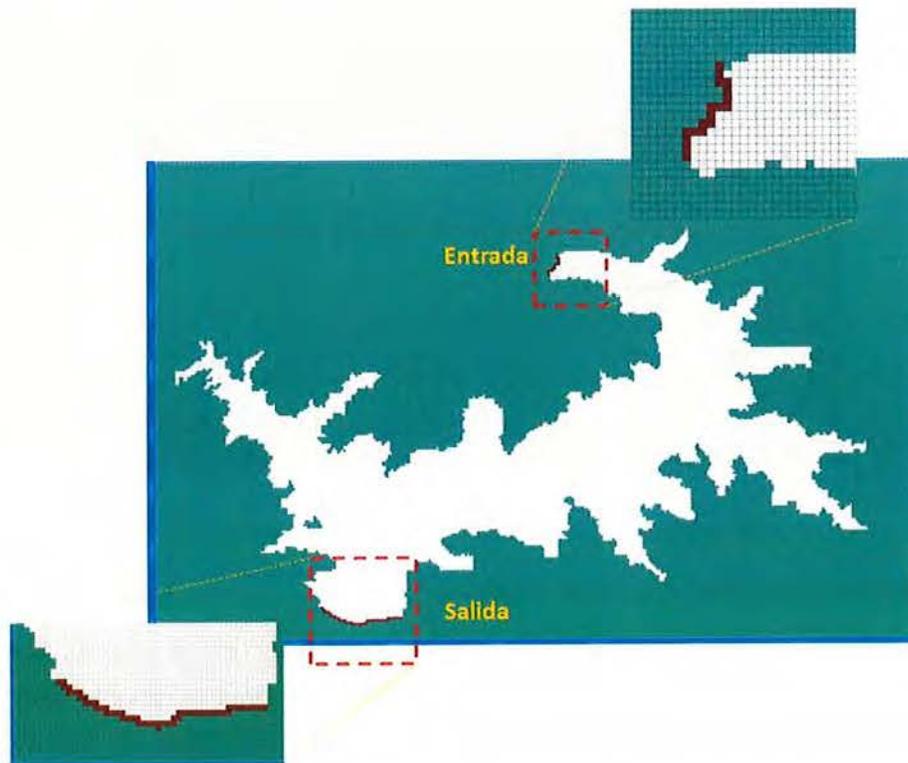


Figura 9-48 Bordes de altura constante (Entrada y salida)

Río

Esta condición de borde se incorporó sólo al estero Puangue. Las cotas utilizadas para generar las distintas secciones del estero se obtuvieron del levantamiento topográfico y de otros trabajos en la zona (Cuadro 9-9).

De acuerdo a las zonas de interacción, río-acuífero, definidas en el modelo conceptual, se incorporaron al modelo nueve secciones con sus respectivas conductancias (Cuadro 9-8)

Sección	Conductancia (m ² /d)	Tipo de suelo
3 y 4	2	arcilla
5 y 6	50	limo
1, 2, 7, 8 y 9	100	arena limosa

Cuadro 9-8 Conductancias por sección de estero

Perfil	Punto	Pozo	Prof. (m)	Cota Pozo o Estero (msnm)	N.E. (m)	Fuente profundidad	Fuente cota
4	Pozo 4-1	ND-1305-309	5.9	136.96	131.06	Expediente	Campaña topográfica
4	Pozo 4-2	ND-1305-592	1.7	135.85	134.15	(DGA, 2007)	Campaña topográfica
4	Noria 4-1	ND-1305-2730	7.71	137.44	129.73	Campaña topográfica	Campaña topográfica
4	Estero 4	-			128.94	Campaña topográfica	Campaña topográfica
2		ND-1305-645	1.3	158.6	157.3	Expediente	Campaña topográfica
2		ND-1305-645	0.97	158.2	157.23	Expediente	Campaña topográfica
	Estero 2	-			156.22	campana topográfica	Campaña topográfica
3		ND-1305-509 (1)	2.68	150.6	147.92	(Celedón, 2001)	Topografía CNR
3		ND-1305-509 (2)	2.64	151.12	148.48	(Celedón, 2001)	Topografía CNR
3		ND-1305-509 (3)	1.7	151.4	149.7	(Celedón, 2001)	Topografía CNR
3		ND-1305-509 (4)	4.09	151.8	147.71	(Celedón, 2001)	Topografía CNR
3		ND-1305-509 (5)	3.05	151.28	148.23	(Celedón, 2001)	Topografía CNR
3		ND-1305-509 (6)	0	155.08	155.08	(Celedón, 2001)	Topografía CNR
3	Estero 3-1	-			145.6	(Celedón, 2001)	Campaña topográfica
3	Estero 3-2	-			145.62	(Celedón, 2001)	Campaña topográfica
3	Estero 3-3	-			145.4	(Celedón, 2001)	Campaña topográfica
3	Estero 3-4	-			146.3	(Celedón, 2001)	Campaña topográfica
3	Estero 3-5	-			144.78	(Celedón, 2001)	Campaña topográfica
3	Estero 3-6	-			149.08	(Celedón, 2001)	Campaña topográfica
1	Pozo 1-1	ND-1305-4224	5.91	166.5	160.59	(CNR, 1980)	indirecto de campaña
1	Pozo 1-2	ND-1305-580	1.69	166.99	165.3	(DGA, 2007)	indirecto de campaña
1	Noria 1	ND-1305-2837	2.18	167.17	164.99	Campaña topográfica	Campaña topográfica
1	Estero 1	-			163.45	Campaña topográfica	Campaña topográfica

Cuadro 9-9 Cotas del Estero Puangue y pozos utilizados para la construcción de secciones



Cuadro 9-10 secciones Estero Puangue ingresadas a VMOD

DRENES

Los drenes ubicados en el sector de la Patagüilla fueron agrupados en tres drenes principales, correspondientes al dren La Laguna, para ser ingresados al modelo VMOD (Figura 9-49).

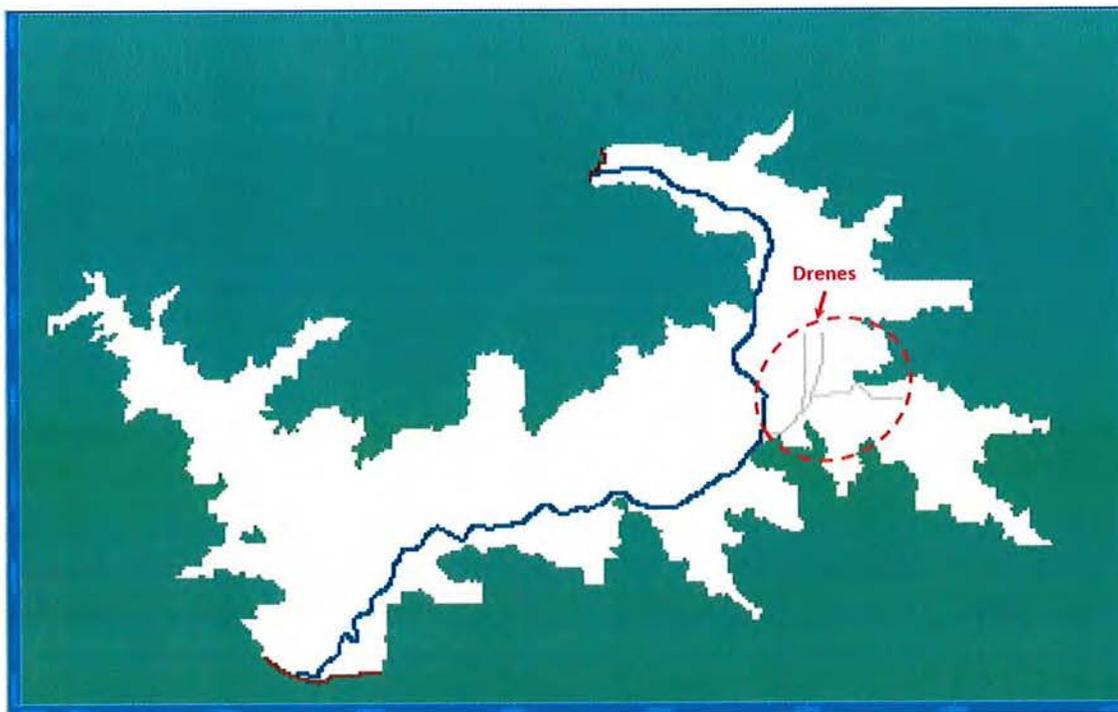


Figura 9-49 Drenes ingresados al modelo VMOD

Los caudales del dren La Laguna se obtuvieron de aforos realizados en distintas oportunidades (Cuadro 9-11).

Caudal m ³ /s	Fecha	Fuente
1	Sep-92	(IPLA LTDA, 1993)
0,95	Oct-92	(IPLA LTDA, 1993)
0,437	Dic-96	(DGA, 1998)
0,402	ene-feb-1997	(DGA, 1998)
1,58	May-09	Campaña de Aforos
1,3	May-09	Campaña de Aforos

Cuadro 9-11 Aforos en dren La Laguna

Se destaca que los aforos realizados en los años 1996 y 1997 corresponden a mediciones realizadas en periodos de sequía y corresponderían al mínimo caudal esperado para estos

drenes. De acuerdo a esto se estimó que el rango de caudales deberá estar entre 0,4 y 1 m³/s.

La conductancia inicial para las celdas tipo dren, se consideró en 50 m²/d y los niveles se consideraron a 1 y 0,5 metros bajo la topografía para el lecho y el nivel del dren respectivamente.

RECARGA SUPERFICIAL

De acuerdo al modelo conceptual, las zonas de recarga se dividieron de acuerdo a las características propias de cada distrito agro censal (Figura 9-50). La recarga ingresada es constante y corresponde a los montos determinados en el modelo conceptual (Cuadro 9-12).

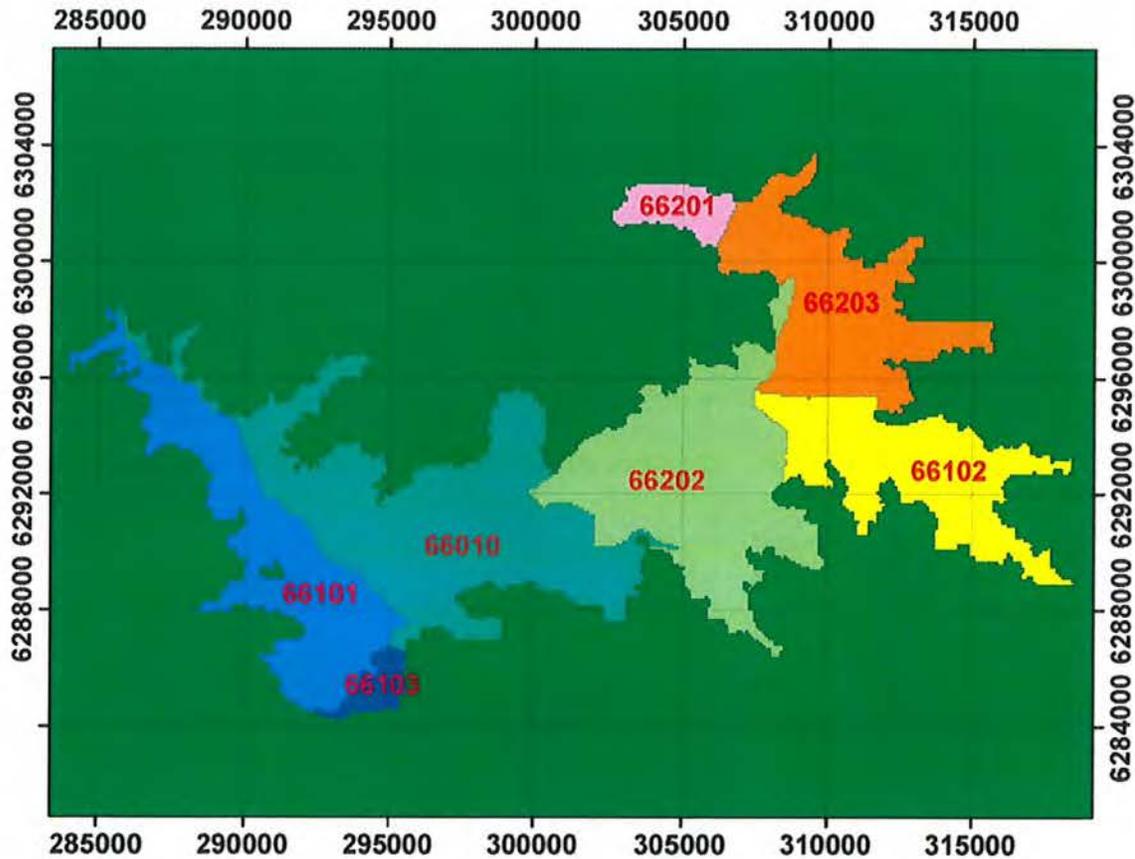


Figura 9-50 Zonas de recarga ingresadas al modelo VMOD

Zona de Recarga	Recarga (mm/año)
66201	325.5
66202	332.0
66203	401.5
66102	369.0
66101	201.0
66103	237.4
66010	241.3

Cuadro 9-12 Valores de recarga ingresados al modelo VMOD

9.1.3.4 CALIBRACIÓN DEL MODELO

CALIBRACIÓN EN RÉGIMEN PERMANENTE

Para esta calibración se utilizaron los niveles estáticos de 72 pozos, niveles que se obtuvieron del catastro del estudio DGA/AC-2000 (Figura 9-51).

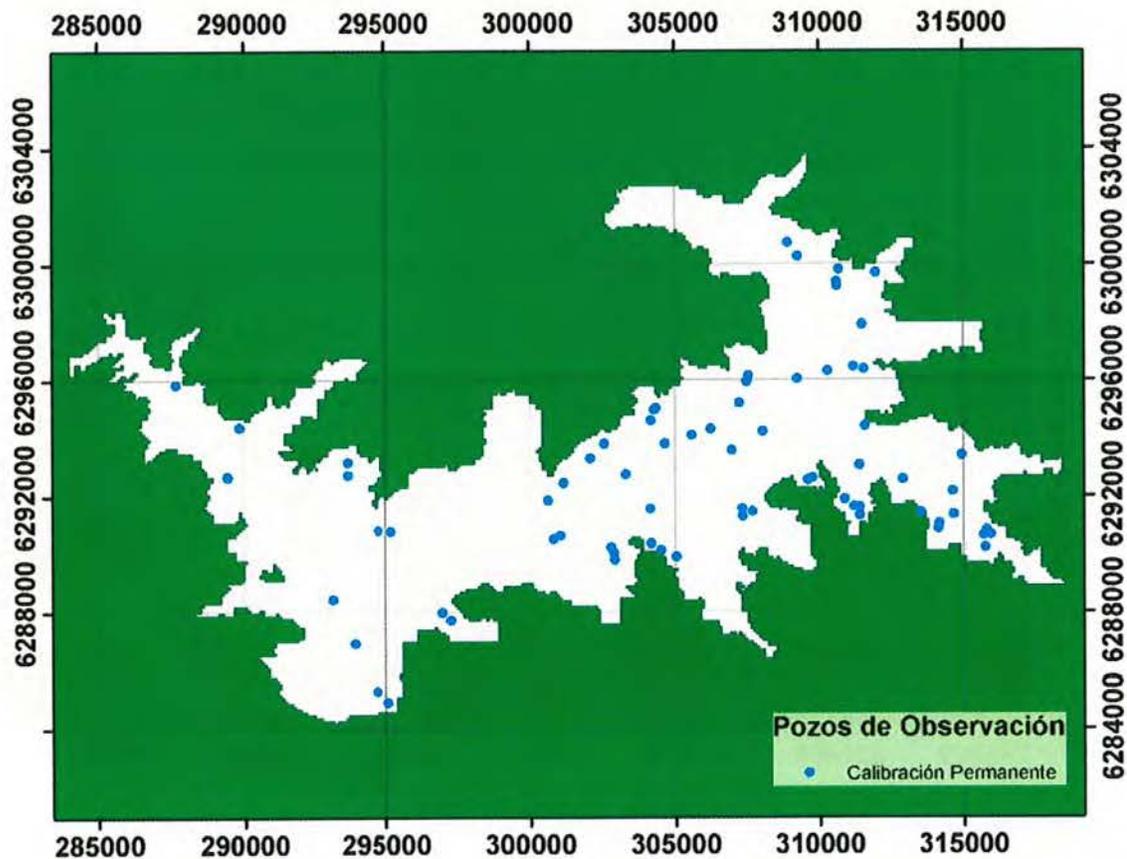


Figura 9-51 Ubicación de pozos con niveles observados para calibración permanente

La condición de nivel inicial para la calibración permanente fue de 300 m.s.n.m. Por su parte, las extracciones corresponden a los caudales medios anuales bombeados el año 1995, cuya información fue levantada en el catastro del estudio DGA/AC-2000.

CALIBRACIÓN EN RÉGIMEN TRANSIENTE

La calibración transiente se realizó entre los años 1995 y 1999. Se utilizaron tres pozos de observación de la DGA con registros continuos (pozo Fundo Lolenco, pozo Asentamiento Santa Emilia y pozo Fundo Santa Rita) (Figura 9-52).

Para verificar el ajuste en el resto de la cuenca, se asumió que la totalidad del área tendría un comportamiento similar a los pozos con registros, en que no se advierten variaciones importantes durante el periodo de la calibración transiente.

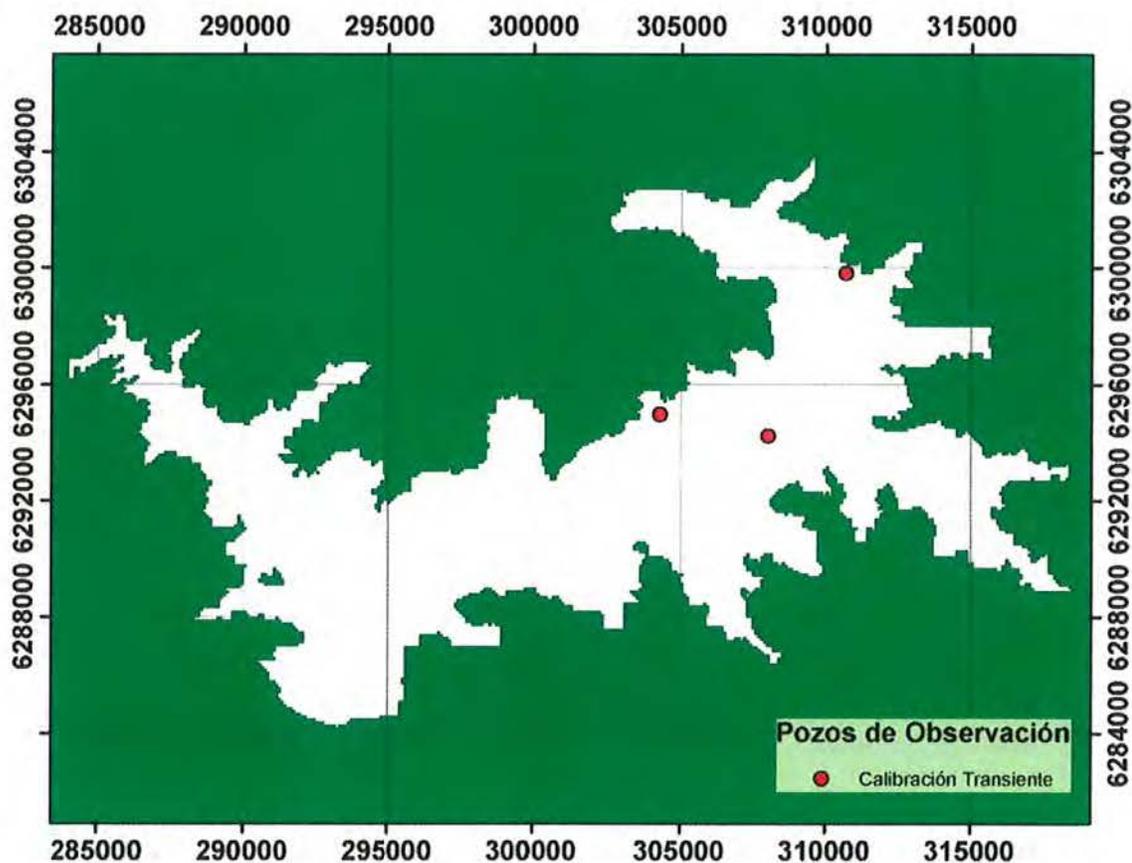


Figura 9-52 Ubicación de pozos de observación DGA, calibración Transiente

La condición inicial de niveles en la calibración transiente correspondió a los niveles obtenidos en la calibración permanente.

Para evitar problemas de inestabilidad numérica, se consideró un periodo inicial de 100 años, en los cuales se conservaron las condiciones de la calibración permanente. Posterior a este periodo se encuentra el periodo de calibración transiente de 5 años, con sus bombeos correspondientes.

Los bombeos incorporados fueron obtenidos desde el catastro del estudio DGA/AC-2000 (Figura 9-53), los que corresponden a los caudales mensuales entre los años 1995 y 1998, para el año 1999 se repitieron los bombeos mensuales de 1998.

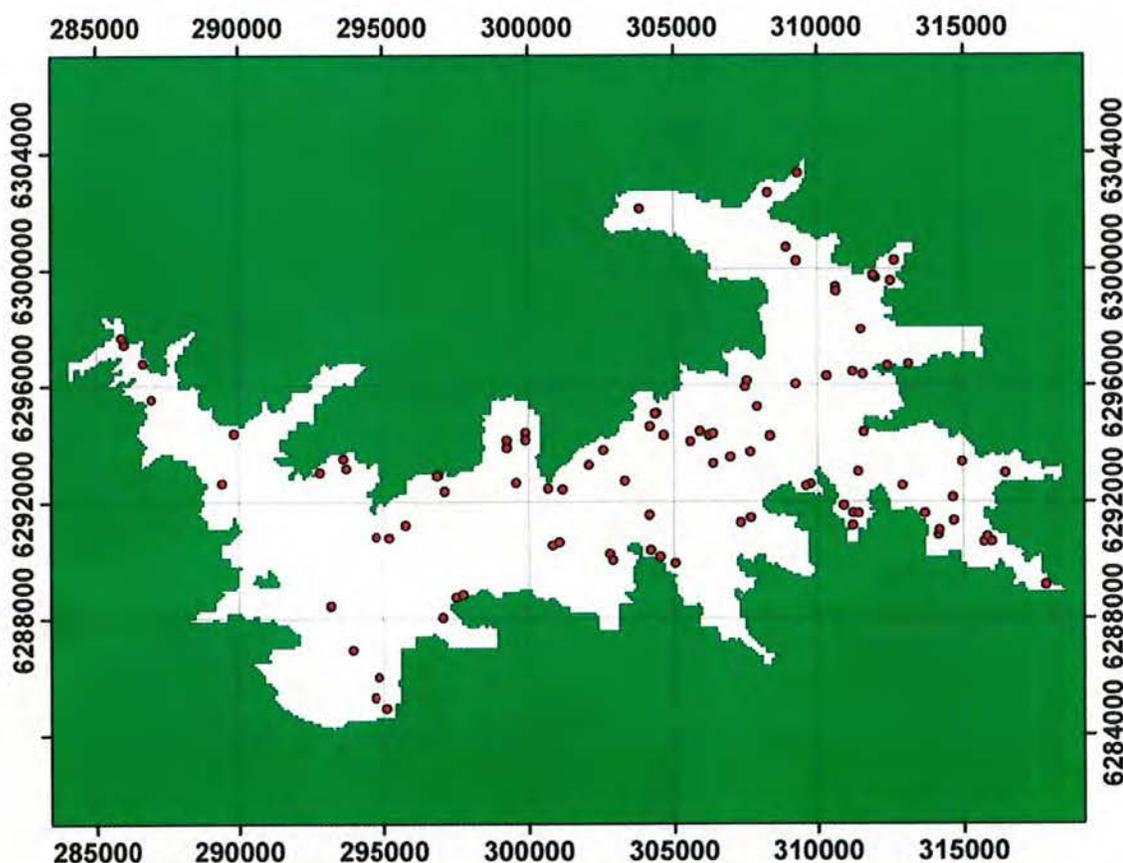


Figura 9-53 Ubicación de pozos de bombeo para calibración transiente y permanente

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA DEL ACUÍFERO

Los valores calibrados de conductividad hidráulica para ambas capas, oscilan entre 0.13 a 65 m/d. (Figura 9-54 y Figura 9-55).

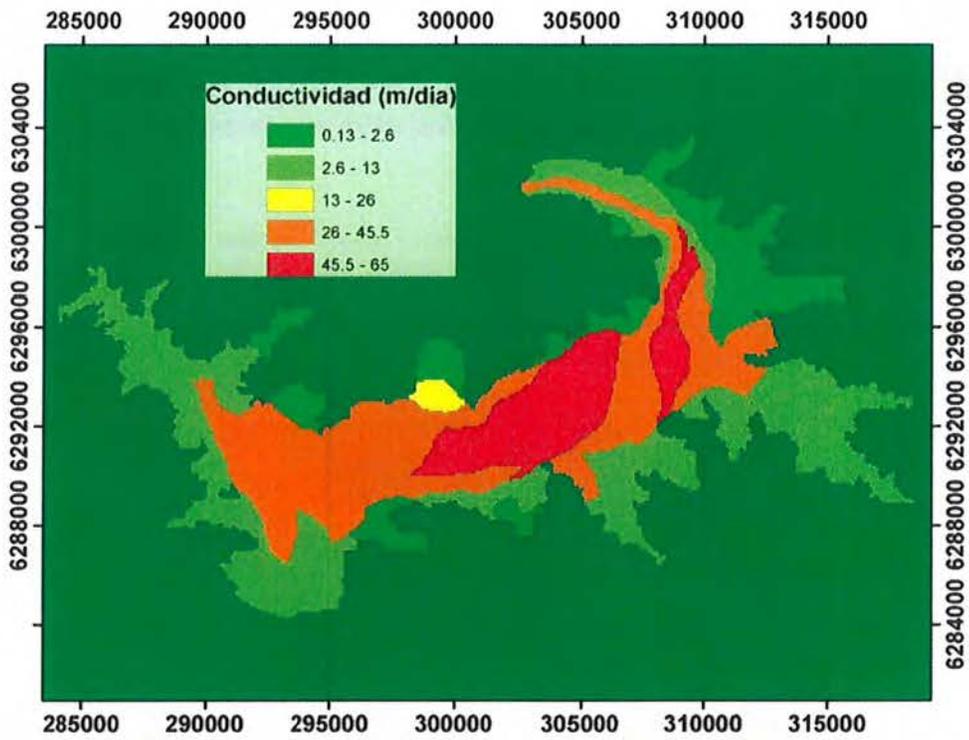


Figura 9-54 Conductividad hidráulica calibrada capa 1

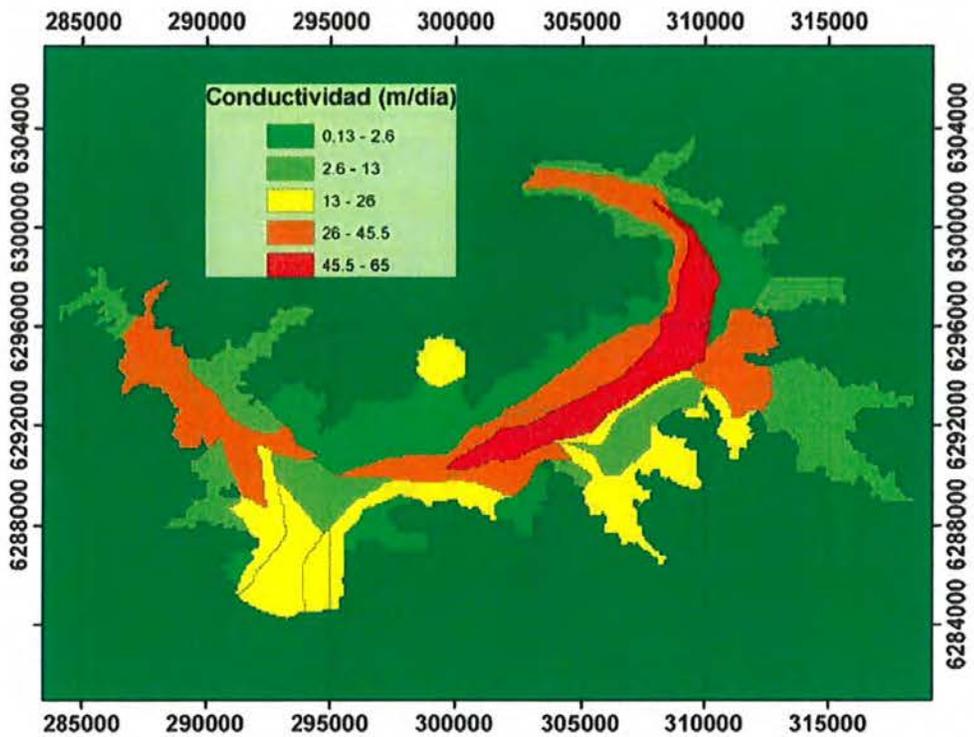


Figura 9-55 Conductividad hidráulica calibrada capa 2

ALMACENAMIENTO DEL ACUÍFERO

Se adoptaron valores teóricos para el coeficiente de almacenamiento, los que fueron modificados en el proceso de calibración. Los valores finales se muestran en las figuras Figura 9-56 y Figura 9-57.

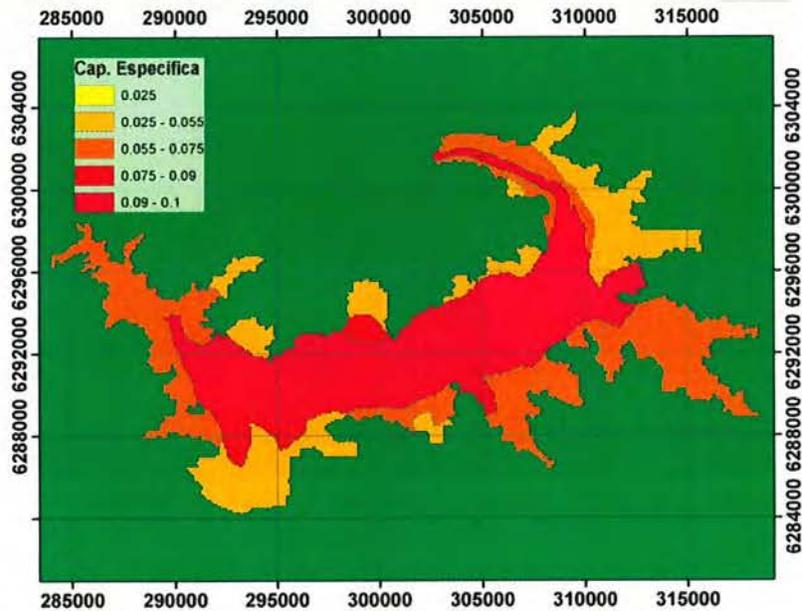


Figura 9-56 Rendimiento específico (S_y) en capa 1

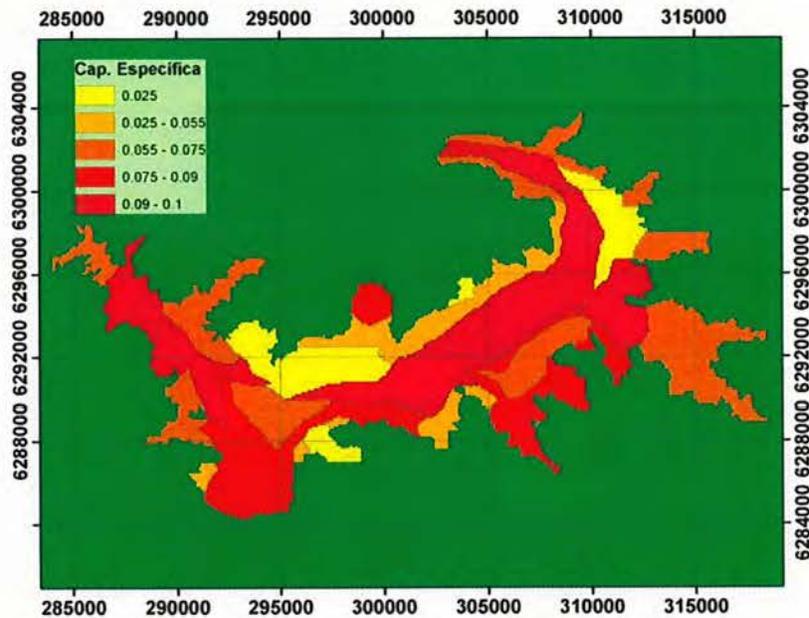


Figura 9-57 Rendimiento específico (S_y) en capa 2

Los valores de almacenamiento específico solo se presentan en la capa 2 (Figura 9-58), debido a que la capa 1 opera como acuífero libre por lo que este valor es despreciable comparado con la capacidad específica.

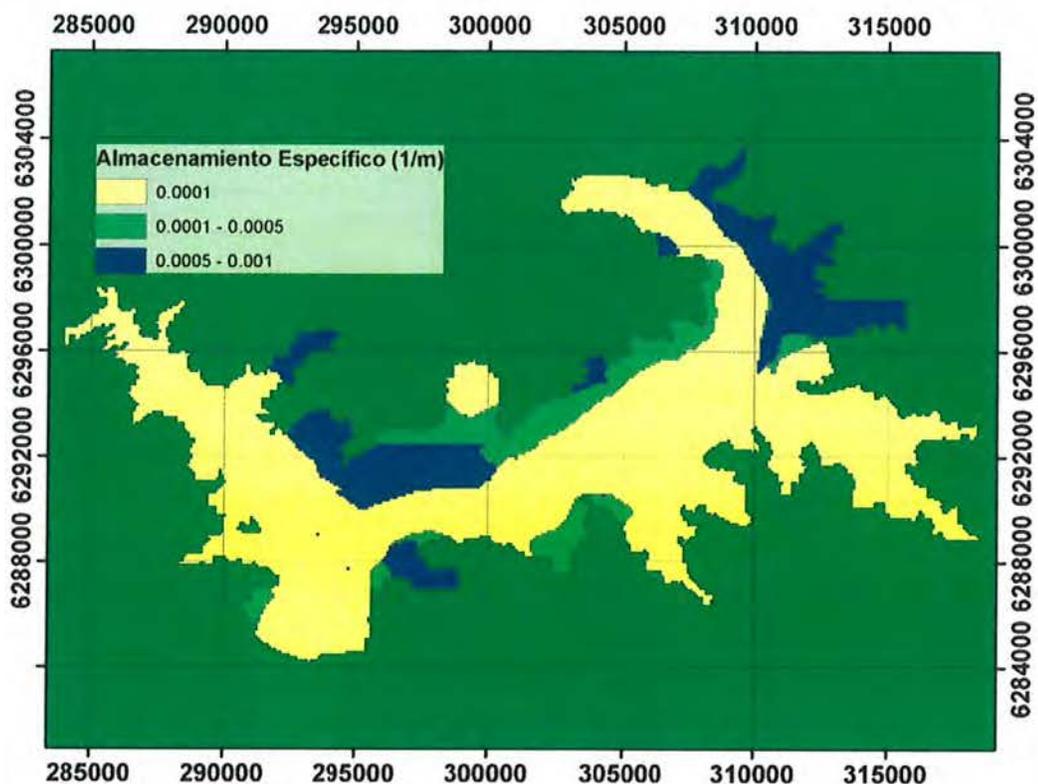


Figura 9-58 Almacenamiento específico (S_s) en capa 2

RÍOS Y DRENES

Los parámetros calibrados fueron las conductancias. Los niveles no fueron variados. Para los drenes se impuso sólo un valor de conductancia de 600 m^2/d (en los tres ramales). Para la condición de borde del tipo río del estero Puangue, se calibraron las conductancias para cada uno de los nueve tramos (Cuadro 9-13)

Sección	Conductancia (m^2/d)	Sección	Conductancia (m^2/d)
1	25	6	80
2	8	7	80
3	1	8	25
4	1	9	25
5	80		

Cuadro 9-13 Conductancias calibradas para el estero Puangue

CALIBRACIÓN PERMANENTE

El balance de masa para la calibración permanente se muestra en el Cuadro 9-14

Entradas m ³ /s		Salidas m ³ /s	
Recarga	2.040	Río	0.980
CB arriba	0.051	Dren	0.450
		CB abajo	0.242
		Pozos	0.420
Total Entrada	2.091	Total Salida	2.092
Error %		-0.04	

Cuadro 9-14 Balance de masa calibración permanente.

CALIBRACIÓN TRANSIENTE

Los pozos de observación Asentamiento Santa Rita y Fundo Santa Emilia presentan valores observados de niveles estáticos y dinámicos. Las figuras Figura 9-59, Figura 9-60 y Figura 9-61 presentan los resultados de la calibración del modelo en régimen transiente.

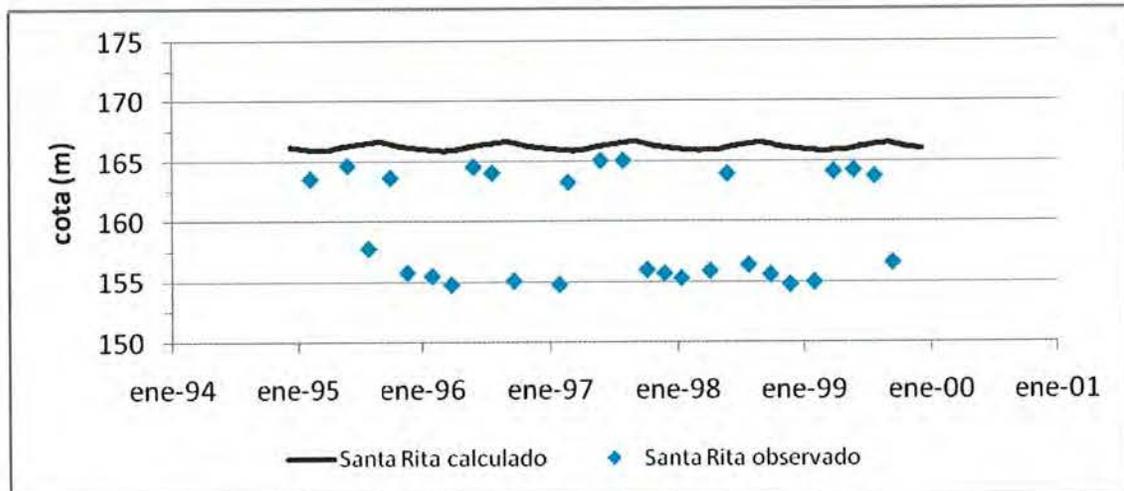


Figura 9-59 Niveles calculados y observados en pozo Asentamiento Santa Rita

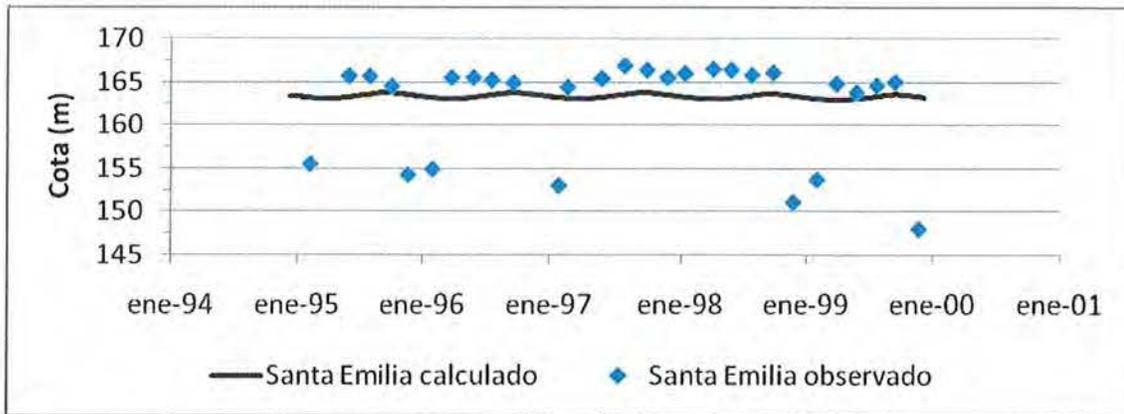


Figura 9-60 Niveles calculados y observados en pozo Fundo Santa Emilia

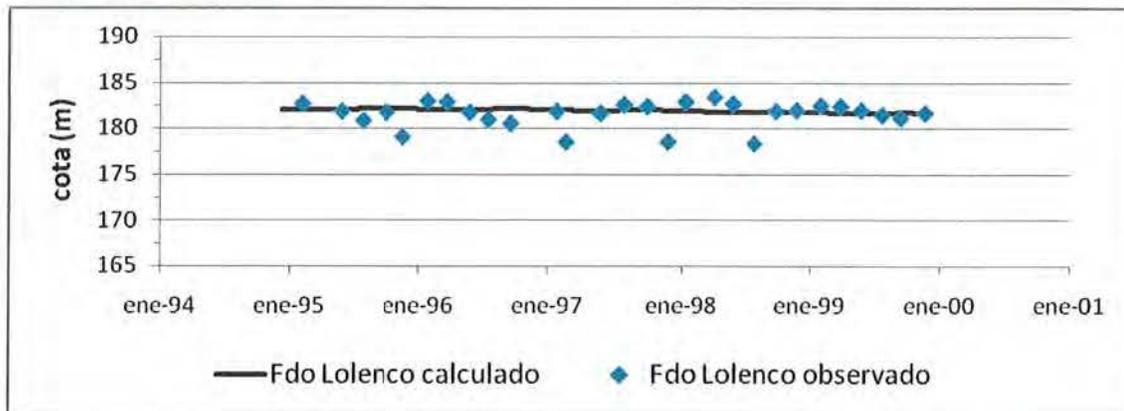


Figura 9-61 Niveles calculados y observados en pozo Fundo Lolenco

9.1.3.5 VALIDACIÓN DEL MODELO

El proceso de validación fue utilizado también para estimar el aumento de la recarga debido a dos fenómenos: aumento de la superficie de riego y aumento de la capacidad de almacenamiento del acuífero debido al descenso de niveles producido por el bombeo.

Se consideró el periodo comprendido entre los años 2000 y 2008 para la validación del modelo. Para el contraste de niveles en este periodo se tuvieron datos de nivel en 5 pozos de observación de la DGA (Figura 9-62).

Para el bombeo en el periodo de validación se consideró incluir todas las captaciones con derechos aprobados por la DGA con sus usos previsibles (Figura 9-63). Estos se activaron según sus fechas de solicitud, bajo el supuesto de que los pozos comienzan a utilizarse desde que sus derechos de aprovechamiento fueron solicitados.

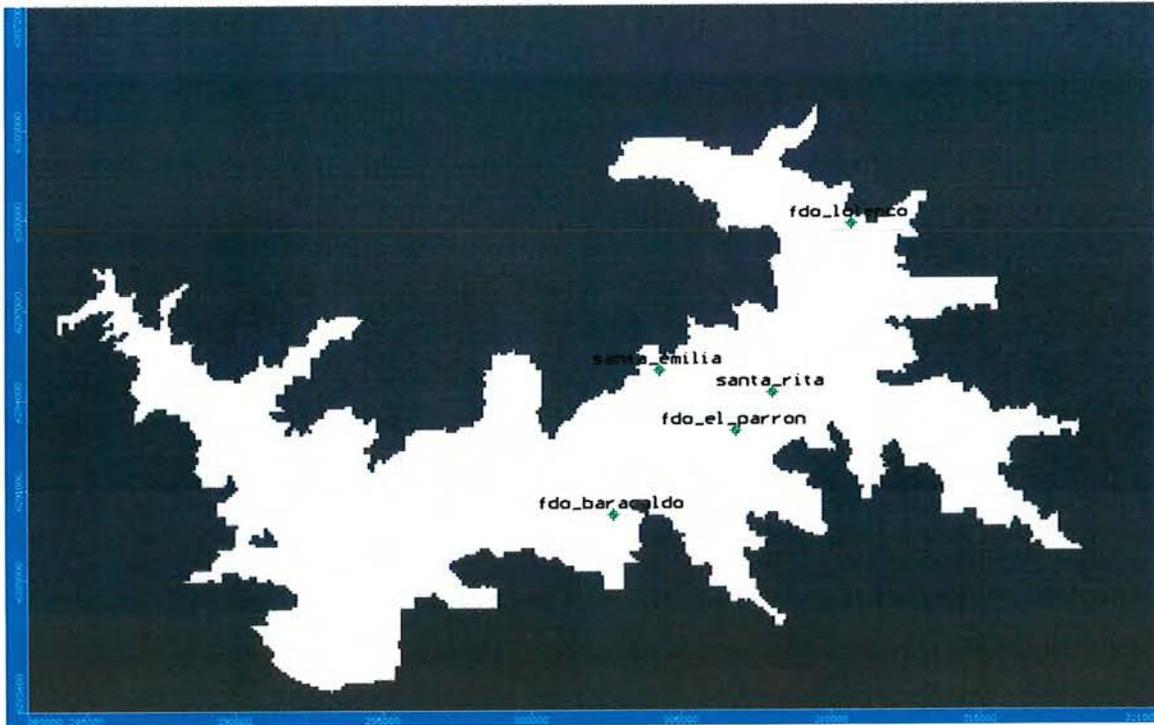


Figura 9-62 Pozos de observación periodo de validación

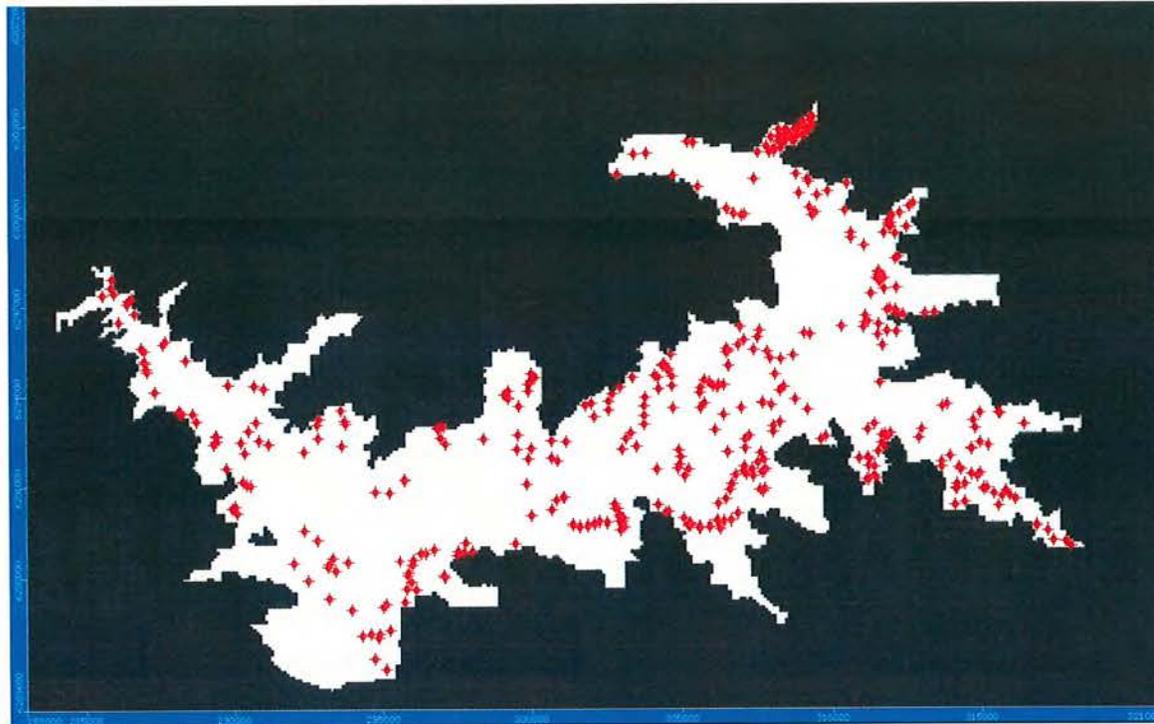


Figura 9-63 Ubicación de pozos utilizados en el proceso de validación

Los pozos se ubicaron en el modelo según sus coordenadas. Los que no contaban con coordenadas, se distribuyeron en el modelo.

Los pozos que contaban con coordenadas pero se ubicaban fuera de los límites del acuífero, fueron reubicados en posiciones cercanas a las originales dentro del acuífero.

Los pozos que contaban con coordenadas y se ubicaban en el borde entre dos celdas se desplazaron de su posición en 1 metro.

Para simular la variación interanual del bombeo en la zona producto de la agricultura, se calculó el porcentaje mensual de bombeo respecto del total anual del último año de calibración y se reprodujo la misma oscilación con los caudales de la validación (Figura 9-64).

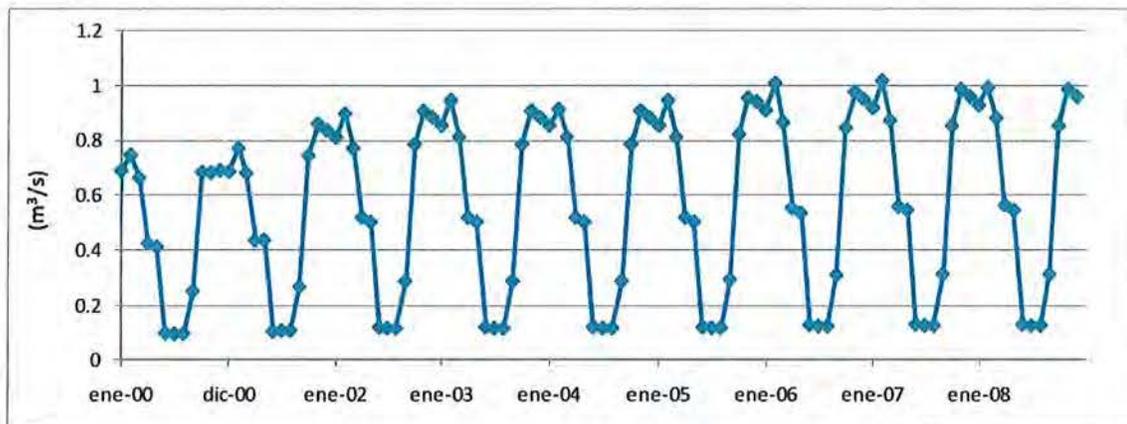


Figura 9-64 Bombeo del periodo de validación

La condición inicial para el periodo de validación, corresponde a los niveles calculados en el último tiempo de la calibración transiente (diciembre de 1999).

PROCEDIMIENTO PARA LA VALIDACIÓN Y ESTIMACIÓN DE LA RECARGA EXTRA

VALIDACIÓN CON RECARGA BASE DE LA CALIBRACIÓN

Al correr la validación con la recarga base los niveles simulados en los pozos de observación descendieron mostrando una tendencia completamente distinta a los niveles observados que no muestran variaciones durante este periodo. Esto permite comprobar que durante este periodo existe una recarga extra a la recarga base de la calibración que permite que los niveles se mantengan en el tiempo.

VALIDACIÓN DE LA RECARGA BASE MÁS RECARGA EXTRA, CALCULADA COMO UN PORCENTAJE DEL BOMBEO ADICIONAL A LA CALIBRACIÓN

La estimación de la recarga extra durante el periodo de validación producida por el bombeo adicional a la calibración, se realizó corriendo la validación con una recarga igual a la recarga base más un porcentaje del bombeo adicional.

Se utilizó un porcentaje del bombeo adicional ya que la recarga extra está relacionada en forma directa a este bombeo adicional, tanto por el aumento de riego como por la disminución del reuso. De esta forma la recarga extra es directamente proporcional al bombeo adicional que aumenta mes a mes y varía en el tiempo según la variación de éste.

Se probaron distintos porcentajes encontrándose que el acuífero no responde a aumentos inferiores a un 60% del bombeo adicional. Este valor está por encima del porcentaje que puede percolar, si se toma en cuenta la eficiencia informada por el Censo Agropecuario (INE, 2007), que es igual al 57%, es decir, la máxima recarga adicional posible sería igual a un 43%, es decir, asumiendo que todas las ineficiencias de los sistemas de riegos es producto de la percolación profunda. Por lo que es imposible que la recarga alcance este valor.

En base a estos antecedentes se concluye que el bombeo estimado para la validación está sobreestimado y por lo tanto, se ajustó el caudal de bombeo a un 80% del inicialmente considerado. Un 20% menos de bombeo resulta razonable si se considera que el principal uso del bombeo es agrícola y que los cultivos en el sector son en su mayoría regados con aguas superficiales y que por lo tanto, muchos de los derechos subterráneos se solicitan como respaldo para periodos secos.

VALIDACIÓN CON UN 80% DEL BOMBEO Y LA RECARGA BASE MÁS UN PORCENTAJE DEL BOMBEO ADICIONAL A LA CALIBRACIÓN

El resultado de múltiples corridas fue que con una recarga equivalente a la recarga base más un 20% del bombeo adicional a la calibración y un bombeo equivalente al 80% del bombeo estimado para el periodo de validación, el nivel simulado es similar al nivel observado del acuífero. Estos antecedentes permiten validar la recarga extra y los parámetros calibrados del modelo.

Los promedios del periodo de validación son muy similares al periodo de calibración, excepto el caudal de bombeo (Cuadro 9-15)

Flujos	(m ³ /s)
Recarga	2.087
Flujo subterráneo	0.037
Almacenamiento	0.148
Río	-0.909
Dren	-0.430
Flujo subterráneo	-0.231
Pozos	-0.643
Almacenamiento	-0.236

Cuadro 9-15 Flujos promedio en periodo de validación

RESULTADOS DE LA VALIDACIÓN

Se observa que los niveles simulados son similares a los observados en todos los pozos. Los niveles se mantienen en el tiempo con descensos menores, siguiendo la misma tendencia de los niveles observados.

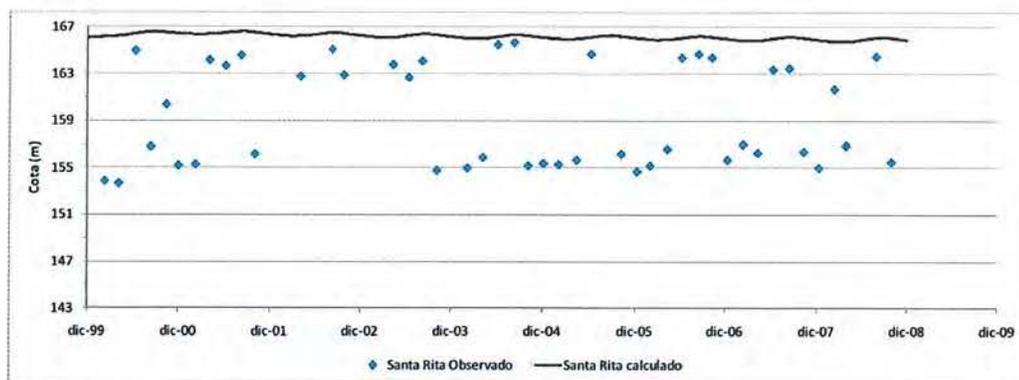


Figura 9-65 Niveles calculados y observados, Pozo Asentamiento Santa Rita

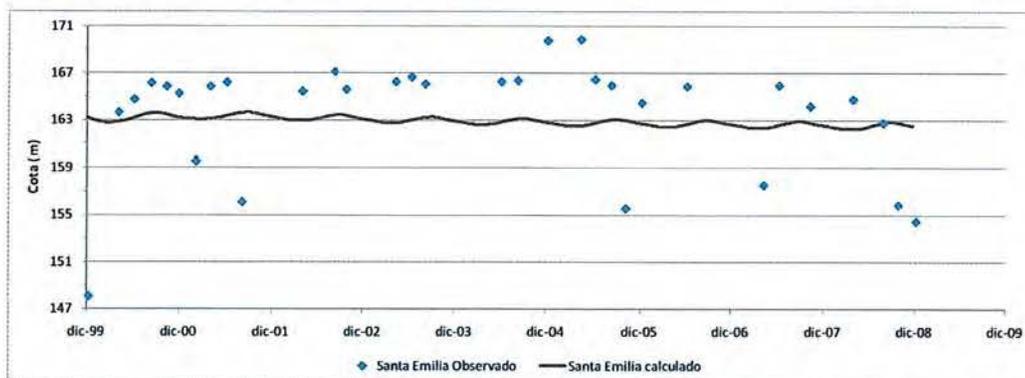


Figura 9-66 Niveles calculados y observados, Pozo Fundo Santa Emilia

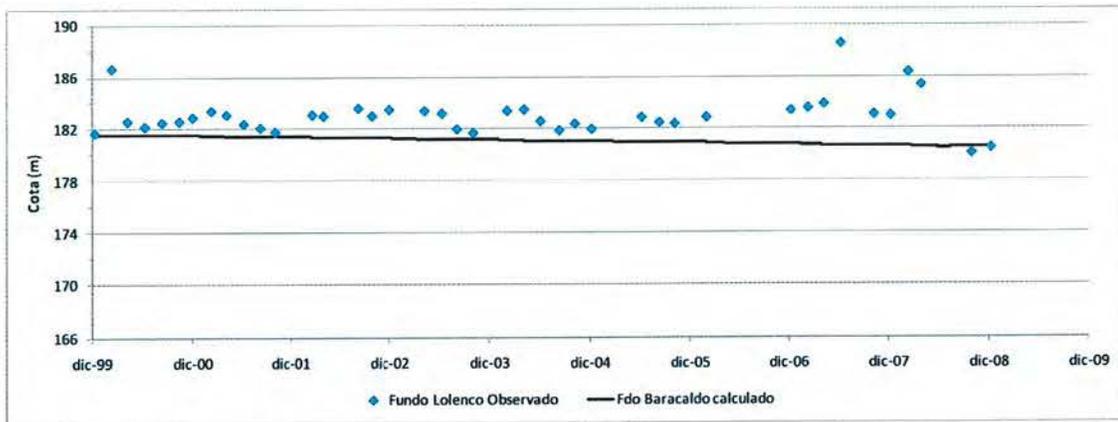


Figura 9-67 Niveles calculados y observados, Pozo Fundo Lolenco



Figura 9-68 Niveles calculados y observados, Pozo Fundo el Parrón

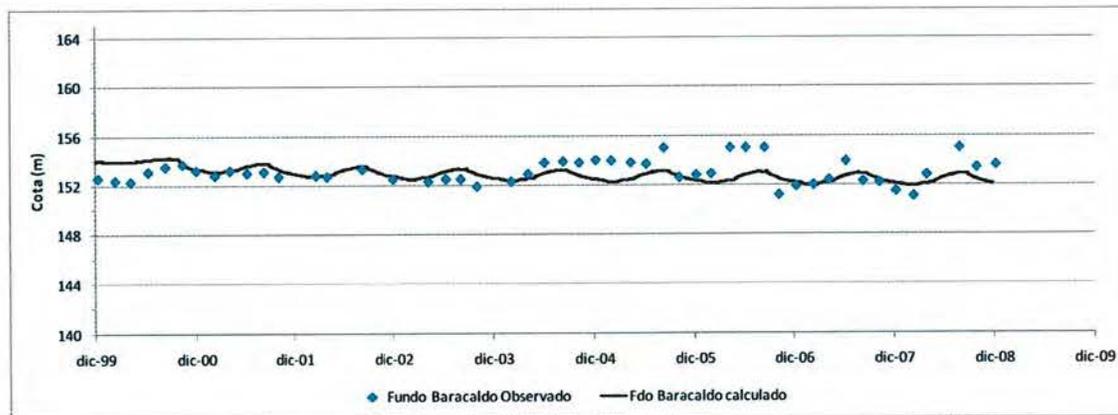


Figura 9-69 Niveles calculados y observados, Pozo Fundo Baracaldo

9.1.4 SIMULACIONES

Se realizaron dos escenarios de simulación con el objetivo de determinar la capacidad máxima de bombeo del acuífero, tomando como criterios de evaluación los utilizados por la DGA. El Escenario 1 corresponde a una simulación de 50 años considerando todos los derechos subterráneos solicitados según la lista oficial de la DGA y el Escenario 2 corresponde a una simulación de 50 años considerando todos los derechos subterráneos solicitados según la lista oficial de la DGA hasta el expediente ND-1305-4286.

9.1.4.1 ESCENARIO 1

Simulación de 50 años que incluye todos los derechos subterráneos solicitados en Puangue Medio.

BOMBEO

Corresponde a 571 pozos con un caudal previsible de 1.634 l/s. La ubicación de los pozos en el modelo siguió el patrón siguiente: los pozos sin coordenadas se distribuyeron en el modelo; los pozos con coordenadas, pero que se ubicaban fuera del modelo, fueron reubicados en posiciones cercanas dentro del modelo; los pozos con coordenadas ubicados en el borde de dos celdas, se desplazaron 1 metro (Figura 9-70).

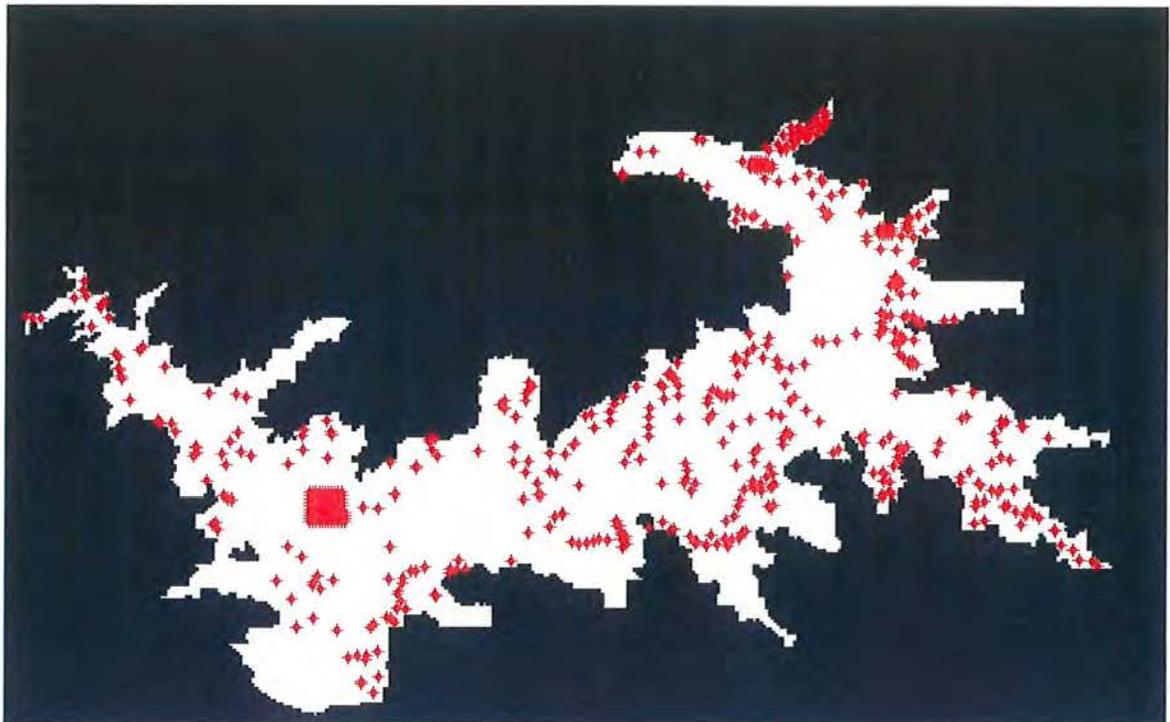


Figura 9-70 Ubicación de pozos de bombeo de Escenario 1

RECARGA

La recarga se calculó según la metodología con que se calibró la recarga para el periodo de validación, es decir, la recarga base del periodo de calibración más un 20% del bombeo adicional por sobre el bombeo del último periodo de calibración del modelo. Es decir, bombeo del Escenario 1 menos bombeo del último año de calibración por 0,2 (Cuadro 9-16 y Cuadro 9-17).

	zona 2	zona 3	zona 4	zona 5	zona 6	zona 7	zona 8	Total
Área (m ²)	5600000	33890000	30340000	47510000	61410000	36440000	3130000	
Recarga base	0.0578	0.3568	0.3862	0.5559	0.3913	0.2743	0.0239	2.0464
Recarga extra	0.0009	0.0421	0.0092	0.0707	0.1101	0.0307	0.0012	0.2648
Recarga Escenario 1	0.0587	0.3989	0.3954	0.6266	0.5014	0.3050	0.0251	2.3112

Cuadro 9-16 Recarga por zonas de Escenario Base y Escenario 1 en [m³/s]

	zona 2	zona 3	zona 4	zona 5	zona 6	zona 7	zona 8
Recarga base	325.52	332.00	200.96	237.42	369.02	401.47	241.27
Recarga extra	5.18	39.16	56.54	26.53	46.91	9.52	12.01
Recarga Escenario 1	330.70	371.16	257.50	263.95	415.92	410.99	253.27

Cuadro 9-17 Recarga por zonas de Escenario Base y Escenario 1 en [mm/año]

CONDICIÓN INICIAL

La condición inicial de la simulación del Escenario 1 corresponde a los niveles calculados al final de la Calibración.

RESULTADOS

Se utilizaron 7 pozos de observación ficticios, además de los 5 pozos de observación de la DGA, para comparar la evolución de niveles y analizar sus tendencias (Figura 9-71).

Todos los pozos se estabilizan hacia el final del periodo de simulación, presentando en general descensos menores a 5 metros. Los pozos con mayor descenso corresponden a los pozos ficticios Améstica 1 y 2, los bajan alrededor de 13 metros. Otro pozo que muestra un descenso mayor es Fundo Lolenco que muestra un descenso máximo de aproximadamente 9 metros, el aumento de nivel hacia el final de la simulación se debe a pozos de bombeo que se seca.



Figura 9-71 Ubicación de pozos de observación DGA y ficticios, Escenario 1

BALANCE DE MASA

Flujos	(m ³ /s)
Recargas	
Recarga	2.263
Flujo subterráneo	0.063
Almacenamiento	0.006
Total recarga	2.331
Descarga	
Río	0.503
Dren	0.135
Flujo subterráneo	0.140
Pozos	1.543
Almacenamiento	0.001
Total descarga	2.321

Cuadro 9-18 Balance de masa Escenario 1

9.1.4.2 ESCENARIO 2

Periodo de simulación de 50 años considerando todos los derechos solicitados según lista oficial de la DGA hasta el expediente ND-1305-4286.

BOMBEO

Corresponde a 365 pozos con derechos solicitados hasta el expediente ND-1305-4286, según la lista DGA. el caudal total alcanza a 1,554 m³/s.

La ubicación de los pozos en el modelo siguió la misma metodología que en el Escenario 1, los pozos que se utilizan en ambos escenarios se ubican en las mismas coordenadas en el modelo (Figura 9-72).

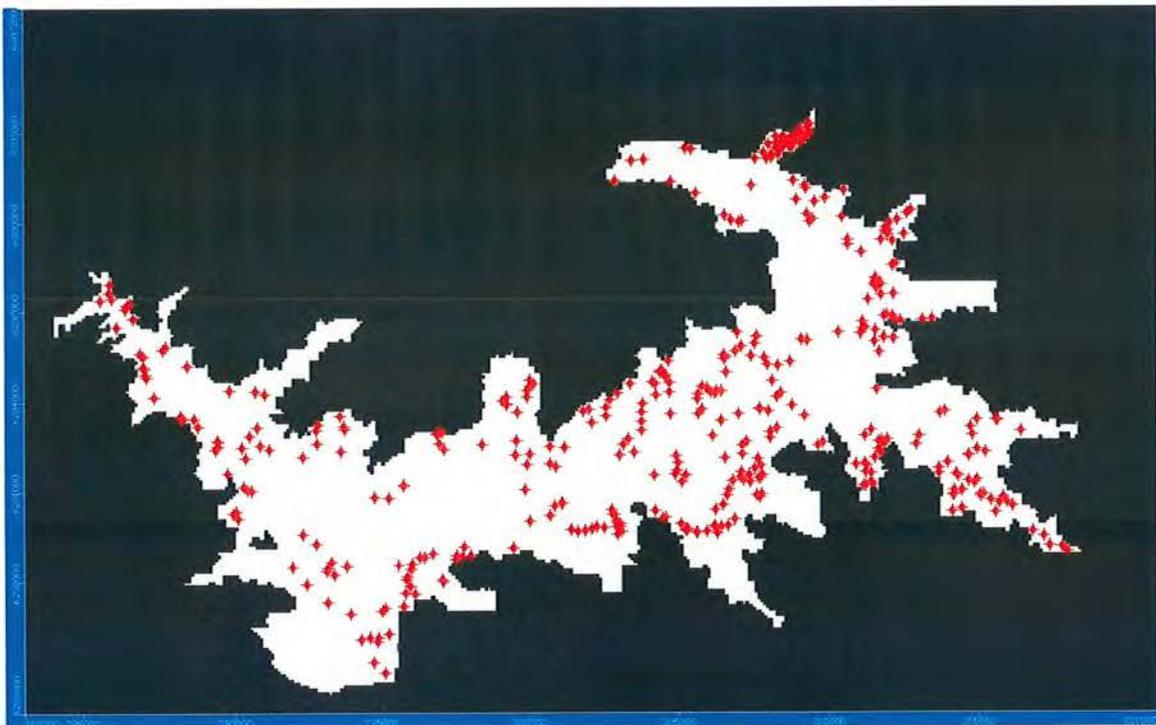


Figura 9-72 Ubicación de pozos de bombeo en Escenario 2

RECARGA

La recarga en el Escenario 2 de simulación corresponde a la recarga base del periodo de calibración más el 20% del bombeo adicional por sobre el bombeo del último periodo de calibración del modelo. Es decir, bombeo de Escenario 2 menos bombeo en último año de calibración por 0,2 (Cuadro 9-19 y Cuadro 9-20).

	zona 2	zona 3	zona 4	zona 5	zona 6	zona 7	zona 8	Total
Área (km2)	5.600	33.890	30.340	47.510	61.410	36.440	3.130	218.320
Recarga base	0.058	0.357	0.386	0.556	0.391	0.274	0.024	2.046
Recarga extra	0.001	0.038	0.009	0.070	0.098	0.030	0.001	0.246
Recarga Escenario 2	0.059	0.395	0.395	0.626	0.489	0.305	0.025	2.292

Cuadro 9-19 Recarga por zonas de Escenario Base y Escenario 2 en [m³/s]

	zona 2	zona 3	zona 4	zona 5	zona 6	zona 7	zona 8
Recarga base	325.52	332.00	401.47	369.02	200.96	237.42	241.27
Recarga extra	4.27	35.17	9.04	46.23	50.27	26.19	10.39
Recarga Escenario 2	329.80	367.17	410.51	415.24	251.23	263.62	251.66

Cuadro 9-20 Recarga por zonas de Escenario Base y Escenario 2 en [mm/año]

RESULTADOS

Se utilizaron 7 pozos de observación ficticios, además de los 5 pozos de observación de la DGA, para comparar la evolución de niveles y analizar sus tendencias. De los niveles obtenidos en la simulación del Escenario 2 se observa que todos los pozos alcanzan la estabilización. En general el descenso de los pozos es pequeño, menor a 5 metros, a excepción de los pozos Fundo Lolenco y Améstica 1 y 2, en los que la estabilización se alcanza con un descenso cercano a 10 metros.

BALANCE DE MASA

Flujos	(m3/s)
Recargas	
Recarga	2.244
Flujo subterráneo	0.061
Almacenamiento	0.005
Total recarga	2.310
Descargas	
Río	0.524
Dren	0.138
Flujo subterráneo	0.155
Pozos	1.484
Almacenamiento	0.001
Total descarga	2.303

Cuadro 9-21 Balance de masa Escenario 2

9.1.5 ANÁLISIS DE CRITERIOS DGA

9.1.5.1 DESCENSOS SUSTENTABLES EN EL TIEMPO

Los niveles calculados con el modelo en ambos escenarios se estabilizan en todas las áreas del modelo, cumpliendo con este criterio. En efecto, ningún pozo en ninguna de las dos simulaciones efectuadas, disminuyó más de 1 metro en los últimos 20 años, es decir, los descensos son sustentables en el tiempo.

9.1.5.2 INTERFERENCIA RÍO-ACUÍFERO

La afectación a los derechos superficiales del estero Puangue se calculó comparando la afectación con el caudal de 85% de excedencia del Nodo 55 (DGA/AC-2000).

Para esto se determinó el volumen aflorado neto (recarga menos descarga) en el estero más el dren en el periodo de calibración (enero de 1995 a diciembre de 1999) y en el periodo de simulación. Ambos volúmenes se dividieron por el tiempo de simulación correspondiente para obtener los caudales (Cuadro 9-22).

Periodo	Río	Dren	Total
Promedio calibración	0.991	0.451	1.442
Promedio Escenario 1	0.538	0.153	0.692
Promedio Escenario 2	0.560	0.163	0.723

Cuadro 9-22 Caudales aflorados netos en Escenario 1 y 2

La diferencia total entre el Escenario Base (Calibración) y los dos escenarios de simulación se comparó con el caudal anual de 85% de excedencia del Nodo 55, calculado utilizando la distribución de Weibull (Varas C. & Bois, 1998) y se determinó el porcentaje de afectación (Cuadro 9-23) según la siguiente fórmula:

$$\frac{\Delta Q}{Q_{NODO\ 55\ 85\%anual}} = Afectación$$

	Afectación del Río (ΔQ)	Caudal 85% Exc. Anual Nodo 55	Afectación %
Escenario 1	0.750	69.21	1.08
Escenario 2	0.719	69.21	1.04

Cuadro 9-23 Caudales y afectación al estero Puangue

En ambos escenarios la afectación está muy por debajo del 10% exigido, por lo tanto ambos escenarios cumplen con el criterio de interferencia río-acuífero. Es decir no hay afección a derechos de aprovechamiento de aguas superficiales derivados de la explotación del acuífero de Puangue Medio.

A pesar de que el análisis de este criterio debe realizarse con el caudal del Nodo 55, también se calculó la afectación siguiendo el mismo procedimiento realizado por la DGA en los informes técnicos S.I.T. 237 y S.D.T. 250.

El volumen aflorado neto y la afectación en m³/s es igual al cálculo anterior (Cuadro 9-22). La diferencia total entre el Escenario Base (Calibración) y los dos escenarios de simulación se comparó con el caudal promedio anual del Nodo 52 (DGA/AC-2000) y se determinó el porcentaje de afectación (Cuadro 9-24).

Escenario	Afectación del río (ΔQ)	Caudal Medio Anual	Afectación %
Escenario 1	0.750	7.80	9.62
Escenario 2	0.719	7.80	9.22

Cuadro 9-24 Afectación a estero Puangue utilizando los caudales del Nodo 52

En ambos escenarios la afectación es menor al 10% exigido, por lo tanto, también considerando la metodología usada por la DGA en el informe SDT N° 250, para ambos escenarios simulados se cumple con el criterio de interferencia río-acuífero. Es decir, no hay afección a derechos de aprovechamientos de aguas superficiales derivados de la explotación del acuífero de Puangue Medio.

9.1.5.3 SATISFACCIÓN DE LA DEMANDA

Para analizar este criterio de sustentabilidad se comparó el caudal ofertado, es decir, el caudal bombeado por el modelo en el último paso de tiempo, con el caudal demandado, caudal total de uso previsible para todos los pozos, para cada escenario (Cuadro 9-25). Se calculó el porcentaje de satisfacción de la demanda según la siguiente fórmula:

$$\frac{Q_{OFERTA}}{Q_{DEMANDA}} = \%$$

Escenario	Q Oferta (m ³ /s)	Q demanda (m ³ /s)	% satisfacción demanda
Escenario 1	1.543	1.634	94.41
Escenario 2	1.484	1.554	95.53

Cuadro 9-25 Caudal demandado, ofertado y satisfacción de la demanda Escenarios 1 y 2

Este criterio de sustentabilidad establecido por la DGA, exige como mínimo que la demanda por aguas subterráneas sea satisfecha en un 95%. Del Cuadro 9-25, se puede observar que para ambos escenarios simulados, la satisfacción de la demanda es del orden del 95%, con lo cual este criterio de sustentabilidad también se cumple.

9.1.5.4 POZOS SECOS

Para analizar este criterio se contaron los pozos secos al final de la simulación en los dos escenarios y se compararon con el total de pozos de bombeo, con lo que se calculó el porcentaje de pozos secos.

$$\frac{N_{POZOS\ SECOS}}{N_{TOTAL\ POZOS}} = \% \text{ pozos secos}$$

Escenario	Pozos secos	Total de pozos	% pozos secos
Escenario 1	12	571	2.10
Escenario 2	7	352	1.99

Cuadro 9-26 Porcentaje de pozos secos en Escenarios 1 y 2

El porcentaje es menor a lo exigido por el criterio de la DGA (menor a un 5%), por lo que se cumple con el criterio de pozos secos en los dos escenarios simulados.

9.1.5.5 AFECTACIÓN A OTROS ACUÍFEROS

Para analizar este criterio se compararon la recarga y la descarga subterránea en el periodo de calibración y al final de los escenarios (Cuadro 9-27).

Escenario	Recarga Subterránea (m ³ /s)	Descarga Subterránea (m ³ /s)
Promedio calibración	0.051	0.242
Fin Escenario 1	0.063	0.140
Diferencia Esc 1	-0.012	0.102
Fin Escenario 2	0.061	0.155
Diferencia Esc 2	-0.010	0.087

Cuadro 9-27 Comparación recarga y descarga subterránea

El aumento en la recarga subterránea del sector acuífero de Puangue Medio implica que desde el sector acuífero Puangue Alto se aumenta la descarga subterránea. El aumento de la recarga es muy menor (incluso dentro del rango de incertidumbre de este tipo de modelos) alcanzando los 0,012 m³/s y 0,010 m³/s, en el escenario 1 y 2 respectivamente, por lo que no existe afectación en el sector acuífero del Puangue Alto.

Por otra parte existe una disminución de la descarga subterránea lo que implica que disminuye la recarga subterránea del sector acuífero Puangue Bajo. La disminución de la descarga subterránea hacia Puangue Bajo es de 0,102 y 0,087 m³/s en el escenario 1 y 2 respectivamente. Dado que los caudales son mayores a los estimados en el borde superior, se realizó una estimación de la afectación al estero en el Puangue Bajo.

La estimación se basó en el criterio más conservador posible, que supone que el total de la disminución de la descarga subterránea se verá reflejado en el afloramiento hacia el río.

Basado en lo anterior, se recalculó la afectación como la suma de la afectación calculada en el escenario 9 (1,32 m³/s) (DGA/DEP Explotación máxima-2006) y la disminución de la recarga subterránea (0,102 m³/s y 0,087 m³/s) dividido por el caudal del Nodo 53 (DGA/DEP Explotación máxima-2006) más la disminución de la recarga subterránea:

$$\frac{\Delta Q_{\text{aflorado ESC9}} + \Delta Q_{\text{descarga subt}}}{Q_{\text{MOSnodo}_{\text{prom anual}}}} = \% \text{afectación}$$

Escenario	Afectación Río Esc 9 (m ³ /s)	Disminución Descarga Subt. (m ³ /s)	Total Q afectación (m ³ /s)	Caudal Medio Anual (m ³ /s)	Afectación (%)
Escenario 1	1.320	0.102	1.422	16.32	8.71
Escenario 2	1.320	0.087	1.407	16.32	8.62

Cuadro 9-28 Re-cálculo de la afectación al estero Puangue en Puangue Bajo

En ambos escenarios el impacto sobre el estero en el acuífero de Puangue Bajo es menor al 10% exigido por el criterio, por lo que en ambos casos se cumple con este criterio.

Del análisis a lo anteriormente expuesto, se desprende que es posible la constitución de todos los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas que aparecen en el catastro de derechos y solicitudes facilitado por la DGA para la elaboración del presente estudio, en el marco de una exploración sustentable en el tiempo. En Anexo I se entrega el citado catastro.

9.1.6 RESUMEN Y CONCLUSIONES

9.1.6.1 RESPECTO DEL MODELO DE LA DGA

- El modelo utilizado por la DGA por su carácter regional no representa con el detalle suficiente el funcionamiento hidrogeológico del sector acuífero del Puangue Medio. en particular la relación entre el estero y el acuífero, y en la presencia de capas o estratos que definen dicho comportamiento.
- Dado el carácter regional del modelo de simulación hidrogeológico utilizado por la DGA para la resolución de las solicitudes de derecho de aprovechamiento de aguas subterráneas presentadas en el sector de Puangue Medio, es que presenta serias limitaciones técnicas, las cuales van más allá de las limitaciones normales de este tipo de instrumentos. Al respecto conviene destacar algunos de los antecedentes que justifican la aseveración anterior:
 - El modelo desarrollado por la DGA, se trata de un modelo que simplifica la estratificación vertical del acuífero, dejando en la dirección vertical una sola unidad hidrogeológica, esto, aunque los análisis hidrogeológicos disponibles por dicho Servicio son concordantes en concluir que habría una estratificación vertical importante en la hidrogeología del valle, con estratos superficiales de escasa permeabilidad asociados a depósitos de origen volcánico. De este modo, la modelación al considerar un acuífero homogéneo, altera en forma significativa la interacción río-acuífero, y el comportamiento de los aportes subterráneos. El modelo desarrollado por la DGA considera la representación del acuífero simulado con una sola capa, de tipo acuífero libre, no obstante que los propios informes de dicho Servicio reconocen que en la zona de Puangue Medio, se distinguen dos zonas acuíferas. La primera superficial, con un segundo estrato, ubicado subyaciendo el anterior. En ambas zonas aparece la existencia de intercalaciones de material permeable en matrices semipermeables e impermeables que origina napas de naturaleza confinada. Esto queda ratificado por la existencia de pozos surgentes en el sector de María Pinto.

Este aspecto es muy relevante para analizar el comportamiento de los sistemas acuíferos, dado que sus parámetros elásticos son muy diferentes, de igual modo su comportamiento y su relación con los cauces superficiales. Un acuífero confinado, como el que existe en la zona de María Pinto, no tiene una relación directa con los cauces superficiales y por lo tanto no produce la

afección sobre la cual la DGA ha determinado el caudal máximo de explotación sustentable del acuífero. Este aspecto resulta de especial relevancia en atención a que las razones que entrega la DGA para proceder a la denegación de solicitudes, se refieren a la posible afección de los derechos constituidos sobre aguas superficiales por la explotación del agua subterránea a nivel de acuífero.

- o En el sector acuífero de Puangue Medio, el modelo de simulación de la DGA no considera ninguna medición de contraste que permita calibrar los caudales que afloran, los sectores donde ellos se presentan y, en general, la relación río-acuífero. Al respecto, el único contraste con caudales medidos se realiza en un tramo del río Maipo, sin relación con el sector de interés para este informe. De ese modo, es imposible determinar el tramo del estero Puangue donde se presentan afloramientos y su magnitud, y en consecuencia las eventuales afecciones a derechos sobre aguas superficiales en dicha zona. Al respecto se debe destacar que una calibración global como la realizada por la DGA, la que en el estero Puangue se apoya en los niveles freáticos de 6 pozos, no garantiza que en una sub-cuenca en particular el modelo reproduzca los flujos reales del sistema y su distribución espacial.
- o De acuerdo con estos antecedentes, se concluye que la reproducción de los niveles freáticos en algunos pozos resulta completamente insuficiente para definir el comportamiento del sistema río-acuífero, ya que se pueden lograr los mismos niveles con distintos valores de flujo y parámetros elásticos. Asimismo, se puede concluir que la calibración del modelo hidrogeológico desarrollado por la DGA es inadecuada para reproducir el verdadero patrón de afloramientos desde el acuífero y no constituye una herramienta que permita tomar decisiones relativamente seguras sobre la importancia de las afecciones que pudiera generar la explotación del acuífero.
- o No existen mediciones geofísicas que den información de la geometría del acuífero y en consecuencia de su capacidad de transmitir flujos en forma subterránea hacia las secciones de aguas abajo.
- o Los parámetros elásticos utilizados en la calibración se alejan considerablemente de los valores informados en el análisis hidrogeológico previo de la propia DGA. por ejemplo, se señala que existirían zonas de Puangue Medio que presentarían permeabilidades entre 17,3 y 864 m/d, sin embargo, la calibración se realiza con valores entre 8,6 y 43,2 m/d.

- o Finalmente resulta destacable mencionar que los propios informes de la DGA indican que el modelo desarrollado para la toma de decisiones es conservador, y, en consecuencia, estaría subvalorando la real explotación que se puede realizar desde el acuífero. Es así como en los propios informes de la DGA, se menciona que en general, los niveles de agua subterránea del sector del Puangue Melipilla, según los registros históricos que monitorea dicho Servicio, reflejan para el valle una tendencia estable, a pesar del uso del agua subterránea en el valle. Los niveles han permanecido estables a través de los últimos 20 años en la mayoría de los pozos entre los 0 y 5 metros.
- Lo anterior permite concluir que la estimación del caudal que es posible otorgar como derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el sector acuífero Puangue Medio realizada por la DGA, es conservadora subvalorando los caudales factibles de explotar y presenta una alta incertidumbre.

9.1.6.2 RESPECTO DEL NUEVO MODELO CONSTRUIDO

- Se construyó un nuevo modelo numérico hidrogeológico, que además de ser calibrado en el mismo periodo que el modelo de la DGA (1995-1999), fue validado con información de nuevos pozos y con 9 años más de registros del comportamiento del nivel de la napa (2000-2008).
- Los modelos conceptual y numérico se basaron en una completa revisión de los antecedentes disponibles, más una serie de trabajos de terreno realizados especialmente para este estudio.
- El modelo fue construido utilizando dos capas o layer, representando de manera más precisa el funcionamiento del sistema acuífero y su relación con el estero.
- El modelo confeccionado demostró ser una herramienta confiable para predecir el comportamiento del acuífero frente a distintos escenarios de explotación.

9.1.6.3 RESPECTO DE LOS CRITERIOS DE LA DGA

Además de las limitaciones técnicas que presenta el modelo de simulación hidrogeológico desarrollado por la DGA para la resolución de las solicitudes presentadas en el acuífero del Puangue, también se presentan dos aspectos que presentan vacíos técnicos y legales y que inciden directamente en la aplicación de los resultados obtenidos por la DGA. uno dice relación con que la DGA considera, sin base técnica ni jurídica para ello, que el caudal justificado en base a la Memoria Explicativa es equivalente al "uso previsible" del derecho a

otorgar; y el otro, con el punto de control utilizado para determinar el efecto de la explotación de las aguas subterráneas del Puangue Medio, sobre los derechos superficiales del estero.

APLICACIÓN DEL CONCEPTO DE "USO PREVISIBLE" VERSUS MEMORIA EXPLICATIVA

El concepto de "uso previsible", es un concepto eminentemente técnico y viene a representar las condiciones de explotación media de las captaciones de aguas subterráneas en el largo plazo, ya que ellas se utilizan por determinados periodos de tiempo, y no en forma continua a perpetuidad. En efecto, para una actividad cualquiera, como por ejemplo la actividad agrícola, los pozos se utilizan generalmente algunos meses en el año y difícilmente se explotan por más de 8 horas diarias, debido a los requerimientos hídricos del cultivo o plantación; inclusive, en algunos casos las aguas subterráneas se emplean como complemento de recursos superficiales solamente en periodos de déficit y como complemento al riego superficial; también hay captaciones destinadas al respaldo del suministro de aguas o solo para situaciones de emergencias. De este modo la extracción media de largo plazo desde el acuífero será sustancialmente menor a la extracción máxima autorizada (Derecho de Aprovechamiento).

Por su parte la "Memoria Explicativa" permite establecer un límite superior a las solicitudes, por esta razón para obtener la constitución de un derecho de aprovechamiento basta que se justifique la necesidad máxima requerida, ya que ello fija un límite superior al caudal a otorgar y da razonabilidad a la demanda. Al respecto, resulta de toda lógica autorizar el derecho de aprovechamiento por la demanda máxima requerida ya que no sería aceptable dejar sin abastecer puntualmente el requerimiento justificado de un usuario. Cabe destacar que, los caudales y volúmenes contenidos en la Tabla de Equivalencia utilizada por la Autoridad para relacionar fines y caudales, supera ampliamente lo requerido según el comportamiento medio de los usuarios, en consecuencia dichos valores representan el límite superior de lo requerido según el tipo de actividad asociada, y por consiguiente no representan el "uso previsible" del derecho de aprovechamiento, el cual corresponde a la extracción media de largo plazo desde el acuífero. En consecuencia, suponer que los "usos previsibles" de los derechos de aprovechamiento quedan representados por los caudales necesarios justificados mediante la Memoria Explicativa, puede conducir a escenarios completamente alejados de la realidad e inclusive absurdos, como sería el abastecimiento continuo de demandas que tienen una variación estacional o que se usan solo en determinados periodos o en casos de emergencias.

Con dicha interpretación se genera una subutilización de las aguas subterráneas ya que no se otorgarían todos los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas disponibles y

susceptibles de ser concedidos en un marco de sustentabilidad y de conservación y protección de los acuíferos, dejando con ello demandas insatisfechas injustificadamente; con el consecuente perjuicio para el desarrollo del país. Con la aplicación de dicho criterio en muchos acuíferos del país deberían haberse dejado de constituir derechos aprovechamiento en la década de los 80's o 90's, impidiendo así el desarrollo de múltiples actividades productivas que se han desarrollado sobre la base de la explotación de las aguas subterráneas en Chile.

PUNTO DE CONTROL PARA VERIFICAR LAS POSIBLES AFECCIONES A DERECHOS DE AGUAS SUPERFICIALES DERIVADOS DE LA EXPLOTACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.

El modelo de simulación utilizado por la DGA para la toma de decisiones en el acuífero de Puangue Medio, considera como sección de control para determinar las posibles afecciones a los derechos de aguas superficiales del estero, el punto ubicado en la intersección del estero Puangue con el estero La Higuera (Nodo 52 MOS de la DGA).

Este aspecto resulta relevante dado que la DGA considera que la restricción al uso de las aguas subterráneas del acuífero no proviene de una insuficiente disponibilidad de recursos hídricos para sostener el nivel de explotación del agua subterránea del valle del estero Puangue, y en particular del sector de Puangue Medio, sino exclusivamente de la obligación de respetar los derechos de aguas superficiales del sector.

Considerando que el elemento crítico lo constituye la aplicación del criterio de no afección a los derechos de aguas superficiales, es importante establecer cuáles serían esos derechos que es necesario proteger. Aguas abajo del punto donde se ha hecho la estimación de la afección a los derechos de aprovechamiento de aguas superficiales (Nodo 52), sólo existen constituidos derechos permanentes por caudales importantes, del orden de los 3 m³/s, en las proximidades del Canal San Diego (DGA, SDT 145), ubicado 15 kilómetros aguas abajo del Nodo 52. Dado que dicho punto se ubica a más de 15 kilómetros aguas debajo de la sección de control considerada, dispone de recursos hídricos sustancialmente superiores a los del Nodo 52, ya que en el trayecto el estero Puangue recibe importantes aportes de los esteros afluentes y desde el acuífero, todo lo cual se refleja en la estación fluviométrica Estero Puangue en Ruta 78.

De acuerdo a lo anterior, el caudal en el Nodo 52 no representa los caudales disponibles para los derechos de aprovechamiento de aguas superficiales que realmente existen hacia aguas abajo y en consecuencia no corresponde que sea utilizado como sección de control para verificar las posibles afecciones a los derechos de aguas superficiales, derivadas de la explotación del acuífero de Puangue Medio.

En conclusión y según el análisis efectuado en detalle en el Capítulo 6.3.2 (Capítulo de informe de Geohidrología Consultores), el criterio de afección a derechos de agua superficiales tendría que ser aplicado en un punto de control ubicado aguas abajo del Nodo 52, en este caso en el río Maipo, en el Nodo 55 del modelo MOS (Maipo en Cabimbao), y no en el Nodo 52 como lo aplicó la DGA.

9.1.6.4 RESPECTO DE LOS RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

- Se realizaron dos escenarios de simulación:
 - *Escenario 1*: periodo de simulación de 50 años, considerando todos los derechos subterráneos solicitados según la lista oficial de la DGA. Son 571 pozos, con un caudal total de explotación previsible igual a 1,634 m³/s.
 - *Escenario 2*: periodo de simulación de 50 años, considerando todos los derechos subterráneos solicitados según la lista oficial de la DGA, hasta el expediente ND-1305-4286. Son 365 pozos, con un caudal total de explotación previsible igual a 1,554 m³/s.
- El resultado de las simulaciones demostró que se cumplen todos los criterios que utiliza la DGA para garantizar una explotación sustentable en el largo plazo, en ambas simulaciones, a saber:

1. Descensos sustentables en el tiempo

Como se observa en las figuras presentadas, los niveles calculados con el modelo, son sustentables en el tiempo para ambos escenarios, dado que se estabilizan en todas las áreas del modelo, cumpliendo así con este criterio. En efecto, ningún pozo en ninguna de las dos simulaciones efectuadas, disminuyó más de 1 metro en los últimos 20 años, es decir, los descensos son sustentables en el tiempo.

2. Interferencia río-acuífero

De acuerdo con el análisis efectuado en el Capítulo 6.3.2 (Capítulo de informe de Geohidrología Consultores), el impacto de la extracción de aguas subterráneas sobre los derechos de aguas superficiales debe hacerse en el Nodo 55 (Maipo en Cabimbao), y cuyo resultado se muestra en el Cuadro 9-29

	Afectación del Río (ΔQ)	Caudal 85% Exc. Anual Nodo 55	Afectación %
Escenario 1	0.750	69.21	1.08
Escenario 2	0.719	69.21	1.04

Cuadro 9-29 Afectación al río, Escenarios 1 y 2.

Como se puede apreciar, en ambos escenarios simulados no hay afección a derechos de aprovechamientos de aguas superficiales derivados de la explotación del acuífero de Puangue Medio, dado que el efecto está por debajo del 10% exigido por la DGA, por lo tanto ambos escenarios cumplen con el criterio de interferencia río-acuífero.

A pesar de que el análisis de este criterio debe realizarse con el caudal del Nodo 55, también se calculó la afectación siguiendo el mismo procedimiento realizado por la DGA en los informes técnicos SIT 237 y SDT 250, en el Nodo 52 (Cuadro 9-30).

Escenario	Afectación del río (ΔQ)	Caudal Medio Anual	Afectación %
Escenario 1	0.750	7.80	9.62
Escenario 2	0.719	7.80	9.22

Cuadro 9-30 Afectación al estero Puangue, escenarios 1 y 2

En ambos escenarios el impacto es menor al 10% exigido, por lo tanto, también considerando la metodología usada por la DGA en informe SDT N° 250, para ambos escenarios simulados se cumple con el criterio de interferencia río-acuífero. Es decir, no hay afección a derechos de aprovechamiento de aguas superficiales derivados de la explotación del acuífero de Puangue Medio.

3. Satisfacción de la demanda.

Este criterio de sustentabilidad establecido por la DGA, exige como mínimo que la demanda por aguas subterráneas sea satisfecha en un 95%. Del Cuadro 9-31 se puede observar que para ambos escenarios simulados, la satisfacción de la demanda es del orden del 95%, con lo cual este criterio de sustentabilidad también se cumple.

Escenario	Q Oferta (m ³ /s)	Q demanda (m ³ /s)	% satisfacción demanda
Escenario 1	1.543	1.634	94.41
Escenario 2	1.484	1.554	95.53

Cuadro 9-31 caudal demandado, ofertado y satisfacción de la demanda, escenarios 1 y 2

4. Pozos secos

Para cumplir con este criterio, la DGA exige que el porcentaje de pozos secos sea menor a un 5%. De lo indicado en el Cuadro 9-32 se desprende que se cumple con el criterio de pozos secos en los dos escenarios simulados, ya que el porcentaje de pozos secos está muy por debajo de lo exigido.

Escenario	Pozos secos	Total de pozos	% pozos secos
Escenario 1	12	571	2.10
Escenario 2	7	352	1.99

Cuadro 9-32 Porcentaje de pozos secos, Escenarios 1 y 2

5. Afectación a otros acuíferos

El aumento en la recarga subterránea del sector acuífero de Puangue Medio implica que desde el sector acuífero Puangue Alto se aumenta la descarga subterránea. El aumento de la recarga es muy menor (incluso dentro del rango de incertidumbre de este tipo de modelos) alcanzando los 0,012 m³/s y 0,010 m³/s, en el escenario 1 y 2 respectivamente, por lo que no existe afectación en el sector acuífero del Puangue Alto.

Por otra parte, existe una disminución de la descarga subterránea hacia el Puangue Bajo de 0,102 m³/s y 0,087 m³/s, en cada Escenario 1 y 2 respectivamente, en el Cuadro 9-33 se muestra el efecto de esta disminución sobre el Puangue Bajo.

En ambos escenarios el impacto sobre el estero en el Puangue Bajo es menor al 10% exigido, por lo que en ambos casos se cumple con este criterio.

Escenario	Afectación Río Esc 9 (m ³ /s)	Disminución Descarga Subt. (m ³ /s)	Total Q afectación (m ³ /s)	Caudal Medio Anual (m ³ /s)	Afectación (%)
Escenario 1	1.320	0.102	1.422	16.32	8.71
Escenario 2	1.320	0.087	1.407	16.32	8.62

Cuadro 9-33 Efecto del bombeo en Puangue Medio sobre Puangue Bajo

- En base a lo anteriormente expuesto, es posible concluir que en el sector acuífero de Puangue Medio, es factible la constitución de todos los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas que aparecen en el catastro de derechos y solicitudes facilitado por la DGA para la elaboración del presente estudio (ver Catastro en Anexo I), en el marco de una explotación sustentable en el tiempo, dado que se cumple con todos y cada uno de los criterios de sustentabilidad que utiliza la DGA en este tipo de evaluaciones.

9.2 COMENTARIOS Y OBSERVACIONES AL MODELO NUMÉRICO DE GEOHIDROLOGÍA

1. El método de prospección geofísica TEM no es un buen método para determinar la profundidad de la roca en la Cuenca de Puangue Medio. Esto, debido a que el acuífero presenta una gran cantidad de capas de arcilla con altos porcentajes de humedad. La arcilla húmeda se transforma en un buen conductor que captura gran parte de la energía de la onda electromagnética, impidiendo que avance en profundidad. Por tanto para poder pasar estas pantallas, es necesario aplicar mayor energía con un loop mayor. Esto tiene el inconveniente de que se pierde definición en la parte superior, no pudiendo definir con claridad los diversos estratos que componen el subsuelo de la parte alta. No se indica cuales fueron los trabajos adicionales para sortear estos inconvenientes.

Geohidrología sólo muestra los resultados del perfil TEM N° 20, de salida de la cuenca. En él se puede notar que a partir de los 100 metros de profundidad, medidos desde la superficie de terreno, las resistividades son constantes, mostrando que no es posible medir con claridad más allá de esa profundidad.

No se indica si se realizó una calibración con la estratigrafía de sondajes cercanos ni se muestran los otros cinco perfiles, ni la ubicación de las estaciones, ni el tamaño de los loops.

Se indica que los resultados de las prospecciones geofísicas se utilizaron para determinar la ubicación de los distintos estratos del subsuelo, y definir con esto los límites de las unidades hidrogeológicas y la profundidad del acuífero. Sin embargo, dado los inconvenientes que presenta el método en este sector, no se sabe cuáles fueron los criterios utilizados para definir la ubicación de estos estratos de suelo, ni en cuantos de los seis perfiles lograron determinar la presencia de roca, que permite tener una idea de la geometría del embalse subterráneo.

2. Solo en el perfil geológico Perfil 1, aparece en superficie la Ignimbrita Pudahuel en contradicción con el mapa geológico de SERNAGEOMIN donde muestra que la Ignimbrita Pudahuel cubre gran parte del acuífero de Puangue Medio.
3. No se explica cuál fue el criterio para definir las profundidades del acuífero, son muy pocos los pozos que llegan a roca, y no son suficientes para extrapolar a todo el dominio del acuífero esa información.

No existen prospecciones gravimétricas desde donde se pudiera inferir información, sólo se utiliza a modo de hipótesis, que el basamento rocoso debe aflorar en los bordes de la superficie acuífera, pero no se menciona, ni se muestra información, que permita decidir cuál es la profundidad del acuífero en otras zonas distintas a los borde.

1. Las condiciones de borde de nivel constante impuestas al modelo numérico de flujo subterráneo realizado por Geohidrología, no permiten establecer si existe o no afección a otros acuíferos producto de la explotación del acuífero de Puangue Medio.

En efecto, la condición de nivel constante impuesta para la entrada y la salida del modelo, implica que para el horizonte de largo plazo (50 años), en donde se deben observar los efectos de la explotación, las condiciones de la frontera (nivel) de los acuíferos jamás cambiarán, por tanto el flujo de salida o entrada al acuífero de Puangue Medio estará circunscrito solo a la actividad interna del acuífero de Puangue Medio, aislando los efectos de los acuíferos vecinos (Puangue Alto y Puangue Bajo) sobre el acuífero de Puangue Medio. Suponer esto en el largo plazo, es un error.

Sin embargo, es posible considerar, que, la condición de nivel constante entre el acuífero de Puangue Alto y Puangue Medio, no genera tanta discrepancia como la conexión entre el acuífero de Puangue Medio con el acuífero de Puangue Bajo.

En efecto, debido a la singularidad hidrogeológica de la conexión entre el acuífero de Puangue Alto y Puangue Medio, en donde hay un estrechamiento, se presenta un flujo base pequeño debido al área de la sección pequeña y gradiente hidráulico casi plano desde el lado del acuífero de Puangue Alto. De manera que el flujo inducido por la operación del acuífero de Puangue Medio, se tiende a sobrestimar utilizando un nivel constante en su frontera, sin embargo sigue siendo de baja magnitud con respecto a los valores de recarga considerados.

Por otro lado, considerar un nivel fijo en la salida de Puangue Medio, impide saber con exactitud cuánta agua puede entrar proveniente de la frontera, si existen cambios en las condiciones de nivel de aguas abajo, como por ejemplo, si el canal Mallarauco no recarga más al acuífero de La Higuera.

Entonces, mantener continuidad con los acuíferos vecinos, permite evitar este tipo de problemas y adicionalmente los flujos entres ellos se relacionan de una manera directa y natural.

2. El modelo de Geohidrología considera sólo dos capas, las que no representan adecuadamente la conceptualización realizada en los estudios CNR/IPLA-1984 y DGA/AC-2000, los que señalan que la Ignimbrita Pudahuel se presenta en el valle del estero Puangue desde aproximadamente al sur de la localidad de Lolenco y más allá de los límites del acuífero de Puangue Medio. (Figura 4-1 y Figura 7-15), generando con esto semi-confinamiento y confinamiento en la parte media-baja del valle de Puangue Medio, constituyéndose la parte alta (Unidad Puangue 2) en una de las zonas de recarga al acuífero confinado de buenas propiedades hidrogeológicas. Mientras que en la zona sobre el acuífero confinado, se tiene un acuífero de poca potencia y de baja permeabilidad sobre el cual descansa el lecho del estero Puangue en ese tramo. DGA/AC-2000 sugiere tres capas para conceptualizar a los acuíferos del estero Puangue, pero también se puede lograr este mismo efecto con dos capas, las que en la zona sobre Lolenco debería presentar la conductividad vertical el mismo valor que las conductividades horizontales. Esto no ocurre en el modelo de Geohidrología el cual presenta un valor de conductividad vertical equivalente al 10% de la horizontal.
3. La conceptualización de los drenes, en el modelo de Geohidrología, es incompleta. En efecto, los drenes que conforman el sistema La Laguna y otros, drenan los sectores aledaños a la localidad de Lolenco, en donde, las condiciones y propiedades de los suelos no permiten conducir con rapidez la recarga producida por el canal Las Mercedes en esa zona. La red de drenaje permite extraer los excesos del acuífero y derrames de riego de la zona, los que son conducidos por estos drenes hasta su descarga en el estero Puangue. En su trayecto, las aguas son utilizadas para regar otras zonas de riego. Incluso después de la descarga del dren La Laguna en el estero Puangue, existen usuarios que tienen derechos sobre estas aguas y que las captan desde el estero Puangue (Res DGA RM 28 de 1990, Bomba Hurtado:400 l/s, capta en estero Puangue las aguas del dren La Laguna). Cuánta de esta agua recarga el acuífero superficial en la zona Media-Baja del Valle de Puangue Medio, no lo sabemos porque no se incorpora este concepto. Por otra parte, la conductancia de estos drenes fue calibrada con valores de caudales bajos (alrededor de 400 l/s), tomados de los aforos realizados por la DGA en el periodo de intervención de parte del estero Puangue, en el que ocurrió una sequía severa. Sin embargo, existen aforos del dren la Laguna que superan los 1.000 l/s.
4. El modelo no reproduce el patrón de afloramientos mostrado en el mapa de equipotenciales del informe de Geohidrología, el cual muestra que en el último tramo, aguas abajo de la localidad de María Pinto, se producen afloramientos. En

tanto, el modelo de Geohidrología, produce afloramientos en el tramo N° 7 de zonas de balance, ubicado aguas arriba de la zona mostrada por el mapa de equipotenciales del modelo conceptual.

5. La metodología para la determinación de la recarga inducida no tiene relación con la conceptualización del acuífero ni con las prácticas de riego de la zona. En efecto, un aumento del bombeo produce un aumento en la infiltración y/o también una disminución del flujo subterráneo de salida. Este caso se puede dar en el acuífero de Puangue Medio. también es claro que el monto de la recarga inducida es variable y depende de la tasa de bombeo, pero también depende del agua disponible para recargar.

Geohidrología en su planteamiento impone dos hechos que no son del todo correctos. El primero, es aceptar que si aumenta el bombeo, este aumento se debe a una mayor demanda en el riego provocando un aumento de la recarga por este concepto. Sin embargo, de acuerdo a los datos de los Censos Agropecuarios de 1997 y 2007, la cuenca de Puangue Medio pasó de 11.662 hectáreas dedicadas a riego en 1997, a 13.892 hectáreas en el año 2007, con un aumento de la eficiencia de aplicación del riego de 43.3% en 1997 y de 53.8% y con un consumo a nivel de cultivo de 3.291 l/s en 1997 a 4.037 l/s en 2007. Las áreas de menor eficiencia de riego se ubican bajo la cota de los canales: Las Mercedes, El Parrón, Ranchillo y María Pinto, esta área total (incluyendo ciudades, poblados, caminos y áreas no cultivadas) asciende a 18.078 hectáreas, si suponemos que la superficie agrícola corresponde al 80% de esta área, se tendrá un área potencial de riego de 14.463 hectáreas, aproximadamente el monto dedicado a riego en 2007. Por otra parte, se ha transformado el uso de muchos terrenos que podrían utilizarse en agricultura en sectores habitacionales (parcelas de agrado) lo que limita la expansión agrícola. Al año 2017 esta superficie de sectores de parcelas de agrado alcanzó las 2.385 hectáreas. En tanto, la superficie de riego sobre la cota de los canales Las Mercedes El Parrón, Ranchillo y María Pinto, en 2017 alcanzó 6.824 hectáreas, abarcando gran porcentaje de laderas de cerros. Esta superficie, por su naturaleza, posee una alta eficiencia en el riego y por tanto un bajo nivel de recarga. De los datos del Censo Agropecuario, se deduce que el caudal de riego utilizado durante el año 1997 alcanzó en promedio 7.583 l/s y del año 2007, 7.504 l/s, manteniéndose casi constante el caudal utilizado+, indicando que la expansión de la superficie agrícola se produjo en zonas de mayor eficiencia, es decir, por sobre la cota de canales. De aquí se sigue, que en el futuro queda poca superficie para dedicarla al riego, y que la superficie que se pueda agregar será por sobre la cota de canales implicando mayor eficiencia y menor recarga al acuífero, por tanto la

recarga al acuífero, por concepto de riego, no aumenta linealmente con el aumento de la superficie de riego. Además existe un límite de caudal que entra al sistema de Puangue Medio, dado por la capacidad del Canal Las Mercedes;

El segundo hecho, es que en el periodo de validación, para calibrar el porcentaje del caudal del bombeo adicional que se utilizará como recarga inducida, se exigió que los niveles calculados por el modelo en el periodo de validación alcanzara el nivel observado. Este hecho induce a considerar que el estado del sistema cambiará levemente en el largo plazo, pues siempre ingresará un volumen de recarga directamente proporcional al bombeo utilizado, logrando artificialmente que la variación de almacenamiento sea despreciable, cual no ocurre como fue explicado en el párrafo anterior.

6. No se ha conceptualizado el efecto que tiene sobre la recarga los canales perimetrales: Las Mercedes, El Parrón, Ranchillo y María Pinto.

En efecto, el canal Las Mercedes, cuya obra data desde el año 1884, ha estado recargando el acuífero de Puangue Medio por más de 130 años. Su longitud dentro del valle del Puangue alcanza los 100 kilómetros, desde su salida en la Central Carena hasta su descarga en las últimas zonas de riego a la salida del valle de Puangue Medio.

Construido en las laderas de los cerros, este canal cumple con tres importantes funciones: primero la de conducir las aguas de regadío; segundo por su ubicación estratégica, capta los escurrimientos superficiales provocados por las lluvias, conduciéndolos hacia la salida de la cuenca; y tercero recarga los acuíferos de Puangue Medio, tanto el superior como el inferior, debido a que su lecho se conecta tanto con el relleno superior como con el inferior en la zona próxima al contacto roca-relleno.

En época de riego, recarga el acuífero con aguas provenientes del río Mapocho, y en invierno recarga el acuífero con aguas provenientes de la lluvia que cae sobre las cuencas laterales del valle, estas aguas caen el canal y escurren por el mismo, provocando infiltración que se incorpora a los dos acuíferos, superficial y profundo. Se sigue entonces, que el aporte directo de cuencas laterales a los acuíferos de Puangue es escaso y que las aguas superficiales generadas en estas cuencas laterales son llevadas rápidamente a través del canal hacia la salida de la cuenca. Lo mismo sucede con los canales El Parrón, Ranchillo y María Pinto que cumplen esta misma función en las laderas del lado sur de la cuenca.

10 MODELO CONCEPTUAL DEL ACUÍFERO DE PUANGUE MEDIO

10.1 DELIMITACIÓN DEL ACUÍFERO DE PUANGUE MEDIO

La cuenca que contiene al acuífero de Puangue Medio se extiende desde el cruce de la Ruta 68 con el estero Puangue, hasta la confluencia de los esteros Puangue y La Higuera. Su superficie alcanza unos 623 km² (62.265 hectáreas), y el área que cubre el relleno sedimentario alcanza alrededor de 300 km² (30.010 hectáreas) (Figura 10-1). La superficie acuífera, por tanto, corresponde al 49% de la superficie de la cuenca. Esta superficie fue delimitada utilizando el modelo de elevación digital ASTER GDEM para la zona, con resolución de pixel de 30 por 30 metros, considerando, además, pendientes de superficie inferiores a 21°, con la finalidad de abarcar parte de la zona acuífera, que hoy en día, se ha extendido hacia los faldeos de los cerros que conforman la cuenca (Figura 10-2).

Aunque se ha tratado de abarcar el máximo de superficie cultivada en la actualidad, el criterio de corte sobre la pendiente de superficie no ha sido suficiente, pues en zonas de la parte sur de la cuenca, con exposición solar norte, ha superado el área delimitada para el acuífero. Sin embargo, estas áreas, por su ubicación, no presentan cualidades acuíferas de importancia.

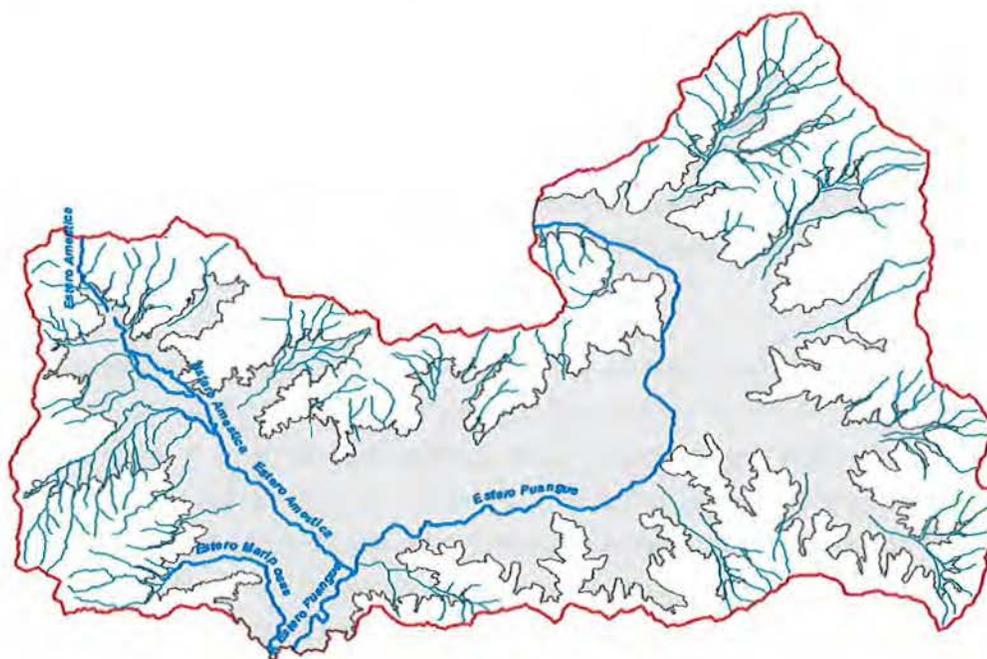


Figura 10-1 Cuenca y relleno sedimentario del acuífero de Puangue Medio

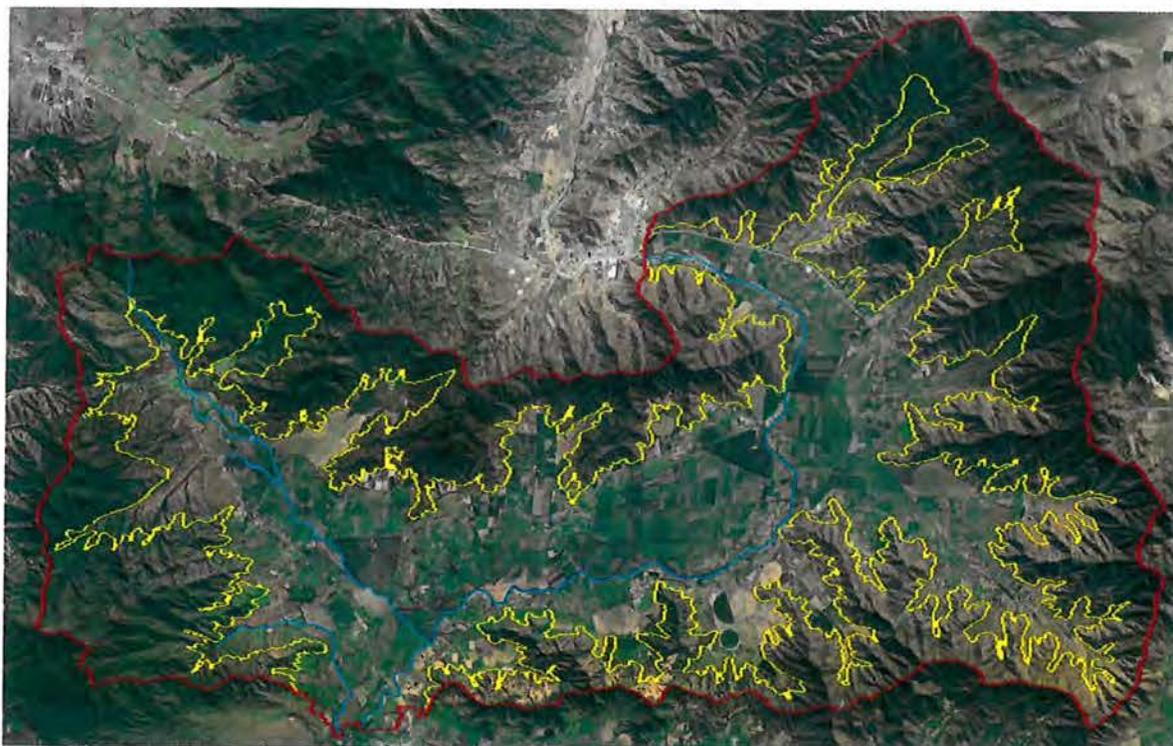


Figura 10-2 Cuenca y acuífero de Puangue Medio sobre imagen satelital de Google Earth

10.2 SUPERFICIES DE RIEGO Y SUPERFICIES URBANAS

El recorrido de los canales: Las Mercedes, El Parrón, Ranchillo y María Pinto, encierra una potencial superficie de riego bajo sus cotas, del orden de 18.078 hectáreas (Figura 10-3). Aproximadamente un 20% de esta superficie la conforman: caminos, lechos de escurrimientos superficiales, poblados y ciudades. De manera que la potencial superficie de riego bajo canal es de alrededor de 14.462 hectáreas.

Actualmente, se han incorporado 6.824 hectáreas de riego sobre la cota de los canales mencionados anteriormente. Existiendo en esta zona, una alta tecnificación en la aplicación del agua de riego, y, por tanto, una alta eficiencia. Esto debido principalmente a la obligación de elevar el agua que riega estas zonas. Se sigue entonces, que el aporte como recarga al acuífero, desde estas áreas, es muy bajo.

Cabe mencionar también, que se ha generado una expansión inmobiliaria en la zona nororiental de la cuenca de Puangue Medio, más precisamente, en la quebrada de Miraflores y la quebrada de El Escorial, a través de la proliferación de parcelas de agrado, las cuales

ocupan una superficie aproximada de 2.385 hectáreas. Esto reduce en unas 1.241 hectáreas, la potencial superficie de riego. Quedando entonces, al interior del acuífero de Puangue Medio delimitado para este estudio, una superficie potencial total, actualmente en uso, de alrededor de 20.045 hectáreas. Superficie que no cubre toda el área que delimita el acuífero.



Figura 10-3 Superficie de riego bajo y sobre canal (Las Mercedes, El Parrón, Ranchillo y María Pinto)

Considerando las superficies del acuífero que no están en uso, el total de hectáreas dedicadas al riego podría llegar a unas 26.583 hectáreas. Sin embargo, si se ocupan superficies, de mayor pendiente, en laderas de cerros, se ha estimado que el área de riego debería crecer como máximo un 33% más, alcanzando como máximo 33.196 hectáreas para uso agrícola.

10.3 GEOLOGÍA DE SUPERFICIE Y DE SUB SUPERFICIE

Los procesos geológicos incluidos en la formación de los acuíferos del Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común de la cuenca de Puangue Medio, han depositado sedimentos fluviales, coluviales y una capa importante de depósitos de cenizas, denominada Ignimbrita Pudahuel (Figura 10-4).

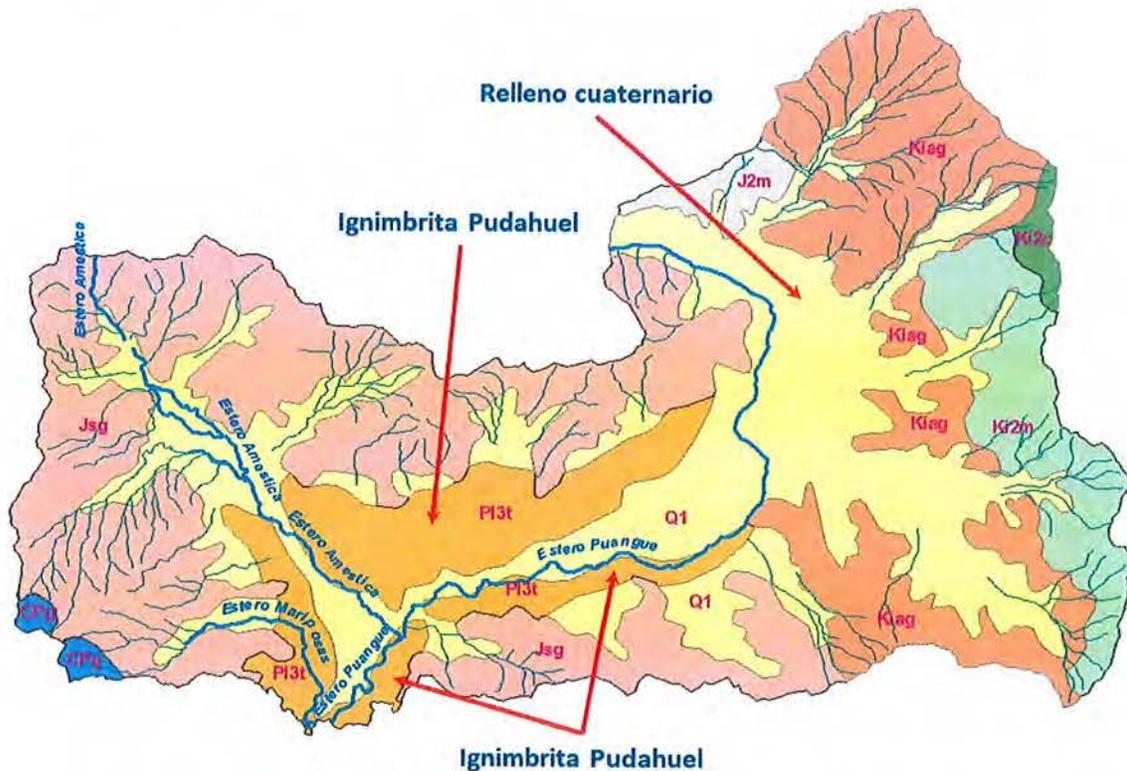


Figura 10-4 Geología de la cuenca de Puangue Medio

De acuerdo al reporte CNR/IPLA-1984, la zona de Puangue Medio, se caracteriza por rellenos sedimentarios que sobrepasan los 90 metros. La estratigrafía de los sondajes considerados permite distinguir básicamente 2 zonas acuíferas. La primera más superficial, hasta una profundidad de unos 40 metros aproximadamente, y una segunda zona ubicada por debajo de la anterior. En ambas zonas aparecen intercalaciones de material permeable (grava, arena gruesa y fina) en matrices semipermeables o francamente impermeables que originan napas de naturaleza confinada. Los estratos acuíferos abarcan espesores que van desde un par de metros hasta los 5 o 10 metros, aunque ocasionalmente se observan estratos permeables con potencias superiores a 15 metros. También se establece que la potencia del relleno disminuye paulatinamente hacia los valles laterales.

Un pozo del perfil B-B (Figura 4-2) ubicado en el sector de Santa Inés cortó roca a los 50 metros, confirmando la disminución de la potencia del acuífero hacia los bordes de los cerros, apreciándose también en este mismo pozo la existencia de una sola capa acuífera conformada por capas de maicillo mezclado con arcilla en variadas proporciones, y la presencia de una napa libre.

Por su parte, en base a información estratigráfica de sondajes de la cuenca del estero Puangue el estudio DGA/AC-2000, permitió definir tres unidades (Unidad Puangue 1, Puangue 2 y Puangue 3), que se evidencian claramente desde los sectores altos hasta el sector de tributación del estero Pajonal al estero Puangue.

La *Unidad Puangue 1* corresponde a un conjunto de sedimentos finos que se disponen hacia la base de la secuencia sedimentaria y que se encuentra sobreyaciendo a la roca base de los rellenos. Se caracterizan por presentar una granulometría constituida por una fracción clástica mayor escasa, conformada por arenas y eventualmente gravas, y una abundante matriz formada básicamente por arcillas. Es posible notar que, a partir de los perfiles levantados, en la mayor parte del valle se desconoce la profundidad a la cual se dispone la roca basal y, consecuentemente, el espesor de la Unidad Puangue 1. Sin embargo, su continuidad a lo largo del valle es total, siendo detectada su existencia por la inmensa mayoría de los pozos utilizados.

En el área de María Pinto, se desconoce la posición de la roca basal; sin embargo, en función al ancho del valle y a la pendiente de sus vertientes, se estima para ésta una profundidad media de 180 m. Desde Los Rulos hacia aguas arriba, se estima una profundidad media de 150 m y desde dicha localidad hacia aguas abajo, la roca base se ubicaría, tentativamente, a unos 200 m de profundidad. En conformidad a lo anterior, se puede estimar una potencia media del orden de 120 m para la Unidad Puangue 1 en el tramo en comento.

De acuerdo a las características granulométricas de esta unidad, se estima para ésta una permeabilidad media de más o menos 0,09 m/d (9 cm/d).

La *Unidad Puangue 2*, se dispone sobreyaciendo a la Unidad Puangue 1 y corresponde a un nivel permeable cuya granulometría está constituida por una fracción clástica mayor formada por gravas y arenas gruesas con bolones y ripios subordinados y una matriz de arenas medias a finas con escasos finos. Esta unidad tiene muy buena continuidad desde el sector alto del valle hasta el sector de tributación de la quebrada del estero Améstica.

En este sector de tributación se advierte la presencia de un estrato lenticular, de granulometría similar a la de la Unidad Puangue 1, que se proyecta hacia la quebrada del estero Améstica. Este estrato no reposa sobre los sedimentos de la Unidad Puangue 1 sino que se intercala entre los depósitos de la Unidad Puangue 3 (que se describe más adelante), ya que corresponde a un estrato ubicado a relativamente poca profundidad.

En términos generales se puede aseverar que el espesor medio de la Unidad Puangue 2 alcanza a unos 30 m en el tramo que media entre las cabeceras y el sector donde se interdigita y acuña; en el sector terminal, su espesor medio es de más o menos 25 m. El espesor mayor detectado se ubica inmediatamente aguas abajo de la localidad de Curacaví, donde alcanzaría unos 45 metros.

Este estrato de gravas y arenas tiene su origen en la acción depositacional del estero Puangue, el que pierde energía en el sector de confluencia con el estero Améstica, generando el acuñamiento e interrupción parcial de la unidad.

Por sus características sedimentológicas se puede aseverar que esta unidad constituye un nivel acuífero cuya permeabilidad varía entre unos 0,9 a 9 m/d. Hacia el sector de cabeceras se estima que ésta corresponde al valor mayor indicado y que en el sector bajo la permeabilidad media sería cercana al valor menor.

Por su parte la *Unidad Puangue 3* corresponde a un depósito constituido por arenas finas con abundantes arcillas y limos, que se dispone hacia el techo de la secuencia sedimentaria. En el sector alto de la cuenca se presenta sobreyaciendo a los sedimentos de la Unidad Puangue 2 y en el sector de confluencia de la quebrada Améstica sobreyace, directamente, sobre los depósitos de la Unidad Puangue 1 (Perfil Longitudinal Puangue).

Es probable que el origen de este conjunto de sedimentos sea mixto, vale decir, en parte responde a los aportes provenientes de las vertientes del valle principal y tributarios y en parte corresponde a los sedimentos distales provenientes de estos últimos.

El mayor espesor detectado por un sondaje corresponde a los aproximadamente 50 m acusados por el pozo de coordenadas N 6.286.920 - E 293.930 (Perfil Longitudinal Puangue). Sin embargo, es probable que éste aumente hacia el nororiente, como lo muestra el perfil longitudinal. Desde este último sector, hacia aguas arriba, se advierte una gradual disminución de la potencia, hasta tener una expresión discontinua en el sector alto de la cuenca.

En el extremo distal del perfil longitudinal se advierte también una clara tendencia a disminuir fuertemente el espesor, tal como lo acusa el pozo de coordenadas N 6.278.630 - E 292.740, que indica que su espesor no supera los 5 m. Hacia el sector de tributación del valle del Puangue al antiguo valle del río Maipo este nivel termina desapareciendo ya que no se advierte en el perfil LMI1.

Estos finos sedimentos no sólo se advierten en el valle del estero Puangue, sino que también aparecen, con buena continuidad, en los valles tributarios de los esteros Améstica y La Higuera, como lo muestran los perfiles transversales TP4 y TP5.

De acuerdo a las características granulométricas de estos sedimentos, se estima para ellos una permeabilidad media entre 0,009 a 0,09 m/d). Esto transforma a esta unidad en un medio de escaso atractivo hidrogeológico.

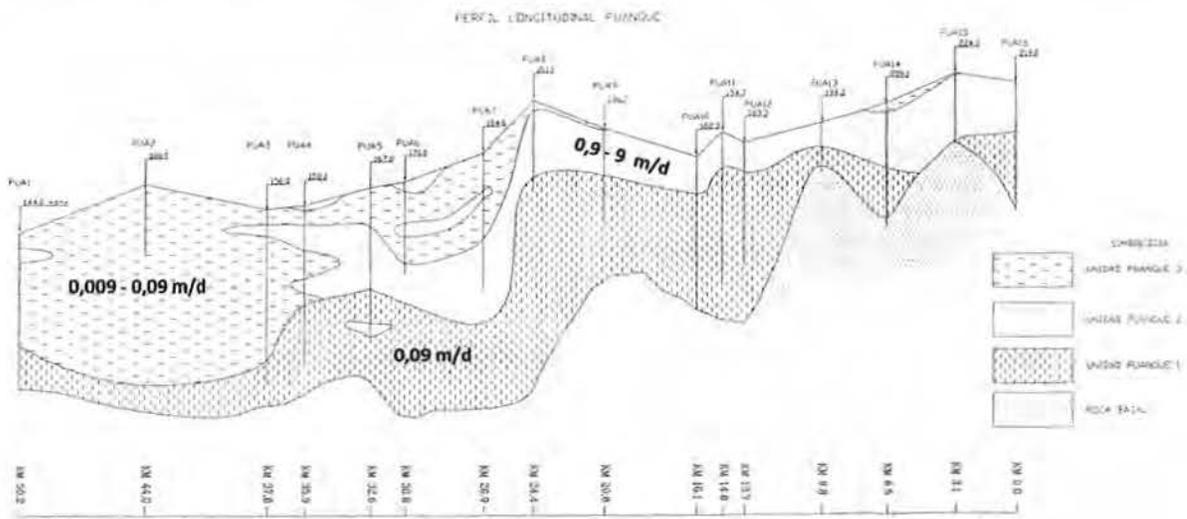


Figura 10-5 Unidades hidrogeológicas y permeabilidades en Puangue (tomado de CNR/GEOfUN-2001)

Por su parte, los perfiles geológicos mostrados en el reporte de Geohidrología-2009 muestran que a la entrada del acuífero de Puangue Medio el acuífero es libre con la presencia bien definida de dos estratos, uno superior compuesto de gravas y arenas y de menores permeabilidades bajo el primero compuesto de arenas y arcillas. Esto es coincidente con lo analizado por DGA/IPLA-1984 y DGA/AC-2000. Geohidrología-2009 define un espesor para el primer estrato de unos 50 metros y para el estrato inferior de unos 40 metros de potencia.

En tanto, el perfil transversal N°1, ubicado en el sector de Bustamante, frente a la Patagüilla, muestra una parte superior, de 40 metros de potencia, de arenas medias, arenas gruesas y gravas medias en una matriz de arcillas y arenas finas, bajo la cual se presentan intercalaciones de gravas gruesas, bolones y arenas gruesas de buenas propiedades acuíferas en una matriz de arcillas y arenas finas para luego terminar en la parte más profunda con una matriz de arcillas y arenas finas de baja permeabilidad.

El perfil N° 2 del modelo Geohidrología-2009 muestra una capa de tosca, pomacita y yeso de unos 2 a 3 metros de espesor ubicada a una profundidad de unos 10 metros desde la superficie, la cual separa la capa de baja permeabilidad de la capa intermedia de buenas propiedades acuíferas. Por su parte el perfil N° 4 muestra los mismos tres estratos con la diferencia de que el lecho del estero descansa sobre una matriz de arenas medias y gruesas de mejores propiedades acuíferas.

En resumen, la información estratigráfica analizada por el estudio Geohidrología-2009, confirma la existencia de las tres unidades hidrogeológicas definidas en el estudio DGA/AC-2000, las cuales configuran acuíferos libres y confinados en Puangue Medio, tal como muestra la Figura 10-6, en donde la capa confinante es la formada por Ignimbritas y arcillas.

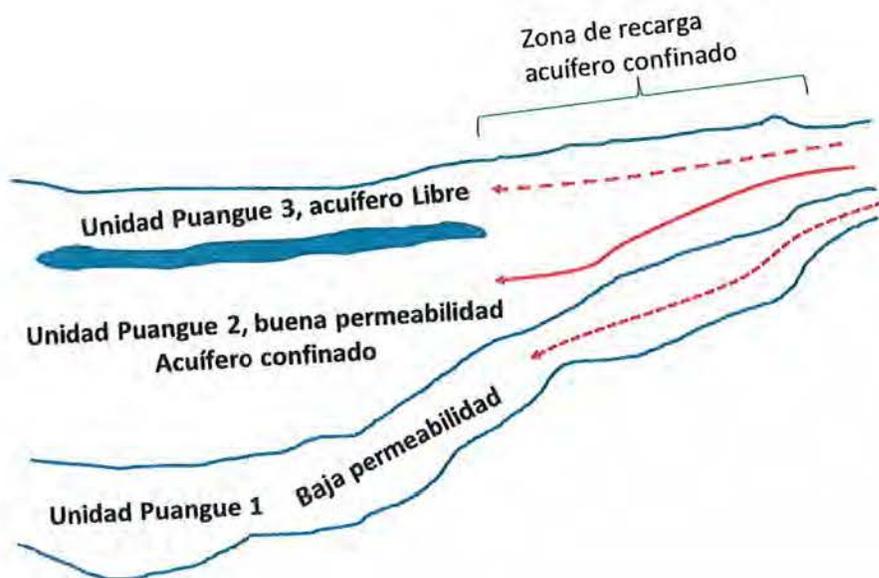


Figura 10-6 Esquema conceptual de la disposición de los acuíferos en Puangue Medio

10.4 DERECHOS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL ACUÍFERO DE PUANGUE MEDIO

De acuerdo al estudio realizado en el capítulo 5, en el acuífero de Puangue Medio existen al menos unas 683 captaciones de aguas subterráneas. El caudal total otorgado es de 4.221 l/s que corresponden a caudal posible de extraer de 298 captaciones. El 62% de estas captaciones (182) tienen un caudal otorgado inferior a 4 l/s, sumando un caudal otorgado total de 187 l/s. No existe información del número de captaciones informales en este sector acuífero, pero se sigue de la información anterior que estas captaciones del tipo noria extraerían sus aguas en la parte superficial del acuífero. Por tanto el 96% del caudal otorgado se extraería del acuífero más profundo. La Figura 10-7, muestra la distribución de las captaciones con caudales menores o iguales a 4 l/s en el acuífero de Puangue medio.

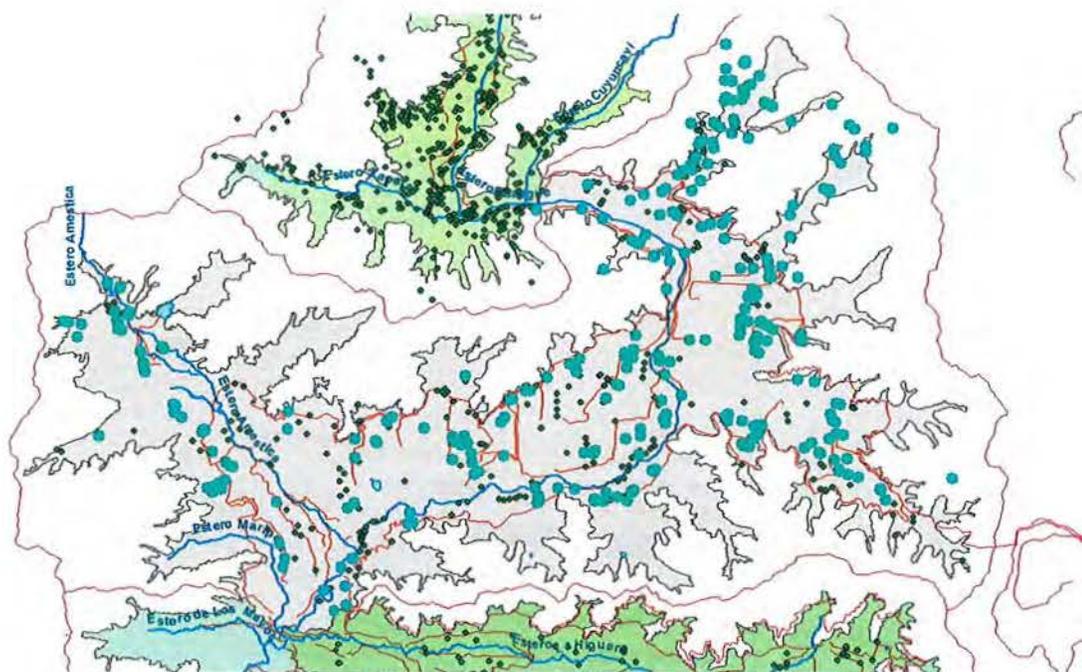


Figura 10-7 Distribución de captaciones con caudales menores o iguales a 4 l/s en el acuífero de Puangue Medio

10.5 EQUIPOTENCIALES Y FLUJOS SUBTERRÁNEOS

Las curvas equipotenciales muestran 3 zonas muy definidas de zonas de afloramientos (Figura 10-8), una de las cuales coincide con el último tramo del estero Puangue (Zona 2), se sigue entonces que éste último tramo del estero, es una zona de descarga del acuífero.

Por su parte, la Zona 1, es una zona de descarga sobre el este tramo del estero Améstica y cuya principal recarga la constituye las infiltraciones del Canal Las Mercedes, el canal perimetral del sector. Lo mismo sucede en la zona 3 (sector de la Patagüilla y Lolenco) en donde se producen importantes afloramientos debidos a la influencia del canal perimetral Las Mercedes. Estos afloramientos son drenados por el sistema La Laguna hacia el estero Puangue.

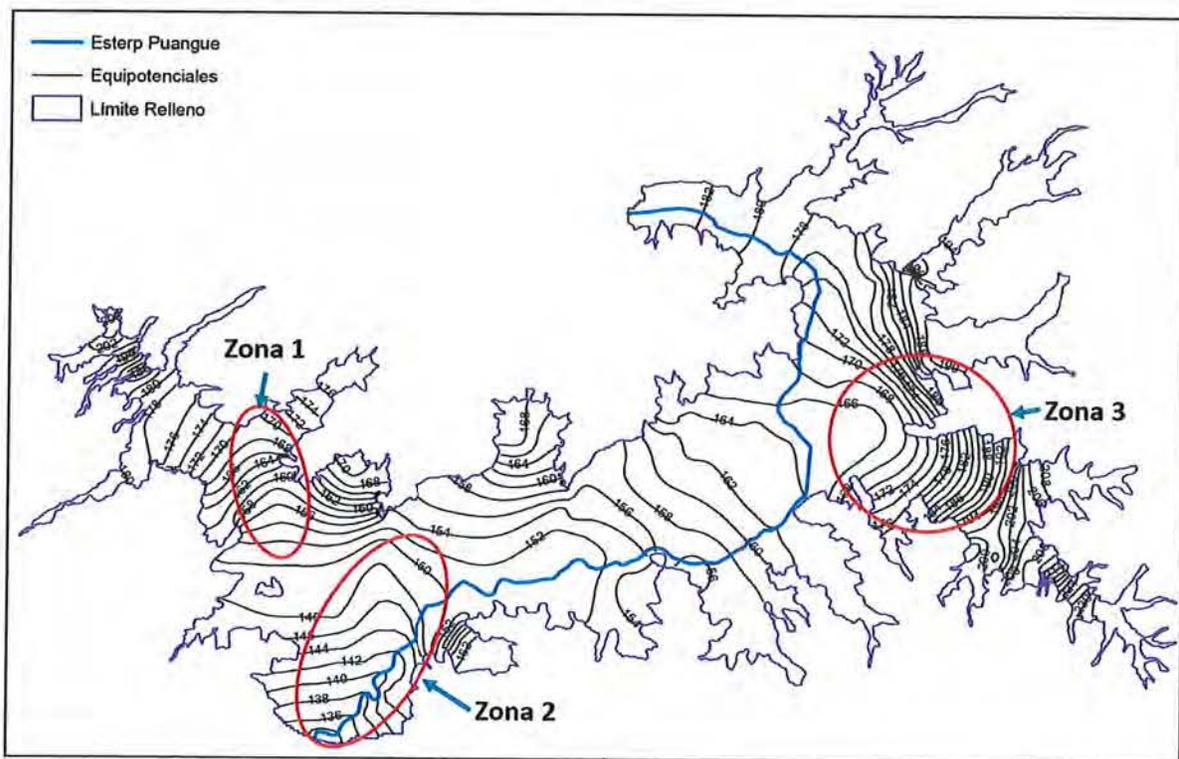


Figura 10-8 Curvas equipotenciales (Geohidrología-2009)

Por su parte la Figura 10-9, muestra los flujos determinados en el estudio del modelo de Geohidrología-2009, se eligieron tres secciones, entrada, medio y salida. Sus resultados muestran que la entrada de flujo subterráneo es pequeña de sólo 57 l/s, mientras que los flujos central y de salida superan los 250 l/s, este aumento de caudal se debe a la recarga

generada al interior de la cuenca de Puangue Medio debido a la influencia del Canal Las Mercedes.

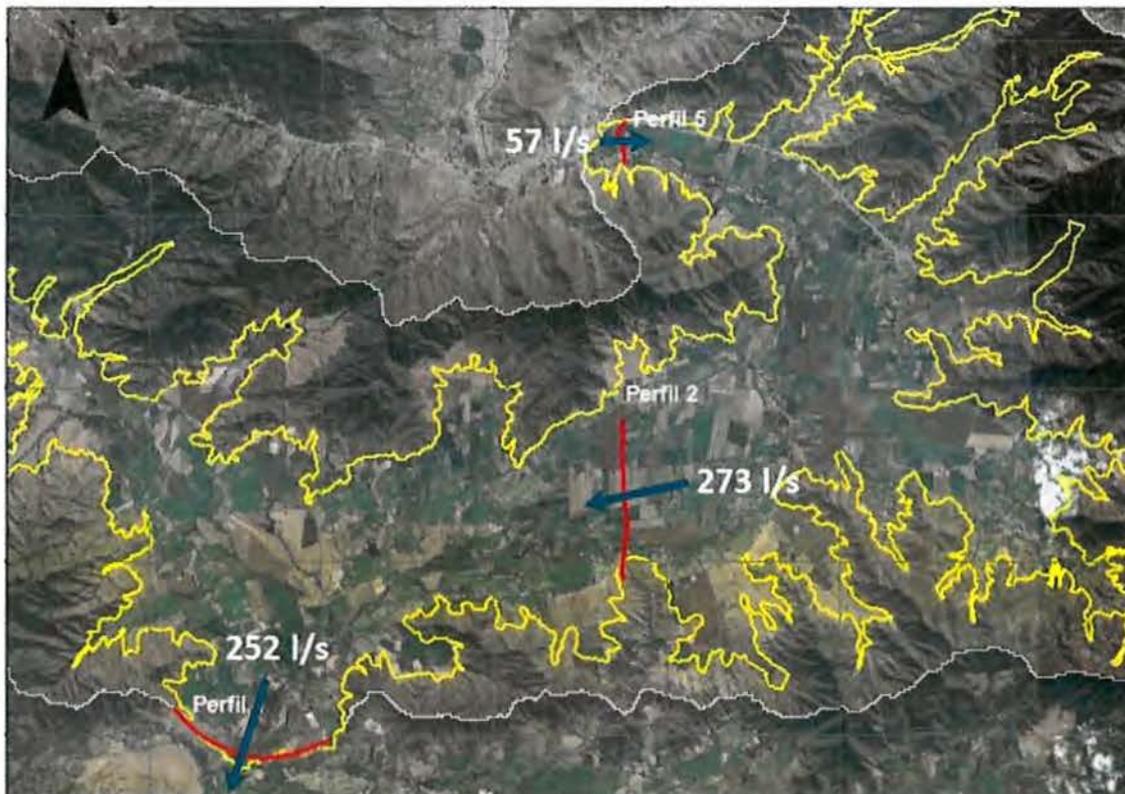


Figura 10-9 Perfiles geológicos utilizados para la determinación de flujos subterráneos de entrada y salida en el acuífero de Puangue Medio (modelo Geohidrología-2009)

Dado que los flujos son menores a la posible demanda real de aguas subterráneas (considerando factor de uso puede ser cercana a los 1.000 l/s), se sigue entonces que la demanda de aguas subterráneas se satisface desde el almacenamiento o a través de fuentes de recarga cercanas (recarga inducida)

10.6 CANALES PERIMETRALES Y RECARGA

El canal Las Mercedes constituye un canal perimetral de 100 kilómetros de longitud, que por su ubicación estratégica en los bordes de los cerros contribuye a la recarga directa de los acuíferos libres y confinados de Puangue Medio.

De igual forma los canales perimetrales El Parrón, El Ranchillo y María Pinto ubicados en la parte sur de la cuenca de Puangue Medio, por su ubicación estratégica en los bordes de los

cerros, contribuyen también a la recarga de los acuíferos libres y confinados de Puangue Medio.



Figura 10-10 Canal Las Mercedes a la salida de Canoa en la parte alta del acuífero de Puangue Medio

De igual forma los canales perimetrales El Parrón, El Ranchillo y María Pinto ubicados en la parte sur de la cuenca de Puangue Medio, por su ubicación estratégica en los bordes de los cerros, contribuyen también a la recarga de los acuíferos libres y confinados de Puangue Medio.

La recarga desde los canales perimetrales hacia los acuíferos de Puangue Medio se realiza a través del material granular grueso que une los acuíferos superficiales y profundos. Este material grueso proviene de los rellenos coluviales del sector.

La conexión con el acuífero confinado inferior de la parte baja de la cuenca, se produce debido al debilitamiento y fractura de la capa de ignimbritas por erosión en esta zona límite.

Los canales perimetrales captan casi la totalidad de la escorrentía de cuencas laterales en eventos de lluvia en época invernal. Contribuyendo con esto al control de la erosión de los suelos del valle central y a la conducción de las aguas lluvias hacia la salida de la cuenca a través de ellos. Ayudando también a la incorporación de agua a los acuíferos por infiltración de su lecho.

La zona libre de la parte de aguas arriba del sector de Lolenco constituye una zona de recarga para el acuífero confinado de la parte baja de la cuenca. Por tanto el acuífero confinado se recarga a través de los canales perimetrales y de esta zona.

En época de riego se aumenta la infiltración debido al riego de extensas superficies de terreno y al uso de la red interior de canales. Esto provoca, una elevación de los niveles del acuífero superior y derrames que alimentan canales y el cauce del estero Puangue.

Dada la naturaleza del sistema de riego, que trasvasa agua desde la cuenca del Mapocho a la cuenca de Puangue Medio, se tiene que la recarga total de Puangue Medio se compone de una recarga natural y otra parte artificial.

La recarga natural estimada como un 5% de la lluvia media anual sobre la cuenca alcanza los 370 l/s, la que incluye también 40 l/s de flujo subterráneo de entrada desde la cuenca de Puangue Alto.

11 ACERCA DE LOS CUESTIONAMIENTOS TÉCNICO-LEGALES PLANTEADOS POR AGRÍCOLA ARIZTÍA LIMITADA

Agrícola Ariztía ha presentado ante la DGA varios documentos con antecedentes y enfoques técnico-legales para lograr la aprobación de sus solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el sector acuífero de Puangue Medio.

La serie de documentos presentados, excluyendo el informe de Geohidrología que ya fue presentado en el capítulo 9, se puede resumir en cuatro: "Téngase presente"; "Se tenga presente sobre la sustentabilidad del acuífero"; "Solicita alzamiento de la declaración de área de restricción del subsector acuífero Puangue Medio"; y "Reconsideración de la Resolución D.G.A. N° 239, de 2011".

El primer documento: "Téngase Presente", ingresado a la DGA el 2 de julio de 2009, menciona que el criterio de afección a derechos de agua superficiales, no debería ser aplicado en el punto sobre el estero Puangue a la salida del acuífero, sino más bien en el punto ubicado en la estación fluviométrica Río Maipo en Cambimbao. Además, menciona que el modelo hidrogeológico de la DGA, utilizado para evaluar los afloramientos de aguas subterráneas presenta serias limitaciones, las cuales van más allá de las limitaciones normales de este tipo de instrumentos. Solicitando revisar el punto de aplicación del criterio de interferencia río-acuífero y la realización de estudios adicionales que se hagan cargo de los comentarios técnicos expuestos.

El segundo documento: "Se Tenga Presente sobre Sustentabilidad del Acuífero", ingresado a la DGA el 17 de septiembre de 2009, menciona se tengan presentes, al momento de resolver las solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, consideraciones relativas a la explotación sustentable de un acuífero, atendido lo prescrito en el Código de Aguas, para la constitución de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, cuya explotación debe considerar antecedentes técnicos de recarga y descarga y las condiciones de uso existentes y previsibles (Art. 147 bis), estimando necesario, que constituye un elemento relevante a considerar la diferencia entre las condiciones de uso previsible y el uso necesario.

El tercer documento: "Solicita alzamiento de la declaración de área de restricción del subsector acuífero Puangue Medio", ingresado a la DGA el 26 de septiembre de 2011, menciona que dada las nuevas investigaciones hidrogeológicas realizadas por Geohidrología Consultores Ltda., cuyos resultados muestran que el caudal sustentable del

acuífero de Puangue Medio es superior al caudal sustentable determinado por la DGA y que dio origen a la declaración de área de restricción. Y, qué, por tanto, no existen los riesgos que motivaron tal declaración, solicitando el alzamiento de la misma.

El cuarto documento: "Reconsideración de la Resolución DGA N° 239, de 2011", ingresado el 21 de noviembre de 2011, menciona que la consideración de la Resolución DGA N° 239 que ordena considerar en la determinación de la disponibilidad de un acuífero, el volumen deducido de utilizar el caudal autorizado todos los segundos del año para aquellos otorgamientos de derechos de aguas subterráneas realizados antes de la entrada en vigencia de la ley 20.017 que modificó el Código de Aguas, adolece de ilegalidad. Presentando argumentos técnicos y legales para demostrar tal situación y solicitar la reconsideración.

Los planteamientos, de los cuatro documentos, se transcriben a continuación, casi completamente, tal como fueron presentados, de manera de no afectar la línea argumental, para su respuesta.

11.1 TÉNGASE PRESENTE (2 DE JULIO DE 2009)

Venimos en hacer presente mayor información técnica que demuestra:

- La conveniencia de modificar el punto del río donde se han aplicado los criterios de no afección a los derechos de aguas superficiales de terceros.
- La insuficiencia de la información técnica actualmente disponible en relación a la complejidad del sistema hidrogeológico del Puangue Medio, y, en consecuencia, la necesidad de esperar la realización de estudios hidrogeológicos adicionales a los existentes antes de resolver.

11.1.1 DERECHOS DE APROVECHAMIENTO SOBRE AGUAS SUPERFICIALES DEL ESTERO PUANGUE.

En primer lugar, considerando que el elemento crítico del Informe Técnico S.D.T. N° 250 "*Evaluación de la Explotación Máxima Sustentable del Acuífero Puangue Melipilla*", lo constituye la aplicación por parte de la Dirección General de Aguas ("DGA") del criterio de no afección a los derechos de aguas superficiales, importa establecer cuáles serían esos derechos que es necesario proteger. Al respecto, de acuerdo a los informes de la DGA, en el estero Puangue se pueden distinguir, desde el punto de vista de los derechos de aguas superficiales, las siguientes secciones:

- La *Primera Sección* se extiende desde las nacientes del estero Puangue hasta el pueblo de Curacaví, en el punto donde es atravesado por el canal Las Mercedes. Esta sección recibe solamente los flujos naturales de la cuenca superior, los que son aprovechados completamente por diversos canales, de modo que, en los periodos de riego, el estero Puangue se seca al final del tramo. Esta sección corresponde al sector hidrogeológico de Puangue Alto.
- La *Segunda Sección* se extiende entre Curacaví y la bocatoma del canal Rosario y Tellery, frente al pueblo de María Pinto. Sus recursos hídricos provienen principalmente de los aportes que trasvasa, desde el río Mapocho, el canal Las Mercedes, el cual riega parte del sector y genera caudales de retornos y derrames que llegan al estero Puangue. Esta sección está organizada legalmente mediante una Junta de Vigilancia, que tiene bajo su jurisdicción los siguientes canales, con facultad de agotar entre ellos el estero cuando no existe suficiente disponibilidad de agua: Santa Rita, Santa Emilia, Cancha Rayada, María Pinto y Rosario-Tellery.

Otros caudales que ingresan a este tramo del estero son: la significativa descarga de la central Carena, que también aprovecha recursos del río Mapocho, y los recursos hídricos captados por el dren La Laguna, aunque este último es independiente del estero Puangue y tiene derechos y organización propias.

- La *Tercera Sección* se extiende aguas abajo de la bocatoma del Canal Rosario-Tellery, hasta la desembocadura en el río Maipo. En este tramo, el estero Puangue recibe los aportes de diversos esteros, entre los que se destacan los esteros: Améstica, Mariposas, La Higuera, Los Sauces, Pajonal, Peralillo, La Línea, Santa Amelia y San Diego, los que son alimentados por importantes derrames de las zonas regadas por los canales Las Mercedes (Améstica y Mariposas), Mallarauco (La Higuera), San José, Picano, Puangue y otros. En relación con los derechos de aprovechamiento de aguas en esta sección, se debe mencionar lo siguiente (DGA, 2003, SDT N° 145):
 - En el tramo que va desde el canal Rosario-Tellery al estero Améstica de acuerdo a dicho informe DGA sólo se habrían constituido en el río Puangue derechos de aprovechamiento de aguas por 206 l/s, los que son utilizados por Agrícola Ariztía Limitada. Cabe señalar que además en el mismo punto se aprovechan derechos de aprovechamiento de aguas trasladados desde aguas arriba por 128,67 l/s.
 - En el tramo del estero Puangue que se extiende entre sus confluencias con los esteros Améstica y La Higuera, existen algunos derechos de aprovechamiento de aguas menores, que suman un caudal de 670 l/s.
 - Desde el estero La Higuera hacia aguas abajo sólo se presentan derechos de aprovechamiento de aguas permanentes de un caudal significativo en las proximidades de la bocatoma del Canal San Diego, ubicado a 15 kilómetros aguas abajo de dicho punto, los que suman en total un caudal del orden de 3 m³/s.

En la Figura 11-1 se presenta un diagrama unifilar del sistema de distribución de agua de los sectores correspondientes a los acuíferos de Puangue Medio y Bajo.

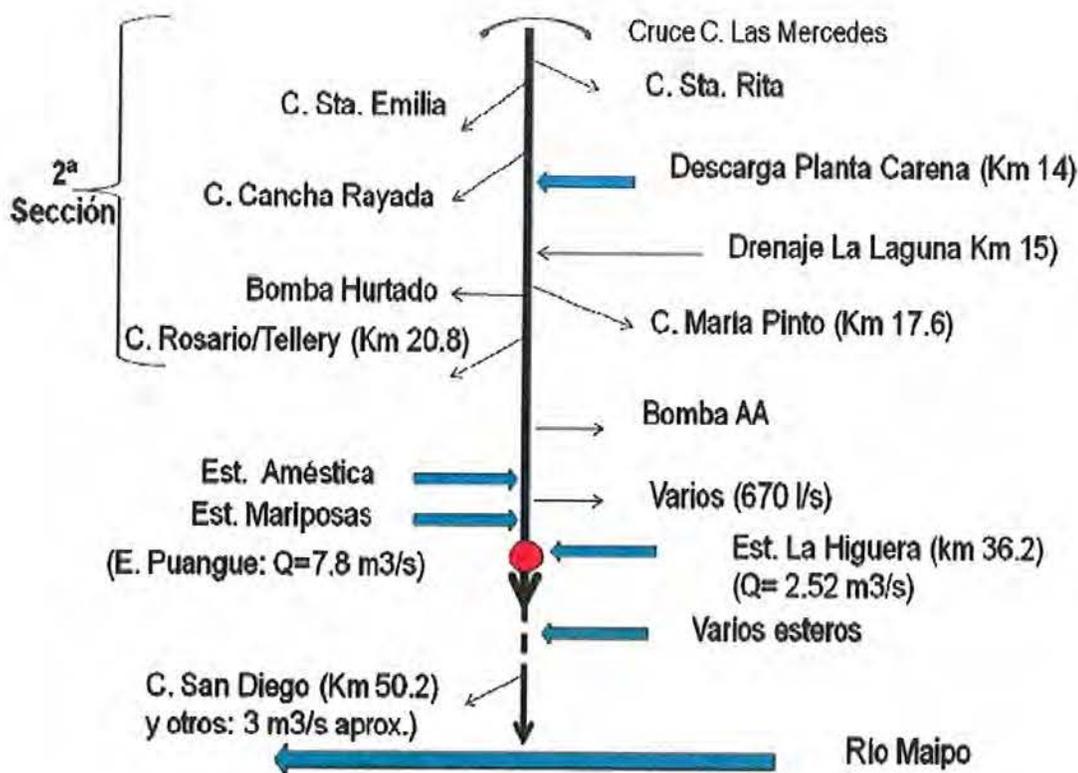


Figura 11-1 Diagrama unifilar del Estero Puangue 2da sección a desembocadura (Geohidrología-2009)

11.1.2 ANÁLISIS DE LA AFECCIÓN DE DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS DE TERCEROS CONSIDERADA POR LA DGA PARA RESTRINGIR LA EXPLOTACIÓN DE PUANGUE MEDIO

En los informes de la DGA se aplican los criterios de no afección a los derechos de aprovechamiento de aguas superficiales, restringiendo a un 10% la eventual reducción de los caudales en la junta de los esteros Puangue y La Higuera. Para ese propósito, se tomaron como referencia los caudales simulados en el Nodo 52 del modelo MOS (DGA-AC, 2000, SIT N° 62). Al respecto, cabe hacer los siguientes comentarios:

- Aguas abajo del punto donde se ha hecho la estimación de la afección (Nodo 52), sólo existen constituidos derechos de aprovechamiento de aguas permanentes por caudales del orden de los 3 m³/s, en las proximidades del Canal San Diego (DGA, SDT N° 145).

- Dicho punto se ubica a más de 15 kilómetros aguas abajo de la sección de control considerada por el Informe Técnico S.D.T. N° 250, de tal modo que dispone de recursos hídricos sustancialmente superiores a los del Nodo 52, ya que en este extenso tramo el estero Puangue recibe significativos aportes de los esteros afluentes, alimentados por derrames y descargas de importantes canales como el Mallarauco, San José, Picano, Puangue, entre otros, todo lo cual se refleja en la estación Estero Puangue en Ruta 78.
- De acuerdo con lo anterior, el caudal en el Nodo 52 no corresponde a los caudales disponibles para los derechos que realmente existen hacia aguas abajo y no debiera ser utilizado como sección de cierre.

Es importante destacar que los informes de la DGA concluyen que, en dichas secciones de aguas abajo, no se presenta una restricción para dar cumplimiento al criterio utilizado por la DGA de no afección del caudal pasante en más de un 10%, como se aprecia en el Cuadro 11-1, correspondiente al escenario final de la simulación (DGA, SDT N° 250).

SECTORES ACUÍFEROS	CAUDAL SUBTERRÁNEO DE EXPLOTACIÓN MÁXIMA (l/s)	AFECCIÓN AL CAUDAL PASANTE (%)
PUANGUE ALTO	484	10.0
PUANGUE MEDIO	1332	9.9
PUANGUE BAJO	300	8.1
LA HIGUERA	300	6.4
MELIPILLA	1200	0.7
CHOLQUI	221	14.3
POPETA	294	14.0

Cuadro 11-1 Estimación de afección (DGA, SDT N° 250)

- Por otra parte, los caudales simulados en el Nodo 52 (Q estero Puangue = 7,8 m^3/s , Q estero La Higuera = 2,5 m^3/s) que utiliza la DGA como referencia (DGA, SDT N° 250), son más que suficientes para abastecer los derechos de aprovechamiento permanentes efectivamente existentes en ese tramo del cauce (La Higuera a desembocadura). Esta conclusión también es compartida en el informe de la CNR/GEOFUN-2001 "Estudio Integral de Optimización del Regadío de la 3era Sección del Río Maipo y Valles de Yali y Alhué". Cabe destacar que el criterio establecido por la DGA en sus manuales está referido a aquellas situaciones en que

la reducción de los aportes desde el agua subterránea efectivamente afectan los derechos constituidos, lo que, de acuerdo a lo señalado, no sería el caso.

- Según este análisis, el criterio de afección a derechos de agua superficiales correspondería ser aplicado en un punto de aguas abajo, posiblemente en el río Maipo, en el Nodo 55 del modelo MOS.

11.1.3 VALIDEZ DE LA MODELACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE PUANGUE MEDIO UTILIZADA POR LA DGA

Según los antecedentes analizados, el modelo hidrogeológico utilizado para evaluar los afloramientos de aguas subterráneas presenta serias limitaciones, las cuales van más allá de las limitaciones normales de este tipo de instrumentos (si se considera como normal las limitaciones debidas por ejemplo a la incertidumbre en la determinación de los caudales de recarga, los retornos de riego, la estratigrafía y parámetros elásticos de los pozos, etc.) al respecto, conviene destacar los siguientes antecedentes que justifican la aseveración anterior:

- En Puangue Medio no se considera ninguna medición de contraste que permita calibrar los caudales que afloran, los sectores donde ellos se presentan y, en general, la relación río-acuífero. Al respecto, el único contraste con los caudales medidos se realiza en un tramo del río Maipo sin relación con el sector de interés para el informe. De este modo, es imposible determinar el tramo del estero Puangue donde se presentan afloramientos y su magnitud, y, en consecuencia, las eventuales afecciones a derechos sobre aguas superficiales en dicha zona. Al respecto, se debe destacar que una calibración global como la realizada, la que en el estero Puangue se apoya en los niveles freáticos de 6 pozos, no garantiza que en una subcuenca en particular el modelo reproduzca los afloramientos reales del sistema y su distribución espacial.
- No existe un balance hidrológico del sector con la información estadística mínima para validar el conjunto de los resultados obtenidos en la cuenca del estero Puangue, y en especial los flujos subterráneos y superficiales que entran y salen del sector de Puangue Medio.
- No existen mediciones geofísicas que den información de la geometría del acuífero y, en consecuencia, de su capacidad de transmitir flujos en forma subterránea hacia las secciones de aguas abajo.

- Los parámetros elásticos utilizados en la calibración se alejan considerablemente de los valores informados en el análisis hidrogeológico previo. Por ejemplo, se señala que existirían zonas de Puangue Medio que representarían permeabilidades entre 17,3 y 864 m/d; sin embargo, la calibración se realiza con valores entre 8,6 m/d y 43,2 m/d.
- Aunque los análisis hidrogeológicos son concordantes en concluir que habría una estratificación vertical importante en la hidrogeología del valle, con estratos superficiales de escasa permeabilidad asociados a depósitos de origen volcánico, la modelación considera un acuífero homogéneo, lo que altera en forma significativa la interacción río-acuífero y el comportamiento de los aportes subterráneos.

Además de estas insuficiencias en la calibración del modelo hidrogeológico, es conveniente comparar sus resultados con otros informes realizados en esa zona, algunos de los cuales si disponen de información medida:

- El informe DGA-IPLA (1993) "*Diagnóstico, disponibilidad y requerimientos de agua, Estero Puangue*", que incluye algunas corridas de aforo para el estudio de pérdidas y recuperaciones en la relación río-acuífero, señala que aguas arriba de La Higuera (hasta el puente Chorombo), aparentemente no existirían recuperaciones desde el río.
- El informe DGA-AC (2000) "*Estudio Modelo Hidrogeológico Operacional cuencas de los ríos Maipo y Mapocho*", modelo MOS y modelo Puangue (SIT N° 62), incluye una modelación específica del sector hidrogeológico de Puangue Medio hasta el estero Améstica. En esa ocasión se hizo un análisis detallado de la hidrogeología de la zona y se construyó un modelo que distingue tres unidades acuíferas que se desarrollan en la vertical, el cual se calibró considerando los resultados del MOS, y los niveles freáticos en distintos pozos. Es importante destacar que tanto el funcionamiento hidrológico como los flujos resultantes difieren sustantivamente de los obtenidos en la modelación que utiliza la DGA en la actualidad. En efecto, dicha modelación no entrega afloramientos de aguas subterráneas en el sector y los flujos subterráneos son considerablemente mayores a los que se obtienen en la modelación actual. En el Cuadro 11-2 se entrega un resumen comparativo entre ambos modelos, el que muestra claramente las diferencias mayores a que se hace referencia.

De acuerdo con estos antecedentes, se concluye que la reproducción de los niveles freáticos en algunos pozos resulta completamente insuficiente para definir el comportamiento del sistema río-acuífero, ya que se pueden lograr los mismos niveles con distintos valores de flujo y parámetros elásticos.

Asimismo, se puede concluir que la actual calibración del modelo de aguas subterráneas es inadecuada para reproducir el verdadero patrón de afloramientos desde el acuífero y no constituye una herramienta que permita tomar decisiones relativamente seguras sobre la importancia de las afecciones que pudiera generar la explotación del acuífero.

CONCEPTO	DGA-AC (2000)	DGA (2007)
Recarga desde zonas regadas	1.6 (m ³ /s) (50% de la calculada por MOS) (sg CNR-Geofun: recarga potencial 1.92 m ³ /s)	1.41 m ³ /s (calibración)
Q subt. entrada a Puangue Medio	2.8 (m ³ /s)	21 l/s (calibración)
Q subt. salida a Puangue Bajo	4.3 (m ³ /s)	41 l/s -94 l/s (calibración)
Permeabilidad (m/d)	9 – 800	9 - 43 (inconsistente con análisis hidrogeológico)
Afloramientos netos	No hay	1127 – 460 l/s
Límites modelo	Puangue Medio	Puangue – Melipilla
Estratificación	3 unidades	1 unidad
Calibración	Niveles freáticos; nivel constante entrada/ salida de Puangue Medio	Niveles freáticos; recuperaciones en Chiñigue-Melipilla; nivel constante El Monte y Cabimbao.

Cuadro 11-2 Comparación entre modelos

11.1.4 CONCLUSIONES

En virtud de lo expuesto, concluimos que los antecedentes disponibles y expuestos en este documento confirman que el sistema hidrológico del Puangue Medio es un sistema muy complejo y sobre el cual hay escasez de información técnica sólida. En consecuencia, los análisis y estudios efectuados recientemente por la DGA claramente no son suficientes para establecer que la explotación neta sustentable del acuífero Puangue Medio sea de

1.332 l/s, ni menos aún pueden ser utilizados como fundamento único para denegar solicitudes legalmente procedentes.

Por tanto, y en virtud de lo expuesto, junto con reiterar lo expuesto por esta parte con motivo de su recurso de reconsideración, respetuosamente, solicitamos a la Dirección General de Aguas tenga presente la necesidad de:

- Revisar el punto de aplicación del criterio de no afección a los derechos de aprovechamiento de terceros de aguas superficiales utilizado por la DGA.
- Realizar estudios hidrogeológicos adicionales, que se hagan cargo de todos y cada uno de los comentarios técnicos aquí expuestos, y que puedan servir de base técnica para determinar la explotación neta sustentable del acuífero Puangue Medio. Al respecto, como se puso en conocimiento de la Sra. Jefe del Departamento de Administración de Recursos Hídricos, Agrícola Ariztía Ltda., en conjunto con otros interesados, está haciendo importantes esfuerzos para mejorar el conocimiento hidrogeológico del acuífero Puangue Medio, para lo cual ha contratado la realización de un estudio hidrogeológico especializado que incluye labores de prospección geofísica, mediciones hidrológicas y preparación de un modelo de simulación del sector, estudio que hará llegar una vez que esté terminado, a la brevedad posible.
- Mantener vigente y en tramitación la solicitud de Agrícola Ariztía Limitada, y las demás relacionadas del mismo titular existentes en el mismo sector acuífero (ND-1305-795 / 921 / 922 / 923 / 924 / 925 / 926 / 1879 y 1880), hasta que no se cumplan copulativamente las siguientes condiciones:
 - i. Que se realicen los estudios hidrogeológicos adicionales antes señalados, y
 - ii. Que, definida la explotación máxima sustentable del acuífero de Puangue Medio, la DGA revise técnica y jurídicamente la procedencia de las solicitudes de terceros anteriores a la de Agrícola Ariztía Limitada, y efectivamente otorgue todos los derechos de aprovechamiento de aguas susceptibles de ser constituidos, ya sea en carácter de definitivos o provisorios.

11.2 SE TENGA PRESENTE SOBRE LA SUSTENTABILIDAD DEL ACUÍFERO (17 DE SEPTIEMBRE DE 2009)

Agrícola Ariztía Limitada, viene en solicitar que, en la tramitación del expediente citado, se tengan presente las siguientes consideraciones relativas a la explotación sustentable de un acuífero, es decir, apropiada para su conservación y protección en el largo plazo, atendido lo prescrito en el Código de Aguas, cuyo artículo 147 bis, inciso final, exige, para constituir derechos de aprovechamiento sobre aguas subterráneas, que la explotación apropiada del respectivo acuífero ha de considerar los antecedentes técnicos de recarga y descarga y las condiciones de uso existentes y previsibles.

En especial estimamos necesario tener presente que constituye un elemento relevante a considerar el referente a las *condiciones de uso previsibles*, el cual se diferencia del *uso necesario*.

La reforma del Código de Aguas introducida por la Ley N° 20.017 incorporó dos elementos a considerar en el proceso de asignación de derechos de aprovechamiento de aguas: uso necesario y uso previsible.

El concepto de *uso previsible* es diferente al de *uso necesario*.

11.2.1 USO NECESARIO

El *uso necesario* se consigna en el artículo 140 números 1 y 6, en el artículo 142 y en el artículo 147 bis inciso segundo.

Los números 1 y 6 del artículo 140 establecen claramente que la solicitud de todo derecho de aprovechamiento, a partir de cierto caudal, debe consignar "*aguas que se necesita aprovechar*" y "*cantidad de agua que se necesita extraer*". El artículo 142 inciso primero se refiere a los "requerimientos", lo que alude a lo "necesitado", distinto a lo "solicitado" y distinto a lo que se "desea". Asimismo, el inciso segundo del artículo 147 bis trata de la "*cantidad de agua que se necesita extraer, atendido los fines...*".

Por su parte, el artículo 147 bis que desarrolla los elementos que se deberán tener en cuenta para asignar los derechos de aprovechamiento, incluye estos dos conceptos: aplica el uso necesario y agrega el de uso previsible, sin confundir.

En efecto, el artículo 147 bis consta de cinco incisos.

El *inciso primero* responsabiliza al Director General de Aguas y, en casos especiales, al Presidente de la República, para constituir derechos de aprovechamiento.

El *inciso segundo* prescribe que, aunque haya recursos suficientes y no proceda remate, la DGA puede limitar el caudal de una solicitud de aprovechamiento, si manifiestamente no hubiere equivalencia entre la cantidad solicitada atendidos los fines indicados en la memoria explicativa con relación a los caudales considerados en la tabla de equivalencia entre caudales y usos en las prácticas habituales en el país, fijada por decreto supremo.

El *inciso tercero* señala que el Presidente de la República puede denegar parcialmente una solicitud, por requerirlo el abastecimiento de la población, o en caso de derechos no consuntivos.

El *inciso cuarto* agrega que, si en razón de la disponibilidad no es posible constituir el derecho en las condiciones solicitadas, la DGA puede constituirlo en cantidad o con características diferentes, si consta consentimiento del peticionario.

Como se advierte de los cuatro primeros incisos, el artículo 147 bis trata del otorgamiento del derecho de aprovechamiento, en especial, que la resolución respectiva puede alejarse de lo solicitado por el interesado, de manera que el aprovechamiento que se conceda puede ser menor o con características diferentes respecto de lo pedido por el solicitante. Así, la autoridad tiene atribuciones para limitar el caudal según la tabla de equivalencia o para denegar parcialmente la solicitud en algunos casos o para otorgar una cantidad o un aprovechamiento con características diferentes.

En síntesis, hasta ahí (incisos segundo, tercero y cuarto), el artículo se refiere y resume, en principio, la asignación del derecho de aprovechamiento considerando todas las circunstancias a que puedan dar lugar, para lo cual reúne las causales para dictar una resolución que concede el derecho de aprovechamiento con un contenido no ajustado exactamente a lo solicitado.

11.2.2 EL USO PREVISIBLE

En el contexto de los elementos que deben considerarse para conceder un aprovechamiento, a partir de la reforma de la Ley N° 20.017, se agregó también el inciso *quinto final*, que expresa:

“Sin perjuicio de lo dispuesto en los artículos 22, 65, 66, 67, 129 bis 1 y 141 inciso final, procederá la constitución de derechos de aprovechamiento sobre aguas subterráneas, siempre que la explotación del respectivo acuífero sea la apropiada para su conservación y protección en el largo plazo, considerando los antecedentes técnicos de recarga y descarga, así como las condiciones de uso existentes y previsibles, todos los cuales deberán ser de conocimiento público.”

Descriptivamente, este inciso resumió los elementos que corresponde tener presente para asignar derechos de aprovechamiento sobre aguas subterráneas: la asignación ha de considerar la relación entre las aguas superficiales y subterráneas en la hoya hidrográfica (Art. 22); la declaración de área de restricción para extracciones subterráneas (Art. 65); la limitación prudencial de derechos provisionales en áreas de restricción (Art. 66); la eventual transformación de derechos provisionales en definitivos (Art. 67); el caudal ecológico mínimo (Art. 129 bis 1) e, incluso, la ausencia de oposiciones o la necesidad de que estén resueltas todas ellas (Art. 141 inciso final). Y, finalmente, el inciso incorporó un concepto nuevo que también debe tenerse presente en la asignación de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas: que la *explotación del acuífero sea apropiada para su conservación y protección en el largo plazo*, lo que dice relación con su sustentabilidad. Lo que es apropiado en el largo plazo es referido por la norma no sólo a los antecedentes técnicos de recarga y descarga, sino que también a *las condiciones de uso existentes y previsibles*.

Importa entonces, considerar cuáles son estas condiciones de uso “existentes” y cuáles las “previsibles”.

Las condiciones de “uso existentes” podrían referirse, en una primera aproximación, a la totalidad de los caudales máximos otorgados. Sin embargo, es un hecho que ellos no se ocupan o no se usan sino parcialmente y rara vez todo el tiempo. Por lo tanto, las condiciones de uso existentes más bien corresponden a las reales, equivalente a decir los aprovechamientos efectivos, pues la norma habla de “usos”, lo cual significa aludir al “hecho” o “hechos”. Y tal uso “existente” de “hecho” tiene principalmente el sentido de “actual”, por ser “existentes”, en modo de tiempo presente. La idea de usos “existentes” tiene una relación importante con el hecho de que los usos actuales rara vez pudieran

estarse ejerciendo en su totalidad, ya que lo normal es que se hayan previsto también para atender el crecimiento de demandas en los años futuros. Entonces, como era importante utilizar la palabra "usos", en contraposición a lo que era habitual antes de la modificación legal, que era referirse a los derechos (y no a los usos), la ley N° 20.017 prescribió que los "usos" a los que se hace mención son los actuales o existentes.

Pero la norma no podía circunscribir el estudio de la sustentabilidad del acuífero a los usos existentes, pues su conservación y protección en el largo plazo implica considerar los usos futuros. Por ello, fue clave la palabra y el concepto de "previsible", ya que deja en el ámbito técnico la determinación de ese valor, lo que responde adecuadamente a la naturaleza de los problemas que se presentan (por ejemplo, podría ser necesario considerar para el futuro un cambio en las condiciones de recarga de los acuíferos por modificaciones en el uso del territorio, por obras de ingeniería, por el cambio climático, por cambios tecnológicos en los aprovechamientos, etc.).

El precepto agregó, entonces, el concepto de "condiciones de uso *previsibles*".

Señala, entonces, seguidamente de los aprovechamientos legítimos "existentes" –dentro del máximo autorizado– otro elemento a considerar, cual atendido las aplicaciones aptas en la respectiva zona del acuífero según las tecnologías que correspondan.

Lo expuesto lleva a reconocer la distinción que el legislador hace entre lo preceptuado respecto del uso "necesario" y del uso "previsible", que son conceptos diferentes.

En consecuencia, resulta procedente formular los siguientes alcances.

Los conceptos de "uso previsible" y de "caudal (volumen) necesario", tienen dos fuentes legales distintas, como señaló. Ellas son:

- La condición de sustentabilidad de la explotación del acuífero (Art. 147 bis inciso final): *"la explotación del respectivo acuífero sea la apropiada para su conservación y protección en el largo plazo, considerando los antecedentes técnicos de recarga y descarga, así como las condiciones de uso existentes y previsibles"*.
- La Memoria Explicativa que, de acuerdo a la legislación debe señalar: *"la cantidad de agua que se necesita extraer, según el uso que se le dará"* (Art. 140). Además, el art. 147 bis señala que la DGA podrá limitar el caudal *"si manifiestamente no hubiera equivalencia entre la cantidad de agua que se necesita extraer, atendido los fines invocados por el peticionario... y los caudales señalados en una tabla de*

equivalencias entre caudales de agua y usos, que refleje las prácticas habituales en el país en materia de aprovechamiento de aguas”.

Es importante destacar que en el articulado no se hace referencia alguna que relacione ambos conceptos. De este modo, cualquier interpretación que la establezca (relacione ambos conceptos en el sentido de que uno estuviera contenido en el otro) es una interpretación que está más allá de lo que el legislador ha señalado.

Obviamente, el Uso Previsible no podría ser mayor que el volumen autorizado, el cual, desde la reforma en el año 2005, equivale al Caudal Necesario calculado mediante el uso de la tabla de equivalencias (en aquellas solicitudes que requieren memoria explicativa).

Sin embargo, más allá de esta limitación lógica, los conceptos de Caudal Necesario y Uso Previsible difieren en numerosos sentidos y no debieran ser confundidos.

Al respecto, se puede señalar:

a) Diferencia de contenido:

El caudal (o volumen anual) necesario se puede definir como el volumen máximo cuyo uso está justificado según la normativa correspondiente (para una determinada extracción). En lo sustantivo, ese caudal o volumen debe ser tal que permita la extracción legal en una obra de captación específica de acuerdo a las condiciones de demanda más desfavorables. Asimismo, el legislador, con la intención de evitar que por vía administrativa se impusieran a los nuevos usuarios obligaciones de una determinada eficiencia, señaló que esa demanda máxima se establecería sobre la base de las prácticas habituales. Asimismo, al autorizarse una extracción máxima, en la práctica, se está indicando que ese caudal o volumen será extraído solamente en condiciones extremas, es decir, en forma esporádica. Tratándose de caudales pequeños, se estimó que no era necesario justificar el caudal solicitado mediante una memoria explicativa.

Por el contrario, el *uso previsible* se refiere al *volumen medio* de extracción en el largo plazo que determina la sustentabilidad de dicha explotación. Esto supone tener una visión prospectiva de largo plazo en relación al uso que se le dará al conjunto de las extracciones de un acuífero (y no a una extracción en particular) y a la disponibilidad hidrológica de largo plazo del acuífero. Desde luego que dicha extracción nunca debiera ser igual a la máxima extracción (caudal/volumen) autorizada, ya que ello supondría lo *imposible* de una extracción *constante* durante

un periodo de muchos años y siempre en el valor máximo. Del mismo modo, el uso "previsible", al ponderar el conjunto de las extracciones de un sector hidrogeológico, hayan o no presentado memoria explicativa (ya sea porque se trata de derechos concedidos por caudales bajos o corresponden a autorizaciones anteriores al 2005), está considerando el comportamiento medio de las mismas, lo que deberá reflejar la distinta frecuencia de uso que en la práctica se presenta entre las captaciones, ya que, mientras algunas de ellas son utilizadas la mayor parte del tiempo, otras lo son en forma esporádica.

b) Objetivos

Ambas disposiciones (inciso segundo e inciso final del artículo 147 bis) persiguen objetivos completamente diferentes. La determinación del Caudal Necesario fue un imperativo derivado de la conveniencia de establecer un límite superior a las solicitudes cuando ellas no tenían justificación, y de evitar la especulación con los derechos de aprovechamiento. Por esta razón, para obtener la autorización basta que se justifique la necesidad máxima, ya que ello fija un límite superior al caudal otorgado y da razonabilidad a la demanda, lo que ha estimado el legislador como suficiente para entregar un bien nacional a un uso privativo. Al respecto, resulta de toda lógica autorizar el derecho de aprovechamiento por la demanda máxima, ya que no sería aceptable dejar sin abastecer temporalmente el requerimiento justificado de un usuario. Además, como se deduce del articulado no se hace ningún juicio respecto de la frecuencia con que dicha necesidad debiera hacerse presente.

Así es posible, conveniente para el país y necesario para los usuarios otorgar derechos que por su naturaleza se ejercen esencialmente en forma esporádica, por ejemplo:

- Derechos que dan seguridad al abastecimiento de agua a la población;
- Derechos que complementan el riego de derechos con aguas superficiales;
- Derechos para emergencias tales como control de incendios, etc.

Por su parte, la necesidad de determinar el "uso previsible" tiene como propósito expreso garantizar la sustentabilidad de largo plazo del conjunto de las explotaciones de un acuífero. Con ese propósito, es necesario determinar las recargas y descargas totales al acuífero en el largo plazo, y estudiar su

comportamiento. Ello requiere estudiar la variabilidad hidrológica temporal (usualmente para un periodo de 30-50 años) y espacial de dichas variables, y determinar la evolución del acuífero a lo largo del tiempo. Lo anterior, por ejemplo, significa un análisis de las precipitaciones, infiltraciones al acuífero, extracciones, y de muchas otras variables durante el periodo de análisis. Al respecto, un factor de gran importancia que requiere ser estimado es la frecuencia media con la cual se utilizarán en la práctica los derechos de aprovechamiento, para cuyo propósito la DGA definió valores que reflejan dicha frecuencia para cada tipo de aprovechamiento ("factor de uso").

Como se puede apreciar, los conceptos de uso previsible y caudal necesario buscan resolver problemas de gestión de las aguas subterráneas de naturaleza completamente distinta.

c) Nivel de discrecionalidad y alcances.

Coherentemente y consistentemente con los diversos objetivos y contenidos que la legislación otorgó al uso previsible y al caudal necesario, se entregó a la Administración un nivel de discrecionalidad completamente distinto.

En la determinación del "*caudal/volumen necesario*", se estableció un procedimiento estrictamente reglado, basado en las "necesidades" justificadas a partir de una Memoria Explicativa que debe presentar el solicitante, la que constituye una declaración jurada, y en la aplicación mecánica de una Tabla de Equivalencias aprobada por Decreto Supremo suscrito por cuatro Ministros. Así, determinadas en términos cuantitativos las necesidades que se deben atender (hectáreas de riego, toneladas/año de procesamiento minero, etc.), el caudal necesario máximo resulta de una operación matemática simple.

Por su parte, la determinación del "*uso previsible*" es una evaluación altamente compleja, que se guía básicamente por reglas y racionalidad de la técnica y la ciencia, de modo que la legislación no establece ninguna restricción a dicha determinación que no sea relativa a la transparencia y adecuada fundamentación, comunes a la actuación de la autoridad pública, y a su objetivo último, cual es el de la sustentabilidad de la explotación del acuífero. Así, la redacción del texto legal se hizo suficientemente amplia para que la DGA en forma discrecional, pero técnica, asumiera la responsabilidad por el fondo del asunto: la sustentabilidad del acuífero. Esto es completamente coherente y consistente con la función que la legislación

entrega a la DGA de: “planificar el desarrollo del recurso en las fuentes naturales” (artículo 299 letra a).

De acuerdo a lo señalado, se concluye que, en un caso, se trata de una facultad reglada con una discrecionalidad prácticamente nula, mientras que la determinación del uso previsible responde a una atribución discrecional de la DGA que se desarrolla enteramente en el ámbito técnico y transparentemente.

Además, se debe considerar que el caudal necesario se aplica a solicitudes individuales y se ha estimado sólo en el caso de solicitudes superiores a cierto caudal y resueltas desde el año 2005 en adelante, mientras que el uso previsible se debe estimar considerando el conjunto de los derechos de aprovechamientos del acuífero, sin importar su caudal, su fecha de otorgamiento e, inclusive, si se trata de derechos inscritos o no.

11.2.3 EVENTUALES CONSECUENCIAS

Es necesario destacar que, por las razones que se han indicado, aplicar directamente, sin ninguna corrección, el concepto de caudal/volumen necesario a la determinación del uso previsible puede perjudicar gravemente las posibilidades de explotación sustentable de un acuífero. Al respecto, se debe señalar que la determinación del uso previsible supone consideraciones acerca del comportamiento medio en el largo plazo del conjunto de las demandas al acuífero, lo que asegura la consistencia y concordancia con los *escenarios reales*. Por su parte, suponer que las demandas previsibles quedan representadas por los caudales necesarios puede conducir a escenarios completamente alejados de la realidad e inclusive absurdos, como es el abastecimiento de población o el regadío de terrenos que no existen.

En el siguiente Cuadro 11-3, se resumen los conceptos anteriores.

COMPARACIÓN ENTRE LOS CONCEPTOS DE CAUDAL NECESARIO (SEGÚN LA MEMORIA EXPLICATIVA) Y DE USO PREVISIBLE.		
	Q necesario	Uso previsible
Base legal	Art. 140: Memoria explicativa	Art 147 bis: Criterio de explotación acuífero
Objetivo	Justificación de necesidad/ evitar especulación / establecer límite máximo	Sustentabilidad de largo plazo
Contenido	Volumen máximo necesario	Volumen medio explotación de largo plazo
Alcance	Determinación referida a una explotación en particular. Se aplica a solicitudes sobre cierto caudal desde el año 2005.	Determinación que se refiere al conjunto de las extracciones de un acuífero.
Criterio	Frecuencia de uso no importa	Frecuencia de uso fundamental
Discrecionalidad	Nula	Alta
Tipo de procedimiento	Reglado/ administrativo	Técnico/ Planificación (art 299 a)
Nivel de explotación	Escenario Irreal	Escenario realista en marco de sustentabilidad

Cuadro 11-3 Comparación entre los conceptos de Caudal Necesario y Uso Previsible

El concepto de uso previsible tiene relevancia práctica y concreta, primero, porque el caudal concedido (y, hoy, el caudal necesario determinado según la Tabla de Equivalencias) considera el máximo de caudal a extraer legítimamente en los periodos de máxima demanda y, segundo, porque ese caudal necesario a asignar en nuevos derechos ha de ser sometido a la consideración de las condiciones de uso previsible del acuífero. De lo anterior, se desprende claramente que, por ejemplo, un derecho de 10 l/s ya constituido no significa que ese caudal esté siendo utilizado todo el tiempo, sino que es perfectamente factible, y de hecho es la realidad, que no estén siendo usados o sólo lo estén 3 o 4 l/s en la mayoría de los meses del año; así como tampoco significa que los usos necesarios solicitados pendientes de resolución vayan a ser usados también todo el tiempo. El mismo ejemplo, puede darse en el "agregado" del respectivo acuífero. Entonces, en virtud del inciso final del artículo 147 bis, queda abierta al análisis técnico la posibilidad de asignación de nuevas extracciones. La implicancia de todo lo anterior radica en que la disponibilidad de los acuíferos siempre es mayor que la suma de los usos ya autorizados.

11.3 SOLICITA ALZAMIENTO DE LA DECLARACIÓN DE ÁREA DE RESTRICCIÓN DEL SUBSECTOR ACUÍFERO PUANGUE MEDIO (26 DE SEPTIEMBRE DE 2011)

Como se ha informado oportunamente a la Dirección General de Aguas (DARH), Agrícola Ariztía Limitada tiene ingentes inversiones de carácter agropecuarias en la comuna de María Pinto, algunas de las cuales se han visto obstaculizadas por la dilatada tramitación de los expedientes ND-1305-795, iniciado el 29 de enero de 2004, y ND-1305-922, ND-1305-923, ND-1305-924, ND-1305-925, y ND-1305-926, iniciados el 13 de mayo de 2005. Además, se ha visto afectada por las implicancias que deriven de la Resolución DGA N° 241, de 31 de julio de 2008, que declaró área de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas a diversos subsectores hidrogeológicos, entre los que se encuentra el subsector Puangue Medio en que inciden esos expedientes.

El examen acucioso y posible de la situación concreta del subsector acuífero Puangue Medio es muy relevante para Agrícola Ariztía Limitada y para todos los productores de la zona. Particularmente, para la actividad de Agrícola Ariztía Limitada, el agua y la suficiencia de derechos de aprovechamiento definitivos sobre ella son indispensables, de suerte que una restricción que no está sólidamente fundada constituye un obstáculo administrativo grave para el desarrollo de sus actividades y proyectos, que no se justifica en la realidad concreta del acuífero. Por tal razón, ha solicitado y se encuentra solicitando ante la autoridad el otorgamiento de los derechos de aprovechamiento correspondientes a sus explotaciones, conforme a los expedientes citados, cuyos antecedentes no sólo no han sido objeto de un análisis técnico apropiado desde el punto de vista de la ciencia y arte aplicable, como legalmente corresponde, sino que, además, con posteridad han debido sufrir la medida de área de restricción, sin ajustarse tampoco a la ley ni criterios razonables, pues no existe el grave riesgo de disminución del subsector acuífero en que esas solicitudes inciden.

11.3.1 ANTECEDENTES

La resolución DGA N° 241, de 31 de julio de 2008, declaró "área de restricción para nuevas extracciones de aguas subterráneas los subsectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de Puangue Alto; Puangue Medio; La Higuera; Melipilla; Cholqui y Popeta, correspondientes al Acuífero Puangue-Melipilla, Región Metropolitana de Santiago" en adelante la Res. DGA N° 241. El aviso de dictación se publicó en el Diario Oficial de 15 de octubre de 2008.

Dicha declaración se hizo aplicando básicamente el artículo 65 del Código de Aguas y el artículo 31 de la Resolución N° 425, de 2007, que dispone normas sobre explotación de aguas subterráneas.

En lo que interesa a las observaciones que siguen y a las conclusiones del Informe de Geohidrología Consultores Ltda., que se acompaña, esa Res. DGA N° 241, por el contrario, restringió el subsector hidrogeológico correspondiente al acuífero conocido como Puangue Medio.

La Resolución dice fundamentarse técnicamente en el informe DGA/DARH N°128, del 22 de julio de 2008, el cual, a su vez, se apoya en el informe técnico denominado "*Evaluación de la explotación máxima sustentable del acuífero Puangue-Melipilla*" SDT N° 250, de 2007, que hace uso del modelo hidrogeológico Puangue-Melipilla, contenido en el informe SIT N° 118 (DGA, 2006)

Como se pasa a explicar, la restricción que impone la Res. DGA N° 241 concluye un riesgo de grave disminución del acuífero porque su situación afectaría los derechos de aprovechamiento constituidos sobre aguas superficiales, por aplicación de la Res. N° 245 citada, pero con una metodología poco precisa y que se puede revisar.

Sin embargo, con arreglo al artículo 65 del Código de Aguas, en su relación con el artículo 64 del mismo, y al texto de la resolución N° 241, número 5 de su parte resolutive, a petición justificada del interesado y de acuerdo a los resultados de nuevas investigaciones respecto de las características del acuífero, la DGA está facultada para dictar una nueva resolución que alce la restricción. Sobre esta base legal y técnica, solicito el levantamiento de la declaración de área de restricción del subsector acuífero Puangue Medio y, en subsidio, su modificación que permita la constitución de derechos permanentes definitivos suficientes.

11.3.2 ELEMENTOS PARA SOLICITAR UN LEVANTAMIENTO DEL ÁREA DE RESTRICCIÓN DEL SECTOR ACUÍFERO DE PUANGUE MEDIO

- La limitación al uso del acuífero que señala la DGA en los informes citados y contenida en la Resolución N° 241, de 2008, como fundamento de la declaración de área de restricción, no proviene de una insuficiente disponibilidad de recursos hídricos para sostener el nivel de explotación del agua subterránea del valle del estero Puangue, y en particular del sector de Puangue Medio, sino exclusivamente de la obligación de respetar los derechos de aguas superficiales del sector, de acuerdo a la letra c) del artículo 31 de la Resolución N° 425, de 2007.

- Así es como la única razón que se proporciona para dictar el área de restricción se refiere a la posible afección de los derechos constituidos sobre aguas superficiales por la explotación del agua subterránea a nivel del acuífero.
- En efecto el punto 6.4 del informe técnico SDT N° 250 expresa lo siguiente:

"6.4 RESULTADOS MODELACIÓN OTROS ESCENARIOS

Se procedió a generar una serie de escenarios, ocho adicionales, con la finalidad de establecer los límites de extracción de aguas subterráneas en cada sector acuífero, manteniendo los valores para los caudales bombeados en los sectores de Cholqui y Popeta, pues representan pozos con derechos concedidos. Los resultados que arrojó la corrida de cada uno de los ocho nuevos escenarios creados, coincidieron en el comportamiento con los resultados del escenario inicial, es decir, no se apreciaron descensos de niveles significativos ni tampoco desembalses en ningún sector acuífero. Por este motivo, se presentan solo los resultados de afecciones para los distintos escenarios generados, correspondiendo el último escenario al de máxima explotación sustentable."

- Por su parte, como antes se señaló, estimamos que nuevas investigaciones respecto de las características del acuífero justifican que la DGA pueda dictar una nueva resolución modificando la situación del acuífero respecto de la constitución de derechos de aprovechamiento permanentes.
- Las nuevas investigaciones respecto de las características del acuífero están contenidas en el informe "Evaluación de Disponibilidad de Recursos en Cuenca del Puangue Medio. Informe Final", preparado por Geohidrología Consultores Ltda., para Sociedad Agrícola El Ranchillo Uno Limitada y Agrícola Ariztía Limitada, que se adjunta a esta presentación. Cabe hacer presente que dicho informe se realizó en concordancia con la DGA, y fue puesto en conocimiento de la DGA por carta de 15 de diciembre de 2009.
- Asimismo, en escritos de Agrícola Ariztía Ltda. en que solicita Téngase Presente, ingresados a la DGA con fecha 30 de junio de 2009, en cada uno de los expedientes citados al comienzo de la presente solicitud de alzamiento, se entregan objeciones fundadas sobre los informes que dieron origen a la declaración de área de restricción del sector acuífero de Puangue Medio.

- El informe que se adjunta a la presente solicitud contiene un extenso análisis de la información disponible y, además, incluye los resultados de campañas de trabajos en terreno con el objetivo de obtener información técnica relevante para el mejor conocimiento del comportamiento del acuífero. Los principales aspectos considerados en el nuevo estudio son los siguientes:
 - Recopilación y análisis de antecedentes
 - Reconocimiento y visitas a terreno.
 - Revisión y análisis de aspectos hidrológicos.
 - Revisión y análisis de aspectos geológicos e hidrogeológicos.
 - Revisión de la recarga.
 - Actualización del modelo conceptual, sobre la base de los antecedentes disponibles.
 - Trabajos de terreno
 - Campaña Geofísica TEM. El objetivo de esta actividad fue generar antecedentes, con un fuerte respaldo técnico, que den cuenta del real potencial hidrogeológico del acuífero Puangue-Melipilla en el sector de Puangue Medio, con miras a definir la geometría de las principales unidades litológicas, tales como basamento lentes de arena y matriz de arcillas, que han sido identificadas en los pozos de extracción del sector.
 - Campaña de Aforos. Con el objetivo de generar antecedentes hidrométricos que permitieron tener datos cuantitativos del balance hídrico superficial en la zona de estudio, así como también identificar zonas de recuperación y pérdidas del estero Puangue, sector Puangue Medio, sus tributarios principales y canales.
 - Levantamiento Topográfico de Perfiles. El objetivo de estos perfiles fue generar antecedentes que permitan profundizar el conocimiento de la relación entre los escurrimientos superficiales (estero Puangue) y los recursos subterráneos (acuífero). Para ello se levantaron perfiles en sectores donde se disponía de pozos para poder medir el nivel

estático. Las mediciones incluyeron, además, la cota del espejo de agua en el estero y el perfil topográfico de riberas y terreno entre el estero y pozos medidos.

- o Modelo hidrogeológico
 - Se desarrolló una detallada construcción y calibración de un modelo hidrogeológico MODFLOW del sector de Puangue Medio, en base a antecedentes disponibles y los nuevos generados especialmente para estos efectos en este estudio.
 - Un análisis de distintos escenarios de explotación, considerando los antecedentes relativos al uso del agua en la cuenca y los criterios de explotación considerados como sustentables por la DGA.

11.3.3 FUNDAMENTOS DE LA SOLICITUD DE LEVANTAMIENTO DEL ÁREA DE RESTRICCIÓN

- a. El resultado de las simulaciones efectuadas, se analizaron considerando los criterios de explotación sustentables utilizados por la DGA, y concluyen que es posible la constitución de los derechos de aprovechamientos definitivos de aguas subterráneas solicitados en el sector de Puangue Medio, a lo menos hasta junio del 2009 (fecha del último expediente considerado en el estudio), y, en consecuencia, no se justifica la declaración de Área de Restricción, al menos en lo relativo a la posibilidad de constituir derechos definitivos sobre las solicitudes de derechos ingresados antes de esa fecha.
- b. Los nuevos estudios corrigen dos limitaciones críticas de los informes utilizados por la DGA para declarar área de restricción. Ellas son:
 - El modelo hidrogeológico utilizado para evaluar el comportamiento del acuífero, y
 - La aplicación del criterio de afección de aguas superficiales referido en la letra c) de la resolución DGA N° 425, de 2007.
- c. En relación con el modelo hidrogeológico utilizado, conviene destacar las siguientes limitaciones corregidas en el nuevo modelo desarrollado:
 - i. La cobertura espacial del modelo utilizado por la DGA es muy extensa, ya que va desde la junta de los ríos Maipo y Mapocho hasta el sector próximo a

la desembocadura en el océano, incluyendo los valles de los esteros Puangue, Cholqui y Popeta, y no permite un análisis concreto, enfocado y detallado del sector acuífero de Puangue Medio.

- ii. El modelo desarrollado por la DGA simplifica la estratificación vertical del acuífero, dejando en la dirección vertical una sola unidad hidrogeológica, esto, aunque los análisis hidrogeológicos disponibles por dicho Servicio son concordantes en concluir que habría una estratificación vertical importante en la hidrogeología del valle, con estratos superficiales de escasa permeabilidad asociados a depósitos de origen volcánico. De este modo, la modelación, al considerar un acuífero homogéneo, altera en forma significativa la interacción río-acuífero, y el comportamiento de los aportes subterráneos.

El modelo desarrollado por la DGA considera la representación del acuífero simulado con una sola capa, de tipo acuífero libre, no obstante que los propios informes de dicho Servicio reconocen que en la zona de Puangue Medio, se distinguen dos zonas acuíferas. La primera superficial, con un segundo estrato, ubicado subyaciendo el anterior. En ambas zonas aparece la existencia de intercalaciones de material permeable en matrices semipermeables e impermeables que originan napas de naturaleza confinada. Esto queda ratificado por la existencia de pozos surgentes en el sector de María Pinto.

Este aspecto es muy relevante para analizar el comportamiento de los sistemas acuíferos, dado que sus parámetros elásticos son muy diferentes; de igual modo su comportamiento y su relación con los cauces superficiales. Un acuífero confinado, como el que existe en la zona de María Pinto, no tiene una relación directa con los cauces superficiales y, por lo tanto, no se produce afección sobre la cual la DGA ha determinado el caudal máximo de explotación sustentable del acuífero. Este aspecto resulta de especial relevancia en atención a que las razones que entrega la DGA para proceder a la denegación de solicitudes se refiere a la posible afección de los derechos constituidos sobre aguas superficiales por la explotación del agua subterránea a nivel de acuífero.

- iii. En el sector acuífero de Puangue Medio, el modelo de simulación de la DGA no considera ninguna medición de contraste que permita calibrar los

caudales que afloran, los sectores donde ellos se presentan y, en general, la relación río-acuífero. Al respecto, el único contraste con caudales medidos se realiza en un tramo del río Maipo sin relación con el sector de interés para este informe. De este modo, es imposible determinar el tramo del estero Puangue donde se presentan afloramientos y su magnitud, y, en consecuencia, es imposible también determinar las eventuales afecciones a derechos sobre aguas superficiales en dicha zona. Al respecto, se debe destacar que una calibración global, como la realizada por la DGA, la que en el estero Puangue se apoya en los niveles freáticos de seis pozos, no garantiza que en una subcuenca en particular el modelo reproduzca los flujos reales del sistema y su distribución espacial.

- iv. De acuerdo con estos antecedentes, se concluye que la reproducción de los niveles freáticos en algunos pozos resulta completamente insuficiente para definir el comportamiento del sistema río-acuífero, ya que se pueden lograr los mismos niveles con distintos valores de flujo y parámetros elásticos. Asimismo, se puede concluir que la calibración del modelo hidrogeológico desarrollado por la DGA es inadecuada para reproducir el verdadero patrón de afloramientos desde el acuífero, y no constituye una herramienta que permita tomar decisiones relativamente seguras sobre la importancia de las afecciones que pudiera generar la explotación del acuífero.
- v. No existen mediciones geofísicas que den información de la geometría del acuífero y, en consecuencia, de su capacidad de transmitir flujos en forma subterránea hacia las secciones de aguas abajo.
- vi. Los parámetros elásticos utilizados en la calibración se alejan considerablemente de los valores informados en el análisis hidrogeológico previo de la propia DGA. Por ejemplo, se señala que existirían zonas de Puangue Medio que presentarían permeabilidades entre 17,3 m/d y 864 m/d; sin embargo, la calibración se realiza con valores entre 8,6 y 43,2 m/d.
- vii. Finalmente, resulta destacable mencionar que los propios informes de la DGA indican que el modelo desarrollado para la toma de decisiones es conservador, y, en consecuencia, estaría subvalorando la real explotación que se puede realizar desde el acuífero. Es así como, en los propios informes de la DGA, se menciona que, en general, los niveles de agua subterránea del sector del Puangue Melipilla, según los registros históricos que monitorea

dicho Servicio, reflejan para el valle una tendencia estable, a pesar del uso del agua subterránea en el valle. Los niveles han permanecido estables a través de los últimos 20 años en la mayoría de los pozos entre 0 y 5 metros.

- d. En relación con la evaluación de los impactos sobre el aprovechamiento de las aguas superficiales, conviene destacar que la reducción del caudal neto de afloramiento de aguas subterráneas, debido al aumento de la explotación del acuífero, en los informes utilizados por la DGA se comparó con el caudal medio superficial pasante en el estero Puangue en junta con el estero La Higuera, verificando que no se produjera una afección al flujo superficial de más de un 10%. Los estudios realizados, demuestran claramente que:
- i. Los caudales que escurren por esa sección, según lo determinado en los propios informes de la DGA, son más que suficientes para abastecer los derechos efectivamente existentes en ese sector. Cabe destacar que el criterio establecido por la DGA en la resolución N° 425, de 2007, está referido a aquellas situaciones en que la reducción de los aportes desde el agua subterránea efectivamente afectan los derechos constituidos, lo que, de acuerdo a lo señalado, no sería el caso. De modo, que la condición de afección de los caudales superficiales en menos de un 10% no es aplicable en el punto.
 - ii. Hacia aguas abajo del punto, en el estero Puangue sólo existen constituidos derechos permanentes por un caudal significativo en el canal San Diego, ubicado a 15 kilómetros aguas abajo de la sección anterior. En ese tramo, el estero Puangue recibe los aportes de diversos esteros, entre los que se destacan los esteros: Améstica, Mariposas, La Higuera, Los Sauces, Pajonal, Peralillo, La Línea, Santa Amelia y San Diego, los que reciben importantes derrames de las zonas regadas por los canales Las Mercedes (Améstica y Mariposas), Mallarauco (La Higuera), San José y Picano (Puangue y otros), de tal modo que el estero Puangue dispone de recursos hídricos sustancialmente superiores a los de la sección definida en el informe de la DGA, los que permiten abastecer sobradamente los derechos de dicho canal.
 - iii. De acuerdo a lo anterior, la junta del estero Puangue con el estero La Higuera no debiera ser utilizado como sección para evaluar los impactos en los derechos de aguas superficiales, correspondiendo aplicar el criterio de

afección a derechos de agua superficiales en el río Maipo, con los datos medidos en la estación Río Maipo en Cabimbao.

- iv. Los resultados del informe adjunto demuestran que la explotación de los derechos de aguas subterráneas solicitados hasta junio de 2009, cumplen en dicho punto con los criterios de afección establecidos por la DGA, y que, en consecuencia, pueden ser constituidos en carácter de derechos definitivos.

En virtud de las consideraciones legales expuestas y de los antecedentes técnicos anteriormente resumidos, así como del Informe pormenorizado de Geohidrología Consultores Ltda., que demuestra que ya no existen los riesgos que motivaron la declaración de Área de Restricción, y que se acompaña a la presente solicitud, solicito, respetuosamente, al señor Director General de Aguas, que, previo el análisis de estas investigaciones, se sirva determinar el alzamiento del área de restricción del subsector acuífero Puangue Medio. En subsidio, solicito la modificación de la declaración de restricción en una medida que permita a Agrícola Ariztía la constitución de derechos permanentes definitivos suficientes, conforme a las nuevas investigaciones que se proporcionan.

11.4 RECONSIDERACIÓN DE RESOLUCIÓN DGA N° 239, DE 2011 (21 DE NOVIEMBRE DE 2011)

Agrícola Ariztía Limitada viene en deducir, ante el señor Director General de Aguas, recurso de reconsideración, por ilegalidad, respecto de la Resolución DGA N° 239, de 13 de octubre de 2011, en adelante la "Resolución", cuyo aviso de su dictación se practicó en el Diario Oficial del 2 de noviembre en curso.

La Resolución DGA N° 239 modifica el área de restricción de los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común denominados Puangue Alto, Puangue Medio, Cholqui, Popeta, Melipilla y La Higuera, Región Metropolitana.

11.4.1 LA RESOLUCIÓN DGA N° 239, DE 2011.

a. Objeto declarado de la Resolución.

En lo sustantivo, esta modificación consiste en:

- i. Alzar la restricción respecto del sector hidrogeológico Melipilla.
- ii. Modificar la parte resolutive número 1 de la Resolución DGA N° 241, de 2008, para referir las áreas de restricción que mantiene a las representaciones geográficas en mapas que indica, y
- iii. Reemplazar el número 8 de la parte resolutive de la citada Resolución N° 241, de 2008, en el sentido de señalar nuevos volúmenes totales de aguas subterráneas que pueden otorgarse en derechos de aprovechamiento "provisionales".

Sin embargo, la Resolución tiene por objeto erigir un nuevo criterio para el otorgamiento de derechos de aprovechamiento sobre aguas subterráneas.

Este objeto está expreso, como es de su conocimiento, en sus "considerandos", así como en el Informe Técnico DARH N° 360, de 29 de agosto de 2011. En efecto, la verdadera finalidad y el objetivo concreto de la Resolución es incluir como usos futuros efectivos los caudales máximos autorizados a extraer en la determinación del balance hídrico del acuífero Puangue Medio, y, simultáneamente, excluir el concepto legal de uso previsible, todo lo que se traduce en restringir aún más las posibilidades de constituir derechos; más bien, impedirlos.

b. Consideraciones de la Resolución.

En los antecedentes o "vistos", la Resolución N° 239 alude, entre otros, a informes técnicos de los años 2004, 2006 y 2007, y agrega la mención de cuatro informes técnicos emitidos ahora en el segundo semestre del presente año 2011.

Para dictar esta Resolución N° 239, la Dirección General de Aguas (en adelante también "DGA"), enumera doce consideraciones.

En el número 3), señala que en informes técnicos que indica, de los años 2004, 2006 y 2007, la DGA *"consideró en el balance hídrico, el volumen total anual de extracción en términos de usos previsibles, para aquellos derechos constituidos con anterioridad a la Ley N° 20.017 de 2005 que modificó el Código de Aguas, cuya Resolución constitutiva no lo indicaba en forma expresa"*. Agrega que esa inclusión en el balance hídrico en esa oportunidad se debió a que: *"Lo anterior, por considerar que el uso previsible reflejaba la naturaleza de la explotación de aguas subterráneas, que hacía que las captaciones fueran empleadas solo en forma temporal y de ese modo, la extracción media de largo plazo desde el acuífero sería sustancialmente menor que la explotación máxima autorizada como derecho de aprovechamiento"*.

En la consideración número 4), dice que, *"por consiguiente, para aquellos derechos constituidos con anterioridad a la entrada en vigencia de la Ley 20.017 que modificó el Código de Aguas, cuya Resolución constitutiva no indicaba el volumen total anual de extracción en forma expresa, el volumen total anual de extracción se obtenía de la aplicación de un coeficiente de uso previsible de acuerdo a la actividad asociada al derecho otorgado (riego, industria, agua potable y minería)"*.

En el número 5), expresa que la DGA *"ha estimado necesario reconsiderar el criterio utilizado debido a que se ha resuelto que la limitación contenida en los considerandos precitados, constituye una afectación de la esencia del derecho de aprovechamiento de aguas, respecto del cual su titular se encuentra amparado en virtud de la garantía consagrada en el artículo 19 N° 24 de la Constitución Política del Estado"*.

Y, en el número 6), deduce que, *"en mérito de lo anterior, éste Servicio ha concluido que en el balance hídrico de un sector acuífero, se deberá considerar para aquellos derechos constituidos con anterioridad a la entrada en vigencia de la Ley 20.017 que modificó el Código de Aguas, cuya Resolución constitutiva no indicaba"*

en forma expresa el volumen total anual de extracción, que el volumen total anual otorgado es el que proviene de utilizar el caudal constituido todos los segundos del año”.

11.4.2 CONCEPTO SUSTANCIAL DE LA RESOLUCIÓN.

El razonamiento de la DGA contiene implícito el concepto introducido por la ley N° 20.017 de que los derechos de aprovechamiento que se otorguen a partir de la vigencia de esa ley, año 2005, han de expresar el volumen total anual (artículo 140 número 6). Este sobreentendido es correcto, pues no puede ser de otra manera, atendido lo dispuesto en el artículo 140 número 2 del Código de Aguas y en la historia fidedigna del establecimiento de la Ley N° 20.017, que reformó el Código.

Pero, además, en su texto expreso, la nueva Resolución ordena que, en el balance hídrico a determinar para otorgar nuevos derechos, se incluyan los volúmenes totales (*todos los segundos del año*) de los derechos de aprovechamiento constituidos con “anterioridad” a la Ley N° 20.017 en cuyos títulos no se haya expresado ese volumen anual.

En otras palabras, esta Resolución N° 239 contiene y asume un particular concepto del uso de las aguas subterráneas, que deja explícito en la consideración número 3), antes transcrita íntegramente, que en parte dice que los informes técnicos anteriores, citados en la Resolución que modifica, consideraban “*que el uso previsible reflejaba la naturaleza de la explotación de aguas subterráneas, que hacía que las captaciones fueran empleadas solo en forma temporal y de ese modo, la extracción media de largo plazo desde el acuífero sería sustancialmente menor que la explotación máxima autorizada como derecho de aprovechamiento*”; lo cual, y esto es lo particular, la nueva Resolución rechaza y revisa en las consideraciones siguientes.

O sea, habría un error en pensar de aquella manera sobre el uso y sobre la naturaleza de las aguas subterráneas, en el sentido de que no sería relevante, en la tarea de determinar la disponibilidad para nuevos derechos, el uso temporal, estacionario o intermitente de la mayor parte de las aguas subterráneas, ni que su explotación sea sustancialmente menor al caudal máximo autorizado. No sólo no sería relevante, sino que niega que sea así; niega que los usos efectivos y reales de las aguas subterráneas no se dan “*todos los segundos del año*”.

Este nuevo predicamento, del uso máximo todo el tiempo, no sólo es irreal, sino que, además, es “*ilegal*”, pues desconoce el artículo 147 bis inciso quinto del Código, el cual trata de un aspecto claramente resuelto en el proceso de su reforma, después de intensos

análisis y debates legislativos, donde se reconoció que el uso de las aguas subterráneas tiene características diferentes y para lo cual se prescribió la evaluación especial de los acuíferos.

11.4.3 PRESCINDENCIA EVIDENTE DE MANDATO LEGAL EXPRESO: ILEGALIDAD

El caso es que esta nueva Resolución N° 239 prescinde completamente de la disposición legal que obliga a considerar, en el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, *"las condiciones de uso existentes y previsibles"* del acuífero. En efecto, el Código de Aguas, en su artículo 147 bis inciso final, ordena:

"Sin perjuicio de lo dispuesto en los artículos 22, 65, 66, 67, 129 bis 1 y 141 inciso final, procederá la constitución de derechos de aprovechamiento sobre aguas subterráneas, siempre que la explotación del respectivo acuífero sea la apropiada para su conservación y protección en el largo plazo, considerando los antecedentes técnicos de recarga y descarga, así como las condiciones de uso existentes y previsibles, todos los cuales deberán ser de conocimiento público".

Aparte de no dar aplicación y ni siquiera citar el artículo 147 bis, recién transcrito, la nueva Resolución importa una negación o desconsideración de que *"la extracción media de largo plazo desde el acuífero sería sustancialmente menor que la explotación máxima autorizada como derecho de aprovechamiento"*, realidad que evidentemente pone en duda y más bien niega, pero sin demostración alguna de que la extracción media en un largo plazo no sea efectivamente menor que el volumen total autorizado: *"el volumen total anual otorgado es el que proviene de utilizar el caudal constituido todos los segundos del año"*, dice el considerando número 6, y todos los años, lo que es absolutamente irreal. En otras palabras, al incluir *"todos los segundos del año"* en el balance hídrico, incrementa los usos existentes ficticiamente, porque una explotación tal, que supone y da por sentada, no se compadece con la naturaleza estacionaria y extraordinaria de la inmensa mayoría de los usos de aguas subterráneas, y, al incrementar los supuestos usos existentes, disminuye improcedentemente la disponibilidad legal y real de aguas subterráneas, impidiendo la constitución de nuevos derechos.

Es muy sustancial y serio que, al rechazar o prescindir de que esa extracción media es menor, sin fundamento, la Resolución niegue la realidad, que la ley expresamente reconoce, sin sujetarse a presunciones fijas. Esto significa afectar gravemente el uso óptimo de un recurso indispensable para el desarrollo de mejores o nuevas actividades económicas.

Es relevante señalar que la DGA parece estar dispuesta a considerar *las condiciones de uso existentes y previsibles* en el largo plazo respecto de los nuevos derechos de aprovechamiento que se otorguen, más no para los constituidos con anterioridad, supuestamente porque los usos de los anteriores serían completos, todo el tiempo, *todos los segundos del año*. Sin embargo, la DGA no ha tenido presente que la norma del artículo 147 bis del Código, al establecer el concepto de *usos existentes y previsibles*, no hace distinción alguna entre los derechos ya constituidos y los por constituir. Porque este concepto es sólo un presupuesto obligatorio para evaluar técnicamente el acuífero desde el punto de vista de su sustentabilidad en el largo plazo. Y de esa base técnica la ley deriva también la disponibilidad del recurso.

En todo caso, la DGA no señala que los nuevos posibles derechos se ajustarán al concepto de previsibilidad. Está apegada a los caudales y volúmenes nominales. La única diferencia es que los nuevos derechos pueden ser, en algunos casos, más realistas al tener que, a partir de 2005, justificarse inicialmente los caudales, ajustarse a la Tabla de Equivalencias y señalar su volumen anual. Pero esto no salva la discrepancia legal con la Resolución, pues el caudal necesario y justificado de un nuevo derecho sobre agua subterránea no hace que cambie la realidad de su uso temporal, por lo que siempre que se otorguen nuevos derechos sobre aguas subterráneas habrá que recurrir a los últimos estudios sobre *las condiciones de uso existentes y previsibles*.

Existe un malentendido en el razonamiento de la DGA. Es cierto que existen derechos de aprovechamiento que autorizan para usar el caudal todos los días del año y durante todo el día. El punto es que la ley impone, para considerar la constitución o denegación de nuevos derechos, reconocer la realidad de que todos los aprovechamientos de aguas subterráneas (otorgados antes o después de 2005) no se usan todo el tiempo y, por tanto, en el balance hídrico para determinar la disponibilidad debe considerarse esa realidad, debido a que, en general, los usos "subterráneos" han demostrado comportarse de forma coherentemente con el uso previsible.

Los acuíferos, por su funcionamiento hidráulico, generan una regulación natural que hace pertinente evaluar su disponibilidad media en el largo plazo, porque no resultan técnicamente relevantes las extracciones instantáneas. Por ello es que el valor máximo de extracción no es una variable técnica relevante. Además, el consumo de las plantas no es el mismo en verano que en invierno; lo mismo se puede asegurar de los consumos domésticos, etcétera. En general, la racionalidad de las explotaciones nunca permite identificar la explotación máxima instantánea (considerada teóricamente en el derecho como una autorización y una hipótesis) con el consumo medio de largo plazo. La ingeniería

estudia dichas relaciones y le permite estimar la explotación media factible. En síntesis, la determinación de la *explotación previsible* de un acuífero es una materia estrictamente técnica y no se puede identificar con la suma de las extracciones máximas autorizadas.

La incertidumbre que cualquier análisis tiene respecto de eventos futuros no es argumento suficiente para no considerar los usos previsible. No existen decisiones en el ámbito hídrico y, en general ambiental, que no estén sujetas a dicha circunstancia. En particular, se hace presente que toda constitución o denegación de derechos de agua, supone evaluaciones técnicas de disponibilidad y de afección a terceros, las que presentan la misma incertidumbre, incluida la estimación de la disponibilidad del acuífero. Inclusive, en el caso de aguas superficiales, los derechos se otorgan a partir de la determinación de determinadas probabilidades de existencia de los caudales en los ríos.

Cabe advertir que la argumentación anterior es completamente aplicable tanto a las solicitudes antiguas como a las nuevas, porque el inciso quinto del artículo 147 bis no hace distinción.

Además, es obvio que el uso previsible nunca podrá ser mayor que el volumen autorizado, el cual, desde la reforma del año 2005, equivale al caudal "necesario" inicial calculado mediante el uso de la Tabla de Equivalencias.

Sin embargo, más allá de esta relación lógica, los conceptos de Caudal Necesario y Uso Previsible difieren en numerosos sentidos y no debieran ser confundidos.

Primero, hay una diferencia de contenido i) El caudal (o volumen anual) necesario se puede definir como el *volumen máximo* cuyo uso está justificado según la normativa correspondiente, para una determinada extracción. En lo sustantivo, ese caudal o volumen debe ser tal que permita la extracción legal en una obra de captación específica, de acuerdo a las condiciones de demanda más desfavorables. Asimismo, el legislador, con la intención de evitar que por la vía administrativa se impusieran a los nuevos usuarios obligaciones de una determinada eficiencia, señaló que esa demanda máxima se establecería sobre la base de las prácticas habituales. Asimismo, al autorizarse una extracción máxima, en la práctica, se está indicando que ese caudal o volumen será extraído solamente en condiciones extremas, es decir en forma esporádica. Tratándose de caudales pequeños, se estimó que no era necesario justificar el caudal solicitado mediante una Memoria Explicativa. ii) Por el contrario, el uso previsible se refiere al *volumen medio* de extracción en el largo plazo que determina la sustentabilidad de dicha explotación. Esto supone tener una visión prospectiva de largo plazo en relación al uso que se le dará al

conjunto de las extracciones de un acuífero (y no a una extracción en particular) y a la disponibilidad hidrológica de largo plazo del acuífero. Desde luego que dicha extracción nunca debiera ser igual a la máxima extracción autorizada, ya que ello supondría lo *imposible* de una extracción constante durante un periodo de muchos años y siempre en el valor máximo. Del mismo modo, el uso "previsible", al considerar el conjunto de las extracciones de un sector hidrogeológico, hayan o no presentado Memoria Explicativa (ya sea porque se trata de derechos concedidos por caudales bajos o porque corresponden a autorizaciones anteriores al 2005), está considerando el comportamiento medio de las mismas, lo que deberá reflejar la distinta frecuencia de uso que en la práctica se presenta entre las captaciones, ya que, mientras algunas de ellas son utilizadas la mayor parte del tiempo, otras lo son en forma esporádica.

Segundo, tienen objetivos diferentes. Ambas disposiciones (inciso segundo e inciso final del artículo 147 bis) persiguen objetivos completamente diferentes.

La determinación del "caudal necesario" fue un imperativo derivado de la conveniencia de establecer un límite superior a las solicitudes cuando ellas no tenían justificación, y de evitar la especulación con los derechos de aprovechamiento. Por esta razón, para obtener la autorización basta que se justifique la necesidad máxima, ya que ello fija un límite superior al caudal otorgado y da razonabilidad a la demanda, lo que ha estimado el legislador como suficiente para entregar un bien nacional a un uso privativo. Al respecto, resulta de toda lógica autorizar el derecho de aprovechamiento por la demanda máxima, ya que no sería aceptable dejar sin abastecer temporalmente el requerimiento justificado de un usuario. Además, como se deduce del articulado del Código, no se hace ningún juicio respecto de la frecuencia con que dicha necesidad debiera hacerse presente.

Así, es posible, conveniente para el país y necesario para los usuarios, otorgar derechos que, por su naturaleza, se ejercen esencialmente en forma esporádica, por ejemplo: derechos que dan seguridad al abastecimiento de agua a la población; derechos que complementan el riego de derechos de aguas superficiales; derechos para emergencias tales como control de incendios, etcétera.

Por su parte, la necesidad de determinar el "uso previsible" tiene como propósito expreso garantizar la sustentabilidad de largo plazo del conjunto de las explotaciones de un acuífero. Con ese propósito, es necesario determinar las recargas y descargas totales al acuífero en el largo plazo, y estudiar su comportamiento. Ello requiere estudiar la variabilidad hidrológica temporal (usualmente para un periodo de 30-50 años) y espacial de dichas variables, y determinar la evolución del acuífero a lo largo del tiempo.

Lo anterior, por ejemplo, significa un análisis de las precipitaciones, de las infiltraciones al acuífero, de las extracciones y de muchas otras variables durante el periodo de análisis. Al respecto, un factor de gran importancia que requiere ser estimado es la frecuencia media con la cual se utilizarán en la práctica los derechos de aprovechamiento, para cuyo propósito la DGA definió valores que reflejan dicha frecuencia para cada tipo de aprovechamiento (“factor de uso”).

Como se puede apreciar, los conceptos de uso previsible y caudal necesario buscan resolver problemas de gestión de las aguas subterráneas, pero son cuestiones de naturaleza completamente distinta.

La confusión en esta materia (consumo medio previsible y máximo instantáneo legalmente autorizado) afecta gravemente el desarrollo del país. En el caso del acuífero Puangue Medio, donde el Informe Técnico reconoce que no existen afecciones (y por ello se adopta como acuífero “patrón”, mediante una discutible analogía), los derechos constituidos son 3 veces el máximo que habría aceptado la DGA de haber aplicado tan erróneo criterio. Además, habría cerrado el acuífero en 1994 ¡hace 17 años!

En definitiva, el concepto de uso previsible no implica que siempre haya disponibilidad para nuevos derechos; sólo indica la probabilidad de uso futuro. Pero la autoridad está obligada a considerarlo, sea para otorgar, sea para denegar.

11.4.4 PROTECCIÓN DE LOS DERECHOS DE APROVECHAMIENTO

El único fundamento de fondo de la nueva Resolución y de su Informe Técnico DARH N° 360, de 29 de agosto de 2011, es el de la protección constitucional de los derechos de aprovechamiento.

Al respecto debo hacer presente dos consideraciones.

Primera. El derecho de aprovechamiento de aguas no asegura la posibilidad de extraer un determinado caudal. El significado esencial de un derecho de aprovechamiento es autorizar la extracción de un caudal hasta un máximo y siempre que ese máximo esté disponible en la realidad concreta (además de regularse su naturaleza consuntiva o no consuntiva y su ejercicio del uso, sea de modo permanente o eventual, continuo o discontinuo o alternado).

Los derechos de aprovechamiento están resguardados precisamente porque la Dirección General de Aguas tiene la atribución y el imperativo legal de estudiar los escenarios

previsibles y, sobre esa base, garantizar la sustentabilidad de la explotación. Pero no debe confundirse ese imperativo con la idea de que los derechos ciudadanos se reguardarían con escenarios imposibles; al contrario, se resguardan con escenarios que la razón considera posibles, aunque sean improbables.

La hipótesis adoptada como presupuesto indiscutible por la DGA (uso en "*todos los segundos del año*") es total y completamente imposible desde el punto de vista técnico, como se ha señalado antes en esta presentación.

Segunda. La Resolución, a fin de elevar a requisito previo los caudales máximos autorizados (*todos los segundos del año*) en el balance hídrico para examinar si procede constituir nuevos derechos, sostiene, en su consideración 5): que la DGA "*ha estimado necesario reconsiderar el criterio utilizado debido a que se ha resuelto que la limitación contenida en los considerandos precitados, constituye una afectación de la esencia del derecho de aprovechamiento de aguas, respecto del cual su titular se encuentra amparado en virtud de la garantía consagrada en el artículo 19 N° 24 de la Constitución Política del Estado*".

Sin embargo, es de notar que el derecho de propiedad constitucional sobre el derecho de aprovechamiento está sujeto a la regulación legal, porque su modo de usar y gozarlo y el modo de usar y gozar (aprovechar) de las aguas está sujeto a la ley, así como lo están las limitaciones legales en razón de su función social, fundada en los intereses generales de la nación. Y no corresponde al Director DGA elucubrar sobre la constitucionalidad de la ley, porque, evidentemente, es una atribución que corresponde a los poderes políticos colegisladores y al Tribunal Constitucional, como se demuestra con que fue precisamente ese órgano constitucional el que, en sentencia del 13 de octubre de 1997 en rol N° 260, resolvió cuestiones adjetivas y sustantivas planteadas durante la tramitación de la ley que reformó el Código, y que ninguna autoridad administrativa habría podido ni puede ni podrá hacer, con la excluyente excepción del Contralor General de la República, como prevé el inciso tercero del artículo 99 de la Constitución Política. Además, frente a este intento de interpretación administrativa, corresponde preguntarse si la DGA también ha considerado el derecho constitucional de acceder a aprovechamientos nuevos, conforme al pertinente artículo número 23° de la misma.

En consecuencia, es obvio que el Director General de Aguas debe aplicar la ley, el artículo 147 bis inciso quinto del Código de Aguas, al determinar la disponibilidad en un acuífero, y no interpretar la Constitución. Y la ley obliga a considerar las *condiciones de uso existentes y previsibles*, que ordena y manda, precisamente a la DGA, ese precepto legal. Resulta,

por lo menos, no adecuado ampararse en el artículo 300 del Código de Aguas para omitir e ignorar deliberadamente un mandato legal; tampoco para interpretar la Constitución, so pretexto de darle aplicación a ella contra un claro y contundente precepto legal.

11.4.5 INCUMPLIMIENTO DE LA LEY.

Todo órgano administrativo tiene obligación de cumplir la ley. Sólo puede ejercer sus atribuciones dentro de la ley y, en los casos en que ordena perentoriamente un modo de actuar, debe hacerlo como la ley dice.

Así debe ser la conducta que la DGA debe seguir frente a las solicitudes de derechos de aprovechamiento sobre aguas subterráneas. El inciso quinto del artículo 147 bis del Código de Aguas prescribe que, salvadas otras disposiciones que menciona, habrá de otorgar (*procederá*) esos derechos "*siempre que*". Literalmente, dice: "*..., procederá la constitución de derechos de aprovechamiento sobre aguas subterráneas, siempre que la explotación del respectivo acuífero sea la apropiada para su conservación y protección en el largo plazo, considerando los antecedentes técnicos de recarga y descarga, así como las condiciones de uso existentes y previsibles...*".

La Resolución que pido reconsiderar ignora ese artículo 147 bis, que trata de los antecedentes técnicos necesarios para evaluar el otorgamiento de derechos sobre aguas subterráneas.

Para no aplicar el inciso quinto del artículo 147 bis, no procede ampararse en los artículos 66 y siguientes del mismo Código de Aguas, relativos éstos al otorgamiento de derechos provisionales en zona o área de restricción.

Una cosa son los artículos 65, 66 y 67, y otra el artículo 147 bis. Conforme a los primeros, la DGA puede declarar y mantener un área de restricción, pero no puede hacerlo en forma arbitraria. La DGA debe actuar técnicamente, con fundamentos; así lo prescribe expresamente el artículo 65 en relación con el artículo 64 del Código: ha de comprobarse "*el riesgo de grave disminución de un determinado acuífero*" y considerar que "*los antecedentes de explotación del acuífero demuestren la conveniencia de declarar...*", y aún más, debe evaluar "*los resultados de nuevas investigaciones*".

De ahí que no resulta razonable e incurre en arbitrariedad la Resolución si no transparenta sus fundamentos, si no se hace cargo de las observaciones y estudios técnicos de los solicitantes, que están, además, habilitados por los artículos 64 y 65; como es el caso concreto.

Y a pretexto de sujetarse a sus atribuciones del artículo 66, sobre derechos provisionales en áreas de restricción, la Resolución incursiona en el balance hídrico del acuífero, el cual debe sujetarse al inciso quinto del artículo 147 bis del Código, es decir, a estudios que consideren las *condiciones de uso existentes y previsibles*.

Estas *condiciones de uso existentes y previsibles* son condiciones concernientes a la realidad, son hechos, determinados por análisis sobre lo actual y sobre probabilidades de hecho futuras; no contienen supuestos fijos ni presunciones de derecho inamovibles, como lo es considerar que todos los derechos sobre aguas subterráneas otorgados antes de la ley N° 20.017 se usarán "*todos los segundos del año*".

11.4.6 CONTRADICCIÓN ENTRE NORMAS ADMINISTRATIVAS

Desde la perspectiva puramente administrativa, la Resolución N° 239, especifica y especialmente, contradice normas generales de la propia DGA. En efecto, el Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos, aprobado por Resolución DGA N° 3.504 exenta, de 17 de diciembre de 2008, contiene, en sus párrafos 6.1.2.6 a 6.1.2.10, expresas normas de carácter general relativas a la evaluación de los acuíferos, que tratan de las siguientes materias:

6.1.2.6 Disponibilidad de aguas subterráneas;

6.1.2.7 Explotación sustentable;

6.1.2.8 Consideración del volumen almacenado en la determinación de la disponibilidad de aguas subterráneas;

6.1.2.9 Contenidos de estudios hidrogeológicos;

6.1.2.10 Modelo de simulación hidrogeológica.

Este manual ha sido dictado en ejercicio de la atribución que otorga al Director General de Aguas el artículo 300 letra a) del Código, y "del deber", dice, de "*dictar las normas e instrucciones internas que sean necesarias para la correcta aplicación de las leyes y de los reglamentos que sean de la competencia de la Dirección a su cargo*", y está plenamente vigente.

El Manual regula y aplica el concepto de uso previsible. Explica y ordena a los funcionarios, e implica a los interesados, que corresponde determinar el caudal de explotación sustentable, el cual, "*a nivel de fuente, es aquel que permite un equilibrio de largo plazo*

del sistema, otorgando respaldo físico a los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas constituidos, no generando afección a derechos de terceros (tanto derechos superficiales como subterráneos) y no produciendo impactos no deseados a la fuente y al medio ambiente”.

Y recoge los conceptos ignorados por la Resolución reclamada, entre otras explicaciones e instrucciones:

“...para los efectos de determinar los derechos disponibles de aguas subterráneas susceptibles de ser otorgados a nivel de acuífero, el criterio técnico establecido por la Dirección General de Aguas, indica el siguiente procedimiento:

- a. Determinación del caudal de explotación sustentable en el largo plazo a nivel de acuífero (oferta de agua subterránea).*
- b. Determinación de los derechos y usos que estén en proceso de ser regularizados, a respetar en el acuífero.*
- c. Asignación de coeficiente uso previsible a los derechos y usos a respetar, por tipo de actividad, definiendo así la demanda real sobre el acuífero.*

El coeficiente de uso previsible refleja la naturaleza de la explotación de aguas subterráneas, que hace que las captaciones sean empleadas sólo en forma temporal y de ese modo, la extracción media de largo plazo desde el acuífero sea sustancialmente menor que la explotación máxima autorizada como derecho de aprovechamiento...

La consideración del porcentaje de uso efectivo de los derechos, corresponde a un criterio de carácter técnico que refleja las características físicas tan especiales del recurso y que permite determinar su disponibilidad real ...”, etcétera.

Esta contradicción entre la norma general y la Resolución N° 239 (así como las otras idénticas dictadas para acuíferos específicos) indica claramente que ésta ha incursionado en una materia eminentemente técnica sólo con una consideración constitucional que no corresponde y bajo la hipótesis de inmovilidad que no es real y que causará un perjuicio grave en la utilización del recurso.

Estimamos que la Dirección de Aguas se ha apresurado a dictar la Resolución N° 239 con un antejudio jurídico, sin consideración de sus propias normas generales, y sin consideración al Código de Aguas, que debe respetar coherentemente.

11.4.7 FALTA DE TRANSPARENCIA DEL FUNDAMENTO TÉCNICO DE LA RESOLUCIÓN.

La Resolución N° 239 se dictó con ausencia total de transparencia. Su dictación se comunicó recién por aviso del 2 de noviembre de 2011 publicado en el Diario Oficial.

Los textos de los estudios y antecedentes producidos durante el presente año 2011 que justificarían su contenido (informes técnicos citados en los "vistos" números 5, 6, 7 y 8), recién se dieron a conocer una vez que esa Resolución fuera comunicada al público. Se contravienen, así, dos normas legales expresas: el artículo 16 de la ley N° 19.880, sobre procedimientos administrativos, y el artículo 147 bis del Código de Aguas.

"Artículo 16. Principio de transparencia y publicidad. El procedimiento administrativo se realizará con transparencia, de manera que permita y promueva el conocimiento, contenidos y fundamentos de las decisiones que se adopten en él. En consecuencia salvo excepciones establecidas por la ley o el reglamento, son públicos los actos administrativos de los órganos de la Administración del Estado y los documentos que le sirvan de sustento o complemento directo o esencial"

Y el artículo 147 bis inciso quinto del Código de Aguas señala:

"Sin perjuicio de lo dispuesto en los artículos 22, 65, 66, 67, 129 bis 1 y 141 inciso final, procederá la constitución de derechos de aprovechamiento sobre aguas subterráneas, siempre que la explotación del respectivo acuífero sea la apropiada para su conservación y protección en el largo plazo, considerando los antecedentes técnicos de recarga y descarga, así como las condiciones de uso existentes y previsibles, todos los cuales deberán ser de conocimiento público."

Es indudable que la Resolución N° 239 recae sobre una de las bases para constituir derechos sobre aguas subterráneas, pues, aunque se refiere a un acuífero restringido, dicta normas y criterios para evaluar el acuífero y supeditar el otorgamiento de nuevos derechos. Por tanto, los informes fundantes debieron estar disponibles a los interesados y al público, especialmente si se han presentado a la DGA otros estudios e investigaciones que arriban a conclusiones, como se pasa a indicar y reseñar enseguida.

11.4.8 NO CONSIDERACIÓN DE FUNDAMENTOS PROPORCIONADOS POR SOLICITANTES.

En efecto, en la tramitación de, al menos doce expedientes (el ND-1305-795, iniciado el 29 de enero de 2004, los ND-1305-921, ND-1305-922, ND-1305-923, ND-1305-924, ND-1305-925 y ND-1305-926, iniciados el 13 de mayo de 2005; el ND-1305-1879, iniciado el 11 de abril de 2006, y los ND-1305-4283, ND-1305-4284, ND-1305-4285 y ND-1305-

4286, iniciados el 25 de junio de 2009), sobre solicitudes de derechos de aprovechamiento sobre aguas subterráneas, aún pendientes de resolución, Agrícola Ariztía Limitada ha presentado los siguientes estudios y antecedentes referidos al acuífero Puangue Medio:

- Copias de las solicitudes formuladas por Agrícola Ariztía Limitada para constituir derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en el acuífero Puangue Medio, que siguen pendientes de resolución;
- Escritos de Se tenga Presente presentados por Agrícola Ariztía Limitada (AA) a la DGA el 17 de septiembre de 2009;
- Presentación del informe de reformulación del modelo hidrogeológico del sector acuífero Puangue Medio, recibido el 18 de diciembre de 2009 por la Dirección de Administración de Recursos Hídricos de la Dirección General de Aguas;
- Carta de Geohidrología Consultores Limitada mediante la cual se formaliza la entrega a la Dirección General de Aguas del modelo numérico relativo al informe, de 6 de enero de 2011;
- Carta de Sociedad Agrícola El Ranchillo Uno Limitada y de Agrícola Ariztía Limitada al señor Director General de Aguas presentada el 5 de septiembre de 2011;

Lo anterior fue complementado en diversas reuniones y exposiciones en las oficinas de la Dirección de Administración de Recursos Hídricos de la DGA.

No obstante, esos estudios y presentaciones, la Resolución N° 239 no se hace cargo de estos análisis que inciden en forma seria, técnica y científica sobre las condiciones del acuífero Puangue Medio. Estos análisis técnicos consideran completos estudios geofísicos e hidrológicos y el desarrollo de modelos que amplían sustancialmente el conocimiento del acuífero usado por la DGA en su Resolución. Esta prescindencia de la DGA sobre los antecedentes y observaciones que se le presentan no se compadece con el deber de toda autoridad de atender las peticiones justificadas, como es su responsabilidad frente al ejercicio del derecho de petición y, particularmente y entre otros, del que señalan los artículos 64, 65 y 134 del Código de Aguas.

Del Código de Aguas y de las consideraciones precedentes, se desprende que la Resolución N° 239 infringe sustancialmente el precepto legal del artículo 147 bis de ese Código y, en consecuencia, adolece de ilegalidad.

Por tanto, pido al señor Director General de Aguas reconsiderar la Resolución DGA N° 239, de 13 de octubre de 2011, que modifica el área de restricción de los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común denominados Puangue Alto, Puangue Medio, Cholqui, Popeta, Melipilla y La Higuera, Región Metropolitana.

11.5 RESPUESTAS A LOS CUESTIONAMIENTOS TÉCNICO-LEGALES PLANTEADOS POR AGRÍCOLA ARIZTÍA LIMITADA.

11.5.1 RESPUESTA A TÉNGASE PRESENTE (2 DE JULIO DE 2009)

Agrícola Ariztía Limitada ha venido en hacer presente mayor información técnica que demuestra:

- La conveniencia de modificar el punto del estero Puangue donde se ha aplicado los criterios de afección a los derechos de aguas superficiales.
- La insuficiencia de la información técnica actualmente disponible en relación a la complejidad del sistema hidrogeológico de Puangue Medio, y, en consecuencia, la necesidad de esperar la realización de estudios hidrogeológicos adicionales a los existentes antes de resolver.

En este escrito, Agrícola Ariztía Limitada, para la parte de interferencia entre aguas superficiales y subterráneas, desarrolla la idea de que existe afectación, si existen derechos de aprovechamiento de aguas superficiales aguas abajo del punto de control (o cierre) que pudieren mermar su volumen, y por tanto afectar su ejercicio, producto de una disminución de las aguas superficiales por efecto del bombeo en el acuífero de Puangue Medio. Si no existen derechos de aprovechamiento que proteger, entonces, aunque exista una disminución de los caudales de aguas superficiales a la salida de la cuenca que alberga al acuífero, no habría interferencia. Toda la argumentación se basa en lo establecido en el artículo 31 letra c) de la resolución DGA N° 425, de 2007.

Por otro lado, Agrícola Ariztía Limitada, ha representado, según su parecer, las insuficiencias en la calibración del modelo hidrogeológico de la DGA, realizando además, una comparación de los resultados del modelo hidrogeológico de la DGA con otros informes realizados en esa zona. Enfatizando en la necesidad de realizar nuevos estudios hidrogeológicos para determinar la explotación sustentable del acuífero de Puangue Medio.

Vistos los antecedentes técnicos y legales de lo expuesto y lo concerniente a la ciencia y la técnica, es posible concluir que:

11.5.1.1 ANÁLISIS DE LA AFECCIÓN DE DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS DE TERCEROS CONSIDERADA POR LA DGA, PARA RESTRINGIR LA EXPLOTACIÓN DE PUANGUE MEDIO.

En relación con los impactos de la explotación de aguas subterráneas sobre aguas superficiales, Agrícola Ariztía Limitada menciona que no es aplicable en la sección de salida del acuífero de Puangue Medio, pues aguas abajo de la sección de control, existen derechos de aguas superficiales que no tendrían una merma de caudal, debido a que en el tramo de 15 kilómetros que los separa, existirían arroyos, quebradas y derrames de canales que aumentan el caudal superficial. El respaldo legal presentado, involucra al artículo 31 letra c) de la resolución 425, de 2007, la cual señala que uno de los criterios suficientes para declarar un área de restricción es:

- c) *"Que se produzca afección a los caudales de los cursos de agua superficiales y vertientes en más de un diez por ciento del caudal medio de estiaje del año con un ochenta y cinco por ciento de probabilidad de excedencia, afectando derechos de aprovechamiento existentes."*

De aquí es que, Agrícola Ariztía Limitada deduce que, si la reducción del caudal superficial pasante no afecta a derechos constituidos, entonces no aplica. Además, a consecuencia de esto, concluye que para evaluar los impactos en los derechos de aguas superficiales se debe considerar un punto de control, fuera de la cuenca del estero Puangue, en la estación fluviométrica Río Maipo en Cabimbao.

Con respecto al planteamiento de Agrícola Ariztía Limitada, cabe mencionar que es un error considerar la sección de cierre, para la aplicación del criterio de interferencia, fuera de la cuenca que alberga al acuífero en estudio. Esto, porque la esencia de este criterio es evaluar el impacto regional que tiene la explotación de aguas subterráneas de un acuífero sobre las aguas superficiales que escurren en la misma cuenca que alberga al acuífero.

En efecto, no puede ser de otra manera, pues está en riesgo la sustentabilidad de largo plazo de un acuífero. Dado que, si por efecto del bombeo de las captaciones de aguas subterráneas del acuífero, se produce un aumento de la infiltración (recarga inducida) y una disminución de los afloramientos en los cauces de la cuenca que alberga al acuífero, significaría que la explotación de aguas subterráneas supera la recarga renovable. Hecho que provocaría un deterioro del acuífero en el largo plazo. Hay que notar que este criterio considera el efecto conjunto de la explotación de todas captaciones sobre los escurrimientos superficiales. Es por esto que este criterio es un criterio regional aplicado al

interior de la cuenca que alberga al acuífero, sobre el cual se quiere determinar su caudal de explotación o recarga sustentable.

Basta recordar que el caudal de comparación para determinar el grado de impacto, se determina considerando los aumentos de infiltración de todos los cauces superficiales, con respecto a un escenario base, y las disminuciones de los afloramientos en todos los cauces superficiales al interior de la cuenca que alberga al acuífero, no importando la ubicación dentro de la cuenca. Este caudal se compara con una fracción del caudal pasante en la sección de salida de la cuenca que alberga al acuífero. Esta fracción se determina considerando el 10% del caudal medio de estiaje del año de probabilidad de excedencia del 85% (Resolución DGA N° 425, de 2007). Se toma el 10% porque sólo se permite disminuir el caudal superficial generado por la cuenca dentro de los límites del error en la medida del caudal (10%), y se exige más aun considerando que se debe determinar la afección en la época de estiaje donde los caudales son necesarios para el riego, y se exige más todavía porque pide considerar el año de probabilidad de excedencia del 85%. Por tanto el espíritu del criterio es permitir una pequeña interferencia global comparable al error de la medición del caudal en las condiciones más desfavorables (interferencia global mínima).

La redacción del artículo 31 letra c) de la resolución N° 425 de 2007, permitía una interpretación que se aleja del espíritu del criterio, cual es asegurar una explotación sustentable en el largo plazo para cualquier acuífero. Esto fue subsanado en el decreto N° 203 que aprueba el Reglamento sobre Normas de Exploración y Explotación de Aguas Subterráneas. El cual en su artículo 30 letra d) menciona:

d) Los estudios técnicos indiquen que la demanda comprometida producirá una afección a los caudales de los cursos de aguas superficiales en más de un diez por ciento del caudal medio mensual asociado al ochenta y cinco por ciento de probabilidad de excedencia, durante seis meses consecutivos.

Tal como debe ser, el nuevo reglamento establece que la comparación se hará contra caudales y no de afección, o no, a derechos de aprovechamiento. Más aún deja también claro que el caudal a comparar (aumento de infiltración más reducción de afloramientos) es aquel inducido por el bombeo de la demanda comprometida, exigiendo que no supere el caudal medio mensual asociado al ochenta y cinco por ciento de probabilidad de excedencia en seis meses consecutivos.

De manera entonces, que el punto de la aplicación correcto, para de este criterio, es en la sección de salida de la cuenca que alberga al acuífero en estudio.

11.5.1.2 VALIDEZ DE LA MODELACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE PUANGUE MEDIO UTILIZADA POR LA DGA

El modelo hidrogeológico utilizado por la DGA es adecuado para evaluar la explotación de aguas subterráneas y sus consecuencias en la cuenca del estero Puangue.

En efecto, el modelo hidrogeológico de la DGA conceptualiza el acuífero a través de una sola capa con una permeabilidad equivalente que resulta menor a la mayor de las permeabilidades de las tres unidades hidrogeológicas existentes (permeabilidad de capa intermedia). Las condiciones de confinamiento no son replicadas, y el control de los afloramientos queda supeditado a los valores finales de las permeabilidades calibradas y a la conductancia del lecho del río en las zonas de interacción.

De esta forma, el agua que interacciona con el estero corresponde al volumen que pasa bajo él, pero cuyo movimiento está restringido por una permeabilidad menor.

En condiciones de confinamiento, el afloramiento o no sobre el estero en esta zona, depende exclusivamente del agua en el estrato libre superior. Si aumenta el bombeo de las norias y pozos de la capa superior, los afloramientos disminuirán, si por el contrario aumenta la recarga por riego e infiltración de canales el afloramiento aumentará. Por su parte, un aumento en la explotación del acuífero inferior confinado, provocará un aumento en la recarga inducida de la zona de recarga superficial de este acuífero (parte superior de Puangue Medio aguas arriba de Lolenco), provocando una disminución de derrames, y por tanto también una disminución de los aportes al estero en la zona alta. Es decir, la interferencia se presentará aguas arriba de la zona confinada, pero afectando de igual forma el balance global del estero. De esta forma entonces, el modelo DGA no reproduce exactamente la zona donde se produce el intercambio de agua entre el estero y los acuíferos, pero reproduce la influencia global entre ellos. Cabe decir, que no existen medidas de caudales continuos a lo largo del estero en Puangue Medio, que permita relacionar los afloramientos con los elementos de recarga y descarga de los acuíferos, y que permita por tanto, conocer la estructura, monto y distribución espacial de ellos. Esta realidad afecta a todos los estudios y modelos realizados a la fecha, incluyendo el modelo de Geohidrología-2009. De esta forma entonces, importa la influencia relativa del acuífero sobre los cauces superficiales debido a la operación futura en el acuífero. El afloramiento neto para el escenario base en el modelo DGA es de 1.227 l/s, valor que es un 24% mayor al determinado por el modelo de Geohidrología-2009 (991 l/s) en la calibración transiente.

El modelo numérico DGA-2006 ocupa los resultados de recarga del modelo MOS de Puangue entre los nodos 51 y 52, por tanto ocupa el balance hidrológico de flujos de

entrada y salidas de este Modelo MOS, el cual representa al acuífero como un volumen desde donde se extrae agua cuando se bombea y se incorpora agua por precipitación, percolaciones de riego, canales y ríos y donde la escorrentía superficial considera también la generada en las cuencas laterales. Por tanto, se utiliza un balance hídrico para la zona con 48 años de estadística, mismo balance que utiliza el Modelo de Geohidrología-2009 para contrastar los valores de afloramientos calculados.

Por su parte, efectivamente no existen mediciones geofísicas que den cuenta de la verdadera geometría del acuífero, sin embargo dado que los sondajes existentes, a la fecha de construcción del modelo DGA-2006, no superaban mayores profundidades que 100 metros y que los niveles de la napa no son muy profundos, basta considerar un espesor acuífero de no más de 100 metros de profundidad para representar los flujos de interés. Esta técnica si se utiliza con cuidado entrega valores aceptables de flujos.

No es correcto comparar el modelo DGA-2006 con el modelo DGA/AC-2000 de tres capas realizado para parte de la cuenca de Puangue Medio. El modelo en comento no considera toda la superficie del acuífero de Puangue Medio, sólo considera la parte donde existe confinamiento (después de Lolenco y hasta antes de llegar al estero Améstica). Como ya se comentó, aquí existe una zona de recarga importante, tanto a la entrada desde la parte norte como debida al sistema de riego y canales perimetrales. Lo anterior induce un flujo subterráneo entrante muy superior al flujo que entra desde el acuífero de Puangue Alto.

Además la recarga considerada por este modelo, menciona que tuvo que reducirse a la mitad ($1,6 \text{ m}^3/\text{s}$) para poder calibrar el modelo con los valores de las permeabilidades del orden de los valores del modelo conceptual, esto quiere decir que la recarga del MOS determinada para Puangue Medio, en el modelo DGA/AC-2000 es del orden de $3,2 \text{ m}^3/\text{s}$, recarga que supera en $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ la recarga potencial del MOS utilizada por el modelo CNR/GEOFUN-2001. Este modelo, DGA/AC-2000 no puede presentar afloramientos en sus resultados, pues no incorpora la condición de borde de tipo río, esta recarga (de río) está incorporada en la recarga superficial total, así fue conceptualizada.

Entonces no es correcto comparar los resultados de este modelo porque al menos los dominios no son iguales y no posee afloramientos, no porque no existan, si no que no puede mostrarlos porque no incorpora la condición de borde de tipo río.

11.5.2 RESPUESTA A SE TENGA PRESENTE SOBRE LA SUSTENTABILIDAD DEL ACUÍFERO (17 DE SEPTIEMBRE DE 2009)

En este escrito, Agrícola Ariztía Limitada, viene en solicitar que, en la tramitación del expediente citado, quiere prevenir que, en el proceso de determinación de las condiciones de uso existentes y previsibles se considere la suma de caudales máximos otorgados y por otorgar. De esta forma, pide, se tenga especial cuidado en no confundir dos conceptos, esencialmente diferentes, como son el uso necesario, con las condiciones de uso previsibles, y, por tanto, de esta manera, aplicar correctamente el artículo 147 bis inciso final, que en parte menciona

"... procederá la constitución de derechos de aguas subterráneas, siempre que la explotación del respectivo acuífero sea la apropiada para su conservación y protección en el largo plazo, considerando los antecedentes técnicos de recarga y descarga, así como las condiciones de uso existentes y previsibles, ...".

La DGA por su parte, en la determinación de la disponibilidad de un determinado acuífero, aplica ambos conceptos, sin confundir, de acuerdo a normativa vigente y en estricto apego a nuestra Carta Fundamental. No utilizando, para la determinación de los usos actuales o previsibles, los caudales máximos otorgados.

En efecto, el otorgamiento o denegación de un derecho de agua subterránea, está supeditado a la existencia o no, de un volumen disponible de aguas subterráneas, en el sector acuífero en donde se ubica la captación. En donde el concepto de "disponibilidad" dice relación con la posibilidad de aprovechar y explotar aguas subterráneas, sin perjudicar el equilibrio de largo plazo del sistema acuífero, y sin perjuicio ni menoscabo de las posibilidades de aprovechamiento de otros titulares de derechos del mismo sector.

De esta forma, el procedimiento para determinar la disponibilidad de un sector acuífero, incluye la obtención del volumen sustentable posible de extraer, que permita una explotación que no perjudique el equilibrio de largo plazo del sistema acuífero, y, la determinación de los volúmenes de extracción autorizados a respetar de los usuarios del acuífero.

El volumen sustentable posible de extraer, corresponde al volumen o caudal renovable del acuífero, cuya explotación no provocará descensos sostenidos, ni disminución de la capacidad de producción de las captaciones, ni afección a fuentes superficiales ni a otros usuarios. Su determinación está sujeta a la cuantificación de las recargas y descargas de largo plazo del sistema. Es decir, está sujeta a la cuantificación del agua que entra y sale

del sistema acuífero, y a la simulación (o modelación) del sistema acuífero en el largo plazo (usualmente 50 años), sujeta a no sobrepasar los criterios de cierre de un sector acuífero, determinados por la DGA.

Parte del agua que sale del acuífero, corresponde a las descargas reales por explotación de las captaciones existentes en él (demanda antrópica). La determinación del estado actual y futuro del sistema acuífero, requiere saber entonces, cual es el monto de extracción real, actual y futura, de las captaciones que explotan y explotarán el acuífero.

Dado que las captaciones no se usan todo el tiempo, se debe considerar la frecuencia de uso de las captaciones para las distintas actividades. Para esto, la DGA ha definido coeficientes de uso previsible (factor de uso) por actividad, los cuales reflejan la naturaleza de la explotación de aguas subterráneas. De aquí que el caudal de extracción medio de largo plazo es inferior al caudal máximo autorizado de extracción.

En tanto, el volumen de extracción autorizado a respetar de los usuarios del acuífero. Se determina considerando todos los volúmenes otorgados señalados en el acto de constitución de los derechos de aprovechamiento. Los derechos de aprovechamiento otorgados que no tuvieron volumen de extracción autorizado, deberán determinarlo de acuerdo a lo previsto en la resolución DGA N° 239, de 11 de octubre de 2011.

La resolución DGA N° 239, aplica para aquellos derechos otorgados antes de la entrada en vigencia de la ley 20.017 que modificó el Código de Aguas en 2005, y que establece que para aquellas solicitudes con caudales consuntivos superiores a 10 l/s entre la región de Arica y Parinacota y la Región Metropolitana y superiores a 50 l/s en el resto de la regiones, deberán presentar una memoria explicativa que justifique el volumen solicitado para la actividad en que se le dará uso, con tope las tasas de uso por actividad, señaladas en la Tabla de Equivalencias, las que reflejan el uso habitual del recurso por actividad. De esta forma, se evita la especulación y se establece el volumen anual necesario para cada derecho de aprovechamiento.

El volumen así otorgado después de 2005, resulta suficiente para ser utilizado en la actividad informada. Así lo estimó necesario el legislador, para no imponer una eficiencia determinada, sino aquella que dictan las prácticas habituales. De esta forma, el caudal necesario es evidentemente menor al caudal de uso previsible.

De manera que el volumen de extracción autorizado para un sector acuífero, contendrá derechos de aprovechamientos con volúmenes otorgados equivalentes al caudal necesario y otros con volúmenes, a considerar en la disponibilidad, mayores al caudal necesario.

Luego, la disponibilidad se obtiene restando al volumen sustentable el volumen de derechos a respetar en el acuífero. Si la diferencia es positiva, se podrán otorgar nuevos derechos en carácter de definitivos, en caso contrario, se procederá a cerrar el acuífero con la posibilidad de otorgar derechos provisionales.

De esta forma el volumen correspondiente a los derechos a respetar en el acuífero, ya no se obtiene aplicando un factor de uso, es decir, ya no se considera el uso previsible para tal determinación, pues, se requiere respetar la esencia del derecho de aprovechamiento de aguas, derecho de propiedad, respecto del cual el titular se encuentra amparado en virtud de la garantía consagrada en el artículo 19 N° 24 de la Constitución Política del Estado. De aquí se tiene que, el titular de cada derecho de aprovechamiento, debe tener siempre la posibilidad de acceder a su volumen anual autorizado, en cualquier instante de tiempo y para siempre.

Por tanto, la DGA, con el procedimiento detallado anteriormente, cumple con las disposiciones legales contenidas en el artículo 147 bis, inciso final, porque la disponibilidad, y por tanto la extracción, determinada de acuerdo al número 6) de la resolución DGA N° 239, permite que siempre la oferta hídrica del acuífero sea mayor que la demanda previsible de este, procurando entonces su conservación y protección en el largo plazo. Y más aún, en el proceso de determinación de la disponibilidad, se considera los usos existentes y previsible al momento de calcular el volumen sustentable.

Y ni se ha confundido los significados de los conceptos de caudal o volumen anual necesario, ni uso previsible, ni caudal máximo de extracción autorizado. Los que han sido utilizados en la determinación del volumen anual de derechos a respetar, determinación del volumen sustentable y en la satisfacción de la demanda máxima autorizada.

11.5.3 RESPUESTA A SOLICITA ALZAMIENTO DE LA DECLARACIÓN DE RESTRICCIÓN DEL SUBSECTOR ACUÍFERO PUANGUE MEDIO (26 DE SEPTIEMBRE DE 2011)

Agrícola Ariztía Limitada ha solicitado a la DGA el alzamiento del área de restricción del subsector acuífero de Puangue Medio. Para esto, como obliga la ley, ha presentado antecedentes técnicos y consideraciones legales para su consideración y análisis.

En cuanto a los antecedentes técnicos, Agrícola Ariztía Limitada ha presentado un modelo numérico de flujo de aguas subterráneas, realizado en la plataforma Visual Modflow, basado en un modelo conceptual que discretiza el acuífero en dos capas, una capa superior de espesor de entre 20 y 50 metros, que contiene suelos de baja permeabilidad e incluye parte de la Ignimbrita Pudahuel, y otra capa inferior de mejores propiedades acuíferas, subyaciendo a la primera, con lentes de arenas, gravas y ripios en matriz arcillosa y de mayor permeabilidad que la capa superior y en donde se concentran los recursos hídricos subterráneos. Se acompaña como parte de la conceptualización un sistema de drenes que extrae agua en exceso desde la zona de Lolenco, se agregan condiciones de borde de nivel constante para la entrada y la salida del acuífero, se interpreta al estero Puangue a través del paquete de río, además, se agrega el concepto de recarga inducida cuyo monto variable se definió como un 20% del bombeo adicional.

Con los elementos antes expuestos, se logra, considerando los criterios de sustentabilidad de la DGA, para el acuífero de Puangue Medio: un caudal sustentable 2.244 l/s equivalente a la recarga aceptada por el modelo en el Escenario2. Este caudal es un 68% mayor al caudal sustentable (1.332 l/s) determinado por la DGA en su modelación numérica para el acuífero de Puangue Medio.

Adicionalmente los fundamentos de Agrícola Ariztía Limitada para solicitar el levantamiento del área de restricción, señalan que: Los nuevos estudios corrigen las limitaciones críticas de los informes utilizados por la DGA para declarar el área de restricción, a saber: a) el modelo hidrogeológico utilizado para evaluar el comportamiento del acuífero; y b) la aplicación del criterio de afección de aguas superficiales referido en la letra c) del artículo 31 de la resolución DGA N° 425, de 2007.

Vistos: todos los antecedentes técnicos existentes para la cuenca del estero Puangue; la nueva modelación hidrogeológica realizada por Geohidrología Consultores Limitada para Agrícola El Ranchillo Uno Limitada y Agrícola Ariztía Limitada; y lo concerniente a la técnica, es posible concluir que:

11.5.3.1 CON RESPECTO AL MODELO NUMÉRICO REALIZADO POR GEOHIDROLOGÍA

7. Las condiciones de borde de nivel constante impuestas al modelo numérico de flujo subterráneo realizado por Geohidrología, no permiten establecer si existe o no afección a otros acuíferos producto de la explotación del acuífero de Puangue Medio.

En efecto, la condición de nivel constante impuesta para la entrada y la salida del modelo, implica que para el horizonte de largo plazo (50 años), en donde se deben observar los efectos de la explotación, las condiciones de la frontera (nivel) de los acuíferos jamás cambiarán, por tanto el flujo de salida o entrada al acuífero de Puangue Medio estará circunscrito solo a la actividad interna del acuífero de Puangue Medio, aislando los efectos de los acuíferos vecinos (Puangue Alto y Puangue Bajo) sobre el acuífero de Puangue Medio. Suponer esto en el largo plazo, es un error.

Sin embargo, es posible considerar, que, la condición de nivel constante entre el acuífero de Puangue Alto y Puangue Medio, no genera tanta discrepancia como la conexión entre el acuífero de Puangue Medio con el acuífero de Puangue Bajo.

En efecto, debido a la singularidad hidrogeológica de la conexión entre el acuífero de Puangue Alto y Puangue Medio, en donde hay un estrechamiento, se presenta un flujo base pequeño debido al área de la sección pequeña y gradiente hidráulico casi plano desde el lado del acuífero de Puangue Alto. De manera que el flujo inducido por la operación del acuífero de Puangue Medio, se tiende a sobrestimar utilizando un nivel constante en su frontera, sin embargo sigue siendo de baja magnitud con respecto a los valores de recarga considerados.

Por otro lado, considerar un nivel fijo en la salida de Puangue Medio, impide saber con exactitud cuánta agua puede entrar proveniente de la frontera, si existen cambios en las condiciones de nivel de aguas abajo, como por ejemplo, si el canal Mallarauco no recarga más al acuífero de La Higuera.

Entonces, mantener continuidad con los acuíferos vecinos, permite evitar este tipo de problemas y adicionalmente los flujos entre ellos se relacionan de una manera directa y natural.

8. El modelo de Geohidrología considera sólo dos capas, las que no representan adecuadamente la conceptualización realizada en los estudios CNR/IPLA-1984 y DGA/AC-2000, los que señalan que la Ignimbrita Pudahuel se presenta en el valle

del estero Puangue desde aproximadamente al sur de la localidad de Lolenco y más allá de los límites del acuífero de Puangue Medio. (Figura 4-1 y Figura 7-15), generando con esto semi-confinamiento y confinamiento en la parte media-baja del valle de Puangue Medio, constituyéndose la parte alta (Unidad Puangue 2) en una de las zonas de recarga al acuífero confinado de buenas propiedades hidrogeológicas. Mientras que en la zona sobre el acuífero confinado, se tiene un acuífero de poca potencia y de baja permeabilidad sobre el cual descansa el lecho del estero Puangue en ese tramo. DGA/AC-2000 sugiere tres capas para conceptualizar a los acuíferos del estero Puangue, pero también se puede lograr este mismo efecto con dos capas, las que en la zona sobre Lolenco debería presentar la conductividad vertical el mismo valor que las conductividades horizontales. Esto no ocurre en el modelo de Geohidrología el cual presenta un valor de conductividad vertical equivalente al 10% de la horizontal.

9. La conceptualización de los drenes, en el modelo de Geohidrología, es incompleta. En efecto, los drenes que conforman el sistema La Laguna y otros, drenan los sectores aledaños a la localidad de Lolenco, en donde, las condiciones y propiedades de los suelos no permiten conducir con rapidez la recarga producida por el canal Las Mercedes en esa zona. La red de drenaje permite extraer los excesos del acuífero y derrames de riego de la zona, los que son conducidos por estos drenes hasta su descarga en el estero Puangue. En su trayecto, las aguas son utilizadas para regar otras zonas de riego. Incluso después de la descarga del dren La Laguna en el estero Puangue, existen usuarios que tienen derechos sobre estas aguas y que las captan desde el estero Puangue (por ejemplo Bomba Hurtado con capacidad de extracción de 400 l/s, capta en estero Puangue las aguas del dren La Laguna). Cuánta de esta agua recarga el acuífero superficial en la zona Media-Baja del Valle de Puangue Medio, no lo sabemos porque no se incorpora este concepto. Por otra parte, la conductancia de estos drenes fue calibrada con valores de caudales bajos (alrededor de 400 l/s), tomados de los aforos realizados por la DGA en el periodo de intervención de parte del estero Puangue, en el que ocurrió una sequía severa. Sin embargo, existen aforos del dren la Laguna que superan los 1.000 l/s.
10. El modelo no reproduce el patrón de afloramientos mostrado en el mapa de equipotenciales del informe de Geohidrología, el cual muestra que en el último tramo, aguas abajo de la localidad de María Pinto, se producen afloramientos. En tanto, el modelo de Geohidrología, produce afloramientos en el tramo N° 7 de

zonas de balance, ubicado aguas arriba de la zona mostrada por el mapa de equipotenciales del modelo conceptual.

11. La metodología para la determinación de la recarga inducida no tiene relación con la conceptualización del acuífero ni con las prácticas de riego de la zona. En efecto, un aumento del bombeo produce un aumento en la infiltración y/o también una disminución del flujo subterráneo de salida. Este caso se puede dar en el acuífero de Puangue Medio. también es claro que el monto de la recarga inducida es variable y depende de la tasa de bombeo, pero también depende del agua disponible para recargar.

Geohidrología en su planteamiento impone dos hechos que no son del todo correctos. El primero, es aceptar que si aumenta el bombeo, este aumento se debe a una mayor demanda en el riego provocando un aumento de la recarga por este concepto. Sin embargo, de acuerdo a los datos de los Censos Agropecuarios de 1997 y 2007, la cuenca de Puangue Medio pasó de 11.662 hectáreas dedicadas a riego en 1997, a 13.892 hectáreas en el año 2007, con un aumento de la eficiencia de aplicación del riego de 43.3% en 1997 y de 53.8% y con un consumo a nivel de cultivo de 3.291 l/s en 1997 a 4.037 l/s en 2007. Las áreas de menor eficiencia de riego se ubican bajo la cota de los canales: Las Mercedes, El Parrón, Ranchillo y María Pinto, esta área total (incluyendo ciudades, poblados, caminos y áreas no cultivadas) asciende a 18.078 hectáreas, si suponemos que la superficie agrícola corresponde al 80% de esta área, se tendrá un área potencial de riego de 14.463 hectáreas, aproximadamente el monto dedicado a riego en 2007. Por otra parte, se ha transformado el uso de muchos terrenos que podrían utilizarse en agricultura en sectores habitacionales (parcelas de agrado) lo que limita la expansión agrícola. Al año 2017 esta superficie de sectores de parcelas de agrado alcanzó las 2.385 hectáreas. En tanto, la superficie de riego sobre la cota de los canales Las Mercedes El Parrón, Ranchillo y María Pinto, en 2017 alcanzó 6.824 hectáreas, abarcando gran porcentaje de laderas de cerros. Esta superficie, por su naturaleza, posee una alta eficiencia en el riego y por tanto un bajo nivel de recarga. De los datos del Censo Agropecuario, se deduce que el caudal de riego utilizado durante el año 1997 alcanzó en promedio 7.583 l/s y del año 2007, 7.504 l/s, manteniéndose casi constante el caudal utilizado+, indicando que la expansión de la superficie agrícola se produjo en zonas de mayor eficiencia, es decir, por sobre la cota de canales. De aquí se sigue, que en el futuro queda poca superficie para dedicarla al riego, y que la superficie que se pueda agregar será por sobre la cota de canales implicando

mayor eficiencia y menor recarga al acuífero, por tanto la recarga al acuífero, por concepto de riego, no aumenta linealmente con el aumento de la superficie de riego. Además existe un límite de caudal que entra al sistema de Puangue Medio, dado por la capacidad del Canal Las Mercedes;

El segundo hecho, es que en el periodo de validación, para calibrar el porcentaje del caudal del bombeo adicional que se utilizará como recarga inducida, se exigió que los niveles calculados por el modelo en el periodo de validación alcanzara el nivel observado. Este hecho induce a considerar que el estado del sistema cambiará levemente en el largo plazo, pues siempre ingresará un volumen de recarga directamente proporcional al bombeo utilizado, logrando artificialmente que la variación de almacenamiento sea despreciable, cual no ocurre como fue explicado en el párrafo anterior.

12. No se ha conceptualizado adecuadamente el efecto que tiene sobre la recarga los canales perimetrales: Las Mercedes, El Parrón, Ranchillo y María Pinto.

En efecto, el canal Las Mercedes, cuya obra data desde el año 1884, ha estado recargando el acuífero de Puangue Medio por más de 130 años. Su longitud dentro del valle del Puangue alcanza los 100 kilómetros, desde su salida en la Central Carena hasta su descarga en las últimas zonas de riego a la salida del valle de Puangue Medio.

Construido en las laderas de los cerros, este canal cumple con tres importantes funciones: primero la de conducir las aguas de regadío; segundo por su ubicación estratégica, capta los escurrimientos superficiales provocados por las lluvias, conduciéndolos hacia la salida de la cuenca; y tercero recarga los acuíferos de Puangue Medio, tanto el superior como el inferior, debido a que su lecho se conecta tanto con el relleno superior como con el inferior en la zona próxima al contacto roca-relleno.

En época de riego, recarga el acuífero con aguas provenientes del río Mapocho, y en invierno recarga el acuífero con aguas provenientes de la lluvia que cae sobre las cuencas laterales del valle, estas aguas caen el canal y escurren por el mismo, provocando infiltración que se incorpora a los dos acuíferos, superficial y profundo. Se sigue entonces, que el aporte directo de cuencas laterales a los acuíferos de Puangue es escaso y que las aguas superficiales generadas en estas cuencas laterales son llevadas rápidamente a través del canal hacia la salida de la cuenca.

Lo mismo sucede con los canales El Parrón, Ranchillo y María Pinto que cumplen esta misma función en las laderas del lado sur de la cuenca.

11.5.3.2 CON RESPECTO A LA APLICACIÓN DEL CRITERIO DE INTERFERENCIA

En relación con los impactos de la explotación de aguas subterráneas sobre aguas superficiales, Agrícola Ariztía Limitada menciona que no es aplicable en la sección de salida del acuífero de Puangue Medio, pues aguas abajo de la sección de control, existen derechos de aguas superficiales que no tendrían una merma de caudal, debido a que en el tramo de 15 kilómetros que los separa, existirían arroyos, quebradas y derrames de canales que aumentan el caudal superficial. El respaldo legal presentado, involucra al artículo 31 letra c) de la resolución 425, de 2007, la cual señala que uno de los criterios suficientes para declarar un área de restricción es:

- c) *Que se produzca afección a los caudales de los cursos de agua superficiales y vertientes en más de un diez por ciento del caudal medio de estiaje del año con un ochenta y cinco por ciento de probabilidad de excedencia, afectando derechos de aprovechamiento existentes.”*

De aquí es que, Agrícola Ariztía Limitada deduce que, si la reducción del caudal superficial pasante no afecta a derechos constituidos, entonces no aplica. Además, a consecuencia de esto, concluye que para evaluar los impactos en los derechos de aguas superficiales se debe considerar un punto de control, fuera de la cuenca del estero Puangue, en la estación fluviométrica Río Maipo en Cabimbao.

Con respecto al planteamiento de Agrícola Ariztía Limitada, cabe mencionar que es un error considerar la sección de cierre, para la aplicación del criterio de interferencia, fuera de la cuenca que alberga al acuífero en estudio. Esto, porque la esencia de este criterio es evaluar el impacto regional que tiene la explotación de aguas subterráneas de un acuífero sobre las aguas superficiales que escurren en la misma cuenca que alberga al acuífero.

En efecto, no puede ser de otra manera, pues está en riesgo la sustentabilidad de largo plazo de un acuífero. Dado que, si por efecto del bombeo de las captaciones de aguas subterráneas del acuífero, se produce un aumento de la infiltración (recarga inducida) y una disminución de los afloramientos en los cauces de la cuenca que alberga al acuífero, significaría que la explotación de aguas subterráneas supera la recarga renovable. Hecho que provocaría un deterioro del acuífero en el largo plazo. Hay que notar que este criterio

considera el efecto conjunto de la explotación de todas captaciones sobre los escurrimientos superficiales. Es por esto que este criterio es un criterio regional aplicado al interior de la cuenca que alberga al acuífero, sobre el cual se quiere determinar su caudal de explotación o recarga sustentable.

Basta recordar que el caudal de comparación para determinar el grado de impacto, se determina considerando los aumentos de infiltración de todos los cauces superficiales, con respecto a un escenario base, y las disminuciones de los afloramientos en todos los cauces superficiales al interior de la cuenca que alberga al acuífero, no importando la ubicación dentro de la cuenca. Este caudal se compara con una fracción del caudal pasante en la sección de salida de la cuenca que alberga al acuífero. Esta fracción se determina considerando el 10% del caudal medio de estiaje del año de probabilidad de excedencia del 85% (Resolución DGA N° 425, de 2007). Se toma el 10% porque sólo se permite disminuir el caudal superficial generado por la cuenca dentro de los límites del error en la medida del caudal (10%), y se exige más aun considerando que se debe determinar la afección en la época de estiaje donde los caudales son necesarios para el riego, y se exige más todavía porque pide considerar el año de probabilidad de excedencia del 85%. Por tanto el espíritu del criterio es permitir una pequeña interferencia global comparable al error de la medición del caudal en las condiciones más desfavorables (interferencia global mínima).

La redacción del artículo 31 letra c) de la resolución N° 425 de 2007, permitía una interpretación que se aleja del espíritu del criterio, cual es asegurar una explotación sustentable en el largo plazo para cualquier acuífero. Esto fue subsanado en el decreto N° 203 que aprueba el Reglamento sobre Normas de Exploración y Explotación de Aguas Subterráneas. El cual en su artículo 30 letra d) menciona:

d) Los estudios técnicos indiquen que la demanda comprometida producirá una afección a los caudales de los cursos de aguas superficiales en más de un diez por ciento del caudal medio mensual asociado al ochenta y cinco por ciento de probabilidad de excedencia, durante seis meses consecutivos.

Tal como debe ser, el nuevo reglamento establece que la comparación se hará contra caudales y no de afección, o no, a derechos de aprovechamiento. Más aún deja también claro que el caudal a comparar (aumento de infiltración más reducción de afloramientos) es aquel inducido por el bombeo de la demanda comprometida, exigiendo que no supere el caudal medio mensual asociado al ochenta y cinco por ciento de probabilidad de excedencia en seis meses consecutivos.

De manera que el punto de la aplicación correcto, para de este criterio, es en la sección de salida de la cuenca que alberga al acuífero en estudio.

11.5.3.3 ACERCA DE LA RECARGA NATURAL DEL ACUÍFERO DE PUANGUE MEDIO

De acuerdo a lo desarrollado en los modelos conceptuales de los acuíferos de la cuenca del estero de Puangue Medio (sección 10.4), el acuífero de Puangue Medio recibe una importante recarga artificial con aguas provenientes de la cuenca del río Mapocho. Esta recarga artificial se realiza principalmente a través del canal Las Mercedes y sus derivados desde hace más de 130 años, cuya infiltración aporta caudal a los acuíferos desde lechos de canal y zonas de riego en épocas de riego, y desde el lecho de canales por infiltración, cuando conducen escorrentías de cuencas laterales generadas en eventos de lluvia. Por su parte la lluvia sobre la cuenca y la escorrentía de los cauces superficiales recarga las napas de los acuíferos en invierno, manteniendo los niveles del acuífero relativamente estables.

Las complejas interrelaciones entre los distintos flujos de agua que se pueden dar en la cuenca, dificultan saber con exactitud cuál es el monto de la recarga artificial al acuífero de Puangue Medio debido al caudal que entra a la cuenca a través del canal Las Mercedes, si a este hecho se agrega que no existe control fluviométrico ni a la entrada ni a la salida de la cuenca de Puangue Medio, es muy difícil separar la recarga natural de la artificial. Sin embargo, es posible considerar como una primera aproximación el 5% de la precipitación media anual para la recarga natural, la cual de este modo alcanza un monto de 340 l/s, si agregamos el flujo subterráneo proveniente del acuífero de Puangue Alto, se alcanza una recarga natural de 370 l/s, de aquí se sigue que la recarga natural está muy sobrepasada por la demanda comprometida (4.104 l/s al 30 de junio de 2010)

Por tanto las condiciones actuales del acuífero de Puangue Medio, se mantienen única y exclusivamente por la recarga artificial con agua que no se genera en la propia cuenca. Si este flujo cesa, el acuífero se verá gravemente afectado.

Y, de acuerdo al artículo 30 letra b) del decreto N° 203, de 2014, el cual menciona que procederá declarar área de restricción cuando:

"b) La demanda comprometida sea superior a la recarga de éste, ocasionando riesgo de grave disminución de los niveles del Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común, con el consiguiente perjuicio de derechos de terceros ya establecidos en él."

En donde la "recarga" está bien definida, y sin confusión, en el artículo 54 letra f), del mismo decreto N° 203, de 2014, donde menciona que:

"f) Recarga: Se refiere a la recarga natural y corresponde al flujo o caudal que alimenta a un acuífero, proveniente de precipitaciones, embalsamientos y escurrimientos superficiales y subterráneos."

11.5.3.4 CONCLUSIONES

1. La técnica y ciencia aplicable, ha determinado que la demanda comprometida es aún superior a la recarga natural renovable del acuífero de Puangue Medio, ocasionando riesgo de grave disminución de los niveles del Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común, si cesan los aportes de recursos hídricos provenientes de la cuenca del río Mapocho, con el consiguiente perjuicio de derechos de terceros ya establecidos en él. Es aplicable entonces el artículo 30 letra b) del decreto N° 203, de 2014, para mantener el área de restricción.
2. El modelo numérico, presentado por Agrícola Ariztía Limitada como herramienta para determinar la oferta hídrica sustentable, no es confiable, pues, no representa adecuadamente el modelo conceptual de funcionamiento del sistema.
3. Por tanto, y considerando que la DGA debe velar para que la explotación del acuífero de Puangue Medio, sea la apropiada para la conservación y protección en el largo plazo, considerando los antecedentes de recarga y descarga, así como las condiciones de uso existentes y previsibles (artículo 147 bis inciso final), es que ha determinado que los antecedentes técnicos y legales, presentados por Agrícola Ariztía Limitada, no son suficientes para levantar el área de restricción.
4. Debido a que la demanda comprometida supera ampliamente a la recarga natural del acuífero de Puangue Medio, sólo es posible constituir derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en carácter de provisionales con cargo a la recarga artificial.

11.5.4 RESPUESTA A RECONSIDERACIÓN DE RESOLUCIÓN DGA N° 239, DE 2011 (21 DE NOVIEMBRE DE 2011)

Agrícola Ariztía Limitada ha presentado ante la DGA una Reconsideración de la Resolución DGA N° 239, de 2011, la cual modifica la Resolución DGA N° 241, de 31 de julio de 2008, en el sentido de que se alza la declaración de restricción del sector hidrogeológico de aprovechamiento común de Melipilla, manteniendo la declaración de área de restricción para los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común de Puangue Alto, Puangue Medio, La Higuera, Cholqui y Popeta. Modificando además, el monto de los volúmenes posibles de otorgar como derechos provisionales, en los acuíferos de Puangue Medio, La Higuera y Cholqui, debido a la utilización de dos nuevos criterios, uno (considerando número 6) de la resolución DGA N° 239, de 13 de octubre de 2011), que permite determinar el volumen total anual autorizado para extraer desde una captación, como aquel que se obtiene de utilizar el caudal otorgado todos los segundos del año, para aquellos derechos concedidos con anterioridad a la entrada en vigencia de la ley 20.017 de 2005 que modificó el Código de Aguas, y que en su resolución constitutiva no indicaba el volumen total anual de extracción en forma expresa. Y el otro, denominado Acuífero Patrón, que permite determinar el monto del volumen de provisionales posible de otorgar en un acuífero determinado.

El primer criterio, incide en el monto del volumen total anual de la demanda comprometida, y por tanto en el agua disponible, susceptible de ser otorgada, en un sector hidrogeológico de aprovechamiento común. Así, la disponibilidad de un sector acuífero resulta menor a la determinada considerando un factor de uso por cada actividad en que se explota la captación. El segundo criterio, incide en el monto de los volúmenes de derechos provisionales posibles de otorgar en un sector acuífero declarado como área de restricción.

La aplicación de estos criterios en la determinación de la disponibilidad y el monto del volumen susceptible de otorgar en derechos provisionales en el sector acuífero de Puangue Medio, ha hecho que Agrícola Ariztía Limitada deduzca ante el Director General de Aguas, un recurso de reconsideración, por ilegalidad respecto de la resolución DGA N° 239, de 13 de octubre de 2011, la cual determina la aplicación de estas acciones.

Vistos los argumentos presentados por Agrícola Ariztía Limitada, y los antecedentes técnicos y legales, es posible concluir que:

11.5.4.1 CONCEPTO SUSTANCIAL DE LA RESOLUCIÓN

La resolución DGA N° 239, de 13 de octubre de 2001, establece una nueva forma de determinar el volumen de la demanda comprometida. No intenta, no quiere ni puede desconocer el artículo 147 bis inciso final.

En efecto, el artículo 147 bis inciso final establece que:

"Sin perjuicio de lo dispuesto en los artículos 22, 65, 66, 67, 129 bis 1 y 141 inciso final, procederá la constitución de derechos de aprovechamiento sobre aguas subterráneas, siempre que la explotación del respectivo acuífero sea la apropiada para su conservación y protección en el largo plazo, considerando los antecedentes técnicos de recarga y descarga, así como las condiciones de uso existentes y previsibles, todos los cuales deberán ser de conocimiento público."

Se sigue entonces, que si la explotación del respectivo acuífero, incluyendo al monto del volumen del derecho solicitado, es la apropiada para su conservación y protección en el largo plazo, entonces, se puede, o, procederá la constitución de tal derecho.

Para mayor abundamiento, este artículo 147 bis inciso final, menciona que, la apropiada explotación de un acuífero, que permite la conservación y protección en el largo plazo, debe considerar antecedentes técnicos de recarga y descarga además de las condiciones de uso existentes y previsibles.

Esto no puede ser de otra manera, pues se debe determinar primero, el volumen o caudal renovable del acuífero que permite tal conservación y protección en el largo plazo. Este volumen o caudal renovable constituye la oferta hídrica posible de otorgar como derecho de aprovechamiento definitivo. Para determinar tal oferta hídrica, es menester estimar las recargas y descargas reales del acuífero, existentes y las previsibles en el largo plazo (habitualmente con un horizonte de 50 años), para luego, modelar o simular la operación del sistema acuífero, supeditado a no sobrepasar los criterios de cierre de un sector acuífero determinados por la DGA.

Es así como los volúmenes asociados a las descargas antrópicas reales, han de determinarse utilizando un "factor de uso" asociado a la actividad que usa o usará el recurso hídrico. De esta forma, los balances presentes y futuros, de la operación del

sistema acuífero, determinaran correctamente el volumen sustentable, que permite la conservación y protección en el largo plazo de un sector acuífero.

Queda claro entonces, que las condiciones de uso existentes y previsibles tienen especial relevancia en la determinación de la oferta hídrica de un determinado sector acuífero.

Una vez determinado el monto del volumen de la oferta hídrica renovable de un sector acuífero, corresponde determinar el volumen de la demanda comprometida en tal sector acuífero. La resolución DGA N° 239, de 13 de octubre de 2011, establece que, para aquellos derechos otorgados antes de la entrada en vigencia de la ley 20.017, de 2005, cuya resolución constitutiva no indicaba en forma expresa el volumen total anual de extracción, se deberá considerar como volumen total anual otorgado, como aquel que proviene de utilizar el caudal constituido todos los segundos del año. Por su parte, después de la entrada en vigencia de la ley 20.017, de 2005, todos los derechos otorgados, por sobre 10 l/s en las regiones XV a la Metropolitana y por sobre 50 l/s en el resto de las regiones, tienen un volumen de extracción anual autorizado, el cual tiene concordancia, a través de una memoria explicativa, con el uso que se le dará al derecho, de acuerdo a las prácticas habituales de la actividad en nuestro país.

Así, de esta forma, el volumen correspondiente a la demanda comprometida, es el formado por la suma de los volúmenes anuales otorgados de derechos de aprovechamiento constituidos o reconocidos y de derechos susceptibles de ser constituidos conforme a los artículos 3°, 4° y 6° transitorios de la ley N° 20.017 (Artículo 54, Decreto N° 203, de 7 marzo de 2014).

De aquí, la disponibilidad de un sector acuífero proviene de considerar la diferencia entre el volumen correspondiente a la oferta hídrica y el volumen considerado para la demanda comprometida total. Si esta diferencia es positiva, es posible otorgar nuevos derechos de aprovechamiento. Si, por el contrario, la diferencia es negativa, el sector acuífero deberá cerrarse, declarando el área de restricción para este acuífero, y, determinando el volumen posible de otorgar en derechos provisionales, de acuerdo al criterio de acuífero patrón.

La disponibilidad así determinada, permite que se cumpla el principio fundamental, expresado en el artículo 147 bis inciso final, cual es, que la explotación del acuífero sea la apropiada para su conservación y protección en el largo plazo.

En efecto, la aplicación del criterio establecido en la resolución N° 239, de 13 de octubre de 2011, permite tener certeza de que la explotación de la demanda no superará a la oferta hídrica para un determinado acuífero, pues, la frecuencia de uso de la captación,

determina un caudal medio anual inferior al caudal máximo autorizado de extracción. Así, de esta forma, se protege y conserva el acuífero en el largo plazo.

11.5.4.2 PRESCINDENCIA EVIDENTE DE MANDATO LEGAL EXPRESO: ILEGALIDAD

La resolución N° 239, de 13 de octubre de 2011, no prescinde de las disposiciones legales contenidas en el artículo 147 bis, inciso final, ni tampoco confunde los significados de los conceptos de caudal o volumen anual necesario, uso previsible ni caudal máximo de extracción autorizado.

En efecto, el otorgamiento o denegación de un derecho de agua subterránea, está supeditado a la existencia o no, de un volumen disponible de aguas subterráneas, en el sector acuífero en donde se ubica la captación. En donde el concepto de “disponibilidad” dice relación con la posibilidad de aprovechar y explotar aguas subterráneas, sin perjudicar el equilibrio de largo plazo del sistema acuífero, y sin perjuicio ni menoscabo de las posibilidades de aprovechamiento de otros titulares de derechos del mismo sector.

De esta forma, el procedimiento para determinar la disponibilidad de un sector acuífero, incluye la obtención del volumen sustentable posible de extraer, que permita una explotación que no perjudique el equilibrio de largo plazo del sistema acuífero, y, la determinación de los volúmenes de extracción autorizados a respetar de los usuarios del acuífero.

El volumen sustentable posible de extraer, corresponde al volumen o caudal renovable del acuífero, cuya explotación no provocará descensos sostenidos, ni disminución de la capacidad de producción de las captaciones, ni afección a fuentes superficiales ni a otros usuarios. Su determinación está sujeta a la cuantificación de las recargas y descargas de largo plazo del sistema. Es decir, está sujeta a la cuantificación del agua que entra y sale del sistema acuífero, y a la simulación (o modelación) del sistema acuífero en el largo plazo (usualmente 50 años), sujeta a no sobrepasar los criterios de cierre de un sector acuífero determinados por la DGA.

Parte del agua que sale del acuífero, corresponde a las descargas reales por explotación de las captaciones existentes en él (demanda antrópica). La determinación del estado actual y futuro del sistema acuífero, requiere saber entonces, cual es el monto de extracción real, actual y futura, de las captaciones que explotan y explotarán el acuífero.

Dado que las captaciones no se usan todo el tiempo, se debe considerar la frecuencia de uso de las captaciones para las distintas actividades. Para esto, la DGA ha definido coeficientes de uso previsible (factor de uso) por actividad, los cuales reflejan la naturaleza de la explotación de aguas subterráneas. De aquí que el caudal de extracción medio de largo plazo es inferior al caudal máximo autorizado de extracción.

En tanto, el volumen de extracción autorizado a respetar de los usuarios del acuífero. Se determina considerando todos los volúmenes otorgados señalados en el acto de constitución de los derechos de aprovechamiento. Los derechos de aprovechamiento otorgados que no tuvieren volumen de extracción autorizado, deberán determinarlo de acuerdo a lo previsto en la resolución DGA N° 239, de 11 de octubre de 2011.

La resolución DGA N° 239, aplica para aquellos derechos otorgados antes de la entrada en vigencia de la ley 20.017 que modificó el Código de Aguas en 2005, y que establece que para aquellas solicitudes con caudales consuntivos superiores a 10 l/s entre la región de Arica y Parinacota y la Región Metropolitana y superiores a 50 l/s en el resto de la regiones, deberán presentar una memoria explicativa que justifique el volumen solicitado para la actividad en que se le dará uso, con tope las tasas de uso por actividad, señaladas en la Tabla de Equivalencias, las que reflejan el uso habitual del recurso por actividad. De esta forma, se evita la especulación y se establece el volumen anual necesario para cada derecho de aprovechamiento.

El volumen así otorgado después de 2005, resulta suficiente para ser utilizado en la actividad informada. Así lo estimo necesario el legislador, para no imponer una eficiencia determinada, sino aquella que dicta las prácticas habituales. De esta forma, el caudal necesario es evidentemente menor al caudal de uso previsible.

De manera que el volumen de extracción autorizado para un sector acuífero, contendrá derechos de aprovechamientos con volúmenes otorgados equivalentes al caudal necesario y otros con volúmenes, a considerar en la disponibilidad, mayores al caudal necesario.

Luego, la disponibilidad se obtiene restando al volumen sustentable el volumen de derechos a respetar en el acuífero. Si la diferencia es positiva, se podrán otorgar nuevos derechos en carácter de definitivos, en caso contrario, se procederá a cerrar el acuífero con la posibilidad de otorgar derechos provisionales.

De esta forma el volumen correspondiente a los derechos a respetar en el acuífero, ya no se obtiene aplicando un factor de uso, es decir, ya no se considera el uso previsible para tal determinación, pues, se requiere respetar la esencia del derecho de aprovechamiento

de aguas, derecho de propiedad, respecto del cual el titular se encuentra amparado en virtud de la garantía consagrada en el artículo 19 N° 24 de la Constitución Política del Estado. De aquí se tiene que, el titular de cada derecho de aprovechamiento, debe tener siempre la posibilidad de acceder a su volumen anual autorizado, en cualquier instante de tiempo y para siempre.

Por tanto, la resolución DGA N° 239, de 13 de octubre de 2011, no prescinde de las disposiciones legales contenidas en el artículo 147 bis, inciso final, porque la disponibilidad, y por tanto la extracción, determinada de acuerdo al número 6) de la resolución DGA N° 239, permite que siempre la oferta hídrica del acuífero sea mayor que la demanda previsible de este, procurando entonces su conservación y protección en el largo plazo. Y más aún, en el proceso de determinación de la disponibilidad, se considera los usos existentes y previsibles al momento de calcular el volumen sustentable.

Y ni se ha confundido los significados de los conceptos de caudal o volumen anual necesario, ni uso previsible, ni caudal máximo de extracción autorizado. Los que han sido utilizados en la determinación del volumen anual de derechos a respetar, determinación del volumen sustentable y en la satisfacción de la demanda máxima autorizada.

11.5.4.3 PROTECCIÓN DE LOS DERECHOS DE APROVECHAMIENTO

El Director General de Aguas, ha aplicado la ley de acuerdo a las competencias que le confiere el Código de Aguas y la Constitución de la República. En especial, en lo que concierne a la adecuada aplicación del artículo 147 bis inciso final y en el respeto a la propiedad privada que establece nuestra Carta Fundamental.

En efecto, mediante el Informe del Director General de Aguas, de 22 de abril de 2010, que da respuesta a los Oficios N°s 7.741 y 7.790, de fechas 6 y 29 de enero de 2010, de la Oficina de Informaciones del Senado, por las irregularidades denunciadas por la Sociedad Nacional de Agricultura ante la Contraloría General de la República, con ocasión de la exigencia que la Dirección General de Aguas ha aplicado respecto de los cambios de punto de captación de los derechos de aprovechamientos de aguas subterráneas, ha concluido que la fijación de un volumen anual de extracción en el acuífero, que se establecen en los actos formales que autorizan el cambio de punto de captación de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, como consecuencia de la aplicación del "*coeficiente de uso previsible*", infringe los artículos 6° y 7° de la Constitución Política de la República, el artículo 2° de la Ley Orgánica Constitucional de Bases Generales de la

Administración del Estado, y el artículo 19 N°24 de nuestra Carta Fundamental. Concluyendo que la Dirección General de Aguas, se encuentra impedida de afectar administrativamente un derecho de aprovechamiento de aguas, respecto del cual su titular está amparado con el derecho de propiedad que consagra el artículo 19 N° 24 de nuestra Carta Fundamental.

La Sociedad Nacional de Agricultura hizo presente ante la Contraloría General de la República que, la Dirección General de Aguas ha sometido a los propietarios de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas legítimamente adquiridos y de los que se encuentran en plena posesión y uso, a una verdadera exacción ilegal destinada a despojarlos de un 80% o más de esos derechos, mediante la aplicación de disposiciones internas de la Dirección General de Aguas, de las cuales los propietarios no estaban en conocimiento, y que además son contrarias a las normas legales vigentes.

Asimismo, precisa que en materia de aguas subterráneas, la única forma legal en que la Dirección General de Aguas puede limitar el uso de un acuífero y reducir a prorrata el caudal a extraer por los usuarios, es en el caso de la reducción temporal del ejercicio que contempla el artículo 62 del Código de Aguas, situación en la que no se encuentran las peticiones de cambio de punto de captación, pues en los casos que denuncia no sólo se restringe el uso sino que se trata de eliminar o cercenar gran parte del mismo derecho de aprovechamiento de aguas subterráneas, recurriendo al subterfugio de establecer una supuesta falta de disponibilidad basándose para ello en un concepto ajeno a nuestro derecho de aguas , como lo es el "coeficiente de uso"

Indica, que el citado concepto se establece como requisito para autorizar el cambio de punto de captación, en el "Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos", específicamente en su párrafo 6.2, denominado "Solicitud de Cambio de Punto de Captación." Añade que el referido documento fue aprobado por Resolución DGA N° 3.504, de 2008.

Al respecto, puntualiza que se trata de un acto ilegal, carente de todo respaldo legal y que además, no ha sido sancionado por Contraloría General de la República.

Ahora bien, en citada párrafo 6.2 expresa en lo que nos interesa "... en aquellas solicitudes de cambio de punto de captación de derechos constituidos en los cuales se determinó el coeficiente de uso previsible, corresponderá aplicar en el nuevo punto de captación el coeficiente de uso previsible en forma proporcional de manera de no duplicar caudales. El procedimiento, en este caso, será ofrecer al solicitante el caudal original con el nuevo

volumen anual que resulte de la aplicación del nuevo coeficiente de uso previsible. Si éste no acepta las nuevas condiciones, se rechaza la solicitud por falta de disponibilidad”

Expresa, que la Resolución DGA N° 3.504, de 2008, es absolutamente ilegal, por cuanto no existe disposición alguna en el Código de Aguas, salvo el citado artículo 162, que faculte a la Dirección General de Aguas para limitar o cercenar derechos de aprovechamientos de aguas subterráneas en base a una simple construcción arbitraria denominada “coeficiente de uso previsible”

Señala, además, que dicho acto formal es manifiestamente inconstitucional por cuanto vulnera el artículo 19 N° 24 de la Carta Fundamental, tanto en lo relativo a la propiedad de los derechos de aprovechamiento de aguas, como a sus atributos. Agrega, que también infringe el artículo 19 N° 2, esto es, la garantía constitucional de igualdad ante la ley, pues la diferencia arbitraria solo se aplica a aquellos propietarios que requieren de un cambio de punto de captación.

Por otra parte, con la dictación del mencionado acto formal, se verificó un franco atropello a las disposiciones contenidas en los artículos 6° y 7° de la Constitución Política de la República, y en el artículo 2°, de la Ley N° 18.575, Orgánica Constitucional de Bases Generales de la Administración del Estado, toda vez que en la especie la Dirección General de Aguas obró fuera de la esfera de sus atribuciones (competencia).

Finalmente, manifiesta que la Resolución DGA N° 3.504, de 2008, constituye un acto interno, como se señala en sus considerandos, y por consiguiente obligatorio para las oficinas de la Dirección General de Aguas y sus funcionarios. En consecuencia, dicho acto es inoponible a terceros y a sus derechos. No goza de presunción de legalidad alguna pues se encuentra exento del trámite de toma de razón.

En otro orden de ideas, señala que, en el Código de Aguas, ni en ningún texto normativo existe el elemento limitante al ejercicio del derecho de aprovechamiento de aguas denominado “factor de uso” o “coeficiente de uso previsible”, ni mucho menos disposición legal que autorice a la Dirección General de Aguas para limitar el goce y uso de los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en base a tales conceptos.

En suma, por haberse dictado dicho acto administrativo con infracción al principio de la Legalidad, consagrado positivamente en los artículos 6° y 7°, de nuestra Carta Magna, la Sociedad Nacional de Agricultura solicitó al Sr. Contralor General de la República, declarar la nulidad de la citada Resolución DGA N° 3.504, de 2008, y de los actos derivados de su

aplicación expedidos tanto por el Director General de Aguas, como por Directores Regionales del Servicio.

Pues bien, en virtud de los argumentos planteados por la Sociedad Nacional de Agricultura, respecto de la utilización del concepto de "coeficiente de uso previsible" para los efectos de determinar el volumen total anual que se puede extraer del acuífero, en el nuevo punto de captación, se ha determinado necesario efectuar un nuevo estudio y análisis jurídico sobre la materia.

Para tal fin, cabe tener presente en primer término el principio de la Legalidad o Juridicidad, establecido en el Capítulo I denominado Bases de la Institucionalidad, de la Constitución Política de la República, y consagrado positivamente en los artículos 6° y 7°, que disponen en síntesis, que los órganos del Estado deben someter su acción a la Carta Fundamental y a las normas dictadas conforme a ella y que dichos órganos actúan válidamente previa investidura regular de sus integrantes, dentro de su competencia y en la forma que prescriba la ley.

Asimismo, el artículo 2 de la Ley 18.575, Orgánica Constitucional de Bases Generales de la Administración del Estado, dispone que "Los órganos de la Administración del estado someterán su acción a la Constitución y a las leyes. Deberán actuar dentro de su competencia y no tendrán más atribuciones que las que expresamente les haya conferido el ordenamiento jurídico (...)".

Lo anterior significa que los órganos de la Administración del Estado deben someter su acción a la Constitución Política de la República y a las leyes. En razón de ello, solo pueden obrar u actuar en la esfera u órbita de sus funciones o potestades, ya sean regladas o discrecionales (competencia), no teniendo más atribuciones que aquellas que expresamente el ordenamiento jurídico les ha conferido.

En esta materia nos encontramos en el campo del Derecho Público, conforme al cual la Administración y sus órganos solo puede hacer aquello para lo cual lo facultan expresamente la Constitución Política de la República y las normas dictadas en conformidad a ella. Todo acto ejecutado en contravención al principio de la Legalidad será nulo, de nulidad de Derecho Público y acarreará para sus autores las responsabilidades que establece la legalidad vigente.

Precisado lo anterior, es dable hacer presente que acorde lo estatuido en el artículo 5° del Código de Aguas, las aguas son bienes nacionales de uso público y se otorga a los

particulares el derecho de aprovechamiento de ellas en conformidad a la preceptiva de dicho texto legal.

Por su parte, el artículo 6° inciso 1°, del Código de Aguas define al derecho de aprovechamiento como un derecho real que recae sobre aguas (bien nacional de uso público) y consiste en el uso y goce, con los requisitos y en conformidad a las reglas que prescribe esa codificación.

Resulta útil destacar, que el derecho real de aprovechamiento, solo faculta a su titular para usar y gozar de las aguas, más nunca podrá jurídicamente disponer de ellas habida cuenta que por su carácter de bien público no se encuentra en el comercio humano.

Agrega, el inciso 2°, que el derecho de aprovechamiento sobre las aguas es de dominio de su titular, quien podrá usar, gozar y disponer en conformidad a la ley.

Pues bien, en su calidad de dueño, el titular del derecho, puede venderlo, arrendarlo, donarlo, permutarlo, gravarlo con hipoteca etc., Asimismo, el citado derecho es transmisible por causa de muerte a los asignatarios forzosos o testamentarios del causante.

La propiedad sobre los derechos de aprovechamiento de aguas, reviste la misma entidad que la propiedad sobre otros bienes, vgr. Inmuebles, fincas, bienes raíces, por ello la autoridad pública no puede privar a su titular de su dominio sino por expropiación.

El artículo 19 N°24 inciso final de la Constitución Política de la República, reconoce el dominio del titular sobre su derecho de aprovechamiento, cuando expresa que "Los derechos de los particulares sobre las aguas, reconocidos o constituidos en conformidad a la ley, otorgarán a sus titulares la propiedad sobre ellos" (sic).

Al respecto, en su sentencia de 13 de octubre de 1997, recaída en el Rol N° 260, el Tribunal Constitucional, decretó: "En otras palabras, y aunque resulte obvio expresarlo, la Constitución asegura el dominio no sobre las aguas mismas, que constituyen bienes nacionales de uso público, sino sobre el derecho de aprovechamiento de ellas constituidos en conformidad a la ley" (sic).

En este orden de ideas, cabe agregar que el artículo 19 N° 24 inciso 2°, de la Carta Fundamental, previene que solo la ley puede establecer el modo de adquirir la propiedad (del derecho de aprovechamiento de aguas), de usar gozar y disponer de ella, sus limitaciones y obligaciones que se deriven de su función social.

Como puede advertirse, nuestro Constituyente reservó al dominio legal, esto es, a una ley ordinaria el establecer las limitaciones al ejercicio del dominio de los bienes corporales o incorporales.

Por su parte, según se colige de los artículos 6º inciso 1º, 140 y 149 del Código de Aguas, el derecho de aprovechamiento está compuesto de tres elementos, a saber, una fuente natural determinada, ya sea superficial o subterránea, una dotación o caudal de agua también determinada, y un lugar preciso de captación o extracción del recurso hídrico.

El caudal o dotación de agua a que tiene derecho a extraer de la fuente natural el titular del derecho real de aprovechamiento debe expresarse en volumen por unidad de tiempo.

Ahora bien, esa dotación o caudal que se le concede en el acto de constitución original no siempre existirá o estará disponible en la fuente natural de que se trata, toda vez que existen años en que hay sequías u otros eventos de la naturaleza que pueden afectar la disponibilidad del recurso.

El otorgamiento definitivo de un derecho de aprovechamiento de aguas es jurídicamente una concesión por medio de la cual se crea a favor del interesado el derecho a ejercer una posesión exclusiva de la que carecía con anterioridad, sobre un bien público.

La Dirección General de Aguas, en cuanto organismo técnico en materia de aguas, se encuentra dotado de la facultad de constituir derechos de aprovechamiento sobre el recurso existente en fuentes naturales, debiendo velar que en el ejercicio de esa potestad no se perjudiquen ni menoscaben derechos de terceros conforme al artículo 22 del Código de Aguas.

La constitución de tales derechos se materializa mediante la expedición de la correspondiente resolución en la medida que exista disponibilidad del recurso hídrico y fuere legalmente procedente, según lo establece el artículo 141 inciso final de la mencionada codificación.

De la interpretación armónica de las normas citadas, se tiene que la Dirección General de Aguas está obligada a constituir el derecho de aprovechamiento que se le requiera, cuando existiendo disponibilidad del recurso hídrico, sea legalmente procedente la petición y no se menoscaben derechos de terceros.

En estas condiciones, estamos en presencia de una potestad reglada de la Administración, de suerte que si concurren las tres (3) exigencias copulativas que estableció el legislador,

la Dirección General de Aguas debe necesariamente constituir mediante un acto administrativo el derecho de aprovechamiento de aguas pedido. Por el contrario, la ausencia u omisión de cualquiera de los requisitos indicados, dará lugar necesariamente a la denegación de la solicitud de constitución originaria.

De acuerdo con lo expresado por la jurisprudencia de la Excm. Corte Suprema (Sentencia de fecha 5 de enero de 2004, recaída en la causa Rol N°4.946-2003) el concepto de disponibilidad dice relación con la posibilidad de aprovechar y explotar aguas subterráneas, recurso que se sabe limitado.

Agregando, que el dueño de un derecho de aprovechamiento de aguas tiene a su disposición todo el caudal que se le ha otorgado, puesto que, de no ser así, se afecta su derecho de dominio en su esencia.

En este mismo sentido, precisa el citado fallo que el caudal autorizado debe ser tomado en consideración por la autoridad en el análisis de disponibilidad, careciendo de importancia la circunstancia de que en algún momento determinado dichos titulares utilicen, materialmente, menos aguas que la concedida, en atención a que ello importa el ejercicio de su derecho de dominio sobre la concesión otorgada, pues, por la propia naturaleza del recurso de que se trata, las necesidades de él son variables, dependiendo de los más diversos factores y ello podrá implicar un bajo consumo de su parte, pero podrá subir o ser superior en otras ocasiones.

Atendido los antecedentes precedentemente expuestos, esta Dirección de Aguas concluye que se encuentra impedida de afectar, administrativamente, un derecho de aprovechamiento de aguas, respecto del cual su titular está amparado con el derecho de propiedad que consagra el artículo 19 N°24 de nuestra Carta Fundamental.

La Dirección General de Aguas sólo puede limitar el caudal autorizado a extraer o explotar a los dueños de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas al momento de su constitución, o mediante la aplicación de algunas de las limitaciones que regula el Código de Aguas.

Cualquier otra limitación que se establezca en un acto terminal, al caudal que corresponde a un titular, amén de ser una actuación ultra vires que contraviene el principio de legalidad o juridicidad, afecta en su esencia el dominio del propietario del derecho de aprovechamiento de aguas, como acontece precisamente con la aplicación del coeficiente

de uso previsible a los cambios de puntos de captación de aguas subterráneas en el mismo acuífero.

Por tanto, no es una hipótesis que hay que defender (uso del derecho todos los segundos del año) sino más bien un hecho fundamental: la propiedad privada, la cual, la Constitución Política de la República reconoce y protege.

Por otra parte, también se ha hecho una adecuada aplicación del artículo 147 bis inciso final, pues, como se explicó anteriormente, la disponibilidad de un sector hidrogeológico de aprovechamiento común, se determina considerando las condiciones de uso existentes y previsibles, asegurando con esto una explotación apropiada para la conservación y protección del acuífero.

11.5.4.4 INCUMPLIMIENTO DE LA LEY

La DGA, como órgano administrativo cumple con la ley, ejerciendo sus atribuciones dentro de la ley, y, como la ley lo dice.

Así, es el caso de la aplicación del artículo 147 bis inciso final y de la declaración de área de restricción para el acuífero de Puangue Medio.

En efecto, la DGA ha aplicado, como dice la ley, el artículo 147 bis inciso final, para el otorgamiento o denegación de un determinado derecho de aprovechamiento.

Así se ha hecho, pues se ha resguardado de cuidar que la explotación del acuífero sea la apropiada para su conservación y protección, considerando para ello la determinación de la disponibilidad de acuerdo a lo establecido en este artículo 147 bis inciso final. Ésta disponibilidad considera la determinación de la explotación real, la cual no puede, ni debe determinarse prescindiendo del concepto de uso previsible. Es así como se ha considerado la aplicación de un factor de uso para todos los derechos otorgados de acuerdo a su uso en cada actividad definida por el usuario. De esta manera, resulta la demanda real actual.

Del mismo modo, se ha replicado el procedimiento para la determinación de la demanda futura, la que servirá para determinar el volumen sustentable.

Por su parte, la disponibilidad, resulta de la comparación del volumen sustentable con la demanda comprometida, si el primero es mayor que el segundo, se podrá otorgar derechos de aprovechamientos. En esta comparación, la demanda comprometida como los

nuevos derechos solicitados, han de considerar el volumen otorgado o a otorgar, cuya magnitud se encuentra justificada por una Memoria Explicativa y respaldada por el límite que impone la tasa de uso consignada en la Tabla de Equivalencias para cada uso y actividad, siempre que el caudal solicitado sea superior a las exenciones que imponen los incisos finales de los artículos 129 bis 4 y 129 bis 5 del mismo cuerpo legal. El límite impuesto por la Tabla de Equivalencias, permite acceder al volumen necesario, sin imposición de una determinada eficiencia, sino las que establecen las prácticas habituales de cada actividad.

Si el derecho otorgado no tiene autorizado un volumen anual, éste deberá ser determinado de acuerdo a lo establecido en la resolución DGA N° 239, para derechos cuya resolución constitutiva no lo indicara, y, cuya fecha de constitución sea anterior a la entrada en vigencia de la ley 20.017, de 2005 que modificó el Código de Aguas. Considerando para ello las exenciones que imponen los incisos finales de los artículos 129 bis 4 y 129 bis 5 del mismo cuerpo legal.

De esta forma, los derechos otorgados en que cabe la aplicación de la resolución DGA N°239, deberán considerar como volumen total anual otorgado, aquel que se deduce de utilizar el caudal autorizado todos los segundos del año.

Así debe ser, así se cumplen la ley y las normas, pues la DGA se encuentra impedida de afectar, administrativamente, un derecho de aprovechamiento de aguas, respecto del cual su titular está amparado con el derecho de propiedad que consagra el artículo 19 N°24 de nuestra Carta Fundamental.

Por otra parte, no se ha considerado mantener el área de restricción para el acuífero de Puangue Medio en forma arbitraria. Se ha actuado con fundamentos, apegados estrictamente a los artículos 64 y 65 del Código de Aguas. Pues, se ha analizado toda la información técnica disponible, incluyendo la aportada por la propia recurrente, para el análisis del funcionamiento del sistema hidrogeológico del acuífero de Puangue Medio. Concluyéndose, que el acuífero de Puangue Medio presenta una recarga natural muy inferior a la demanda autorizada actual. Demanda que sólo se sostiene con la recarga de aguas provenientes de la cuenca del río Mapocho a través del canal Las Mercedes. Si esta recarga cesa, los recursos del acuífero estarían en riesgo de grave disminución, provocando por consiguiente, perjuicio de derechos de terceros ya establecidos en él.

Es así entonces, que la DGA, como órgano administrativo, ha cumplido con la ley, ejerciendo sus atribuciones dentro de la ley, y, como la ley lo dice.

11.5.4.5 CONTRADICCIÓN ENTRE NORMAS ADMINISTRATIVAS

Efectivamente, la resolución DGA N° 239, ha sido sometida al control jurídico en materia de legalidad y constitucionalidad, pues se ha tomado Razón, a dicha resolución, por parte de la Contraloría General de la República en fecha 13 de octubre de 2011.

Por su parte, el Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos (resolución DGA Exenta N°3.504, de 17 de diciembre de 2008), plantea, en el capítulo 6.1.2.7 Explotación sustentable, la aplicación del coeficiente de uso previsible a los derechos y usos a respetar, para definir la demanda real sobre el acuífero. Demanda que se utilizará para la determinación final de la disponibilidad.

En consecuencia hay dos normas, legalmente válidas, que se contradicen, pues cuando se tomó razón de la resolución DGA N° 239, de 13 de octubre de 2011, no se modificó el capítulo 6.1.2.7 del Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos, lo que hay que subsanar a la brevedad.

Las modificaciones al Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos reformulará el procedimiento para el otorgamiento de derechos de manera que sea compatible por lo aceptado actualmente y expuesto en los párrafos precedentes.

11.5.4.6 FALTA DE TRANSPARENCIA DEL FUNDAMENTO TÉCNICO DE LA RESOLUCIÓN

La resolución DGA N° 239, se dictó con fundamento técnico y total transparencia.

En efecto, todos los documentos que han servido de sustento o complemento directo o esencial, establecidos en los vistos de la resolución DGA N° 239, han sido públicos, con total apego al artículo 16 de la ley N° 19.880, sobre procedimientos administrativos.

Por su parte, con respecto al artículo 147 bis inciso final, es posible afirmar que, todos los antecedentes técnicos de recarga y descarga, así como las condiciones de uso existentes y previsible, han sido de conocimiento público en varios estudios realizados por la DGA (DGA/AC-2000, DGA/DEP-2006).

11.5.4.7 NO CONSIDERACIÓN DE FUNDAMENTOS PROPORCIONADOS POR SOLICITANTES

La DGA, ha considerado, para su análisis, los fundamentos proporcionados por los solicitantes.

En efecto, el presente informe técnico ha analizado los siguientes estudios y antecedentes referidos al acuífero de Puangue Medio:

- Escrito de Se Tenga Presente, presentado por Agrícola Ariztía Limitada a la DGA el 2 de julio de 2009.
- Escrito Se Tenga Presente sobre la Sustentabilidad del acuífero, presentado por Agrícola Ariztía Limitada a la DGA el 17 de septiembre de 2009.
- Informe que reformula el modelo hidrogeológico del sector acuífero de Puangue Medio, recibido el 18 de diciembre de 2009 por el Departamento de Administración de Recursos Hídricos de la Dirección General de Aguas.
- Modelo numérico del acuífero de Puangue Medio, implementado en Visual Modflow versión 4.2, realizado por Geohidrología Consultores.

12 RESUMEN Y CONCLUSIONES

12.1 RESUMEN

Se ha desarrollado una extensa recopilación y análisis de antecedentes en la cuenca del Estero Puangue con la finalidad de contestar fundadamente, todas y cada una de las observaciones y discrepancias que ha planteado Agrícola Ariztía Limitada y Agrícola El Ranchillo Uno Limitada, las que se han materializado en documentos presentados ante la Autoridad, denominados "Téngase Presente", "Téngase Presente sobre la sustentabilidad del acuífero", "Solicita Alzamiento de área de restricción del subsector acuífero de Puangue Medio" y "Reconsideración de Resolución DGA N° 239, de 2011".

Con este fin, se recopiló toda la información generada por y para organismos del Estado en la cuenca de Puangue Medio, se consultó, por ejemplo, los trabajos realizados por IPLA en la década de los 80's para la CNR y la DGA, los trabajos realizados por Ayala y Cabrera, la JICA, CONIC-BF, GEOFUN, PROCIVIL entre otros. Gran parte de estos trabajos apuntaron a la generación de información base para la modelación numérica de aguas subterráneas de la cuenca del Maipo, y otra parte no menor contribuyó a la creación de los modelos numéricos de aguas subterráneas. Es así, como el primer modelo numérico de aguas subterráneas en la cuenca del estero Puangue se realiza durante el desarrollo del estudio DGA/AC-2000, modelo que sólo cubre una parte del acuífero de Puangue Medio. Luego durante el desarrollo del estudio CNR/GEOFUN-2001 se implementa un modelo numérico de aguas subterráneas para toda la cuenca del Estero Puangue, Cholqui, Popeta y la parte baja del Maipo. Siendo este modelo, la base para la modelación numérica que utilizará la DGA en el sector bajo del Maipo.

Junto con la recopilación de antecedentes, se actualizó la hidrología de toda la cuenca del estero Puangue. Se generaron nuevos límites de acuíferos y cuencas usando la información de modelos de elevación digital ASTER-GDEM con resolución de 30 por 30 metros, se determinó con mucho detalle la demanda agrícola, utilizando la información de los dos censos agropecuarios disponibles (1997 y 2007).

También se realizó un detallado resumen de los aspectos administrativos que afectan a los diferentes subsectores acuíferos que conforman el acuífero del estero Puangue.

De esta forma, se ha tenido disponible, información técnica, administrativa y legal suficiente para proceder a las repuestas formales a la documentación presentada por estas dos empresas ante la autoridad por la situación que los afecta.

12.2 CONCLUSIONES

12.2.1 GEOLOGÍA Y FORMACIONES ACUÍFERAS

1. De acuerdo a los antecedentes geológicos, la cuenca del estero Puangue posee cualidades acuíferas de interés en cuatro de sus cinco acuíferos. A saber: Acuífero de Puangue Alto, Acuífero de Puangue Medio, Acuífero de La Higuera y Acuífero de Puangue Bajo.
2. El relleno que conforman los sectores acuíferos de la cuenca del estero Puangue corresponden a edad cuaternaria, conformados principalmente por sedimentos fluviales, coluviales y cenizas volcánicas denominadas Ignimbrita Pudahuel.
3. De acuerdo a los componentes de su formación, los acuíferos de la cuenca del estero Puangue son del tipo libres y confinados. De esta forma, el acuífero de Puangue Alto es del tipo libre, el acuífero de Puangue Medio es libre en su parte media alta y confinado en el valle central de la parte media baja, el elemento confinante lo constituye una capa de cenizas (Ignimbrita Pudahuel) y arcillas, sobre la cual se presenta un acuífero del tipo libre que interactúa estrechamente con el estero Puangue. De la misma forma, gran parte del acuífero del estero de La Higuera es del tipo confinado en su parte profunda y libre en su parte superior, el elemento confinante lo constituye una capa de Ignimbrita y arcillas que cubre completamente el relleno del valle central. Sobre el acuífero libre se desarrolla el estero La Higuera el que interactúa dinámicamente con este acuífero superior. Finalmente el acuífero de Puangue Bajo es una mezcla de acuíferos confinados y libres. La continuación de los acuíferos de Puangue Medio y de La Higuera sigue la misma configuración de tres capas, cuya capa intermedia está conformada por arcillas e ignimbritas que confinan la parte inferior. A excepción de los otros acuíferos confinados de Puangue Medio y La Higuera, el acuífero intermedio de Puangue Bajo en el sector de Melipilla está conformado por gravas y arenas del Maipo, identificándose como parte del palio-río del Maipo que alguna vez corrió por esta zona.

4. De acuerdo a la estratigrafía de pozos, es posible identificar tres unidades hidrogeológicas en la cuenca del estero Puangue (según DGA/AC-2000). La Unidad Puangue 1, más profunda sobreyaciendo a la roca basal, y las Unidades 2 y 3 más superficiales.
5. Las permeabilidades de las distintas capas que conforman los acuíferos del estero Puangue varían desde 0.009 m/d a 9 m/d.

12.2.2 HIDROLOGÍA

6. La precipitación media sobre la cuenca del estero Puangue, calculada con el método de los polígonos de Thiessen y utilizando la información concurrente de 5 estaciones meteorológicas (Colliguay, Los Panguiles, Ibaache Alto, Mallarauco y Estero Puangue en Ruta 78) al interior de la cuenca es de 398 mm anuales.
7. Alrededor del 95% de la precipitación cae dentro del periodo Abril a Septiembre.
8. La precipitación media sobre cada cuenca, determinada a través del método de los polígonos de Thiessen es:

Cuenca	Precipitación media [mm/año]
Altos de Puangue	598
Puangue Alto	448
Puangue Medio	343
La Higuera	317
Puangue Bajo	334

9. La evaporación de bandeja media anual para la cuenca del estero Puangue, determinada a través del método de los polígonos de Thiessen, utilizando los datos de 4 estaciones meteorológicas (Los Panguiles, Melipilla, Lliu-Lliu embalse y Rungue embalse) alcanzó un valor de 1.247 mm anuales.
10. Cerca del 80% de la evaporación se produce en el periodo Octubre-Marzo.
11. La evaporación de bandeja media anual por cuenca, determinada a través del método de los polígonos de Thiessen es:

NOMBRE CUENCA	Evaporación
	media [mm/año]
Altos de Puangue	1,289
Puangue Alto	1,254
Puangue Medio	1,244
La Higuera	1,233
Puangue Bajo	1,221

12.2.3 RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES

12. Los recursos superficiales del estero Puangue provienen de la escorrentía superficial generada en su propia cuenca pluvial y distribuida a través de los cauces de su red de drenaje, y principalmente de fuentes externas que trasvasan agua desde los ríos Mapocho y Maipo: Canales Las Mercedes, Mallarauco, San José, Picano y Puangue.
13. La máxima capacidad de trasvase desde los ríos Mapocho y Maipo a la cuenca del estero Puangue alcanza los 32,5 m³/s. a través de los cinco canales matrices.

CANAL	Capacidad Máxima de porteo a cuenca de Puangue [m ³ /s]
Las Mercedes	10,5
Mallarauco	6,8
San José	3,7
Picano	8,7
Puangue	2,9
TOTAL	32,6

14. Las centrales hidroeléctricas de pasada, obligan que entre una caudal mínimo para turbinar de 10,2 m³/s en el valle de Puangue Medio (Central Carena) y de 1,9 m³/s en el valle de Mallarauco (Central Mallarauco), entrando alrededor de 12 m³/s en total de forma casi permanente al valle del estero Puangue.
15. En época de riego, los cinco canales matrices que trasvasan agua desde el Mapocho y Maipo, tienen entregas para riego antes de entrar a la cuenca del

estero Puangue. Descontando estas entregas, el caudal seguro promedio de entrada a la cuenca desde fuentes foráneas es de 30 m³/s.

16. El caudal superficial mínimo promedio mensual de salida de la cuenca del estero Puangue, registrado en enero de cada año, es de 5,4 m³/s, en la estación fluviométrica Estero Puangue en ruta 78.
17. Esto quiere decir que, de los 30 m³/s que entran a la cuenca del estero Puangue, 24,6 m³/s se consumen en crecimiento de masa vegetal, pérdidas por evaporación y aumento del volumen almacenado de acuíferos.
18. La sequía producida en el verano 1.996-97, que provocó el mínimo caudal mensual de salida histórico de la cuenca, 0,79 m³/s en enero de 1997, se produjo por una disminución de los caudales porteados por los cinco canales matrices desde los ríos Mapocho y Maipo.
19. El comportamiento de los caudales mínimos en la estación de salida de la cuenca Estero Puangue en Ruta 78, es bastante estable, sin embargo a partir de diciembre de 2011 sube en 1,1 m³/s. esto se debe a la puesta en operación de la central Mallarauco. Además debido al tránsito de este caudal por el canal de descarga, estero La Higuera y cauce del estero Puangue, se comprueba la baja permeabilidad de los suelos bajo estos cauces.

12.2.3.1 Aforos DGA/IPLA-1993

20. Hasta Curacaví, el aumento de caudal es equivalente al aumento de la superficie drenada, pero, a partir de ese punto comienzan las descargas y derrames que incrementan fuertemente el caudal del estero.
21. El aumento de caudal es aún más fuerte en la parte baja del estero, y se estima que se debe en gran parte a afloramientos de la napa subterránea dado que en esa parte el valle se estrecha al igual que el valle del río Maipo en el cual desemboca el estero Puangue. También este aumento puede deberse a la descarga de los canales provenientes del río Maipo.
22. Desde el análisis de la segunda corrida de aforos, la menos influenciada por las lluvias precedentes, es posible observar que hasta el puente Chorombo, aguas arriba del Estero Las Higueras, no existen casi pérdidas o recuperaciones y la variación del caudal se debería, en su mayor parte, a las descargas directas del

canal Las Mercedes y de la Planta Carena, a los derrames de las superficies regadas por ese canal y a los canales que extraen aguas del estero Puangue.

23. Aguas abajo del estero Peralillo, a pesar de que casi no existe ningún estero afluente de importancia, ni descargas definidas, el caudal aumenta casi en un 100%, lo que indicaría, que en esta zona se producen afloramientos y recuperaciones de la napa.

12.2.3.2 INTERVENCIÓN PUANGUE MEDIO (1996)

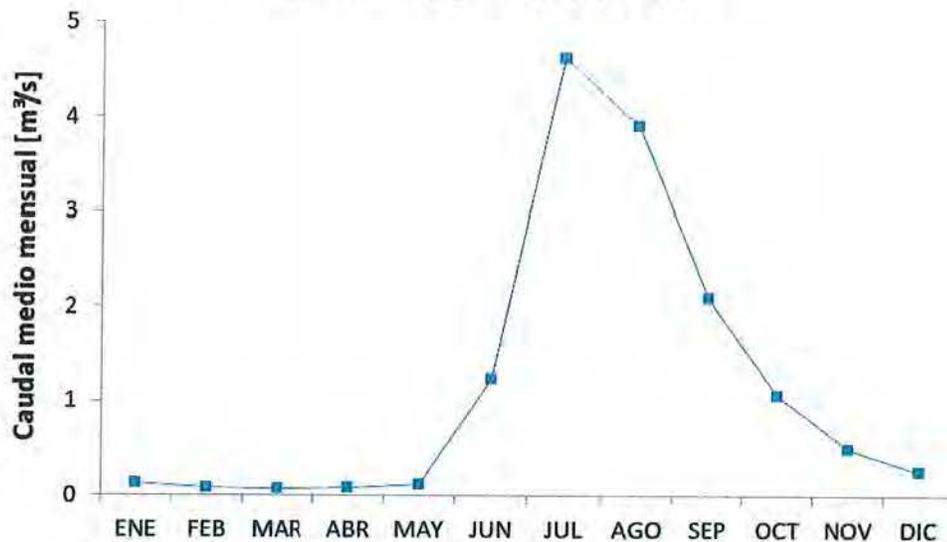
24. Durante la intervención de la DGA en Puangue Medio, el estero sólo se alimentó del caudal proveniente de los derrames y excesos de riego de zonas regadas por el canal Las Mercedes, siendo el aporte del dren La Laguna al estero Puangue desde 160 a 600 l/s.

25. No se tienen datos de generación desde la central Carena, por tanto no es posible estimar el caudal que entró a la cuenca del valle del Puangue Medio, sin embargo se sabe que el canal Las Mercedes fue diseñado desde la época de su construcción para portear un caudal de 6.000 l/s y como el máximo caudal de entrada es de 10 m³/s, entonces el dren (o desagüe) Carena debe portear del orden de 4 m³/s. Dado, que en esta ocasión, el dren Carena no portaba caudal, se deduce que el caudal que entró al valle de Puangue Medio y que circulaba por el canal Las Mercedes es inferior a 6 m³/s, posiblemente inferior a la mitad de la capacidad de generación. Este caudal fue utilizado a máxima capacidad para satisfacer la demanda agrícola, minimizando los derrames y provocando que por el estero circularan caudales muy bajos, inferiores a 15 l/s. aumentando entonces la utilización de pozos para suplir la demanda hídrica del riego, bajando el nivel de las napa en casi 2 metros (Pozo Fundo Santa Emilia) y en 1,2 metros (Pozo Fundo Santa Rita), provocando con esto menores afloramientos. Se concluye entonces que una disminución importante de los caudales que portea el canal Las Mercedes tiene una influencia directa en los recursos superficiales y subterráneos de la cuenca del valle de Puangue Medio.

12.2.3.3 OFERTA DE AGUA SUPERFICIAL, DGA/IPLA-1993

26. La transposición de caudales desde la estación Estero Puangue en Boquerón al punto denominado Estero Puangue en Curacaví estimó una oferta hídrica superficial promedio, inferior a 0,1 m³/s en el periodo enero-mayo.

Variación estacional de los caudales Estero Puangue en Curacaví



Época de mayor consumo de agua en riego, si a esto consideramos que el sector de Puangue Alto también ejerce una demanda hídrica en este periodo, se tiene entonces que el caudal superficial que entra a Puangue Medio está casi completamente agotado.

27. De lo anterior se deduce que el caudal superficial que circula por el estero Puangue, en época de riego, en el sector del valle de Puangue Medio se debe casi exclusivamente al aporte de los derrames y excesos de riego de las zonas regadas por el canal Las Mercedes.

12.2.4 RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÁNEOS

12.2.4.1 CNR/IPLA-1984

28. En la década de los 80's la demanda de aguas subterráneas en la cuenca del estero Puangue alcanza unos 258 l/s, en donde el uso de riego alcanza los 153 l/s (59,4% del caudal total), Agua Potable 104 l/s (40,3%) e industria 1 l/s (0,3%).

31. El número de captaciones subterráneas con derechos de aprovechamiento Aprobados, alcanza 621 en toda la cuenca del estero Puangue, concentrándose el 80% de ellas entre las cuencas de Puangue Alto y Puangue Medio (36% y 44% respectivamente). Del total de las captaciones con derechos aprobados, sólo el 9% tiene ubicación referencial.

Sector Acuífero	Situación administrativa	N° de captaciones	N° Captaciones con coordenadas	N° Captaciones con ubicación referencial
Altos de Puangue	A	47	47	0
Puangue Alto	A	222	195	27
Puangue Medio	A	274	250	24
La Higuera	A, A-Prov	44	41	3
Puangue Bajo	A	34	34	0
TOTAL		621	567	54

32. Se infiere que si existen solicitudes repetidas, éstas están dentro del grupo de solicitudes denegadas. Asumiendo que el número de solicitudes repetidas alcanza un tercio del total se tiene entonces que el número total de captaciones, en la cuenca del estero Puangue, es de alrededor de 1.718.

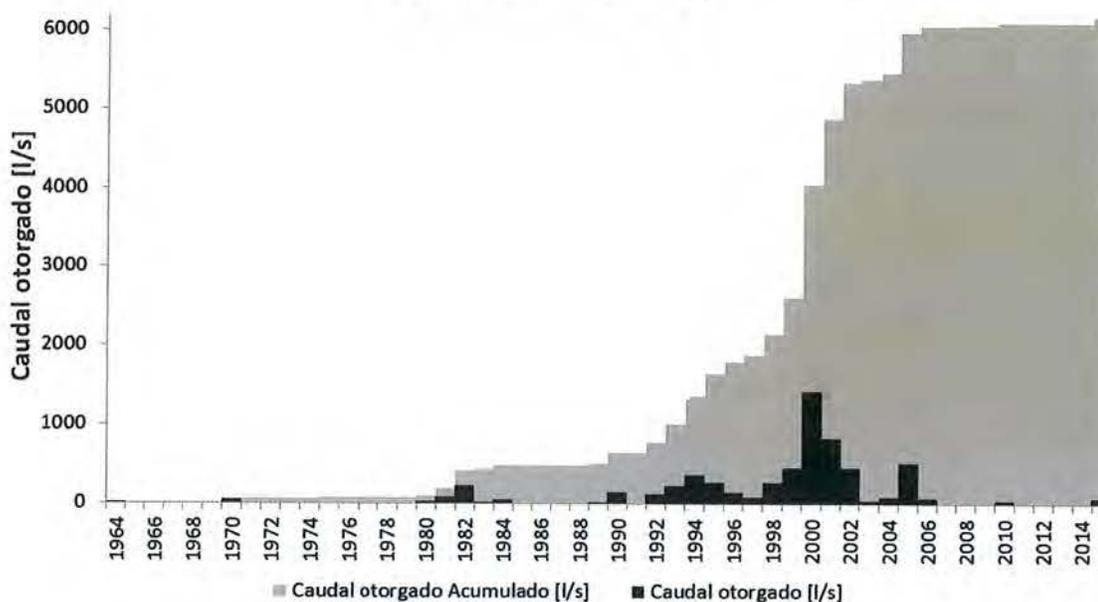
Sector Acuífero	N° de captaciones	N° Captaciones con coordenadas	N° Captaciones con ubicación referencial o sin coordenadas
Altos de Puangue	73	71	2
Puangue Alto	683	520	163
Puangue Medio	683	553	130
La Higuera	141	113	28
Puangue Bajo	138	109	29
TOTAL	1.718	1.366	352

33. El caudal otorgado en derechos de aguas subterráneas alcanza 6.181 l/s en la cuenca del estero Puangue. El 87% del caudal otorgado en la cuenca del estero Puangue, corresponde a los caudales aprobados para los subsectores acuíferos de

Puangue Alto (19%) y Puangue Medio (68%). Le siguen los subsectores de La Higuera (10%), Puangue Bajo (2%) y Altos de Puangue (menos de un 1%)

Sector Acuífero	Situación administrativa		
	Aprobados [l/s]	Aprobados provisional [l/s]	Sub-total [l/s]
Altos de Puangue	39		39
Puangue Alto	1.162		1.162
Puangue Medio	4.221		4.221
La Higuera	613	5	618
Puangue Bajo	141		141
TOTAL	6.176	5	6.181

**Caudal otorgado en derechos de aguas subterráneas
Cuenca del estero Puangue**



34. Alrededor de 3.396 l/s se encuentran pendientes de resolver en los subsectores acuíferos de Puangue. El 88% del caudal pendiente total lo concentra el subsector acuífero de Puangue Medio con 2.997 l/s.

Sector Acuífero	Situación Administrativa				Subtotal
	D-RR [l/s]	D-RRCL [l/s]	P-LEGAL [l/s]	P-REG [l/s]	
Altos de Puangue				3	3
Puangue Alto	37		15	1	53
Puangue Medio	813			2.184	2.997
La Higuera	26			153	179
Puangue Bajo		3		161	164
TOTAL	876	3	15	2.502	3.396

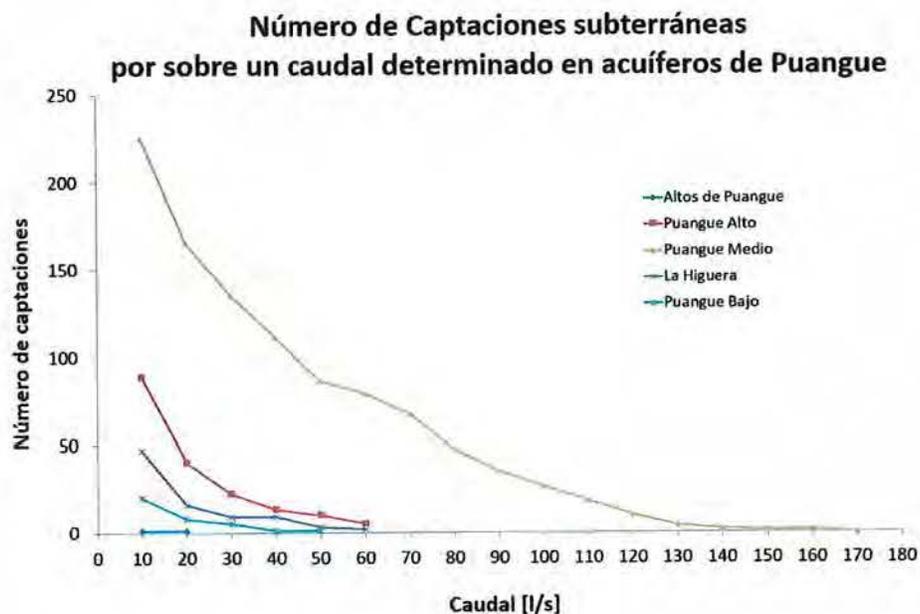
D-RR : Denegado con Recurso de Reconsideración

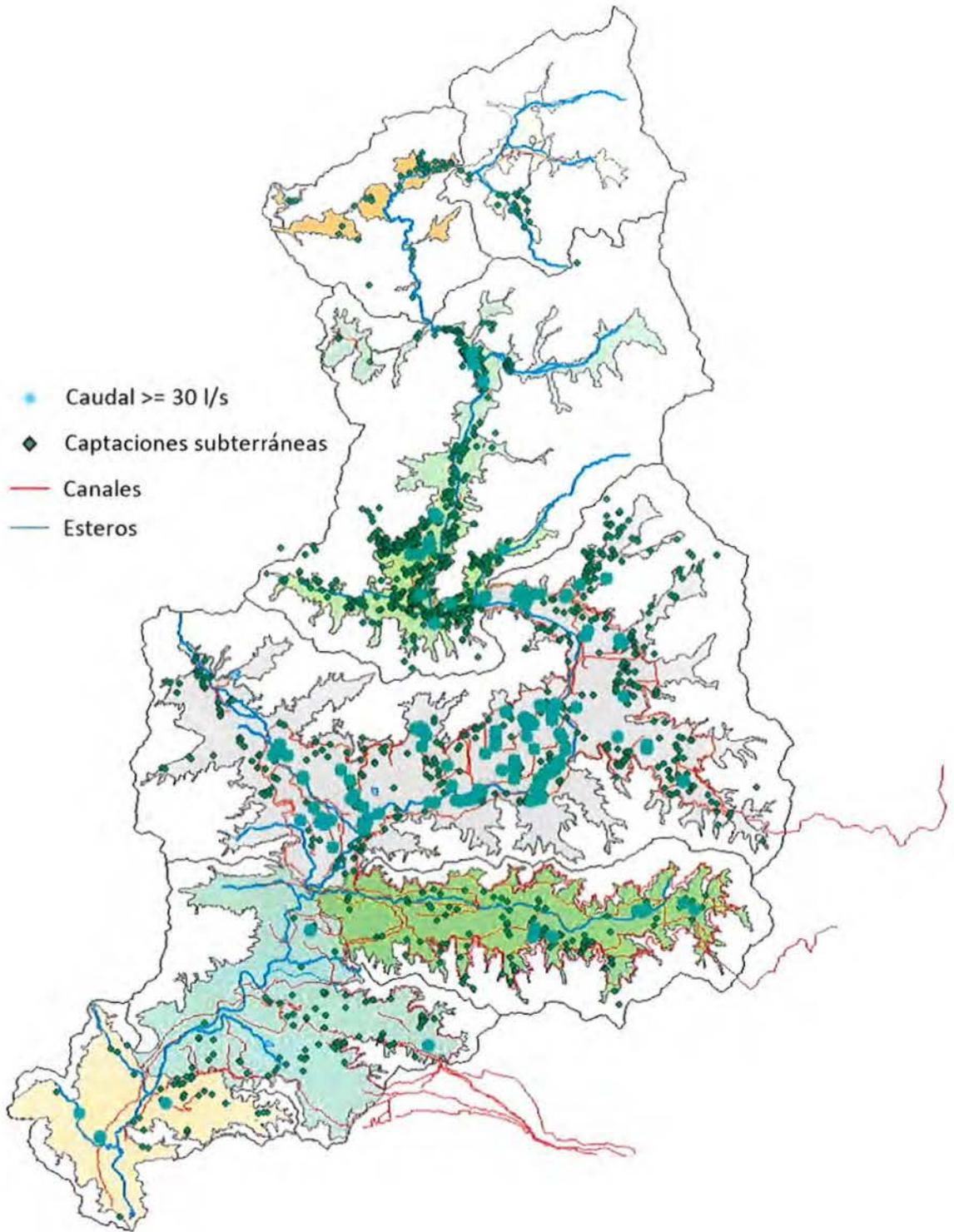
D-RRCL: Denegado con Recurso de Reclamación

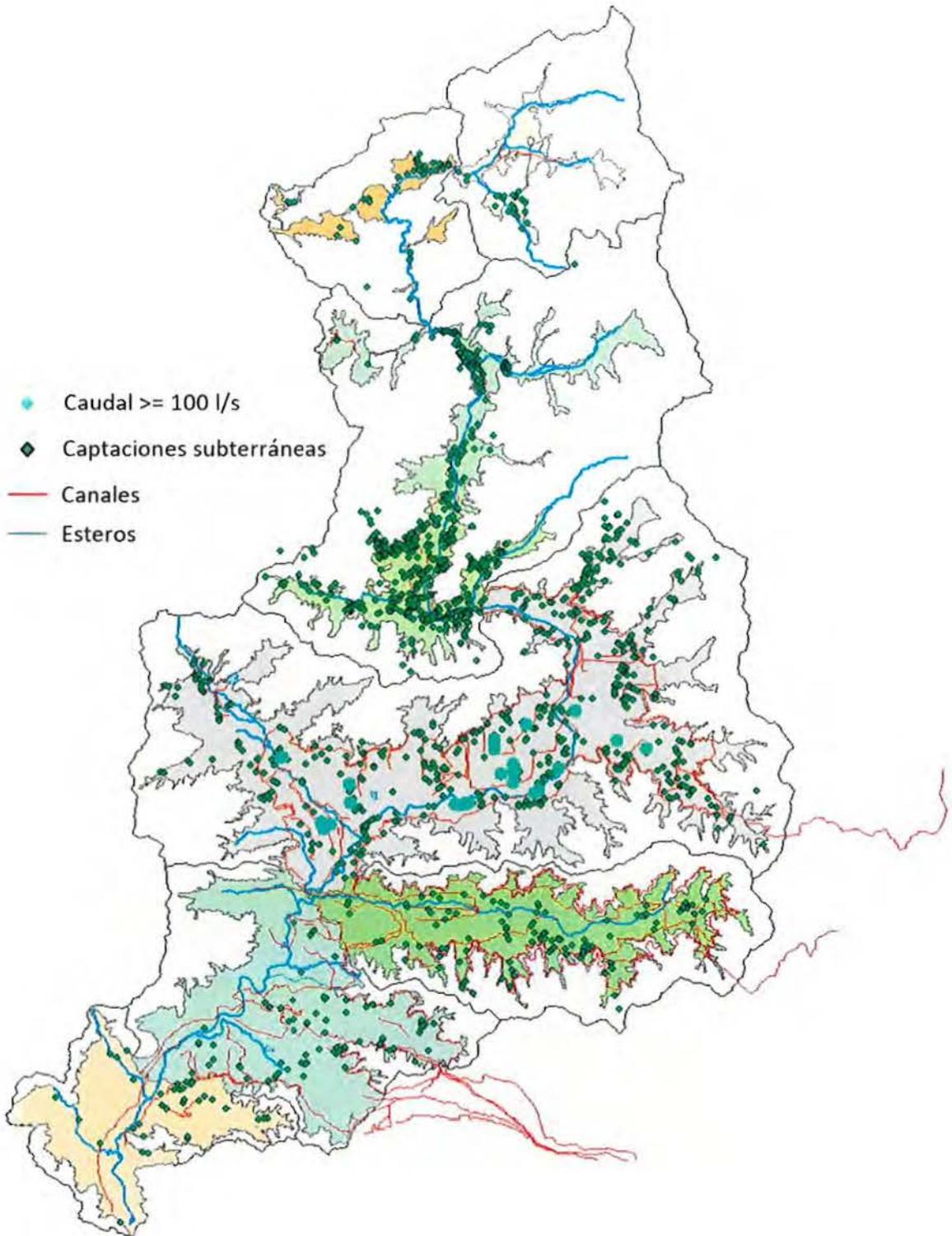
P-LEGAL: Pendiente legal

P-REG: Pendiente en Región

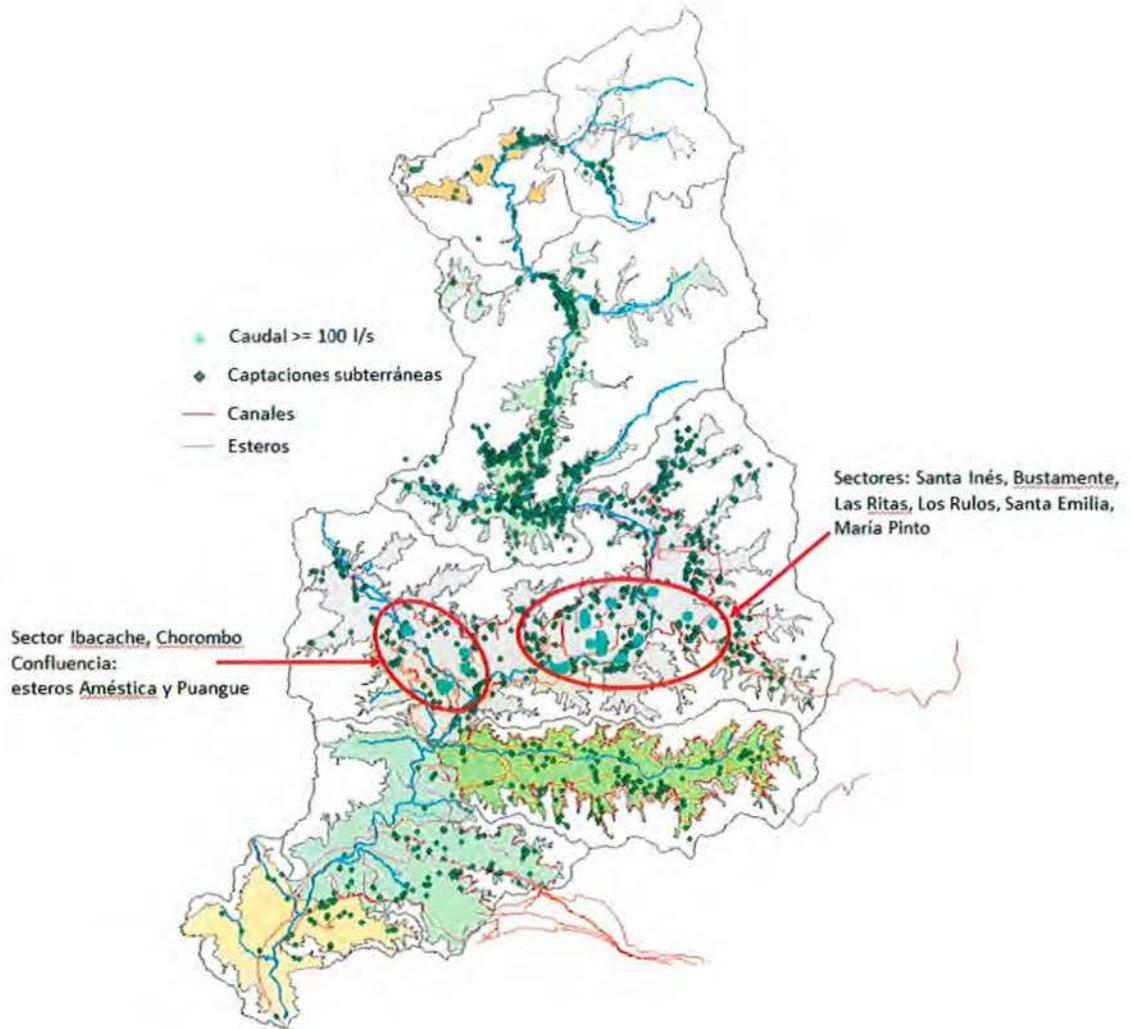
35. Las captaciones ubicadas en el subsector acuífero de Puangue Medio, son más productivas que las ubicadas en los otros cuatro subsectores. El máximo caudal de las captaciones de Altos de Puangue no supera los 30 l/s, mientras que las captaciones de Puangue Bajo están por debajo de los 60 l/s y las captaciones ubicadas en Puangue Alto y La Higuera no sobrepasan los 70 l/s. El acuífero de Puangue Medio tiene numerosas captaciones de abundante caudal, indicando con esto, que sus cualidades acuíferas son considerablemente superiores a los otros sectores de la cuenca.







36. Es posible ubicar captaciones con caudal de extracción por sobre 30 l/s en los acuíferos de Puangue Alto, Puangue Medio, La Higuera y Puangue Bajo. Estas captaciones se localizan preferentemente cercanas a los cauces de esteros y canales, y en zonas de confluencias de cauces superficiales, tales como: Estero Puangue con estero Carén, estero Puangue con estero Cuyuncaví y estero Puangue con estero Améstica.
37. Captaciones con extracciones superiores o iguales a 100 l/s, sólo se localizan en el acuífero de Puangue Medio. en dos sectores bien definidos. Entre Santa Inés, Bustamante hasta María Pinto y el otro sector asociado al acuífero del estero Améstica (Ibacache, Chorombo y confluencia).



12.2.4.3 NIVELES DE POZOS

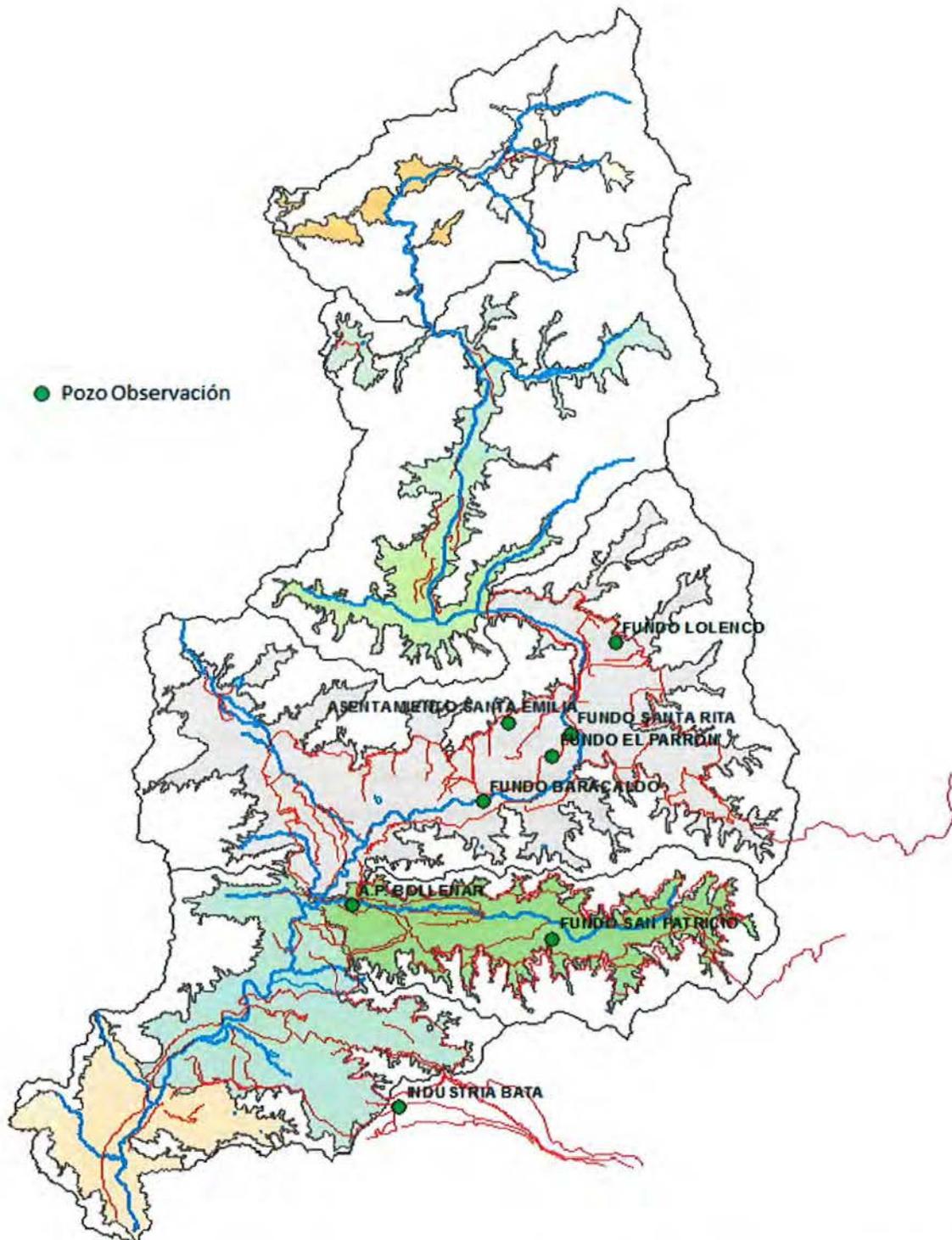
CNR/IPLA-1984

38. En los tres sondajes, considerados para el análisis de niveles en la cuenca de Puangue Alto, se aprecia un descenso sostenido de niveles a partir del verano de 1967 y hasta el invierno del 1971, 1969 y 1970 para el primer, segundo y tercer sondaje respectivamente, recuperándose los niveles cíclicamente en los inviernos de cada año, a excepción del primer sondaje que presenta una meseta entre el invierno de 1971 y hasta el verano de 1973. Por tanto, es posible deducir que, estos ciclos de aumento y disminución de niveles tienen directa relación con los escurrimientos del estero Puangue. Indicando con esto que la principal fuente de

recarga en Puangue Alto la constituye el tramo del estero Puangue que atraviesa ese sector,

39. El limnigrama del pozo 3330-7100 A1, ubicado en el sector de María Pinto, representó el comportamiento de los niveles de Puangue Medio. La información con que contó este sondaje fue limitada e incierta, datando los registros desde fines de 1962. Se constata que en general, no existe relación directa entre las fluctuaciones del nivel freático con el escurrimiento superficial en el Puangue, lo cual está de acuerdo con el hecho que esta zona está afectada más que todo por las recuperaciones de riego. La profundidad máxima a la que se localiza la napa corresponde a 7,4 metros en mayo de 1970 y la mínima a 1,0 metros en diciembre del mismo año. La recuperación observada en la napa durante plena época de riego, se debe a la infiltración proveniente de los derrames de riego.
40. En el valle de Mallarauco (La Higuera), lo mismo que en valle de Puangue aguas abajo de la confluencia con éste, los niveles freáticos están influidos por la infiltración de canales y derrames de riego, hecho que se constata del periodo del año (principalmente durante los meses de verano) en que se producen los aumentos de nivel.
41. En Puangue Inferior (Puangue Bajo), se presentan niveles que se caracterizan por una variabilidad más amplia en cuanto a profundidad, dependiendo fundamentalmente de las condiciones topográficas y geológicas locales. Las fluctuaciones estacionales de niveles son mínimas.

RED DE NIVELES DGA



42. Los niveles estáticos del pozo Lolenco, desde el año 1984, se mantienen en oscilación cíclica entre los 5 y 10 metros de profundidad, produciéndose los peaks hacia el final de cada temporada de riego (febrero, marzo, abril) hasta fines del

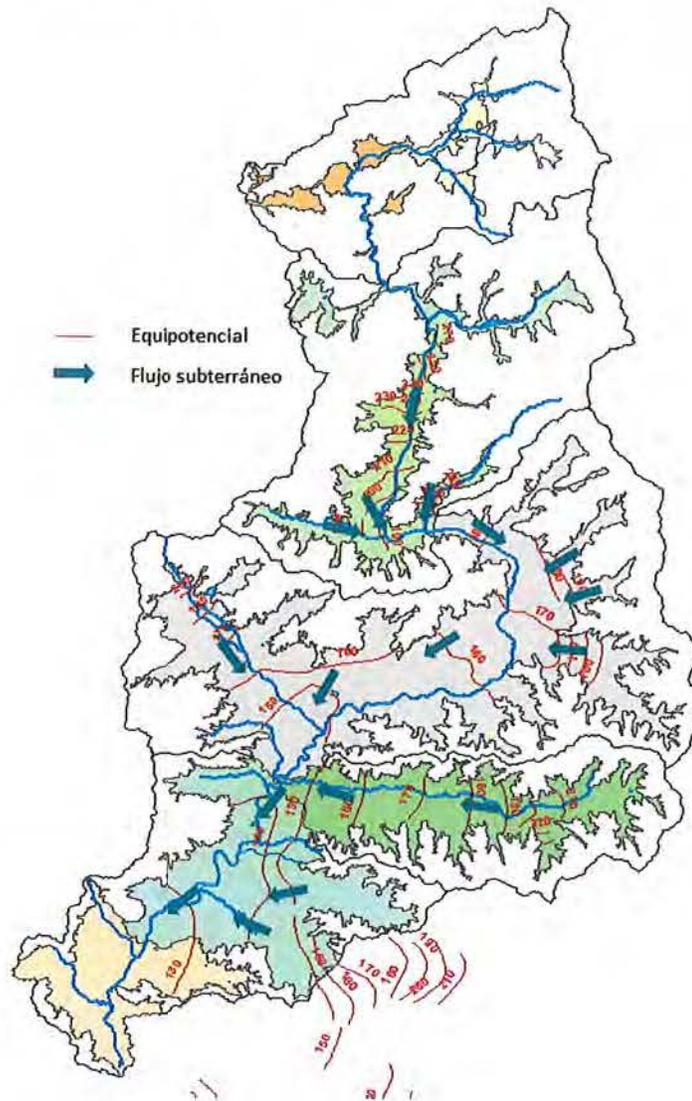
año 2006. A partir del invierno de 2007 se produce un alza de nivel dejando la napa cercana a 1 metro de profundidad. A continuación se produce una inestabilidad difícil de explicar debido a una profusa mezcla de datos de nivel estático y dinámico. Sin embargo a partir del invierno de 2011 los niveles se mantienen cercanos a la superficie, oscilando suavemente entre 1 y 2 metros. Por lo tanto, gran parte de la recarga del acuífero cuyos niveles son observados en el pozo de Lolenco, provienen de las infiltraciones de canales y de las superficies de riego del sector.

43. Los niveles estáticos del pozo Fundo Santa Rita oscilan cíclicamente entre 2 y 5 metros de profundidad. En muchos de los meses del periodo de riego, sólo se tienen datos de nivel dinámico. Sin embargo de los periodos de mayor información es posible deducir que la mayor alza de niveles, en el acuífero monitoreado por este pozo, se produce en invierno. Por lo tanto en este sector los niveles en el acuífero están muy relacionados con los escurrimientos superficiales del estero Puangue, constituyendo el tramo de este cauce frente al pozo, un elemento de recarga de importancia para el acuífero.
44. Los niveles del pozo Fundo El Parrón son muy someros, y oscilan cíclicamente entre 1 y 4 metros. Los niveles más cercanos a la superficie se manifiestan en la época de invierno, y los más profundos en la temporada de riego, aunque en invierno de 2006 y hasta principios del verano de 2008, los niveles se mantienen casi planos en torno a los dos metros, con muy pequeñas oscilaciones, indicando con esto que la recarga del periodo de riego fue muy cercana a la recarga del periodo invernal. Pero en general, la recarga invernal predomina por sobre las otras, indicando que los niveles de esta parte del acuífero están muy relacionados con los escurrimientos del estero Puangue.
45. Los niveles estáticos del pozo Fundo Santa Emilia se presentan bastante estables desde principios del año 1984 hasta el invierno de 1992, después de esta fecha, la densidad de datos de nivel estático disminuye, faltando varios datos de nivel estático en época de riego. No es posible vislumbrar con claridad una tendencia cíclica. Además cabe notar que en las cercanías de este pozo existen varios pozos, con caudales por sobre los 40 l/s, operando en el sector, afectando sus niveles en época de riego. Los niveles más cercanos a la superficie del suelo se registran en general a comienzos, en, y al finalizar la época de riego, es decir sus niveles están supeditados a las filtraciones provenientes del canal Las Mercedes y de las superficies de riego de la zona.

46. Los niveles estáticos del pozo Fundo Baracaldo se mantienen entre 1 y 4 metros de profundidad. A partir de esa fecha comienza una tendencia al descenso de niveles que se ve interrumpida con valores de surgencia entre el verano de 2015 y hasta el invierno del mismo año. No existe una clara estacionalidad en los datos de niveles, pues muchos de los valores cercanos a la superficie se producen tanto en invierno como en plena época de riego, incluso hay surgencia en meses como junio, abril y febrero. No existe por tanto una dependencia directa de los niveles de la napa en el pozo con los escurrimientos en el estero Puangue.
47. Los niveles del pozo Fundo San Patricio no superan los 10 metros de profundidad, manteniéndose en general entre 2 y 7 metros bajo el nivel de suelo. La serie de niveles mensuales muestra una leve tendencia al descenso, a una tasa que se puede estimar en 3 metros en 23 años (13 cm por año), además de oscilaciones que no muestran un periodo definido, presentándose mesetas en que los valores de nivel son similares en época de riego e invierno, presentándose también peaks (niveles cercanos a la superficie) tanto en pleno verano como en invierno. De aquí se sigue que no existe una relación directa con los escurrimientos superficiales, mayores en invierno que en verano, sino más bien, que tanto la recarga debida a los procesos de riego (infiltración de canales, cauces y zonas de riego) algunas veces se equilibran con la que se produce en invierno, tal como sucede en sectores en donde la napa es de naturaleza confinada, y en donde el área de recarga está más distante.
48. El pozo de Agua Potable Bollenar muestra que sus niveles estáticos oscilan entre 6 y 8 metros de profundidad, no pudiéndose distinguir alguna estacionalidad entre época de riego e invierno. Habida cuenta de la ubicación de las cribas, se sigue que los niveles de este pozo dan cuenta del nivel de energía de la napa más profunda confinada.
49. El pozo Industria Bata presenta niveles estáticos y dinámicos. Los niveles estáticos se mantienen muy someros, y varían entre 0.5 y 3 metros de profundidad. No es posible definir un patrón estacional que permita inferir el origen predominante de la recarga a la porción de acuífero que controla este pozo. Sin embargo cabe mencionar que ésta zona (entrada a Melipilla) es parte de la singularidad geológica que permite afloramientos de los flujos subterráneos provenientes del río Maipo.

EQUIPOTENCIALES, DIRECCIÓN Y SENTIDO DE FLUJOS

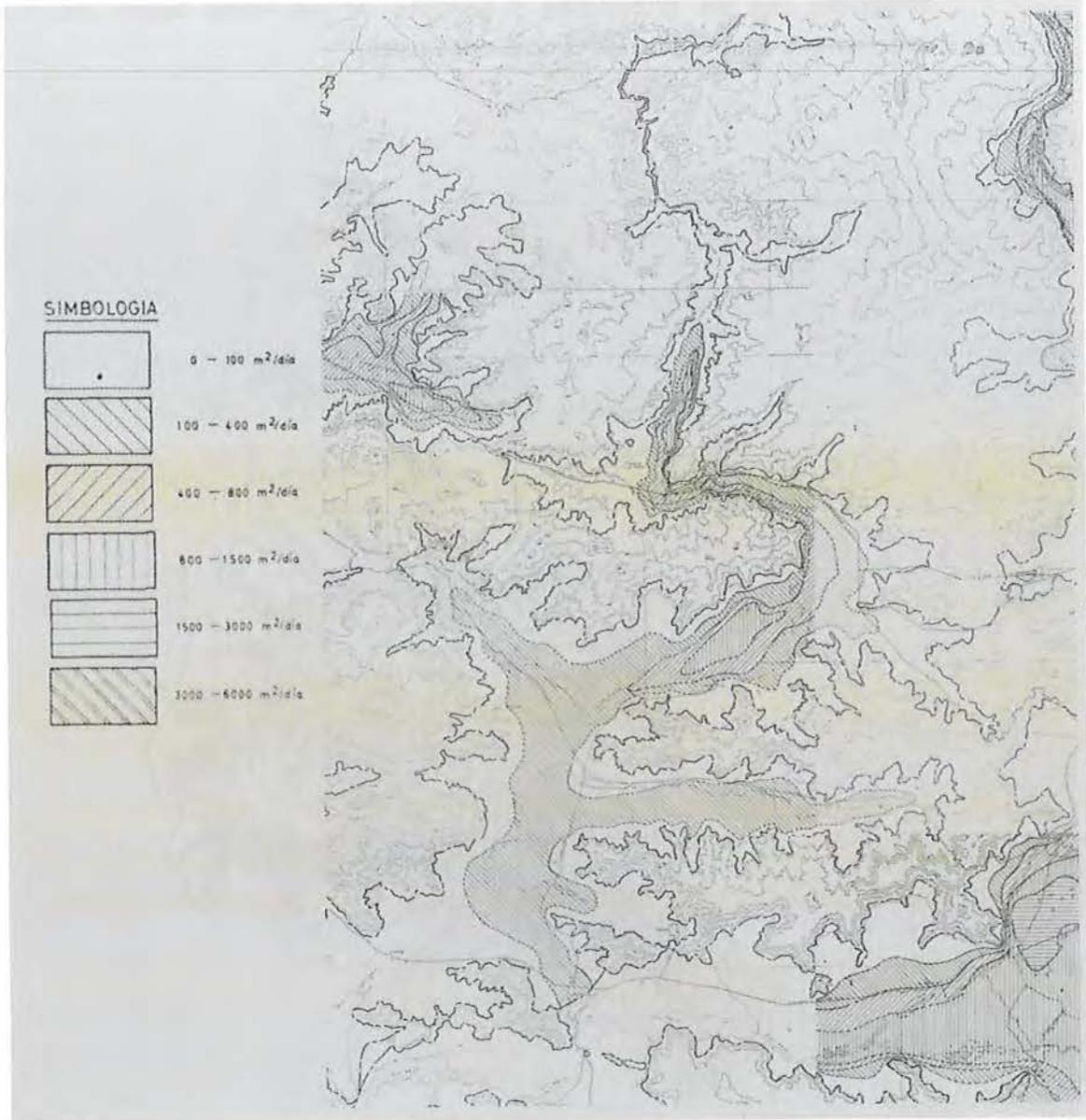
50. Con la información del Catastro de captaciones subterráneas del reporte DGA/AC-2000, se construyó las curvas equipotenciales para la cuenca del estero Puangue, notándose que las direcciones y sentidos de los flujos siguen las mismas direcciones y sentidos de los cauces principales.



PARÁMETROS ELÁSTICOS, CNR/IPLA-1984

51. El mapa de isotransmisividades del reporte CNR/IPLA-1984, permite constatar la existencia de dos zonas de alta transmisividad (mayor que $800 \text{ m}^2/\text{d}$) y permeabilidades entre 259 y $864 \text{ m}/\text{d}$, localizadas en Puangue Medio, aguas arriba de María Pinto y en el acuífero de Puangue Alto, al norte de Curacaví. En el

resto de Puangue Medio y Puangue Bajo, dominan ampliamente las áreas de isotransmisividades de 0 a 100 m²/d y de 100-400 m²/d, asociadas a acuíferos cuya permeabilidad sería entre 0,9 y 9 m/d.



52. En el sector de Puangue Alto, existe una dependencia directa entre la napa subterránea y el escurrimiento superficial en el estero Puangue, constituyéndose este curso superficial en una de las principales fuentes de recarga de los acuíferos del sector.

53. En Puangue Medio, durante los meses de estiaje, existe una zona de recarga de la napa que se ubica aguas arriba de la localidad de María Pinto; en esta localidad, lo mismo que aguas abajo de ella se produce una descarga permanente de la napa que se constituye en un aporte directo al estero Puangue, el cual también es alimentado por los derrames de riego provenientes del canal Las Mercedes. Estos derrames constituyen asimismo la principal fuente de recarga de la napa durante el periodo de riego, como también lo es la infiltración directa de las aguas del canal Las Mercedes, habiéndose constatado que cuando este canal se seca en invierno, las norias de uso doméstico vecinas muestran un descenso de los niveles, aunque el estero Puangue aumente su caudal producto de las lluvias.

54. En Puangue Bajo se verifican condiciones de recarga semejantes a las del sector de Puangue Medio, con la diferencia de que, en este sector, se presentan condiciones más desfavorables para la infiltración, debido a la existencia de una capa superficial de baja permeabilidad, lo cual hace que los derrames de riego escurran superficialmente y se incorporen a los cauces y al estero Puangue. En esta zona se cuenta con aportes externos provenientes de canales que tienen sus tomas fuera de la hoya.

12.2.5 DEMANDA DE AGUA EN AGRICULTURA

55. La eficiencia de aplicación de agua en riego, en la cuenca del estero Puangue, aumento de 44,2 a 61,1% entre 1997 y 2007. Particularmente en la cuenca de Puangue Medio pasó de 43,4 a 53,8%.

Sector	Eficiencia de Aplicación de Riego [%]	
	1997	2007
1 Altos de Puangue, aguas arriba de Boquerón	40,5%	75,3%
2 Altos de Puangue, aguas abajo de Boquerón	40,0%	61,3%
3 Puangue Alto	53,8%	65,6%
4 Puangue Medio	43,4%	53,8%
5 Estero La Higuera	47,1%	58,0%
6 Puangue Bajo, aguas arriba de ruta 78	42,4%	53,0%
7 Puangue Bajo, aguas abajo de ruta 78	42,7%	59,9%
8 Fuera cuenca Puangue	43,5%	61,7%
Total	44,2%	61,1%

56. La superficie total dedicada a riego aumento en alrededor de 7% en la cuenca del estero Puangue. En particular en Puangue Medio aumentó en 21% a expensas de la superficie de secano la que disminuyó en 86% en el periodo 1997-2007.

Sector Hidrológico estero Puangue	Censo 1997			Censo 2007			Incremento 1997 a 2007		
	Riego [hás]	Secano [hás]	Total [hás]	Riego [hás]	Secano [hás]	Total [hás]	Riego [%]	Secano [%]	Total [%]
1 Altos de Puangue, aguas arriba de Boquerón	130,5	7,8	138,3	250,8	6,2	257,0	92,2%	-20,5%	85,8%
2 Altos de Puangue, aguas abajo de Boquerón	61,8	8,5	61,8	33,2	7,0	40,2	-46,2%	-17,6%	-34,9%
3 Puangue Alto	1.332,6	2,0	1.334,6	1.398,3	0,9	1.399,2	4,9%	-55,0%	4,8%
4 Puangue Medio	11.477,3	184,9	11.662,2	13.865,9	26,5	13.892,4	20,8%	-85,7%	19,1%
5 Estero La Higuera	7.246,7	11,0	7.246,7	7.343,8	9,0	7.352,8	1,3%	-18,2%	1,5%
6 Puangue Bajo, aguas arriba de ruta 78	6.217,3	183,0	6.400,3	5.810,2	42,0	5.852,2	-6,5%	-77,0%	-8,6%
7 Puangue Bajo, aguas abajo de ruta 78	2.436,9	396,3	2.833,2	2.192,8	31,0	2.223,8	-10,0%	-92,2%	-21,5%
Total	28903,2	793,5	29677,1	30895,1	122,6	31017,7	6,9%	-84,5%	4,5%

57. La superficie cultivada En Puangue Medio en 1997 fue de 11.477 hectáreas y en 2007 alcanzó a 13.866 hectáreas.

58. La demanda por agua anual para riego fue de 3.291 l/s en 1997 y de 4.037 l/s en 2007.

12.2.6 MODELACIÓN NUMÉRICA

12.2.6.1 MODELO NUMÉRICO PUANGUE MEDIO DGA/AC-2000

59. Las permeabilidades calibradas de la primera capa oscilan entre 60 a 400 m/d, las de la segunda capa entre 10 y 800 m/d y la tercera capa con permeabilidades de 10 y 180 m/d.

60. La entrada total al sistema alcanzó los 4,4 m³/s y la salida alcanzó un flujo total de 4,6 m³/s.

Flujos de entrada	[m ³ /s]
Condición de nivel de aguas arriba	2,8
Recarga de riego y cauces	1,6
Flujo total de entrada	4,4
Flujos de salida	[m ³ /s]
Condición de nivel de aguas abajo	4,3
Pozos de bombeo	0,3
Flujo total de salida	4,6
Variación del almacenamiento	-0,2

61. El caudal de afloramiento no alcanza a ser apreciable en la zona específica modelada, opuestamente a lo que sucede aguas abajo de ella, donde se concentra un mayor número de vertientes de agua subterránea.

62. Las recargas provenientes del MOS utilizadas en el modelo fueron reducidas en un 50%, considerando que el acuífero no es capaz de transmitir una mayor flujo

de entrada que el señalado sin tener que recurrir a incrementar los parámetros elásticos del medio más allá de los valores razonables.

12.2.6.2 MODELO NUMÉRICO PUANGUE-MELIPILLA CNR-2001

63. Verticalmente se representó el sistema a través de un único estrato equivalente, en condiciones de napa libre, a pesar que los perfiles estratigráficos muestran una variabilidad en la vertical, la información disponible y los alcances del estudio no justificaron una representación de más de un estrato. Por lo que se definió la representación del acuífero a través de un estrato único de espesor uniforme y de permeabilidad y coeficiente de almacenamiento equivalentes. Considerando que la variabilidad del espesor del relleno se reproducirá a través de la distribución de la permeabilidad equivalente utilizada.
64. El fondo del relleno se definió en 100 metros por debajo del nivel freático de equilibrio, de forma que se representara la profundidad del relleno explorada a través de los pozos construidos. Los estratos ubicados a profundidades mayores generalmente presentan permeabilidades muy bajas, dado que a menudo se encuentran más compactados y cementados. Por esta razón, el aporte al flujo subterráneo de los estratos más profundos puede ser considerado como parte del flujo modelado a través de la distribución de permeabilidades equivalente y el espesor de relleno de 100 metros.
65. La recarga potencial utilizada en Puangue Medio se determinó a través de una actualización del modelo MOS y alcanzó en promedio los 1.925 l/s anuales.
66. El resultado de la calibración determinó una entrada total de agua de 9.727 l/s y una salida total de 9.717 l/s.

	Flujo	Caudal Medio [l/s]
Entradas	Recarga Superficial	8.602
	Condición de Borde Aguas Arriba	1.125
	Total	9.727
Salidas	Bombeo desde Pozos	872
	Condición de Borde Aguas Abajo	278
	Afloramiento en Ríos y Esteros	8.567
	Total	9.717
	Variación de Almacenamiento	7
Error de Cierre	3	

12.2.6.3 MODELO NUMÉRICO PUANGUE-MELIPILLA DGA-2006

67. La recarga utilizada para el sector de Puangue Medio, corresponde a la recarga potencial determinada con el modelo MOS en el reporte CNR/GEOFUN-2001 la que alcanza 1.925 l/s.

68. El balance calibrado para Puangue Medio una recarga de 1.423 ls

Zona 2: Puangue Medio	
Entradas	[m ³ /s]
Recarga	1,423
Río	0,118
Almacenamiento	0,258
Salidas	[m ³ /s]
Río	1,345
Pozos	0,365
Almacenamiento	0,176

69. El caudal máximo sustentable para el acuífero de Puangue Medio alcanzó 1.332,4 l/s, valor alcanzado en el escenario 9.

SECTOR	Escenario 7		Escenario 8		Escenario 9	
	Caudal (l/s)	Afección	Caudal (l/s)	Afección	Caudal (l/s)	Afección
Puangue Alto	484.41	10.01%	484.41	10.01%	484.41	10.02%
Puangue Medio	1332.40	9.88%	1332.40	9.88%	1332.40	9.90%
Puangue Bajo	175.00	7.31%	250.00	7.35%	300.00	8.10%
La Higuera	220.00	6.05%	220.00	6.07%	300.00	6.40%
Melipilla	800.00	0.53%	1000.00	0.58%	1200.00	0.71%
Cholqui	221.10	14.22%	221.10	14.23%	221.10	14.29%
Popeta	293.57	13.63%	293.57	13.67%	293.57	14.04%

12.2.7 MODELO CONCEPTUAL DE PUANGUE MEDIO

70. El acuífero de Puangue Medio es libre al norte de Lolenco y confinado hacia aguas debajo de esta localidad.

71. El elemento confinante lo constituye una capa de Ignimbritas y arcillas. Bajo esta capa el acuífero es confinado y sobre ella el acuífero es libre.

72. El cauce del estero Puangue se ubica sobre los acuíferos libres antes mencionados.

73. Sobre el acuífero superior se ubican gran cantidad de norias, cuya operación afecta las descargas del acuífero al cauce del estero Puangue.
74. El canal Las Mercedes constituye un canal perimetral de 100 kilómetros de longitud, que por su ubicación estratégica en los bordes de los cerros contribuye a la recarga directa de los acuíferos libres y confinados de Puangue Medio.
75. De igual forma los canales perimetrales El Parrón, El Ranchillo y María Pinto ubicados en la parte sur de la cuenca de Puangue Medio, por su ubicación estratégica en los bordes de los cerros, contribuyen también a la recarga de los acuíferos libres y confinados de Puangue Medio.
76. La recarga desde los canales perimetrales hacia los acuíferos de Puangue Medio se realiza a través del material granular grueso que une los acuíferos superficiales y profundos. Este material grueso proviene de los rellenos coluviales del sector.
77. La conexión con el acuífero confinado inferior de la parte baja de la cuenca, se produce debido al debilitamiento y fractura de la capa de ignimbritas por erosión en esta zona límite.
78. Los canales perimetrales captan casi la totalidad de la escorrentía de cuencas laterales en eventos de lluvia en época invernal. Contribuyendo con esto al control de la erosión de los suelos del valle central y a la conducción de las aguas lluvias hacia la salida de la cuenca a través de ellos. Ayudando también a la incorporación de agua a los acuíferos por infiltración de su lecho.
79. La zona libre de la parte de aguas arriba del sector de Lolenco constituye una zona de recarga para el acuífero confinado de la parte baja de la cuenca. Por tanto el acuífero confinado se recarga a través de los canales perimetrales y de esta zona.
80. En época de riego se aumenta la infiltración debido al riego de extensas superficies de terreno y al uso de la red interior de canales. Esto provoca, una elevación de los niveles del acuífero superior y derrames que alimentan canales y el cauce del estero Puangue.

81. Dada la naturaleza del sistema de riego, que trasvasa agua desde la cuenca del Mapocho a la cuenca de Puangue Medio, se tiene que la recarga total de Puangue Medio se compone de una recarga natural y otra parte artificial.
82. La recarga natural estimada como un 5% de la lluvia media anual sobre la cuenca alcanza los 370 l/s, la que incluye también 40 l/s de flujo subterráneo de entrada desde la cuenca de Puangue Alto.

12.2.8 CUESTIONAMIENTOS TÉCNICO LEGALES PLANTEADOS POR AGRÍCOLA ARIZTÍA LIMITADA.

12.2.8.1 CRITERIO DE INTERFERENCIA RÍO-ACUÍFERO, PUNTO CORRECTO DE APLICACIÓN EN SECCIÓN DE CIERRE DEL ACUÍFERO.

83. El punto de la aplicación correcto, para el criterio de interferencia río acuífero, es en la sección de salida de la cuenca que alberga al acuífero en estudio, Nodo 52.

En efecto, es un error considerar la sección de cierre, para la aplicación del criterio de interferencia, fuera de la cuenca que alberga al acuífero en estudio. Esto, porque la esencia de este criterio es evaluar el impacto regional que tiene la explotación de aguas subterráneas de un acuífero sobre las aguas superficiales que escurren en la misma cuenca que alberga al acuífero.

No puede ser de otra manera, pues está en riesgo la sustentabilidad de largo plazo de un acuífero. Dado que, si por efecto del bombeo de las captaciones de aguas subterráneas del acuífero, se produce un aumento de la infiltración (recarga inducida) y una disminución de los afloramientos en los cauces de la cuenca que alberga al acuífero, significaría que la explotación de aguas subterráneas supera la recarga renovable. Hecho que provocaría un deterioro del acuífero en el largo plazo. Hay que notar que este criterio considera el efecto conjunto de la explotación de todas captaciones sobre los escurrimientos superficiales. Es por esto que este criterio es un criterio regional aplicado al interior de la cuenca que alberga al acuífero, sobre el cual se quiere determinar su caudal de explotación o recarga sustentable.

Basta recordar que el caudal de comparación para determinar el grado de impacto, se determina considerando los aumentos de infiltración de todos los cauces superficiales, con respecto a un escenario base, y las disminuciones de los afloramientos en todos los cauces superficiales al interior de la cuenca que alberga al acuífero, no importando la ubicación dentro de la cuenca. Este caudal

se compara con una fracción del caudal pasante en la sección de salida de la cuenca que alberga al acuífero. Esta fracción se determina considerando el 10% del caudal medio de estiaje del año de probabilidad de excedencia del 85% (Resolución DGA N° 425, de 2007). Se toma el 10% porque sólo se permite disminuir el caudal superficial generado por la cuenca dentro de los límites del error en la medida del caudal (10%), y se exige más aun considerando que se debe determinar la afección en la época de estiaje donde los caudales son necesarios para el riego, y se exige más todavía porque pide considerar el año de probabilidad de excedencia del 85%. Por tanto el espíritu del criterio es permitir una pequeña interferencia global comparable al error de la medición del caudal en las condiciones más desfavorables (interferencia global mínima).

La redacción del artículo 31 letra c) de la resolución N° 425 de 2007, permitía una interpretación que se aleja del espíritu del criterio, cual es asegurar una explotación sustentable en el largo plazo para cualquier acuífero. Esto fue subsanado en el decreto N° 203 que aprueba el Reglamento sobre Normas de Exploración y Explotación de Aguas Subterráneas. El cual en su artículo 30 letra d) menciona:

d) *Los estudios técnicos indiquen que la demanda comprometida producirá una afección a los caudales de los cursos de aguas superficiales en más de un diez por ciento del caudal medio mensual asociado al ochenta y cinco por ciento de probabilidad de excedencia, durante seis meses consecutivos.*

Tal como debe ser, el nuevo reglamento establece que la comparación se hará contra caudales y no de afección, o no, a derechos de aprovechamiento. Más aún deja también claro que el caudal a comparar (aumento de infiltración más reducción de afloramientos) es aquel inducido por el bombeo de la demanda comprometida, exigiendo que no supere el caudal medio mensual asociado al ochenta y cinco por ciento de probabilidad de excedencia en seis meses consecutivos.

12.2.8.2 VALIDEZ DE LA MODELACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE PUANGUE MEDIO UTILIZADA POR LA DGA

84. El modelo hidrogeológico utilizado por la DGA para evaluar los afloramientos de aguas subterráneas no presenta serias limitaciones que van más allá de las limitaciones normales de este tipo de instrumentos.

En efecto, si bien es cierto para la construcción del modelo conceptual no se realizó ninguna campaña de aforos que permita tener un orden de magnitud del valor del caudal de afloramientos, se tuvieron a la vista los resultados de los estudios de DGA/IPLA-1984, intervención DGA, DGA/AC-2000, y CNR/GEOFUN-2001 los cuales analizan los aforos existentes en la zona, concluyendo que (DGA/IPLA-1984) no es posible determinar con exactitud el orden de magnitud del caudal de los afloramientos en Puangue Medio debido entre otras cosas al desconocimiento de la magnitud de las extracciones informales existentes en la zona. Cabe notar que el modelo Geohidrología-2009 considera para la zona afloramientos deducidos de su campaña de aforos del orden de 90 l/s entre el puente Madrid y Puente Chorombo, y 250 l/s entre el Puente Chorombo y el Puente Santa Filomena. Valores que no son suficientes para representar la estructura de afloramientos del sistema. Además la calibración del modelo numérico de Geohidrología-2009 se apoya en los niveles de tres pozos en la cuenca de Puangue Medio, no garantizando que en esta subcuenca se reproduzca el patrón de afloramientos reales y su distribución espacial.

El modelo numérico DGA-2006 ocupa los resultados de recarga del modelo MOS de Puangue entre los nodos 51 y 52, por tanto ocupa el balance hidrológico de flujos de entrada y salidas de este Modelo MOS, el cual representa al acuífero como un volumen desde donde se extrae agua cuando se bombea y se incorpora agua por precipitación, percolaciones de riego, canales y ríos y donde la escorrentía superficial considera también la generada en las cuencas laterales. Por tanto, si se utiliza un balance hídrico para la zona, mismo balance que utiliza el Modelo de Geohidrología-2009 para contrastar los valores de afloramientos calculados.

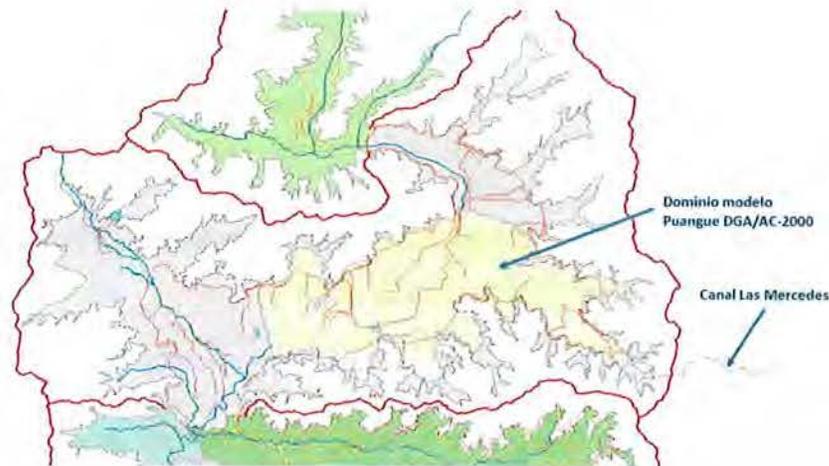
Por su parte, efectivamente no existen mediciones geofísicas que den cuenta de la verdadera geometría del acuífero, sin embargo dado que los sondajes existentes no superaban mayores profundidades que 100 metros y que los niveles de la napa no son muy profundos, basta considerar un espesor acuífero de no más de 100 metros de profundidad para representar los flujos de interés. Esta técnica si se utiliza con cuidado entrega valores aceptables de flujos.

En cuanto a los valores finales de las permeabilidades utilizadas, cabe notar que como se trata de representar un acuífero multiestrato en uno sólo, las permeabilidades equivalentes en este caso deben ser menores a los valores considerados por DGA/IPLA-1984 (17,3 a 864 m/d) resultando valores finales

calibrados de entre 8 a 43 m/d, valores muy similares en orden de magnitud del modelo Geohidrología-2009 de dos capas.

Considerar una sola capa o acuífero para representar el complejo sistema hidrogeológico de Puangue Medio, no implica que los afloramientos queden mal representados en el modelo, pues, el cauce del estero Puangue descansa sobre el acuífero libre superficial con mucha interacción local de norias de poca profundidad y derrames, cuya interacción se controla con la distribución de permeabilidades.

No es correcto comparar el modelo DGA-2006 con el modelo DGA/AC-2000 de tres capas realizado para parte de la cuenca de Puangue Medio. El modelo en comento no considera toda la superficie del acuífero de Puangue Medio, sólo considera la parte donde existe confinamiento (después de Lolenco y hasta antes de llegar al estero Améstica). Como ya se comentó, aquí existe una zona de recarga importante, tanto a la entrada desde la parte norte como debida al sistema de riego y canales perimetrales. Lo anterior induce un flujo subterráneo entrante muy superior al flujo que entra desde el acuífero de Puangue Alto.



Además la recarga considerada por este modelo, menciona que tuvo que reducirse a la mitad ($1,6 \text{ m}^3/\text{s}$) para poder calibrar el modelo con los valores de las permeabilidades del orden de los valores del modelo conceptual, esto quiere decir que la recarga del MOS determinada para Puangue Medio es del orden de $3,2 \text{ m}^3/\text{s}$ recarga que supera en $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ la recarga potencial del MOS utilizada por el modelo CNR/GEOFUN-2001. Este modelo, DGA/AC-2000 no puede presentar afloramientos en sus resultados, pues no incorpora la condición de

borde de tipo río, esta recarga (de río) está incorporada en la recarga superficial total, así fue conceptualizada.

Entonces no es correcto comparar los resultados de este modelo porque al menos los dominios no son iguales y no posee afloramientos, no porque no existan, si no que no puede mostrarlos porque no incorpora la condición de borde de tipo río.

12.2.8.3 USO NECESARIO, USO PREVISIBLE Y CORRECTA APLICACIÓN DEL ARTÍCULO 147 BIS INCISO FINAL

85. La DGA no confunde los conceptos de Uso Necesario y Uso previsible y aplica correctamente el artículo 147 bis inciso final al momento de otorgar derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas.

En efecto, el otorgamiento o denegación de un derecho de agua subterránea, está supeditado a la existencia o no, de un volumen disponible de aguas subterráneas, en el sector acuífero en donde se ubica la captación. En donde el concepto de "disponibilidad" dice relación con la posibilidad de aprovechar y explotar aguas subterráneas, sin perjudicar el equilibrio de largo plazo del sistema acuífero, y sin perjuicio ni menoscabo de las posibilidades de aprovechamiento de otros titulares de derechos del mismo sector.

De esta forma, el procedimiento para determinar la disponibilidad de un sector acuífero, incluye la obtención del volumen sustentable posible de extraer, que permita una explotación que no perjudique el equilibrio de largo plazo del sistema acuífero, y, la determinación de los volúmenes de extracción autorizados a respetar de los usuarios del acuífero.

El volumen sustentable posible de extraer, corresponde al volumen o caudal renovable del acuífero, cuya explotación no provocará descensos sostenidos, ni disminución de la capacidad de producción de las captaciones, ni afección a fuentes superficiales ni a otros usuarios. Su determinación está sujeta a la cuantificación de las recargas y descargas de largo plazo del sistema. Es decir, está sujeta a la cuantificación del agua que entra y sale del sistema acuífero, y a la simulación (o modelación) del sistema acuífero en el largo plazo (usualmente 50 años), sujeta a no sobrepasar los criterios de cierre de un sector acuífero, determinados por la DGA.

Parte del agua que sale del acuífero, corresponde a las descargas reales por explotación de las captaciones existentes en él (demanda antrópica). La determinación del estado actual y futuro del sistema acuífero, requiere saber entonces, cual es el monto de extracción real, actual y futura, de las captaciones que explotan y explotarán el acuífero.

Dado que las captaciones no se usan todo el tiempo, se debe considerar la frecuencia de uso de las captaciones para las distintas actividades. Para esto, la DGA ha definido coeficientes de uso previsible (factor de uso) por actividad, los cuales reflejan la naturaleza de la explotación de aguas subterráneas. De aquí que el caudal de extracción medio de largo plazo es inferior al caudal máximo autorizado de extracción.

En tanto, el volumen de extracción autorizado a respetar de los usuarios del acuífero. Se determina considerando todos los volúmenes otorgados señalados en el acto de constitución de los derechos de aprovechamiento. Los derechos de aprovechamiento otorgados que no tuvieren volumen de extracción autorizado, deberán determinarlo de acuerdo a lo previsto en la resolución DGA N° 239, de 11 de octubre de 2011.

La resolución DGA N° 239, aplica para aquellos derechos otorgados antes de la entrada en vigencia de la ley 20.017 que modificó el Código de Aguas en 2005, y que establece que para aquellas solicitudes con caudales consuntivos superiores a 10 l/s entre la región de Arica y Parinacota y la Región Metropolitana y superiores a 50 l/s en el resto de la regiones, deberán presentar una memoria explicativa que justifique el volumen solicitado para la actividad en que se le dará uso, con tope las tasas de uso por actividad, señaladas en la Tabla de Equivalencias, las que reflejan el uso habitual del recurso por actividad. De esta forma, se evita la especulación y se establece el volumen anual necesario para cada derecho de aprovechamiento.

El volumen así otorgado después de 2005, resulta suficiente para ser utilizado en la actividad informada. Así lo estimo necesario el legislador, para no imponer una eficiencia determinada, sino aquella que dictan las prácticas habituales. De esta forma, el caudal necesario es evidentemente menor al caudal de uso previsible.

De manera que el volumen de extracción autorizado para un sector acuífero, contendrá derechos de aprovechamientos con volúmenes otorgados equivalentes

al caudal necesario y otros con volúmenes, a considerar en la disponibilidad, mayores al caudal necesario.

Luego, la disponibilidad se obtiene restando al volumen sustentable el volumen de derechos a respetar en el acuífero. Si la diferencia es positiva, se podrán otorgar nuevos derechos en carácter de definitivos, en caso contrario, se procederá a cerrar el acuífero con la posibilidad de otorgar derechos provisionales.

De esta forma el volumen correspondiente a los derechos a respetar en el acuífero, ya no se obtiene aplicando un factor de uso, es decir, ya no se considera el uso previsible para tal determinación, pues, se requiere respetar la esencia del derecho de aprovechamiento de aguas, derecho de propiedad, respecto del cual el titular se encuentra amparado en virtud de la garantía consagrada en el artículo 19 N° 24 de la Constitución Política del Estado. De aquí se tiene que, el titular de cada derecho de aprovechamiento, debe tener siempre la posibilidad de acceder a su volumen anual autorizado, en cualquier instante de tiempo y para siempre.

Por tanto, la DGA, con el procedimiento detallado anteriormente, cumple con las disposiciones legales contenidas en el artículo 147 bis, inciso final, porque la disponibilidad, y por tanto la extracción, determinada de acuerdo al número 6) de la resolución DGA N° 239, permite que siempre la oferta hídrica del acuífero sea mayor que la demanda previsible de este, procurando entonces su conservación y protección en el largo plazo. Y más aún, en el proceso de determinación de la disponibilidad, se considera los usos existentes y previsible al momento de calcular el volumen sustentable.

Y ni se ha confundido los significados de los conceptos de caudal o volumen anual necesario, ni uso previsible, ni caudal máximo de extracción autorizado. Los que han sido utilizados en la determinación del volumen anual de derechos a respetar, determinación del volumen sustentable y en la satisfacción de la demanda máxima autorizada.

12.2.8.4 SOLICITUD DE ALZAMIENTO DE LA DECLARACIÓN DE RESTRICCIÓN DEL SUBSECTOR ACUÍFERO PUANGUE MEDIO

86. La técnica y ciencia aplicable, ha determinado que la demanda comprometida es aún superior a la recarga natural renovable del acuífero de Puangue Medio, ocasionando riesgo de grave disminución de los niveles del Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común, si cesan los aportes de recursos hídricos provenientes de la cuenca del río Mapocho, con el consiguiente perjuicio de derechos de terceros ya establecidos en él. Es aplicable entonces el artículo 30 letra b) del decreto N° 203, de 2014, para mantener el área de restricción.
87. El modelo numérico, presentado por Agrícola Ariztía Limitada como herramienta para determinar la oferta hídrica sustentable, no es confiable, pues, no representa adecuadamente el modelo conceptual de funcionamiento del sistema.
88. Por tanto, y considerando que la DGA debe velar para que la explotación del acuífero de Puangue Medio, sea la apropiada para la conservación y protección en el largo plazo, considerando los antecedentes de recarga y descarga, así como las condiciones de uso existentes y previsibles (artículo 147 bis inciso final), es que ha determinado que los antecedentes técnicos y legales, presentados por Agrícola Ariztía Limitada, no son suficientes para levantar el área de restricción.

12.2.8.5 RECONSIDERACIÓN DE RESOLUCIÓN DGA N° 239

CONCEPTO SUSTANCIAL DE LA RESOLUCIÓN

89. La resolución DGA N° 239, de 13 de octubre de 2001, establece una nueva forma de determinar el volumen de la demanda comprometida. No intenta, no quiere ni puede desconocer el artículo 147 bis inciso final.

En efecto, si la explotación del respectivo acuífero, incluyendo al monto del volumen del derecho solicitado, es la apropiada para su conservación y protección en el largo plazo, entonces, se puede, o, procederá la constitución de tal derecho.

Para mayor abundamiento, este artículo 147 bis inciso final, menciona que, la apropiada explotación de un acuífero, que permite la conservación y protección en el largo plazo, debe considerar antecedentes técnicos de recarga y descarga además de las condiciones de uso existentes y previsibles.

Se debe determinar entonces la oferta hídrica renovable y el volumen correspondiente a la demanda comprometida. De aquí, la disponibilidad de un sector acuífero proviene de considerar la diferencia entre el volumen correspondiente a la oferta hídrica y el volumen considerado para la demanda comprometida total. Si esta diferencia es positiva, es posible otorgar nuevos derechos de aprovechamiento. Si, por el contrario, la diferencia es negativa, el sector acuífero deberá cerrarse, declarando el área de restricción para este acuífero, y, determinando el volumen posible de otorgar en derechos provisionales, de acuerdo al criterio de acuífero patrón.

Para determinar tal oferta hídrica, es menester estimar las recargas y descargas reales del acuífero, existentes y las previsibles en el largo plazo (habitualmente con un horizonte de 50 años), para luego, modelar o simular la operación del sistema acuífero, supeditado a no sobrepasar los criterios de cierre de un sector acuífero determinados por la DGA.

Los volúmenes asociados a las descargas antrópicas reales, han de determinarse utilizando un "factor de uso" asociado a la actividad que usa o usará el recurso hídrico. De esta forma, los balances presentes y futuros, de la operación del sistema acuífero, determinaran correctamente el volumen sustentable, que permite la conservación y protección en el largo plazo de un sector acuífero.

El volumen correspondiente a la demanda comprometida, es el formado por la suma de los volúmenes anuales otorgados de derechos de aprovechamiento constituidos o reconocidos y de derechos susceptibles de ser constituidos conforme a los artículos 3º, 4º y 6º transitorios de la ley N° 20.017 (Artículo 54, Decreto N° 203, de 7 marzo de 2014).

La resolución DGA N° 239, de 13 de octubre de 2011, establece que, para aquellos derechos otorgados antes de la entrada en vigencia de la ley 20.017, de 2005, cuya resolución constitutiva no indicaba en forma expresa el volumen total anual de extracción, se deberá considerar como volumen total anual otorgado, como aquel que proviene de utilizar el caudal constituido todos los segundos del año. Por su parte, después de la entrada en vigencia de la ley 20.017, de 2005, todos los derechos otorgados, por sobre 10 l/s en las regiones XV a la Metropolitana y por sobre 50 l/s en el resto de las regiones, tienen un volumen de extracción anual autorizado, el cual tiene concordancia, a través de una

memoria explicativa, con el uso que se le dará al derecho, de acuerdo a las prácticas habituales de la actividad en nuestro país.

La disponibilidad así determinada, permite que se cumpla el principio fundamental, expresado en el artículo 147 bis inciso final, cual es, que la explotación del acuífero sea la apropiada para su conservación y protección en el largo plazo.

La aplicación del criterio establecido en la resolución N° 239, de 13 de octubre de 2011, permite tener certeza de que la explotación de la demanda no superará a la oferta hídrica para un determinado acuífero, pues, la frecuencia de uso de la captación, determina un caudal medio anual inferior al caudal máximo autorizado de extracción. Así, de esta forma, se protege y conserva el acuífero en el largo plazo, tal como lo exige el artículo 147 bis inciso final.

PRESCINDENCIA EVIDENTE DE MANDATO LEGAL EXPRESO: ILEGALIDAD

90. La resolución N° 239, de 13 de octubre de 2011, no prescinde de las disposiciones legales contenidas en el artículo 147 bis, inciso final, ni tampoco confunde los significados de los conceptos de caudal o volumen anual necesario, uso previsible ni caudal máximo de extracción autorizado.

En efecto, el procedimiento para la determinación del caudal disponible factible de ser otorgado, considera la correcta aplicación de los conceptos antes mencionados, los cuales están en perfecta armonía con lo preceptuado en el artículo 147 bis inciso final.

PROTECCIÓN DE LOS DERECHOS DE APROVECHAMIENTO

91. El Director General de Aguas, ha aplicado la ley de acuerdo a las competencias que le confiere el Código de Aguas y la Constitución de la República. En especial, en lo que concierne a la adecuada aplicación del artículo 147 bis inciso final y en el respeto a la propiedad privada que establece nuestra Carta Fundamental.

En efecto, La Dirección de Aguas se encuentra impedida de afectar, administrativamente, un derecho de aprovechamiento de aguas, respecto del cual su titular está amparado con el derecho de propiedad que consagra el artículo 19 N°24 de nuestra Carta Fundamental. Por tanto, no es una hipótesis que hay que defender (uso del derecho todos los segundos del año) sino más bien un hecho

fundamental: la propiedad privada, la cual, la Constitución Política de la República reconoce y protege.

Por otra parte, también se ha hecho una adecuada aplicación del artículo 147 bis inciso final, pues, como se explicó anteriormente, la disponibilidad de un sector hidrogeológico de aprovechamiento común, se determina considerando las condiciones de uso existentes y previsibles, asegurando con esto una explotación apropiada para la conservación y protección del acuífero.

INCUMPLIMIENTO DE LA LEY

92. La DGA, como órgano administrativo cumple con la ley, ejerciendo sus atribuciones dentro de la ley, y, como la ley lo dice. Así, es el caso de la aplicación del artículo 147 bis inciso final y de la declaración de área de restricción para el acuífero de Puangue Medio.

En efecto, la DGA ha aplicado, como dice la ley, el artículo 147 bis inciso final, para el otorgamiento o denegación de un determinado derecho de aprovechamiento.

Así se ha hecho, pues se ha resguardado de cuidar que la explotación del acuífero sea la apropiada para su conservación y protección, considerando para ello la determinación de la disponibilidad de acuerdo a lo establecido en este artículo 147 bis inciso final. Ésta disponibilidad considera la determinación de la explotación real, la cual no puede, ni debe determinarse prescindiendo del concepto de uso previsible. Es así como se ha considerado la aplicación de un factor de uso para todos los derechos otorgados de acuerdo a su uso en cada actividad definida por el usuario. De esta manera, resulta la demanda real actual.

Del mismo modo, se ha replicado el procedimiento para la determinación de la demanda futura, la que servirá para determinar el volumen sustentable.

La demanda comprometida como los nuevos derechos solicitados, han de considerar el volumen otorgado o a otorgar, cuya magnitud se encuentra justificada por una Memoria Explicativa y respaldada por el límite que impone la tasa de uso consignada en la Tabla de Equivalencias para cada uso y actividad, siempre que el caudal solicitado sea superior a las exenciones que imponen los incisos finales de los artículos 129 bis 4 y 129 bis 5 del mismo cuerpo legal. El límite impuesto por la Tabla de Equivalencias, permite acceder al volumen

necesario, sin imposición de una determinada eficiencia, sino las que establecen las prácticas habituales de cada actividad.

Si el derecho otorgado no tiene autorizado un volumen anual, éste deberá ser determinado de acuerdo a lo establecido en la resolución DGA N° 239, para derechos cuya resolución constitutiva no lo indicara, y, cuya fecha de constitución sea anterior a la entrada en vigencia de la ley 20.017, de 2005 que modificó el Código de Aguas. Considerando para ello las exenciones que imponen los incisos finales de los artículos 129 bis 4 y 129 bis 5 del mismo cuerpo legal.

De esta forma, los derechos otorgados en que cabe la aplicación de la resolución DGA N°239, deberán considerar como volumen total anual otorgado, aquel que se deduce de utilizar el caudal autorizado todos los segundos del año.

Así debe ser, así se cumplen la ley y las normas, pues la DGA se encuentra impedida de afectar, administrativamente, un derecho de aprovechamiento de aguas, respecto del cual su titular está amparado con el derecho de propiedad que consagra el artículo 19 N°24 de nuestra Carta Fundamental.

Por otra parte, no se ha considerado mantener el área de restricción para el acuífero de Puangue Medio en forma arbitraria. Se ha actuado con fundamentos, apegados estrictamente a los artículos 64 y 65 del Código de Aguas. Pues, se ha analizado toda la información técnica disponible, incluyendo la aportada por la propia recurrente, para el análisis del funcionamiento del sistema hidrogeológico del acuífero de Puangue Medio. Concluyéndose, que el acuífero de Puangue Medio presenta una recarga natural muy inferior a la demanda autorizada actual. Demanda que sólo se sostiene con la recarga de aguas provenientes de la cuenca del río Mapocho a través del canal Las Mercedes. Si esta recarga cesa, los recursos del acuífero estarían en riesgo de grave disminución, provocando por consiguiente, perjuicio de derechos de terceros ya establecidos en él.

Es así entonces, que la DGA, como órgano administrativo, ha cumplido con la ley, ejerciendo sus atribuciones dentro de la ley, y, como la ley lo dice.

CONTRADICCIÓN ENTRE NORMAS ADMINISTRATIVAS

93. Las modificaciones al Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos reformulará el procedimiento para el otorgamiento de

derechos de manera que sea compatible por lo aceptado actualmente y expuesto en los párrafos precedentes.

FALTA DE TRANSPARENCIA DEL FUNDAMENTO TÉCNICO DE LA RESOLUCIÓN

94. La resolución DGA N° 239, se dictó con fundamento técnico y total transparencia.

En efecto, todos los documentos que han servido de sustento o complemento directo o esencial, establecidos en los vistos de la resolución DGA N° 239, han sido públicos, con total apego al artículo 16 de la ley N° 19.880, sobre procedimientos administrativos.

Por su parte, con respecto al artículo 147 bis inciso final, es posible afirmar que, todos los antecedentes técnicos de recarga y descarga, así como las condiciones de uso existentes y previsibles, han sido de conocimiento público en varios estudios realizados por la DGA (DGA/AC-2000, DGA/DEP-2006).

NO CONSIDERACIÓN DE FUNDAMENTOS PROPORCIONADOS POR SOLICITANTES

95. La DGA, ha considerado, para su análisis, los fundamentos proporcionados por los solicitantes.

En efecto, el presente informe técnico ha analizado los siguientes estudios y antecedentes referidos al acuífero de Puangue Medio:

- Escrito de Se Tenga Presente, presentado por Agrícola Ariztía Limitada a la DGA el 2 de julio de 2009.
- Escrito Se Tenga Presente sobre la Sustentabilidad del acuífero, presentado por Agrícola Ariztía Limitada a la DGA el 17 de septiembre de 2009.
- Informe que reformula el modelo hidrogeológico del sector acuífero de Puangue Medio, recibido el 18 de diciembre de 2009 por el Departamento de Administración de Recursos Hídricos de la Dirección General de Aguas.
- Modelo numérico del acuífero de Puangue Medio, implementado en Visual Modflow versión 4.2, realizado por Geohidrología Consultores.

13 ANEXOS

ANEXO 1

Demanda hídrica de los cultivos Agrícolas en la Cuenca del estero Puangue.

Con el fin de estimar una demanda hídrica real (o necesidad hídrica bruta) asociada a la evapotranspiración de los cultivos agrícolas en la cuenca del estero Puangue, se utilizó la metodología del coeficiente de cultivo (K_c), en función de la evapotranspiración de referencia y la superficie cultivada por las distintas especies agrícolas.

Conforme a lo anterior, los requerimientos hídricos mensuales de los cultivos agrícolas establecidos en la cuenca del estero Puangue se estimaron mediante la sumatoria de las estimaciones de demanda hídrica real (sin descontar la precipitación efectiva) de cada cultivo a nivel mensual, asociada a la evapotranspiración de cultivo estimada en función de la evapotranspiración de referencia de la zona, el coeficiente de cultivo (K_c) de cada especie según su estado fenológico y la superficie plantada en cada zona establecida. El procedimiento se expresa en las siguientes relaciones:

$$1) \text{ Demanda Hídrica mensual de los Cultivos } \left[\frac{m^3}{seg} \right] = \sum_{n=1}^n \text{ Demanda hídrica real mensual Cultivo}_n \left[\frac{m^3}{seg} \right]$$

Por su parte, la demanda hídrica real de un cultivo $\langle c \rangle$ en el mes $\langle m \rangle$ es:

$$2) \text{ Dda Hídrica real mensual del Cultivo}_{(c,m)} \left[\frac{m^3}{seg} \right] = ET_{c(c,m)} * Sup_{(c)} * \frac{1}{N^{\circ} \text{días}_{(m)}} * \frac{10}{86.400}$$

Donde: $ET_{c(c,m)}$ = Evapotranspiración real de un cultivo $\langle c \rangle$ en el mes $\langle m \rangle$; [$\frac{mm}{mes}$]

$Sup_{(c)}$ = Superficie total del cultivo $\langle c \rangle$ según censos agrícolas; [hás]

$N^{\circ} \text{días}_{(m)}$ = Número de días del mes $\langle m \rangle$

$\frac{10}{86.400}$ = factor de conversión de unidades

Asimismo, la Evapotranspiración real de cultivo (ET_c) en el mes $\langle m \rangle$ se estima conforme a la metodología del coeficiente de cultivo con la siguiente relación:

$$3) ET_{c(c,m)} = ET_{o(m)} * K_{c(c,m)}$$

$ET_{c(c,m)}$ = Evapotranspiración real de cultivo en el mes $\langle m \rangle$; [$\frac{mm}{mes}$]

Donde: $ET_{o(m)}$ = Evapotranspiración de referencia en el mes $\langle m \rangle$; [$\frac{mm}{mes}$]

$K_{c(c,m)}$ = Coeficiente de cultivo especie $\langle c \rangle$, para el estado fenológico en el mes $\langle m \rangle$

En los siguientes capítulos, se presenta la metodología utilizada para obtener los antecedentes de la superficie cultivada según las distintas especies, evapotranspiración de referencia (ET_o) y los K_c asociados a las distintas especies y su fenología.

Esta estimación se presenta como una demanda máxima potencial, debido a que no se realiza una ponderación por cobertura del cultivo según corresponda.

En relación a la superficie cultivada, como se disponen de los resultados de los censos agrícolas realizados en los años 1997 y 2007, se pudo establecer la evolución de la superficie cultivada en ese periodo, y con ello una estimación del cambio en la demanda hídrica real para toda la cuenca del Puangue.

1. Superficie cultivada en la cuenca del Estero Puangue

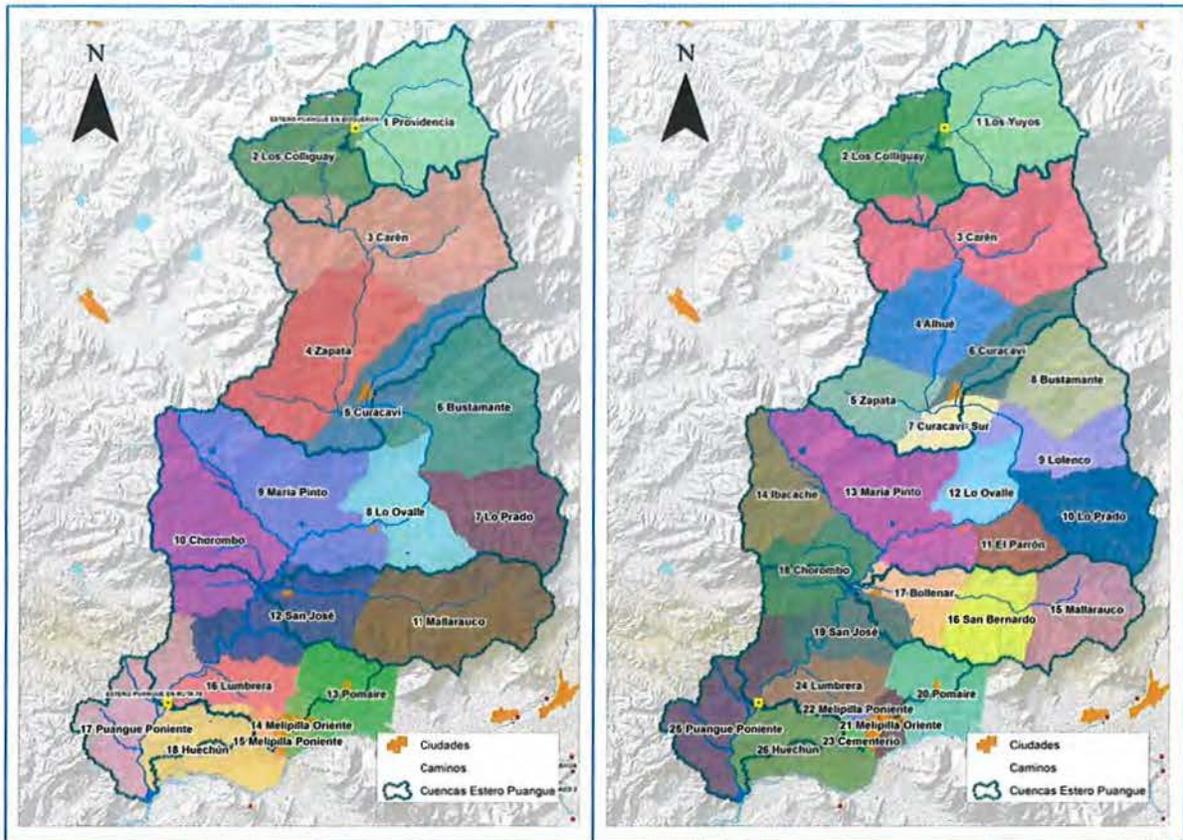
La superficie agrícola cultivada en el valle del estero Puangue se obtuvo desde los resultados tabulados de los Censos Agropecuarios realizados en los años 1997 y 2007 por el Instituto de Nacional de Estadísticas (INE). Los datos fueron obtenidos directamente del sitio: <http://icet.odepa.cl/> (mayo de 2017).

Los resultados de superficie para las distintas especies agrícolas se presentan a nivel de distritos Agrocensales, que conforma la unidad mínima de presentación de los datos y comprende un determinado territorio que puede coincidir o no con la división comunal y la división hidrográfica, la que en este caso representa la cuenca del estero Puangue (Tabla 1).

Tabla 1 Distritos agrocensales en la cuenca del estero Puangue

Censo 1997		Censo 2007	
1	Providencia	1	Los Yuyos
2	Colliguay	2	Colliguay
3	Carén	3	Carén
4	Zapata	4	Alhué
5	Curacaví	5	Zapata
6	Bustamante	6	Curacaví
7	Lo Prado	7	Curacaví Sur
8	Lo Ovalle	8	Bustamante
9	María Pinto	9	Lolenco
10	Chorombo	10	Lo Prado
11	Mallarauco	11	El Parrón
12	San José	12	Lo Ovalle
13	Pomaire	13	María Pinto
14	Melipilla Oriente	14	Ibacache
15	Melipilla Poniente	15	Chorombo
16	Lumbrera	16	Mallarauco
17	Puangue Poniente	17	San Bernardo
18	Huechún	18	Bollenar
		19	San José
		20	Pomaire
		21	Melipilla Oriente
		22	Melipilla Poniente
		23	Cementerio
		24	Lumbrera
		25	Puangue Poniente
		26	Huechún

Figura 1 Distritos agrocensales en la cuenca del estero Puangue



Censo 1997

Censo 2007

Como se aprecia en la Figura 1, algunos distritos agrocensales no coinciden con los límites de algunos sectores hidrográficos definidos en la cuenca del estero Puangue para este informe (asociados a los sectores acuíferos previamente definidos por este Servicio), por lo tanto estos han sido subdivididos proporcionalmente a la superficie cultivada total de cada uno de ellos o, donde fue posible, se diferenció por tipo de cultivo (con apoyo de imágenes satelitales de Google Earth), para ser adecuados a los sectores hidrográficos de la cuenca del Puangue.

En algunos distritos, la parte ubicada en otro sector hidrológico contenía una superficie de riego la cual se consideró como no significativa, como por ejemplo los sectores de Providencia bajo boquerón (1997), Carén en Altos de Puangue, Curacaví y San José en Puangue Medio (1997), así como también Los Yuyos y Carén en Altos de Puangue Bajo Boquerón (2007), Curacaví, Curacaví Sur y Bollenar en Puangue Bajo (2007).

Del mismo modo se procedió con los distritos que contienen superficies fuera de la cuenca del estero Puangue. Estos criterios de distribución se mantuvieron para los resultados de cada Censo a fin de mantener la consistencia de la comparación. La equivalencia de estas subdivisiones se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2 Equivalencia de distritos en los diferentes sectores hidrogeológicos del estero Puangue

Sector Hidrológico Estero Puangue	Distritos Censo 1997	Distritos Censo 2007
1 Altos de Puangue, aguas arriba de Boquerón	1 Providencia	1 Los Yuyos
2 Altos de Puangue, aguas abajo de Boquerón	2 Colliguay	2 Colliguay
3 Puangue Alto	3 Carén	3 Carén
	4 Zapata	4 Alhué
	5 Curacaví	5 Zapata
		6 Curacaví
		7 Curacaví Sur
4 Puangue Medio	6 Bustamante	8 Bustamante
	7 Lo Prado	9 Lolenco
	8 Lo Ovalle	10 Lo Prado
	9 María Pinto	11 El Parrón
	12a Chorombo en Puangue Medio	12 Lo Ovalle
		13 María Pinto
		14 Ibacache
	18a Chorombo Puangue medio	
5 Estero La Higuera	10 Mallarauco	15 Mallarauco
	11a San José en La Higuera	16 San Bernardo
		17 Bollenar
		19a San José en la Higuera
6 Puangue Bajo, aguas arriba de ruta 78	11b San José en Puangue Bajo	18b Chorombo Puangue Bajo
	12b Chorombo en Puangue Bajo	19b San José en Puangue Bajo
	13a Pomaire en Puangue Bajo	20a Pomaire en Puangue Bajo
	14a Melipilla Oriente en Puangue Bajo	21a Melipilla Oriente en Puangue Bajo
	15 Melipilla Poniente	22 Melipilla Poniente
	16 Lumbrera	23 Cementerio
	17a Puangue Poniente aguas arriba de Ruta 78	24 Lumbrera
		25a Puangue Poniente aguas arriba de ruta 78
7 Puangue Bajo, aguas abajo de ruta 78	17b Puangue Poniente bajo ruta 78	25b Puangue Poniente bajo ruta 78
	18a Huechún en Puangue bajo	26a Huechún en Puangue bajo
8 Fuera cuenca Puangue	13b Pomaire Fuera de Puangue	20b Pomaire fuera Puangue
	14b Melipilla Oriente fuera de Puangue	21b Melipilla Oriente Fuera de Puangue
	18b Huechún fuera de Puangue	26b Huechún fuera de Puangue

Conforme al análisis de los datos con los criterios anteriormente descritos tenemos las siguientes superficies cultivadas presentadas en el Cuadro 1.

Cuadro 1 Superficie cultivada bajo riego y seco en la cuenca del estero Puangue (1997 y 2007)

Sectores Hidrológicos estero Puangue	Censo 1997			Censo 2007		
	Riego [has]	Secano [has]	Total [has]	Riego [has]	Secano [has]	Total [has]
1 Altos de Puangue, aguas arriba de Boquerón	130,5	7,8	138,3	250,8	6,2	257,0
2 Altos de Puangue, aguas abajo de Boquerón	53,3	8,5	61,8	33,2	7,0	40,2
3 Puangue Alto	1332,6	2,0	1334,6	1.398,3	0,9	1.399,2
4 Puangue Medio	11.477,3	184,9	11.662,2	13.865,9	26,5	13.892,4
5 Estero La Higuera	7.235,7	11,0	7.246,7	7.343,8	9,0	7.352,8
6 Puangue Bajo, aguas arriba de ruta 78	6.217,3	183,0	6.400,3	5.810,2	42,0	5.852,2
7 Puangue Bajo, aguas abajo de ruta 78	2.436,9	396,3	2.833,2	2.192,8	31,0	2.223,8
Total	28.883,7	793,5	29.677,1	30.895,1	122,6	31.017,7

Elaboración propia con datos del censo agropecuario 1997 y 2007

Si bien, entre los años 1997 y 2007 la superficie total cultivada en la cuenca del estero Puangue ha presentado un crecimiento importante, este no ha sido uniforme en todos los sectores, verificándose una disminución en los sectores de Altos de Puangue, aguas abajo de Boquerón, Puangue bajo (aguas arriba y abajo de ruta 78). Estos sectores coinciden con la ubicación de las localidades de Collihuay (Altos de Puangue), Melipilla y Pomaire (Puangue Bajo).

El crecimiento más importante se aprecia en Altos de Puangue aguas arriba de Boquerón y Puangue Medio, donde este último corresponde al más significativo incluso a nivel de cuenca con un incremento aproximado de 2.200 has.

En relación a la superficie cultivada de Secano, al año 1997 representa un porcentaje aproximado del 2% de la superficie cultivada total, sin embargo, hacia el a 2007 en todos los sectores disminuyen considerablemente hasta alcanzar niveles poco significativos en cada uno de ellos y asimismo con respecto al total de la cuenca (~0,3%).

En consecuencia para los efectos de caracterizar la evolución de la demanda hídrica de los cultivos agrícolas, se utilizará el total de la superficie cultivada de riego y sus distintas especies.

1.1. Evolución superficies de los principales cultivos agrícolas

Además la superficie, también fue posible analizar el cambio de superficie de las principales especies cultivadas en cada sector, que a diferencia del análisis por superficie, se verifica una tendencia en la mayoría de los sectores predominio del cultivo de especies frutales, con la excepción del sector Puangue bajo, aguas abajo de ruta 78.

El Gráfico 1 y Gráfico 2 muestra el cambio proporcional de la superficie cultivada con las diferentes especies de interés agrícola registrada en los censos de 1997 y 2007, en los diferentes sectores de la cuenca del estero Puangue

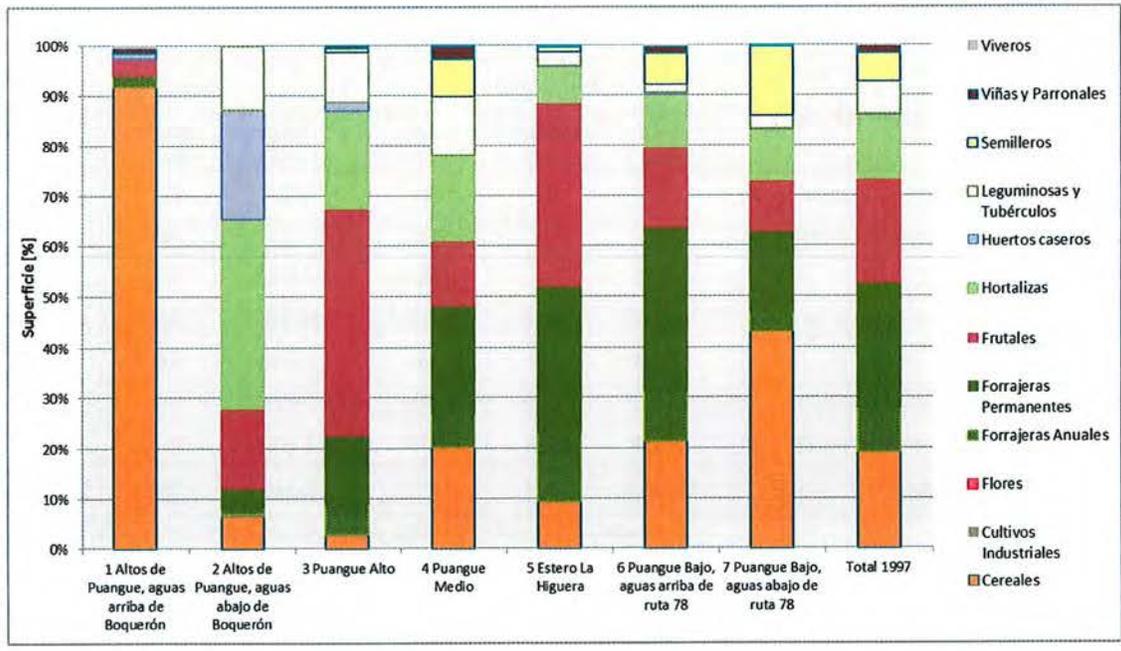


Gráfico 1 Distribución porcentual de la superficie de los principales cultivos agrícolas de riego en el año 1997

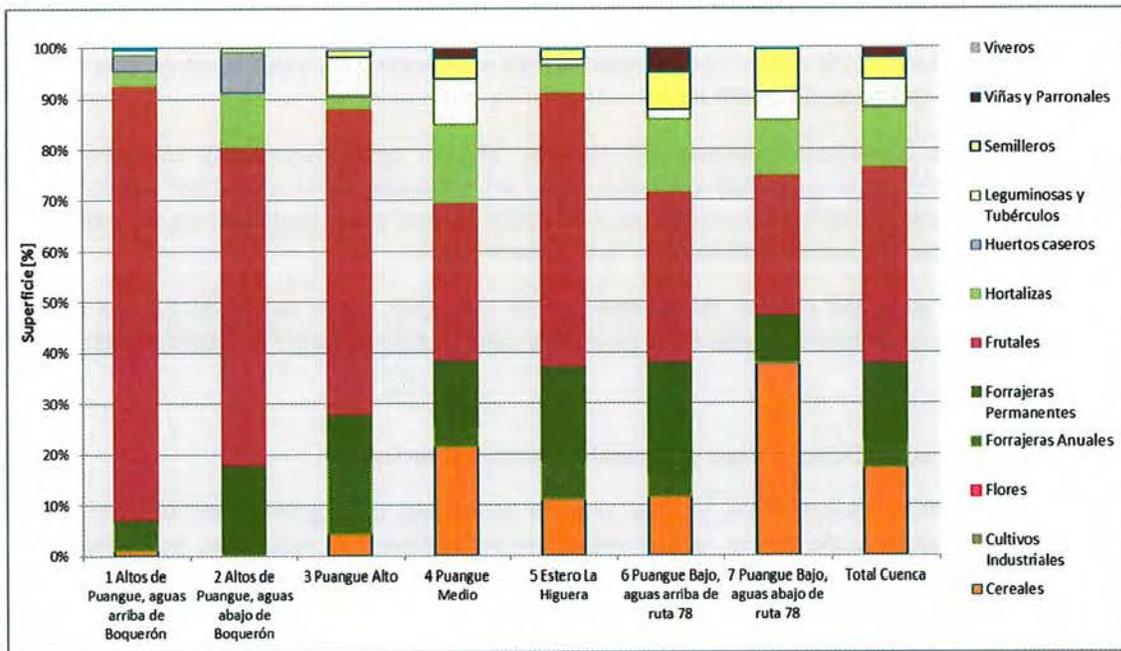


Gráfico 2 Distribución porcentual de la superficie de los principales cultivos agrícolas de riego en el año 2007.

Como se aprecia en Gráfico 1, en el año 1999 los cultivos predominantes a nivel de cuenca del estero Puangue correspondían a especies de forrajeras (permanentes y anuales, 33,5%), Frutales (20,7%), Cereales (19%) y en menor proporción Hortalizas (12,6%). Por su parte a nivel de sectores, los cultivos de frutales eran predominantes solo en Puangue Alto (44,9%) y La Higuera (36,6%). Por su parte, los Cereales en Altos de Puangue, aguas arriba de Boquerón (92%) y Puangue Bajo, bajo ruta 78 (43,2%) y las forrajeras lo eran en los sectores de Puangue Medio (36,6%) y Puangue Bajo, aguas arriba de ruta 78 (32,5%).

Sin embargo, en el año 2007, El cultivo de frutales se convirtió claramente en el cultivo dominante a nivel de cuenca (38,5%) en contraste con la disminución de la superficie cultivada de otras especies, con la excepción de Puangue bajo, bajo ruta 78, en la cual a pesar de ser la 2° especie de superficie cultivada, aumenta su porcentaje con respecto al año 1997 (de una un 10% a un 27% aproximadamente).

Este factor es relevante para estimar las necesidades hídricas de los cultivos pues se estaría cambiando especies que tienen menores requerimientos hídricos por aquellas con una tasa de evapotranspiración mayor ya sea a nivel estacional y en algunos casos en forma permanente (paltos y cítricos).

En el caso particular de Puangue Medio, se verifica el claro incremento de superficie cultivada bajo riego asociado principalmente al aumento del cultivo de especies frutales y cereales, sin disminuir considerablemente la superficie cultivada con otras especies Gráfico 3.

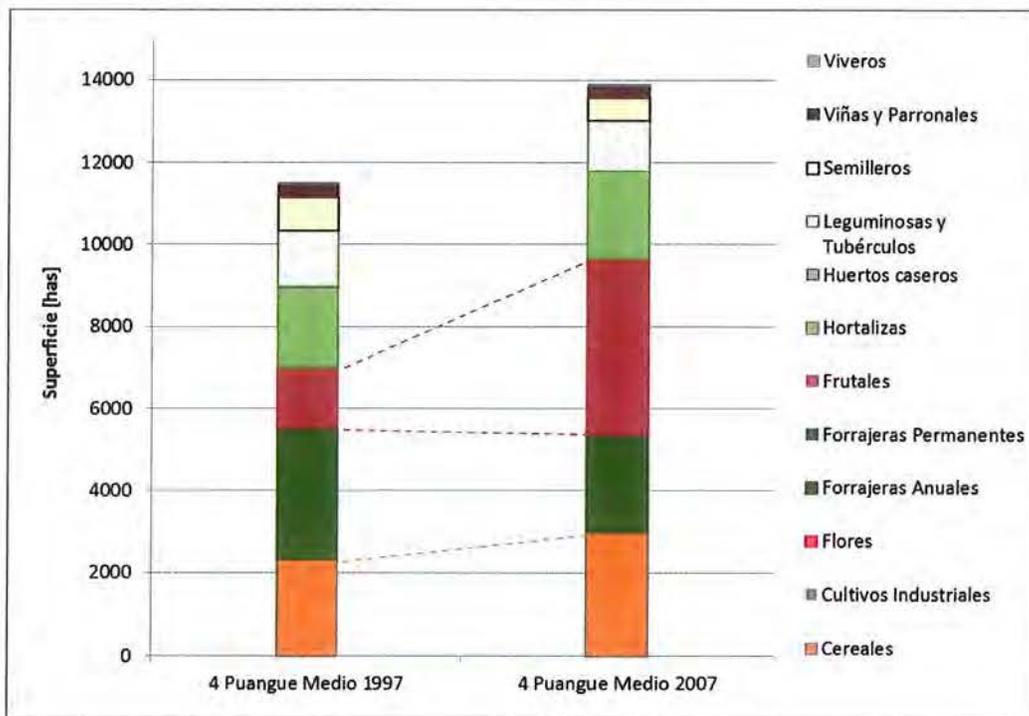


Gráfico 3 Evolución de la superficie de diferentes especies de cultivo en Puangue Medio

Cuadro 2 Superficies cultivada (riego) por tipo de cultivo en la cuenca del Estero Puangue año 1997

Sector	Cereales	Cultivos Industriales	Flores	Forrajeras Anuales	Forrajeras Permanentes	Frutales	Hortalizas	Huertos caseros	Leguminosas y Tubérculos	Semilleros	Viveros	Total	
	[has]	[has]	[has]	[has]	[has]	[has]	[has]	[has]	[has]	[has]	[has]	[has]	
1 Altos de Puangue, aguas arriba de Boquerón	120,0			3,0		4,1	0,2	1,4			1,3	0,5	130,5
2 Altos de Puangue, aguas abajo de Boquerón	4,1	0,3		0,8	2,3	9,9	23,1	13,4	7,9				61,8
3 Puangue Alto	37,7	1,0	1,3	80,4	182,4	598,3	257,5	25,4	132,0	9,0	7,6		1332,6
4 Puangue Medio	2321,2		0,3	771,3	2439,2	1480,8	1955,3	7,9	1343,6	836,4	321,1	0,3	11477,3
5 Estero La Higuera	682,7	0,2	1,6	997,1	2091,9	2652,5	513,6	13,2	207,9	64,1	21,9		7246,7
6 Puangue Bajo, aguas arriba de ruta 78	1326,1	0,1	2,8	618,8	2021,0	995,3	645,5	20,4	108,0	379,4	93,0	7,0	6217,4
7 Puangue Bajo, aguas abajo de ruta 78	1052,1		0,4	94,0	387,3	246,9	248,6	1,3	61,6	338,8	6,0		2436,9
Total Cuenca	5543,9	1,6	6,5	2565,3	7124,0	5987,8	3643,7	83,1	1861,0	1627,7	450,8	7,8	28903,2

Cuadro 3 Superficies cultivada (riego) por tipo de cultivo en la cuenca del Estero Puangue año 2007

Sector	Cereales	Cultivos Industriales	Flores	Forrajeras Anuales	Forrajeras Permanentes	Frutales	Hortalizas	Huertos caseros	Leguminosas y Tubérculos	Semilleros	Viveros	Total	
	[has]	[has]	[has]	[has]	[has]	[has]	[has]	[has]	[has]	[has]	[has]	[has]	
1 Altos de Puangue, aguas arriba de Boquerón	2,7	0,0		14,5	1,0	214,5	7,0	7,3	2,7		1,1		250,8
2 Altos de Puangue, aguas abajo de Boquerón		0,0	0,1	0,1	5,8	20,8	3,5	2,6	0,3				33,2
3 Puangue Alto	62,1	0,0	0,6	208,1	122,2	840,3	31,7	5,7	101,8	17,2	4,6	4,0	1398,3
4 Puangue Medio	2975,1	0,5	5,3	560,4	1833,6	4301,1	2114,3	4,1	1220,3	557,1	291,0	3,2	13865,9
5 Estero La Higuera	817,9	13,0	0,0	556,7	1356,7	3958,0	380,4	6,7	78,5	150,2	25,6	0,1	7343,8
6 Puangue Bajo, aguas arriba de ruta 78	675,6	1,6	0,3	258,8	1292,2	1942,9	819,2	2,1	114,1	418,2	283,0	2,4	5810,2
7 Puangue Bajo, aguas abajo de ruta 78	827,9	7,5		5,3	199,8	608,2	231,8	0,1	121,5	184,7	6,0	0,2	2192,8
Total Cuenca	5361,2	22,6	6,4	1603,9	4811,3	11885,8	3587,8	28,6	1639,2	1327,3	611,3	9,9	30895,1

1.2. Eficiencia de aplicación de Riego

Otro factor relevante lo constituye la eficiencia de aplicación del agua de riego, la cual está determinada entre otros factores por el tipo de riego utilizado y su grado de tecnificación.

Los censos agrícolas de los años 1997 y 2007 recolectaron los antecedentes de superficie de riego por sistema utilizado, si bien las clasificaciones utilizadas no son totalmente similares, se asignaron los valores de eficiencia por sistema de riego establecidas por la Comisión Nacional de Riego (Tabla 3).

Tabla 3 Eficiencias de aplicación de riego (CNR)

Censo	Clasificación Tipo de Riego	Eficiencia de aplicación [%]
1997	Riego Tradicional	40%
	Riego Mecanizado Mayor	75%
	Micro Riego Localizado	90%
2007	Por Goteo o Cinta	90%
	MicroAspersión y Microjet	85%
	Por Aspersión Tradicional	75%
	Por Carrete o Pivote	75%
	Por Surco	50%
	Otro Tradicional	45%
	Por Tendido	30%

Debido a que no es posible establecer la superficie cultivada y el sistema de riego utilizado para cada especie por sector, se ha considerado estimar una eficiencia de aplicación de riego ponderada en cada uno de los sectores de la cuenca del Puangue, utilizando los criterios para la conversión de los resultados desde los distritos agrocensales, aplicados anteriormente en el análisis de la evolución de la superficie cultivada, con lo cual se calculó aplicando la siguiente fórmula:

$$\sum_{x=1}^n \left(\frac{\text{Superficie tipo de riego } (x)}{\text{Superficie de riego total}} * \text{eficiencia tipo de Riego } (x) \right)$$

Donde: x : corresponde a cada uno de los tipos de riego en cada sector

Conforme a lo anterior, los resultados se presentan en el Gráfico 4, se verifica que en todos los sectores de la cuenca la eficiencia de aplicación de riego ha aumentado significativamente, cuyo mayor incremento lo registra el sector altos de Puangue aguas arriba de boquerón.

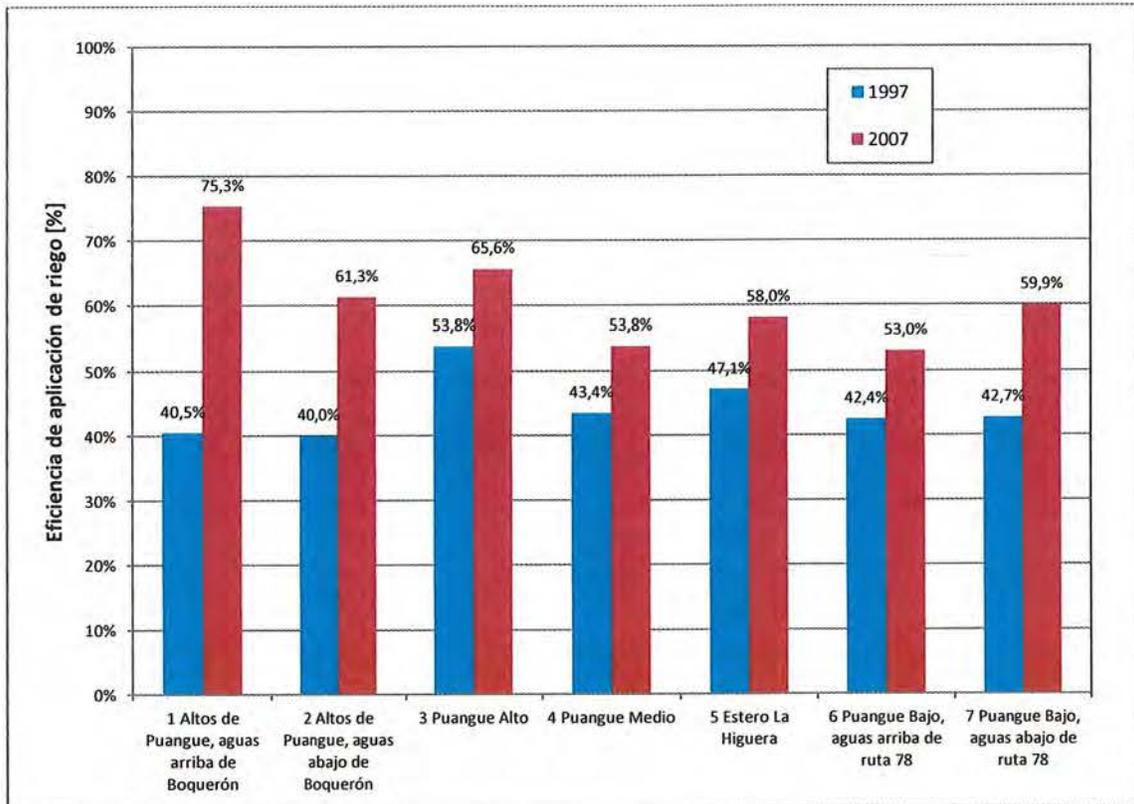


Gráfico 4 Eficiencia de aplicación de riego ponderada por sector en la cuenca del Puangue (1997 y 2007)

Los resultados de las superficies cultivadas con las diferentes especies registradas en cada censo en la cuenca del Puangue Medio se encuentran en el anexo 3 de este informe.

2. Evapotranspiración de cultivo (ET_c)

La evapotranspiración de un cultivo bajo condiciones de manejo óptimas, es decir con un adecuado manejo fitosanitario y sin restricciones de aporte de agua, permitiendo una máxima de acuerdo a las condiciones climáticas, se conoce como la evaporación de cultivo standard (ET_c).

La ET_c diferirá de la ET_o en la medida en que sus características de cobertura del suelo, propiedades de la vegetación y resistencia aerodinámica difieran de las correspondientes al pasto. Los efectos de las características que distinguen al cultivo del pasto están incorporadas en el denominado coeficiente del cultivo (K_c), estableciéndose la metodología del coeficiente del cultivo, donde la evapotranspiración del cultivo se calcula multiplicando ET_o por K_c .

En términos generales, la evapotranspiración que ocurre en una superficie cultivada puede ser medida directamente a través de los métodos de transferencia de masa o del balance de energía. También se puede obtener la misma a partir de estudios del balance de agua en el suelo en campos cultivados o a través de lisímetros. Por otra parte, la evapotranspiración de un cultivo puede ser estimada a partir de datos meteorológicos y del cultivo utilizando la ecuación de Penman-Monteith. En este último, se puede inferir la tasa de evapotranspiración ajustando el valor de albedo y las resistencias aerodinámicas y de la superficie del cultivo, para representar las características de crecimiento del mismo. Sin embargo, los valores de albedo y las resistencias mencionadas son difíciles de estimar con precisión debido a su variabilidad durante la temporada de crecimiento del cultivo.

Por lo tanto, debido a la falta de información confiable sobre los valores de resistencia aerodinámica y de resistencia de la vegetación, correspondientes a distintas superficies cultivadas, FAO, recomienda que la ecuación de Penman-Monteith se utilice solamente para la estimación de ET_o , es decir la evapotranspiración que ocurre a partir de una superficie hipotética de un cultivo de pastos, bien regada, la cual considera valores fijos de altura del cultivo, albedo y resistencia de la superficie.

En consecuencia en este estudio, se procederá a estimar la Evapotranspiración de cultivo mediante el enfoque del coeficiente de Cultivo (K_c) y la evaporación de referencia obtenida de la literatura estimada a través del método de Penman-Monteith.

2.1. Evapotranspiración de referencia (ET_o)

El concepto de evapotranspiración corresponde a la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo. Este proceso ocurre en forma simultánea y no hay manera sencilla se distinguir estos dos procesos (FAO, 2006).

En consecuencia, la evaporación de referencia corresponde a la tasa de evapotranspiración de una superficie de un cultivo hipotético de pasto con características específicas, la cual ocurre sin restricciones de agua y con un estado fisiológico adecuado.

En el presente informe la ET_o se obtuvo del estudio: "Evapotranspiración de Referencia para la Determinación de las Demandas de Riego en Chile", de la Facultad de Ciencias Agronómicas y del Centro de Agricultura y Medio Ambiente (Agrimed) de la Universidad de Chile (2015).

El citado estudio elaboró una cartografía de ET_o mensual a nivel nacional, basada en modelos topoclimáticos para con una resolución espacial de 1x1 km. La cartografía se realizó sobre la base de regresiones múltiple no lineales usando como variables independientes la altitud, latitud

y distancia al mar. Para determinar la altitud en la modelación espacial se utilizó un modelo de terreno de alta definición (90x90 m).

Los modelos numéricos se elaboraron para las variables de: temperatura, precipitación, humedad relativa y radiación solar, estableciendo una base climática para cada una, cuyos resultados fueron validados con las mediciones de terreno de las estaciones de la Dirección Meteorológica de Chile, Dirección General de Aguas, y otras pertenecientes a diferentes instituciones tanto públicas como privadas. Finalmente, con estos antecedentes se utilizó el método de Penman-Montieh para el cálculo de la ET_o , a nivel mensual para diferentes localidades de todos el país, dentro de las cuales se utilizaron para este estudio las correspondientes a las localidades de Quilpué, Curacaví y Melipilla los cuales se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4 Evapotranspiración de referencia [mm/día] utilizada en este estudio

Comuna	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	ETo Anual
Quilpué	4,8	4,3	3,5	2,6	1,8	1,4	1,4	1,8	2,4	3,3	4,2	4,7	1.101
Curacaví	5,6	5,1	4,1	2,9	2	1,5	1,5	1,9	2,7	3,7	4,8	5,5	1.255
Melipilla	5,5	5	4	2,9	2,1	1,6	1,5	1,9	2,7	3,7	4,7	5,4	1.246

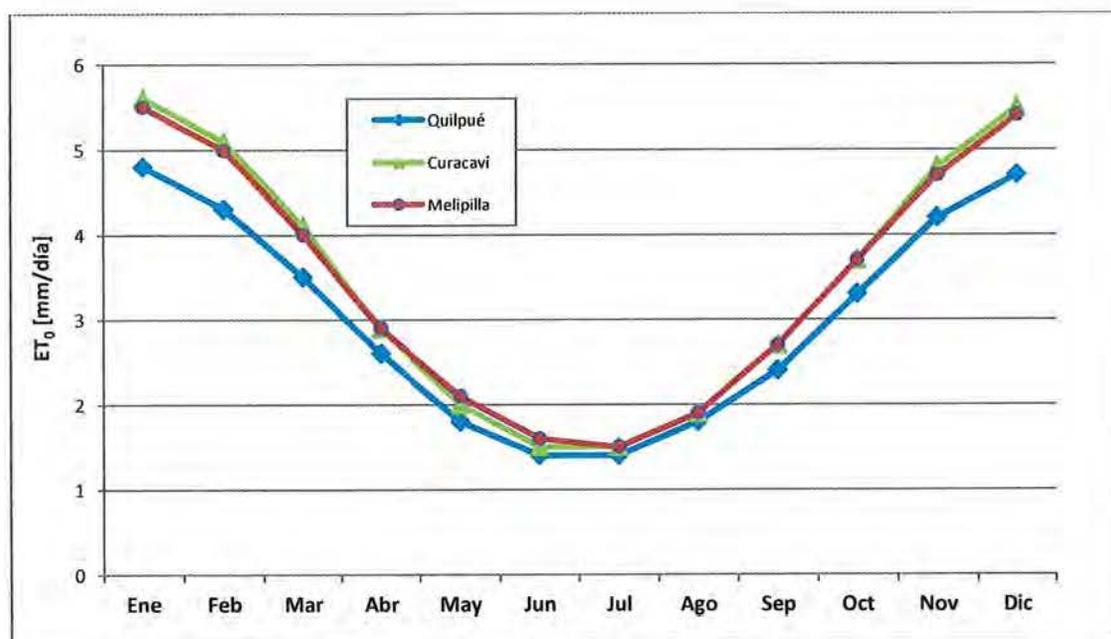


Gráfico 5 Variación estacional de la ETo en diferentes localidades utilizadas en este estudio

Para los efectos del cálculo de las evapotranspiraciones de cultivo se asignaron estos valores locales a las diferentes unidades censales denominadas distritos agrocensales en los cuales se

encuentran presentados los antecedentes de superficie de cultivos. La asociación se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5 Distritos agrocensales asociados a localidades con ETo

Censo	Localidad para Eto		
	Quilpué	Curacaví	Melipilla
1997	1 Providencia	3 Carén	10 Chorombo
	2 Colliguay	4 Zapata	11 Mallarauco
		5 Curacaví	12 San José
		6 Bustamante	13 Pomaire
		7 Lo Prado	14 Melipilla Oriente
		8 Lo Ovalle	15 Melipilla Poniente
		9 María Pinto	16 Lumbrera
			17 Puangue Poniente
			18 Huechún
			14 Ibacache
		3 Carén	15 Chorombo
		4 Alhué	16 Mallarauco
		5 Zapata	17 San Bernardo
		6 Curacaví	18 Bollenar
2007		7 Curacaví Sur	19 San José
		8 Bustamante	20 Pomaire
		9 Lolenco	21 Melipilla Oriente
		10 Lo Prado	22 Melipilla Poniente
		11 El Parrón	23 Cementerio
		12 Lo Ovalle	24 Lumbrera
		13 María Pinto	25 Puangue Poniente
			26 Huechún

2.2. Coeficiente de cultivo (K_c)

Corresponde al factor adimensional que relaciona la ETo con la Evapotranspiración de Cultivo (ETc), mediante la siguiente expresión matemática:

$$ET_c = K_c * ET_0$$

Donde: ET_c Evapotranspiración de cultivo [mm/día]

K_c coeficiente de cultivo [adimensional]

ET_0 evapotranspiración del cultivo de referencia [mm/día]

Como la mayoría de los efectos de los diferentes factores meteorológicos se encuentran incorporados en la estimación de ET_0 representando así un indicador de la demanda climática, el valor de K_c varía principalmente en función de las características particulares del cultivo, variando solo en una pequeña proporción en función del clima. Esto permite la transferencia de valores estándar del coeficiente del cultivo entre distintas áreas geográficas y climas.

Los valores de K_c se obtuvieron principalmente del estudio "Evapotranspiración de Referencia para la Determinación de las Demandas de Riego en Chile", de la Facultad de Ciencias Agronómicas y del Centro de Agricultura y Medio Ambiente (Agrimed) de la Universidad de Chile (2015).

En el estudio citado, se indican valores de Kc para cada especie con una variación mensual función de su fenología, obtenidos de la literatura. En algunos casos en los cuales no existía un valor determinado, se asociaron valores de especies fisiológicamente similares.

En los casos de cultivos anuales (forrajeras, hortalizas, cereales o flores), frutales de hoja caduca y viñas, se asignó un Kc mínimo de 0,2 en los meses en que el suelo no está cultivado, en barbecho o receso invernal en el caso de los frutales, para los efectos de tener una demanda continua mínima o basal de referencia.

La tabla con los valores de Kc mensuales por especie se presentan en el Anexo 2 de este informe.

3. Resultados de demanda hídrica

Mediante la aplicación de las relaciones del punto 1 de este informe y datos precedentes a través de planillas de cálculo se obtuvieron las demandas hídricas reales mensuales para cada sector de la cuenca de Puangue medio las cuales se presentan en las figuras Cuadro 4 y Cuadro 5, los cuales representan el cálculo para cada año censal (1997 y 2007).

Como se mencionó anteriormente, se considera solo la superficie declarada como de riego (independiente del sistema). Asimismo, se considera una variación estacional a nivel mensual de los coeficientes de cultivo (Kc) conforme a la fenología de los cultivos.

Los resultados representan una estimación máxima en base a diferentes supuestos detallados en los puntos anteriores.

Figura 2 Demanda hídrica mensual de los cultivos agrícolas en los sectores de Altos de Puangue (aguas arriba y aguas debajo de Boquerón)

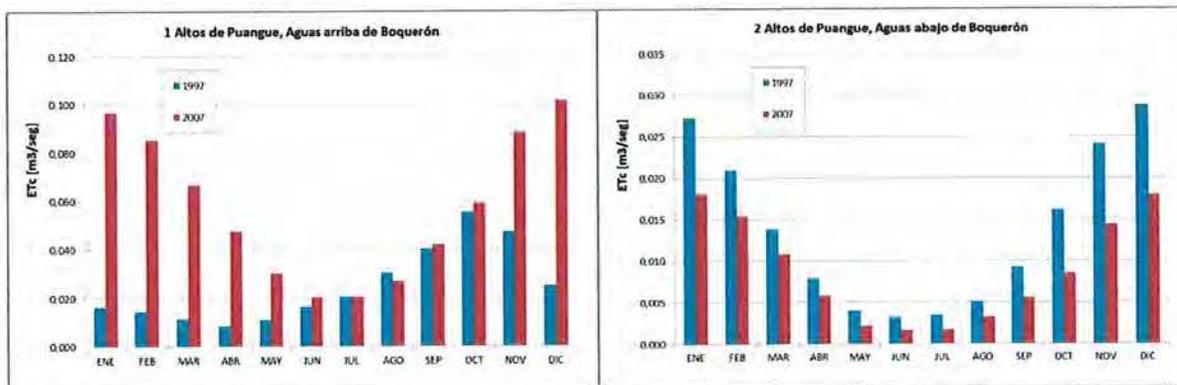


Figura 3 Demanda hídrica mensual de los cultivos agrícolas en los sectores Puangue Alto y Puangue Medio

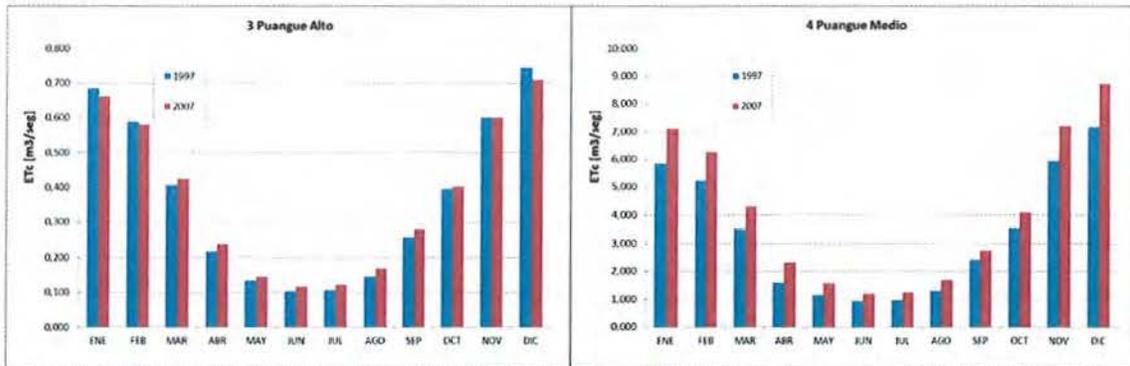


Figura 4 Demanda hídrica mensual de los cultivos agrícolas en los sectores La Higuera y Puangue Bajo, aguas arriba de ruta 78

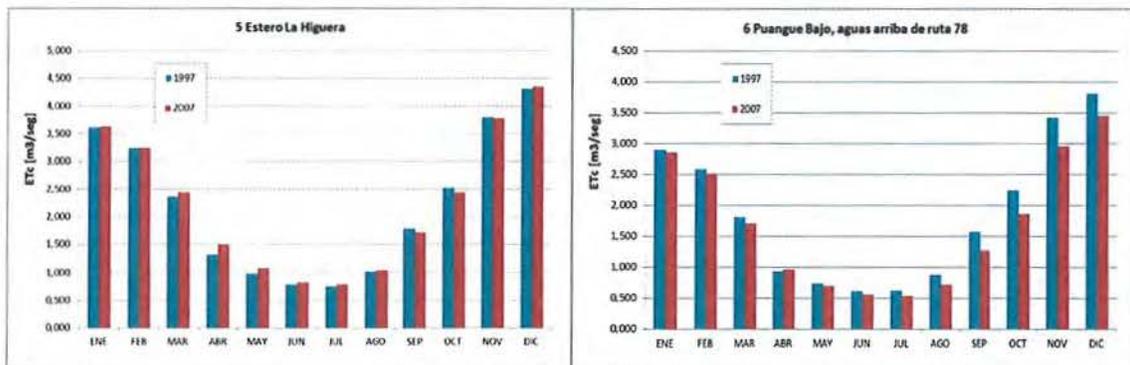
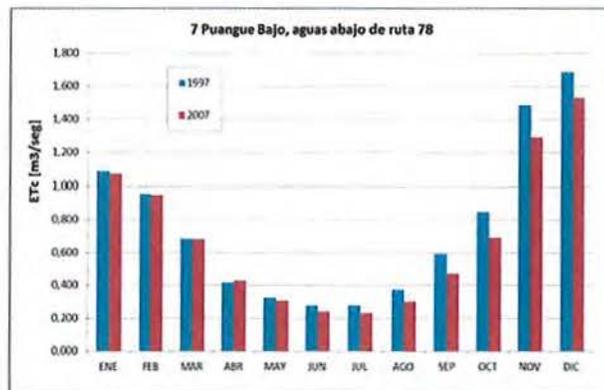


Figura 5 Demanda hídrica mensual de los cultivos agrícolas en Puangue Bajo, aguas abajo de ruta 78



Cuadro 4 Demandas hídricas de los cultivos bajo riego en la cuenca del estero Puangue al año 1997

Sectores Cuenca Puangue	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual	Anual
	[m3/seg]	[m3/seg]	[m3/seg]	[m3/seg]	[m3/seg]	[m3/seg]	[m3/seg]	[m3/seg]	[m3/seg]	[m3/seg]	[m3/seg]	[m3/seg]	[m3/año]	[m3/seg]
1 Altos de Puangue, aguas arriba de Boquerón	0,016	0,014	0,011	0,008	0,011	0,016	0,020	0,030	0,040	0,056	0,047	0,025	780397	0,025
2 Altos de Puangue, aguas abajo de Boquerón	0,027	0,021	0,014	0,008	0,004	0,003	0,003	0,005	0,009	0,016	0,024	0,029	428599	0,014
3 Puangue Alto	0,683	0,588	0,405	0,217	0,134	0,103	0,106	0,145	0,258	0,395	0,600	0,745	11474231	0,364
4 Puangue Medio	5,856	5,234	3,488	1,598	1,157	0,927	0,958	1,312	2,407	3,574	5,940	7,158	103793118	3,291
5 Estero La Higuera	3,603	3,234	2,363	1,305	0,973	0,778	0,758	1,021	1,784	2,520	3,786	4,305	69290775	2,197
6 Puangue Bajo, aguas arriba de ruta 78	2,896	2,576	1,804	0,928	0,737	0,619	0,627	0,877	1,569	2,240	3,422	3,815	57986805	1,839
7 Puangue Bajo, aguas abajo de ruta 78	1,083	0,953	0,681	0,419	0,327	0,276	0,277	0,372	0,589	0,845	1,487	1,686	23601890	0,748
Total general	14,165	12,620	8,767	4,482	3,341	2,723	2,750	3,762	6,657	9,646	15,306	17,763	267355815	8,478

Cuadro 5 Demandas hídricas de los cultivos bajo riego en la cuenca del estero Puangue al año 2007

Sectores Cuenca Puangue	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual	Anual
	[m3/seg]	[m3/seg]	[m3/seg]	[m3/seg]	[m3/seg]	[m3/seg]	[m3/seg]	[m3/seg]	[m3/seg]	[m3/seg]	[m3/seg]	[m3/seg]	[m3/año]	[m3/seg]
1 Altos de Puangue, aguas arriba de Boquerón	0,097	0,085	0,067	0,048	0,030	0,020	0,020	0,027	0,042	0,059	0,089	0,102	1797739	0,057
2 Altos de Puangue, aguas abajo de Boquerón	0,018	0,015	0,011	0,006	0,002	0,002	0,002	0,003	0,006	0,009	0,014	0,018	275542	0,009
3 Puangue Alto	0,662	0,580	0,423	0,239	0,145	0,117	0,123	0,168	0,278	0,401	0,599	0,710	11649290	0,369
4 Puangue Medio	7,121	6,267	4,301	2,322	1,590	1,224	1,265	1,687	2,754	4,109	7,202	8,732	127308996	4,037
5 Estero La Higuera	3,634	3,246	2,442	1,503	1,078	0,824	0,787	1,050	1,713	2,446	3,779	4,355	70416668	2,233
6 Puangue Bajo, aguas arriba de ruta 78	2,862	2,510	1,705	0,966	0,706	0,557	0,541	0,728	1,268	1,861	2,965	3,452	52744205	1,673
7 Puangue Bajo, aguas abajo de ruta 78	1,072	0,948	0,682	0,431	0,307	0,242	0,232	0,304	0,473	0,691	1,293	1,534	21530693	0,683
Total general	15,466	13,652	9,631	5,514	3,859	2,986	2,969	3,967	6,533	9,576	15,941	18,902	285723134	9,060

Figura 6 Demanda Hídrica media anual cuenca estero Puangue

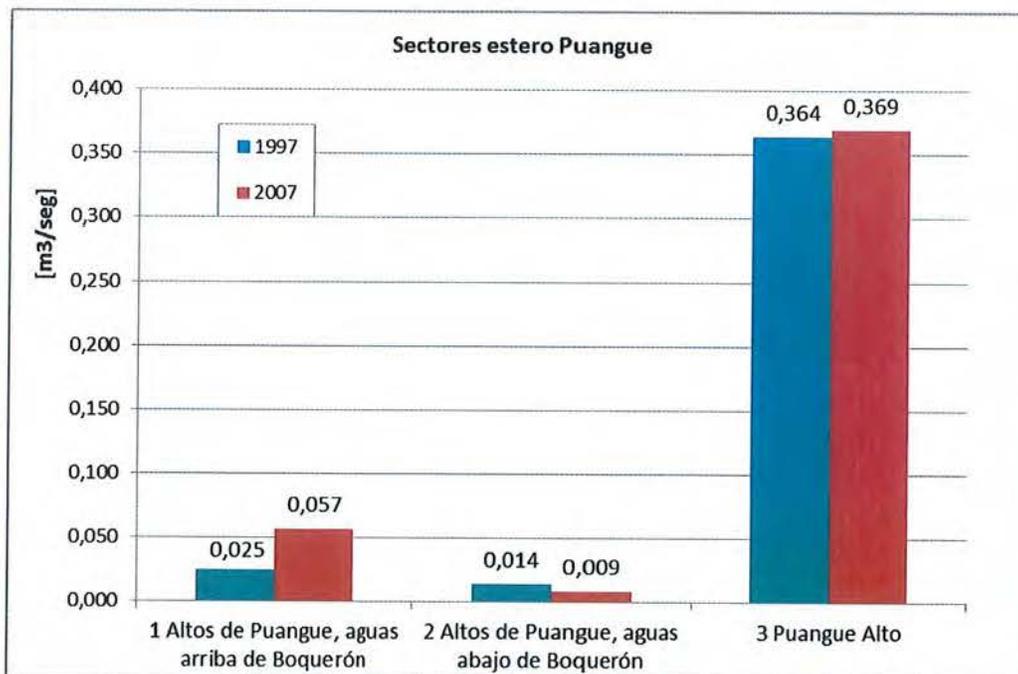
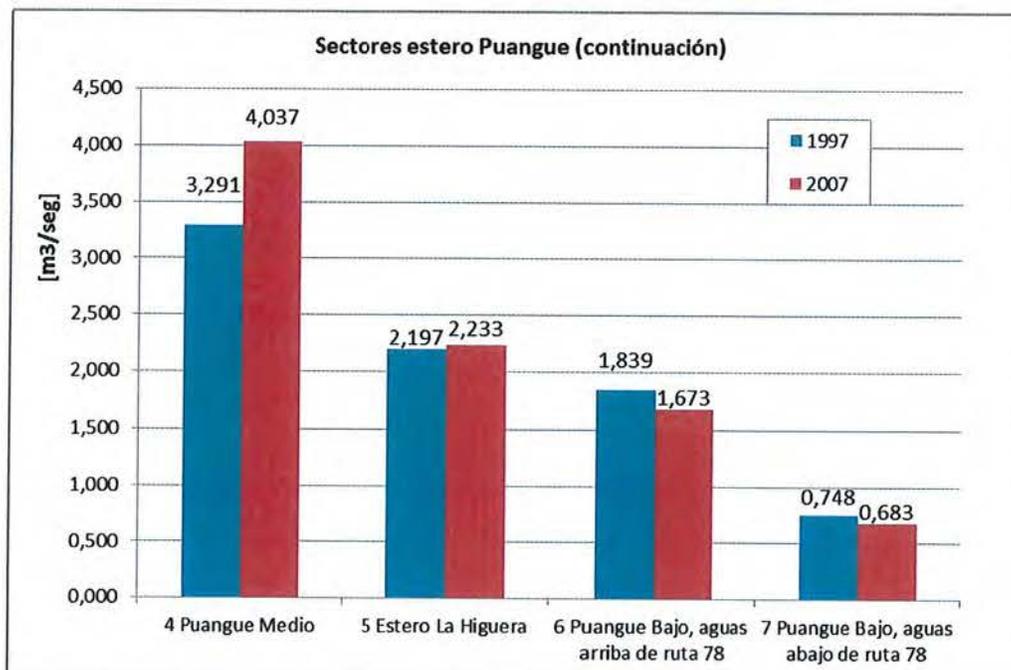


Figura 7 Demanda Hídrica media anual cuenca estero Puangue (continuación)



ANEXO 2

Coefficientes de cultivo [Kc], fuente: Agrimed, U. de Chile ,2015 (excepto observaciones)

CULTIVO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Observación
Acelga	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,7	0,8	0,85	1	0,95	
Agropyron	0,95	0,95						0,9	0,9	0,9	0,95	0,95	
Aji	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,78	1,05	1	0,9	
Ajo	0,2	0,2	0,2	0,2	0,7	0,8	0,85	0,95	1	1	0,85	0,75	
Albahaca	1,1	1,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,8	1	1	
Alcachofa	0,95	0,9	0,2	0,45	0,65	0,75	0,8	0,8	0,9	0,95	0,95	0,95	
Alcaparra	0,49	0,49	0,36	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,21	0,35	0,5	Arándano
Alcayota	0,75	0,75	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1	Sandía
Alfalfa	1,1	1,1	0,95	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,9	0,9	1,1	1,1	
Almendro	0,9	0,8	0,75	0,65	0,4	0,4	0,4	0,4	0,55	0,65	0,75	0,9	
Apio	1	0,96	0,7	0,2	0,2	0,2	0,2	0,79	0,93	1	1,01	1,01	
Arándano	0,49	0,49	0,36	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,21	0,35	0,5	
Arveja verde	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,83	1,15	1,1	0,5	0,2	0,2	0,2	
Avena	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,8	1	1,15	1,15	1,15	0,75	0,33	
Ballica	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,35	0,9	0,9	0,65	Pasto bermuda (Fao, N°56)
Berengena	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,73	0,95	0,95	0,2	
Betarraga	0,2	0,2	0,2	0,2	0,25	0,75	1,15	0,95	0,8	0,2	0,2	0,2	
Brócoli	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,7	1,05	0,8	0,2	
Camote	0,8	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,42	1	1,1	
Caqui	1,1	1,1	1,1	0,87	0,65	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,7	0,9	
Cebada	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,25	0,55	0,75	0,95	1,15	0,8	0,25	
Cebada cervecera	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,25	0,55	0,75	0,95	1,15	0,8	0,25	
Cebada forrajera	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,25	0,55	0,75	0,95	1,15	0,8	0,25	
Cebolla de guarda	0,2	0,75	0,33	0,2	0,2	0,4	0,55	0,75	0,95	1,15	1,1	1	
Cebolla temprana	1	1	1	0,2	0,2	0,7	0,7	0,85	0,85	0,95	1	1	
Cebolla temprana y de guarda	0,2	0,75	0,33	0,2	0,2	0,4	0,55	0,75	0,95	1,15	1,1	1	
Cedrón	1,1	1,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,8	1	1	Menta
Cerezo	0,75	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,82	0,99	1,15	1,15	1,15	
Chirimoyo	0,7	0,7	0,85	0,85	0,95	1	1	1	1	0,75	1,15	1,15	
Choclo	1,15	0,8	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,45	0,8	1,15	
Cilantro	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,25	0,85	0,9	0,85	
Ciruelo europeo	0,7	0,65	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,85	0,9	
Ciruelo japonés	0,7	0,65	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,85	0,9	
Clavel	1,1	1,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,8	1	1	Menta
Clementina	0,75	0,75	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,8	0,8	
Coliflor	0,9	1,05	0,95	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,7	
Curagüilla	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,7	0,85	1,06	1,1	1,1	1	0,7	
Damasco	0,9	0,8	0,75	0,65	0,4	0,4	0,4	0,4	0,55	0,65	0,75	0,9	
Durazno	1,06	1,01	0,55	0,15	0,2	0,2	0,2	0,53	0,53	0,62	0,98	1,07	
Durazno tipo conservero	1,06	1,01	0,55	0,15	0,2	0,2	0,2	0,53	0,53	0,62	0,98	1,07	
Espárrago	0,69	0,75	0,61	0,36	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,45	0,51	0,55	
Falaris	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,85	1	1	0,85	0,85	
Feijoa	0,6	0,6	0,65	0,75	0,85	0,85	0,85	0,82	0,78	0,75	0,75	0,6	Lucuma
Festuca	1,1	1,1	0,95	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,9	0,9	1,1	1,1	
Flores	1,1	1,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,8	1	1	Menta
Frambuesa	0,8	0,82	0,7	0,36	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,48	0,5	
Frutilla	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,63	0,85	0,85	0,8	0,75	
Geranio	1,1	1,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,8	1	1	
Guindo dulce	0,75	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,82	0,99	1,15	1,15	1,15	
Haba	0,2	0,7	0,79	0,93	1	1	0,96	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	
Higuera	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,75	0,75	
Hortalizas miniatura	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,8	0,9	0,9	0,9	
Huerta casera	0,9	0,8	0,75	0,65	0,4	0,4	0,4	0,4	0,55	0,65	0,75	0,9	
Huerto casero (frutal)	1,06	1,01	0,55	0,15	0,2	0,2	0,2	0,53	0,53	0,62	0,98	1,07	
Kiwi	1,05	1,05	1,05	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,73	1,05	1,05	
Lechuga	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,8	0,9	0,9	0,9	
Lima	0,75	0,75	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,8	0,8	
Limón sutil o de pica	0,75	0,75	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,8	0,8	
Limonero	0,75	0,75	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,8	0,8	
Lotera o alfalfa chilota	1,1	1,1	0,95	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,9	0,9	1,1	1,1	
Lúcumo	0,6	0,6	0,65	0,75	0,85	0,85	0,85	0,82	0,78	0,75	0,75	0,6	
Macadamia	1,07	1,06	0,99	0,8	0,2	0,2	0,2	0,53	0,53	0,58	0,91	1,07	Nogal
Maiz	0,75	0,75	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	1,5	1,5	
Mandarina	0,6	0,6	0,62	0,64	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,64	0,64	0,62	
Manzanilla	1,1	1,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,8	1	1	Menta
Manzano rojo	1,16	1,13	0,98	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,65	0,98	1,16	
Manzano verde	1,16	1,13	0,98	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,65	0,98	1,16	
Maravilla	1	0,75	0,25	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,25	0,75	1,15	
Maule	1,1	1,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,8	1	1	Menta
Melón	0,75	0,75	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1	

Coefficientes de cultivo [Kc], fuente: Agrimed, U. de Chile ,2015 (excepto observaciones)

CULTIVO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Observación
Membrillo	1,08	1,08	0,96	0,83	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,68	0,88	
Mezclas forrajeras	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,85	1	1	0,85	0,85	Pastos de pastoreos (FAO)
Moras cultivadas	0,78	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,55	0,8	1,05	1,05	
Naranja	0,72	0,7	0,68	0,7	0,66	0,65	0,64	0,66	0,68	0,7	0,71	0,72	
Nectarino	0,9	0,8	0,75	0,65	0,4	0,4	0,4	0,4	0,55	0,65	0,75	0,9	
Nisperos	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,58	0,72	0,86	0,98	0,98	
Nogal	1,07	1,06	0,99	0,8	0,2	0,2	0,2	0,53	0,53	0,58	0,91	1,07	
Olivo	0,65	0,65	0,65	0,65	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,65	0,65	
Orégano	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,55	0,9	1,05	0,8	
Otras chacras	0,9	0,8	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,7	0,86	1	0,9	0,85	
Otras flores	1,1	1,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,8	1	1	Menta
Otras forrajeras	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,85	1	1	0,85	0,85	Pastos de pastoreos (FAO)
Otras hortalizas	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,8	0,9	0,9	0,9	Lechuga
Otras mezclas	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,85	1	1	0,85	0,85	Pastos de pastoreos (FAO)
Otros frutales	1,06	1,01	0,55	0,15	0,2	0,2	0,2	0,53	0,53	0,62	0,98	1,07	Durazno
Otros semilleros	1	0,75	0,25	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,25	0,75	1,15	maravilla
Palto	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,75	0,75	
Papa	0,77	0,74	0,59	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,25	0,41	0,7	
Parronales	0,85	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,7	0,85	
Pasto ovillo	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,85	1	1	0,85	0,85	Pastos de pastoreos (FAO)
Pasto sudán o sorgo	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,85	1	1	0,85	0,85	Pastos de pastoreos (FAO)
Pensamiento	1,1	1,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,8	1	1	Menta
Pepino dulce	1	0,85	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,8	
Pepino ensalada	1	0,85	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,8	
Peral asiático	1,16	1,13	0,98	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,65	0,98	1,16	
Peral europeo	1,16	1,13	0,98	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,65	1,05	1,16	
Perejil	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,25	0,85	0,9	0,85	
Pimienta	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,9	1	0,9	
Pistacho	1,19	1,12	0,87	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,33	0,93	1,17	
Pluots	0,7	0,65	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,85	0,9	
Pomelo	0,75	0,75	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,8	0,8	
Poroto consumo interno	0,9	0,8	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,7	0,86	1	0,9	0,85	
Poroto exportación	0,9	0,8	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,7	0,86	1	0,9	0,85	
Poroto granado	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,2	0,5	0,9	0,9	0,7	
Poroto verde	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,9	0,9	0,7	
Puerro	0,2	0,75	0,33	0,2	0,2	0,4	0,55	0,75	0,95	1,15	1,1	1	Cebolla
Quinoa	1	0,7	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,8	1	
Rabanito	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,8	0,85	0,85	0,85	0,75	
Radiccio	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,8	0,9	0,9	0,9	
Repollo	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,8	0,9	0,9	0,9	
Salvia	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,8	0,9	0,9	0,9	Lechuga
Sandía	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,45	0,6	0,75	1	1	0,75	
Semillero de almácigo	1	0,75	0,25	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,25	0,75	1,15	Maravilla
Soya	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,5	1,1	0,85	
Tabaco	0,45	0,45	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,35	0,35	0,4	
Tangelo	0,72	0,7	0,68	0,7	0,66	0,65	0,64	0,66	0,68	0,7	0,71	0,72	Naranja
Tomate cons. Fresco/ind.	1	0,8	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,68	0,92	1,15	1,15	1	
Tomate consumo fresco	1	0,8	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,68	0,92	1,15	1,15	1	
Tomate industrial	1	0,8	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,68	0,92	1,15	1,15	1	
Trébol alejandrino	0,8	0,7	0,55	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,55	0,7	0,75	
Trébol blanco	0,15	1,15	1,15	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,55	0,55	1,05	1,05	
Trébol ladino	0,15	1,15	1,15	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,55	0,55	1,05	1,05	
Trébol rosado	0,8	0,7	0,55	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,55	0,7	0,75	
Trébol subterráneo	0,8	0,7	0,55	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,55	0,7	0,75	
Trigo blanco	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,7	0,85	1,06	1,1	1,1	1	0,7	
Trigo candeal	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,7	0,85	1,06	1,1	1,1	1	0,7	
Tuna	0,55	0,55	0,55	0,55	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,55	0,55	
Uva de mesa	0,85	0,85	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,45	0,6	0,7	Sepor (UTALCA)
Viñas	0,5	0,3	0,2	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,35	0,35	Sepor (UTALCA)
Vivero forestal	1,1	1,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,8	1	1	Menta
Vivero frutal	1,16	1,13	0,98	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,65	0,98	1,16	Manzano
Vivero ornamental	1,1	1,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,8	1	1	Menta
Viveros	1,16	1,13	0,98	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,65	0,98	1,16	Manzano
Zanahoria	0,2	0,2	0,2	0,2	0,75	0,8	1	1	0,7	0,4	0,2	0,2	
Zapallo italiano	0,75	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,45	0,6	0,75	1	0,75	
Zapallo temprano/de guarda	0,75	0,75	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,25	0,6	0,75	1	

ANEXO 3

Superficie cultivada: sector 1 Altos de Puangue aguas arriba de boquerón, elaborado con datos de los censos agropecuarios 1997 y 2007.

Censo	Cultivos	Hortalizas/Flores		Frutales			Cereales/Forrajeras/tuberculos		Otros	Total [ha]
		Aire Libre [Há]	Invernadero [Há]	En Formación [há]	En Producción [há]	Plantado Año 06-07 [Há]	Riego [Há]	Secano [Há]	Sup [Há]	
1997	Cereales						120,0	0,0		120,0
	Avena						120,0	0,0		120,0
	Total Cereales									
	Forrajeras Anuales						3,0			3,0
	Avena						3,0			3,0
	Total Forrajeras Anuales									
	Frutales									
	Almendro			0,0	0,1					0,1
	Ciruelo japonés			2,5	0,0					2,5
	Durazno			0,0	0,2					0,2
	Limonero			0,2	0,5					0,7
	Palto			0,6						0,6
	Total Frutales			3,3	0,8					4,1
	Hortalizas									
	Huerta casera	0,2								0,2
	Total Hortalizas	0,2								0,2
	Huertos caseros								1,4	1,4
	Total Huertos caseros								1,4	1,4
	Viñas y Parronales									
	Parronales						1,3			1,3
	Viñas Riego						0,0			0,0
Viñas Secano							7,8		7,8	
Total Viñas y Parronales						1,3	7,8		9,1	
Viveros								0,5	0,5	
Viveros								0,5	0,5	
Total Viveros								0,5	0,5	
Total Censo 1997	0,2		3,3	0,8			124,3	7,8	1,9	138,3
2007	Cereales							0,2		0,2
	Cebada cervecera						2,5	0,8		3,3
	Maiz						0,1			0,1
	Quinoa						0,1	0,5		0,6
	Trigo candeal						2,7	1,5		4,2
	Total Cereales									
	Forrajeras Anuales						14,5			14,5
	Maiz						14,5			14,5
	Total Forrajeras Anuales									
	Forrajeras Permanentes									
	Alfalfa						1,0			1,0
	Total Forrajeras Permanentes						1,0			1,0
	Frutales									
	Almendro				0,2					0,2
	Durazno				0,3					0,3
	Durazno tipo conservero				0,2					0,2
	Huerto casero (frutal)				7,3					7,3
	Limonero			0,2	0,3	0,1				0,6
	Naranja				0,1					0,1
	Nogal			1,2	0,6					1,8
	Olivo			100,0	1,6	100,0				201,6
	Palto			0,2	0,6	0,2				1,0
	Peral europeo				0,5					0,5
	Tuna				0,9					0,9
	Total Frutales			101,6	12,6	100,3				214,5
	Hortalizas									
	Choclo	3,0								3,0
Huerta casera	4,0								4,0	
Total Hortalizas	7,0								7,0	
Huertos caseros								7,3	7,3	
Huerta casera								7,3	7,3	
Total Huertos caseros								7,3	7,3	
Leguminosas y Tubérculos										
Papa						1,9			1,9	
Poroto consumo interno						0,8			0,8	
Total Leguminosas y Tubérculos						2,7			2,7	
Viñas y Parronales										
Parronales						0,3			0,3	
Viñas						0,8	4,7		5,5	
Total Viñas y Parronales						1,1	4,7		5,8	
Total Censo 2007	7,0		101,6	12,6	100,3	22,0	6,2	7,3	257,0	

Superficie cultivada: sector 2 Altos de Puangue aguas abajo de boquerón, elaborado con datos de los censos agropecuarios 1997 y 2007.

Censo	Cultivos	Hortalizas/Flóres		Frutales			Cereales/Forrajeras/tubérculos		Otros	Total [Ha]	
		Aire Libre [Há]	Invernadero [Há]	En Formación [Há]	En Producción [Há]	Plantado Año 06-07 [Há]	Riego [Há]	Secano [Há]	Sup.[Há]		
1997	Cereales									3,0	
	Cebada cervecera						3,0			0,5	
	Cebada forrajera						0,5			0,6	
	Maíz						0,6			4,1	
	Total Cereales						4,1				0,3
	Cultivos Industriales										0,3
	Cedrón							0,3			0,3
	Total Cultivos Industriales							0,3			0,5
	Forrajeras Anuales										0,3
	Avena							0,5			0,3
	Maíz							0,3			0,8
	Total Forrajeras Anuales							0,8			1,6
	Forrajeras Permanentes										0,2
	Alfalfa							1,6			0,5
	Mesclas forrajeras							0,2			2,3
	Otras forrajeras							0,5			3,0
	Total Forrajeras Permanentes							2,3			0,1
	Frutales										0,1
	Almendro										0,1
	Chirimoyo										0,1
	Citrulo europeo				0,1						2,9
	Durazno				0,4						0,2
	Limonero										0,4
	Manzano rojo										0,3
	Manzano verde				0,1						0,2
	Membrillo										0,2
	Naranja				0,2						1,4
	Nogal				0,2						0,2
	Peral europeo				0,2						0,4
	Tuna				0,3						0,4
	Uva de mesa				0,1						8,2
	Total Frutales				1,7						0,2
	Hortalizas										4,3
	Cebolla de guarda		0,2								0,5
	Choclo		4,3								8,1
	Espárrago		0,5								0,1
	Huerta casera		8,1								6,4
	Lechuga		0,1								0,1
	Orégano		6,4								3,2
	Poroto granado		0,1								0,1
	Poroto verde		3,2								0,1
	Tomate consumo fresco		0,1								0,1
	Zapallo italiano		0,1								23,1
	Total Hortalizas		23,1								13,4
	Huertos caseros										13,4
	Huerta casera										13,4
	Total Huertos caseros										6,7
Leguminosas y Tubérculos										1,2	
Papa							6,7			1,2	
Poroto consumo interno							1,2			7,9	
Total Leguminosas y Tubérculos							7,9			13,4	
Total Censo 1997		23,1		1,7	8,2		15,4		13,4	61,8	
2007	Cereales									2,0	
	Cebada forrajera									1,5	
	Trigo blanco									3,5	
	Total Cereales									0,1	
	Flóres									0,1	
	Total Flóres									0,1	
	Forrajeras Anuales									2,1	
	Avena							0,1		2,0	
	Total Forrajeras Anuales							0,1		2,1	
	Forrajeras Permanentes									5,8	
	Alfalfa							5,8		5,8	
	Total Forrajeras Permanentes							5,8		4,2	
	Frutales									0,4	
	Almendro				0,5					0,4	
	Durazno									2,6	
	Huerto casero (frutal)									0,3	
	Limonero									0,1	
	Naranja									11,6	
	Nogal				4,4					0,1	
	Olivo				0,1					1,5	
	Tuna									1,5	
	Total Frutales				5,0					1,4	
	Hortalizas										0,2
	Cebolla de guarda		0,2								0,7
	Choclo		0,7								1,7
	Huerta casera		1,7								0,5
	Orégano		0,5								0,2
	Poroto granado		0,2								0,1
	Poroto verde		0,1								0,1
	Tomate consumo fresco		0,1								3,5
Total Hortalizas		3,5								2,6	
Huertos caseros										2,6	
Huerta casera										2,6	
Total Huertos caseros										1,6	
Leguminosas y Tubérculos										0,2	
Papa							0,1			1,5	
Poroto consumo interno							0,2			1,8	
Total Leguminosas y Tubérculos							0,3			2,6	
Total Censo 2007		3,5	0,1	5,0	14,4	1,4	6,2	7,0	2,6	40,2	

Superficie cultivada: sector 3 Puangue alto, elaborado con datos censo agropecuario 1997.

Censo	Cultivos	Hortalizas/Flores		Frutales			Cereales/Forrajeras/tuberculos		Otros Sup.[Há]	Total [ha]
		Aire Libre [Há]	Invernadero [Há]	En Formación [há]	En Producción [há]	Plantado Año 06-07 [Há]	Riego [Há]	Secano [Há]		
1997	Cereales									
	Maiz						2,7			2,7
	Trigo blanco						35,0			35,0
	Total Cereales						37,7			37,7
	Cultivos Industriales									
	Maravilla						1,0			1,0
	Total Cultivos Industriales						1,0			1,0
	Flores									
	Flores	1,3								1,3
	Total Flores	1,3								1,3
	Forrajeras Anuales									
	Avena						32,4			32,4
	Maiz						46,0			46,0
	Mezclas forrajeras						2,0			2,0
	Total Forrajeras Anuales						80,4			80,4
	Forrajeras Permanentes									
	Alfalfa						179,9			179,9
	Mezclas forrajeras						2,5			2,5
	Total Forrajeras Permanentes						182,4			182,4
	Frutales									
	Almendra			34,2	164,7					198,9
	Arándano				23,5					23,5
	Caqui				2,0					2,0
	Chirimoyo				1,0					1,0
	Ciruelo europeo			1,0						1,0
	Ciruelo japonés			3,5	2,6					6,1
	Durazno			2,5	4,3					6,8
	Frutilla			0,5						0,5
	Limonero			5,8	140,0					145,8
	Membrillo				1,0					1,0
	Naranja			9,5	12,5					22,0
	Nectarino				12,5					12,5
	Nisperos				0,5					0,5
	Nogal			7,3	19,2					26,5
	Olivo				4,0					4,0
	Palto			42,0	66,7					108,7
	Peral europeo				2,0					2,0
	Tuna			1,0	31,5					32,5
	Uva de mesa				3,0					3,0
	Total Frutales			107,3	491,0					598,3
	Hortalizas									
	Alcachofa	0,5								0,5
	Alcayota	2,5								2,5
	Apio	3,5								3,5
	Brócoli	3,0								3,0
	Cebolla de guarda	3,2								3,2
	Choclo	48,8								48,8
	Coliflor	16,0								16,0
	Haba	1,0								1,0
	Huerta casera	27,1								27,1
	Lechuga	28,6	0,3							28,9
	Melón	12,3								12,3
	Orégano	10,5								10,5
	Pimienta	10,0								10,0
	Poroto granado	4,9								4,9
	Poroto verde	1,0								1,0
	Repollo	6,3								6,3
	Sandía	8,0								8,0
	Tomate consumo fresco	0,5								0,5
	Tomate industrial	10,0								10,0
	Zapallo italiano	2,5								2,5
	Zapallo temprano/de guarda	57,0								57,0
	Total Hortalizas	257,2	0,3							257,5
	Huertos caseros									
	Huerta casera								25,4	25,4
	Total Huertos caseros								25,4	25,4
	Leguminosas y Tubérculos									
	Papa						132,0			132,0
	Total Leguminosas y Tubérculos						132,0			132,0
	Semilleros									
	Berengena	0,9	0,2							1,1
	Melón	0,9	0,2							1,1
	Otros semilleros	0,9	0,2							1,1
	Pepino ensalada	0,9	0,2							1,1
	Pimiento	0,9	0,2							1,1
	Sandía	0,9	0,2							1,1
	Tomate cons. Fresco/ind.	0,9	0,2							1,1
	Zapallo italiano	0,9								0,9
	Zapallo temprano/de guarda		0,2							0,2
	Total Semilleros	7,2	1,8							9,0
	Viñas y Parronales									
	Parronales						5,0			5,0
	Viñas						2,6	2,0		4,6
	Total Viñas y Parronales						7,6	2,0		9,6
	Total Censo 1997	265,7	2,1	107,3	491,0		441,1	2,0	25,4	1334,6

Superficie cultivada: sector 3 Puangue alto, elaborado con datos censo agropecuario 2007

Censo	Cultivos	Hortalizas/Flores		Frutales			Cereales/Forrajeras/tuberculos		Otros	Total [ha]
		Aire Libre [Há]	Invernadero [Há]	En Formación [há]	En Producción [há]	Plantado Año 06-07 [Há]	Riego [Há]	Secano [Há]		
2007	Cereales									
	Maiz						62,1			62,1
	Total Cereales						62,1			62,1
	Flores	0,4	0,2							0,6
	Total Flores	0,4	0,2							0,6
	Forrajeras Anuales									
	Avena						177,9			177,9
	Maiz						30,2			30,2
	Total Forrajeras Anuales						208,1			208,1
	Forrajeras Permanentes									
	Alfalfa						122,2			122,2
	Total Forrajeras Permanentes						122,2			122,2
	Frutales									
	Almendra			13,6	214,1	13,5				241,2
	Arándano			41,3	66,2	4,5				112,0
	Caqui			0,5						0,5
	Ciruelo europeo				10,6					10,6
	Clementina				0,1					0,1
	Damasco				0,1					0,1
	Durazno			0,1	0,6					0,7
	Durazno tipo conservero				0,1					0,1
	Frambuesa				1,5					1,5
	Huerto casero (frutal)				5,7					5,7
	Limonero			7,0	32,2					39,2
	Macadamia				1,7					1,7
	Manzano rojo				0,1					0,1
	Manzano verde				0,1					0,1
	Naranja				23,4					23,4
	Nectarino				0,2					0,2
	Nogal			25,2	43,1	5,1				73,4
	Olivo			100,1	18,1	100,0				218,2
	Palto			6,3	60,5	4,0				70,8
	Pera europea				22,7					22,7
	Pistacho				2,0					2,0
	Pomelo				0,5					0,5
	Tuna			1,2	14,3					15,5
	Total Frutales			195,3	517,9	127,1				840,3
	Hortalizas									
	Alcachofa	5,0								5,0
	Alcayota	0,2								0,2
	Choclo	3,8								3,8
	Haba	0,1								0,1
	Huerta casera	11,2								11,2
	Lechuga	0,3								0,3
	Pimiento	0,2	0,1							0,3
	Poroto verde	0,1								0,1
	Tomate consumo fresco	1,9								1,9
	Zapallo temprano/de guarda	8,8								8,8
	Total Hortalizas	31,6	0,1							31,7
	Huertos caseros									
Huerta casera								5,7	5,7	
Total Huertos caseros								5,7	5,7	
Leguminosas y Tubérculos										
Papa						101,7			101,7	
Poroto consumo interno						0,1			0,1	
Total Leguminosas y Tubérculos						101,8			101,8	
Semilleros										
Semillero de almácigo								17,2	17,2	
Total Semilleros								17,2	17,2	
Viñas y Parronales										
Viñas						4,6	0,9		5,5	
Total Viñas y Parronales						4,6	0,9		5,5	
Viveros										
Vivero frutal			4,0						4,0	
Total Viveros			4,0						4,0	
Total Censo 2007	32,0	0,3	199,3	517,9	127,1	498,8	0,9	22,9	1399,2	

Superficie cultivada: sector 4 Puangue Medio, elaborado con datos censo agropecuario 1997

Censo	Cultivos	Hortalizas/Flores		Frutales			Cereales/Forrajeras/tuberculos		Otros	Total [ha]
		Aire Libre [Ha]	Invernadero [Ha]	En Formación [ha]	En Producción [ha]	Plantado Año 06-07 [Ha]	Riego [Ha]	Secano [Ha]	Sup.[Ha]	
1997	Cereales									
	Avena						12,5			12,5
	Maiz						1326,6			1326,6
	Trigo blanco						131,9	129,3		261,2
	Trigo candeal						850,2			850,2
	Total Cereales						2321,2	129,3		2450,5
	Flores									
	Flores	0,3	0,0							0,3
	Total Flores	0,3	0,0							0,3
	Forrajeras Anuales									
	Avena						136,2	38,8		175,0
	Ballica						49,5	16,8		66,3
	Cebada forrajera						2,2			2,2
	Maiz						527,0			527,0
	Mezclas forrajeras						32,4			32,4
	Trébol alejandrino						24,0			24,0
	Total Forrajeras Anuales						771,3	55,6		826,9
	Forrajeras Permanentes									
	Alfalfa						1816,4			1816,4
	Ballica						5,2			5,2
	Falaris						6,4			6,4
	Festuca						494,4			494,4
	Mezclas forrajeras						106,1			106,1
	Trébol rosado						10,5			10,5
	Total Forrajeras Permanentes						2499,2			2499,2
	Frutales									
	Almendro			58,1	83,1					141,2
	Ciruelo europeo			20,0	16,5					36,5
	Ciruelo japonés			13,9	1,0					14,9
	Damasco				9,0					9,0
	Durazno			14,5	59,8					74,3
	Fejoa				8,0					8,0
	Frambuesa			2,0	30,0					32,0
	Frutilla				2,1					2,1
	Guindo dulce				3,0					3,0
	Kiwi				3,8					3,8
	Limonero			63,7	245,1					308,8
	Mandarina			12,7	28,8					20,7
	Manzano rojo				0,3					0,3
	Membrillo				5,9					5,9
	Moras cultivadas				2,0					2,0
	Naranja			56,1	117,3					173,4
	Nectarino				28,8					28,8
	Nogal			12,8	41,4					54,2
	Olivo				1,0					1,0
	Otros frutales				1,0					1,0
	Palto			92,6	158,1					250,7
	Peral europeo				19,2					19,2
	Tuna			1,0	3,0					4,0
	Uva de mesa			37,0	249,0					286,0
	Total Frutales			384,4	1096,4					1480,8
	Hortalizas									
	Acelga	0,1								0,1
	Aji		0,3							0,3
	Ajo	9,3								9,3
	Aicachofa	39,9								39,9
	Arveja verde	0,7								0,7
	Betarraga	8,7								8,7
	Brócoli	13,7								13,7
	Cebolla de guarda	33,6								33,6
	Cebolla temprana	1,5								1,5
	Choclo	156,7								156,7
	Coliflor	418,4								418,4
	Espárrago	7,4								7,4
	Haba	1,6								1,6
	Huerta casera	20,7								20,7
	Lechuga	24,9								24,9
	Melón	126,8								126,8
	Orégano	11,8								11,8
	Otras hortalizas	15,0								15,0
	Pepino ensalada	4,0								4,0
	Pimiento	31,0		0,8	1,1					4,8
	Poroto granado	1,1								32,1
	Poroto verde	15,8								1,1
	Repollo	7,0								15,8
	Sandia	7,3								7,0
	Tomate consumo fresco	22,4		4,5						7,3
	Tomate industrial	33,2								26,9
	Zanahoria	1,9								33,2
	Zapallo italiano	27,9								1,9
	Zapallo temprano/de guarda	906,4								27,9
	Total Hortalizas	1946,6	6,7							906,4
	Huertos caseros								7,9	1955,3
	Total Huertos caseros								7,9	7,9
	Leguminosas y Tubérculos									
	Papa						1328,1			1328,1
	Poroto consumo interno						9,2			9,2
	Poroto exportación						6,2			6,2
	Total Leguminosas y Tubérculos						1343,6			1343,6
	Semilleros									
	Alfalfa	630,7								630,7
	Apio	4,0								4,0
	Cebolla temprana y de guarda	10,0								10,0
	Clavel	0,5	0,0							0,5
	Coliflor	6,0								6,0
	Geranio	0,0	0,0							0,0
	Lechuga	5,0								5,0
	Maiz	61,0								61,0
	Otros semilleros	77,1								77,1
	Pensamiento	0,5	0,0							0,5
Pepino ensalada	4,0								4,0	
Pimiento	4,0								4,0	
Puerro	2,0								2,0	
Repollo	6,0								6,0	
Salvia	1,0								1,0	
Tomate cons. Fresco/Ind.	15,0	5,0							20,0	
Zapallo italiano	4,5								4,5	
Total Semilleros	831,3	5,1							836,4	
Vías y Parronales										
Parronales						99,3			99,3	
Vías						221,8			221,8	
Total Vías y Parronales						321,1			321,1	
Viveros										
Viveros								0,3	0,3	
Total Viveros								0,3	0,3	
Total Censo 1997	2780,2	11,8	384,4	1096,4		7196,3	184,9	8,2	11662,2	

Superficie cultivada: sector 4 Puangue Medio, elaborado con datos censo agropecuario 2007

Censo	Cultivos	Hortalizas/Flores		Frutales			Cereales/Forrajeras/Tuberculosas		Otros	Total [ha]	
		Alce Libre [Ha]	Invernadero [Ha]	En Formación [ha]	En Producción [ha]	Plantado Año 06-07 [Ha]	Riego [Ha]	Secano [Ha]			Sup.[Ha]
2007	Cereales										
	Avena						35,1	21,0		56,1	
	Maiz						2677,9			2677,9	
	Trigo blanco						120,1			120,1	
	Trigo candeal						142,0			142,0	
	Total Cereales						2975,1	21,0		2996,1	
	Cultivos Industriales Principales										
	Tomate Industrial						0,5			0,5	
	Total Cultivos Industriales Principales						0,5			0,5	
	Flores										
	Flores	1,9	3,4								5,3
	Total Flores	1,9	3,4								5,3
	Forrajeras Anuales										
	Avena							112,3			112,3
	Batlica							40,6			40,6
	Cebada							5,0			5,0
	Maiz							392,5			392,5
	Otras mezclas							10,0			10,0
	Total Forrajeras Anuales							560,4			560,4
	Forrajeras Permanentes										
	Alfalfa							1419,6			1419,6
	Batlica							29,8			29,8
	Falaris							1,4			1,4
	Festuca							235,5	4,0		235,5
	Mezclas forrajeras							118,3	1,5		119,8
	Otras forrajeras							21,1			21,1
	Trébol ladino							0,7			0,7
	Trébol rosado							7,2			7,2
	Total Forrajeras Permanentes							1833,6	5,5		1839,1
	Frutales										
	Almendro			86,0	121,0	78,0					285,0
	Arándano			29,0	22,5	23,5					75,0
	Cerezo			8,4	8,1	2,5					19,0
	Cruetelo europeo			9,0	57,4	9,0					70,4
	Cruetelo japonés			26,0		6,0					32,0
	Clementina			10,9	27,1						38,0
	Damasco				11,1						11,1
	Durazno				82,4						82,4
	Durazno tipo conservero				58,2						58,2
	Frambuesa				24,3						24,3
	Frutilla				35,0						35,0
	Higuera		5,0			5,0					10,0
	Huerto casero (fruta)				4,1						4,1
	Khai			30,8							30,8
	Limón sultí o de pica				0,2						0,2
	Limónero			43,6	424,8	43,3					511,7
	Macadamia				15,1						15,1
	Mandarina			16,8		16,8					33,6
	Manzano verde				30,1						30,1
	Membillo				0,2						0,2
Moras cultivadas				12,5						12,5	
Naranja			106,2	347,7	90,6					544,5	
Nectarino				55,0						55,0	
Nogal			55,8	56,1	37,5					149,4	
Olivo			109,0	7,7	109,0					220,7	
Otros frutales				4,5						4,5	
Palto			236,2	743,5	208,7					1188,4	
Peral europeo			0,4	523,0	0,4					523,8	
Pomelo				12,6						12,6	
Tuna			3,0	17,0						20,0	
Uva de mesa			104,0		104,0					208,0	
Total Frutales			880,1	2686,7	734,3					4301,1	
Hortalizas											
Ajo	35,1									36,1	
Albahaca	1,2									1,2	
Alcachofa	5,3									6,3	
Berengena	3,3									0,3	
Betarraga	35,7									35,7	
Brécol	201,3									201,3	
Cebolla de guarda	19,7									19,7	
Cebolla temprana	17,1									17,1	
Choclo	545,6									545,6	
Cilantro	5,3									6,3	
Coliflor	416,0									416,0	
Espárrago	5,1									5,1	
Haba	26,5									26,5	
Huerto casero	23,0									23,0	
Lechuga	5,5	0,1								5,6	
Melón	41,7									41,7	
Orégano	20,0									20,0	
Otras hortalizas	1,0									3,0	
Pepino ensalada	16,5									16,5	
Pimienta	65,7									65,7	
Poroto granado	3,1									3,1	
Poroto verde	28,0									28,0	
Radiccio	27,0									27,0	
Repollo	1,0									1,0	
Sandía	12,1									12,1	
Tomate consumo fresco	27,5		0,2							27,7	
Zanahoria	17,8									17,8	
Zapallo italiano	44,6									44,6	
Zapallo temprano/de guarda	466,0									466,0	
Total Hortalizas	2114,1	0,2								2114,3	
Huertos caseros									4,1	4,1	
Total Huertos caseros									4,1	4,1	
Leguminosas y Tubérculos											
Papa							1219,3			1219,3	
Poroto consumo interno							1,0			1,0	
Total Leguminosas y Tubérculos							1220,3			1220,3	
Semilleros									2,5	2,5	
Acelga									207,0	207,0	
Agropyron									10,0	10,0	
Berengena									6,0	6,0	
Betarraga									0,5	0,5	
Camote									5,0	5,0	
Cilantro									11,0	11,0	
Haba									61,0	61,0	
Maiz									92,0	92,0	
Maravilla									13,6	13,6	
Otras flores									8,0	8,0	
Papa									1,0	1,0	
Radiccio									64,5	64,5	
Tomate cons. fresco/ind.									75,0	75,0	
Zapallo temprano/de guarda									557,1	557,1	
Total Semilleros											
Viñas y Parronales							291,0			291,0	
Total Viñas y Parronales							291,0			291,0	
Viveros									0,2	0,2	
Vivero forestal			0,4	1,0	0,1					1,5	
Vivero frutal										1,5	
Vivero ornamental										1,5	
Total Viveros			0,4	1,0	0,1				1,7	3,2	
Total Censo 2007	2116,0	3,6	880,5	2687,7	734,4		680,8	26,5	562,9	13892,4	

Superficie cultivada: sector 5 La Higuera, elaborado con datos censo agropecuario 1997

Censo	Cultivos	Hortalizas/Flores		Frutales			Cereales/Forrajeras/tuberculos		Otros	Total [ha]
		Alre Libre [Há]	Invernadero [Há]	En Formación [há]	En Producción [há]	Plantado Año 06-07 [Há]	Riego [Há]	Secano [Há]	Sup.[Há]	
1997	Cereales									
	Avena						7,4			7,4
	Maiz						308,8			308,8
	Trigo blanco						140,7			140,7
	Trigo candeal						225,8			225,8
	Total Cereales						682,7			682,7
	Cultivos Industriales									
	Curagüilla						0,2			0,2
	Total Cultivos Industriales						0,2			0,2
	Flores									
	Flores	1,6	0,0							1,6
	Total Flores	1,6	0,0							1,6
	Forrajeras Anuales									
	Avena						219,6			219,6
	Ballica						19,1			19,1
	Maiz						608,2			608,2
	Mezclas forrajeras						16,3			16,3
	Pasto sudán o torgo						16,1			16,1
	Trébol alejandrino						117,7			117,7
	Total Forrajeras Anuales						997,1			997,1
	Forrajeras Permanentes									
	Alfalfa						1170,4			1170,4
	Ballica						17,0			17,0
	Falaris						4,7			4,7
	Festuca						694,1			694,1
	Mezclas forrajeras						185,2			185,2
	Otras forrajeras						0,3			0,3
	Pasto ovillo						16,2			16,2
	Trébol blanco						0,6			0,6
	Trébol rosado						3,3			3,3
	Total Forrajeras Permanentes						2091,9			2091,9
	Frutales									
	Almendro			5,0	20,6					25,6
	Caqui				1,0					1,0
	Chirimoyo			8,5	22,6					31,1
	Ciruelo europeo			22,9						22,9
	Ciruelo japonés			6,0	3,0					9,0
	Damasco				0,5					0,5
	Durazno				16,6					16,6
	Frambuesa				10,9					10,9
	Kiwi				23,8					23,8
	Lima				0,8					0,8
	Limonero			204,5	801,1					1005,5
	Lúcumo				1,5					1,5
	Mandarina			12,6	72,2					84,8
	Membrillo				5,9					5,9
	Naranja			130,5	395,5					526,0
	Nectarino				5,3					5,3
	Nisperos				0,5					0,5
	Nogal			15,7	16,7					32,4
	Palto			226,4	495,9					722,4
	Peral asiático				4,7					4,7
	Peral europeo			4,2	76,8					80,9
	Pomelo			11,6						11,6
	Tangelo			0,3	3,2					3,5
	Tuna			1,5	5,7					7,2
	Uva de mesa			1,5	16,5					18,0
	Total Frutales			651,2	2001,4					2652,5
	Hortalizas									
	Ajo	0,6								0,6
	Albahaca	0,3								0,3
	Alcachofa	52,2								52,2
	Arveja verde	19,3								19,3
	Betarraga	1,0								1,0
	Brócoli	3,0								3,0
	Cebolla de guarda	16,5								16,5
	Cebolla temprana	0,7								0,7
	Choclo	51,9								51,9
	Gilantro	0,1								0,1
	Coliflor	27,4								27,4
	Haba	15,7								15,7
	Huerta casera	23,6	0,1							23,6
	Lechuga	0,2	0,1							0,3
	Medón	112,4								112,4
	Pepino ensalada	1,2	0,3							1,5
	Pimiento	0,9	1,0							1,9
	Poroto granado	18,3								18,3
	Poroto verde	3,5								3,5
	Rabanito	0,1								0,1
	Repollo	3,4								3,4
	Sandía	0,5								0,5
	Tomate consumo fresco	10,7	12,6							23,3
	Tomate industrial	0,3								0,3
	Zanahoria	2,8								2,8
	Zapallo italiano	28,8								28,8
	Zapallo temprano/de guarda	104,0								104,0
	Total Hortalizas	499,6	14,0							513,6
	Huertos caseros									
	Huerta casera								13,2	13,2
	Total Huertos caseros								13,2	13,2
	Leguminosas y Tubérculos									
	Papa						205,0			205,0
	Poroto consumo interno						2,9			2,9
	Poroto exportación						0,1			0,1
	Total Leguminosas y Tubérculos						207,9			207,9
	Semilleros									
	Ají	0,9								0,9
	Cebolla temprana y de guarda	2,0								2,0
	Coliflor	3,5								3,5
	Lechuga	2,4								2,4
Maiz	47,0								47,0	
Otros semilleros	2,5								2,5	
Pepino ensalada	1,9								1,9	
Zanahoria	2,0								2,0	
Zapallo italiano	1,9								1,9	
Total Semilleros	64,1								64,1	
Viñas y Parronales										
Parronales						21,5			21,5	
Viñas						0,4			0,4	
Total Viñas y Parronales						21,9			21,9	
Total Censo 1997	565,2	14,1		651,2	2001,4		4001,6		13,2	7246,7

Superficie cultivada: sector 5 La Higuera, elaborado con datos censo agropecuario 2007

Censo	Cultivos	Hortalizas/Flores		Frutales			Cereales/Forrajes/tuberculos		Otros Sup.(Há)	Total (ha)	
		Aire Libre [Há]	Invernadero [Há]	En Formación [há]	En Producción [há]	Plantado Año 06-07 [Há]	Riego [Há]	Secano [Há]			
2007	Cereales										
	Maiz						649,5			649,5	
	Trigo blanco						34,3			34,3	
	Trigo candeal						134,0			134,0	
	Total Cereales						817,9			817,9	
	Cultivos Industriales Principales										
	Tomate Industrial						13,0				13,0
	Total Cultivos Industriales Principales						13,0			13,0	
	Flores										
	Flores			0,0							0,0
	Total Flores			0,0							0,0
	Forrajes Anuales										
	Avena							29,2			29,2
	Ballica							41,0			41,0
	Cebada							1,7			1,7
	Maiz							442,3			442,3
	Trébol alejandrino							42,0			42,0
	Trébol subterráneo							0,5			0,5
	Total Forrajes Anuales							556,7			556,7
	Forrajes Permanentes										
	Alfalfa							846,8			846,8
	Ballica							12,0			12,0
	Festuca							281,8			281,8
	Mezclas forrajes							215,2	9,0		224,2
	Otras forrajes							0,7			0,7
	Trébol rosado							0,2			0,2
	Total Forrajes Permanentes							1356,7	9,0		1365,7
	Frutales										
	Almendro					32,5					32,5
	Arándano				6,4		3,1				9,5
	Cruelo europeo				21,0	123,0					144,0
	Clementina					61,1					61,1
	Damasco					35,0					35,0
	Durazno					1,0					1,0
	Fruílla				0,1	1,6					1,7
	Huerto casero (frutal)					6,7					6,7
	Kivi					35,3					35,3
	Limonero				116,5	914,8	36,4				1067,7
	Macadamia					31,7					31,7
	Mandarina				33,5			8,5			42,0
	Naranja				113,7	611,1	15,7				740,6
	Nectarino					0,1					0,1
	Nogal				25,7	31,0		3,9			60,6
	Olivo				5,4	15,8		2,0			23,2
	Palto				244,7	1063,0	120,2				1427,9
	Peral europeo					7,7		7,7			164,5
	Pistacho				1,0						1,0
	Pomelo				1,0	27,1		1,0			29,1
	Tangelo					5,5					5,5
	Tuna				1,0	18,0	1,0				20,0
Uva de mesa					17,2					17,2	
Total Frutales				594,9	3163,5	199,5				3958,0	
Hortalizas											
Ajo		0,0								0,0	
Alcachofa		53,9								53,9	
Betarraga		5,7								5,7	
Brócoli		1,5								1,5	
Cebolla de guarda		10,8								10,8	
Cebolla temprana		0,2								0,2	
Choclo		31,7								31,7	
Coliflor		10,0								10,0	
Coliflor		15,0								15,0	
Haba		30,0								30,0	
Hortalizas miniatura											
Huerta casera		20,1								20,1	
Lechuga		0,6	0,0							0,6	
Melón		50,8	4,0							54,8	
Pepino dulce		1,2	0,0							1,2	
Pepino ensalada		8,1	0,1							8,2	
Pimiento		0,0								0,0	
Poroto granado		2,0								2,0	
Poroto verde		0,1								0,1	
Repollo		1,4								1,4	
Sandía		6,0								6,0	
Tomate consumo fresco		31,8	7,2							39,0	
Zanahoria		4,2								4,2	
Zapallo italiano		33,2								33,2	
Zapallo temprano/de guarda		50,7								50,7	
Total Hortalizas		369,0	11,3							380,4	
Huertos caseros											
Huerta casera									6,7	6,7	
Total Huertos caseros									6,7	6,7	
Leguminosas y Tubérculos											
Papa							78,5			78,5	
Total Leguminosas y Tubérculos							78,5			78,5	
Semilleros											
Agropyron									5,2	5,2	
Camote									10,4	10,4	
Cilantro									38,4	38,4	
Haba									4,0	4,0	
Maiz									26,8	26,8	
Maravilla									19,3	19,3	
Orégano									16,0	16,0	
Perejil									1,0	1,0	
Tomate cons. fresco/ind.									23,1	23,1	
Zapallo italiano									6,0	6,0	
Total Semilleros									150,2	150,2	
Viñas y Parronales											
Viñas							25,6			25,6	
Total Viñas y Parronales							25,6			25,6	
Viveros											
Vivero ornamental									0,1	0,1	
Total Viveros									0,1	0,1	
Total Censo 2007		369,0	11,4	594,9	3163,5	199,5	2848,4	9,0	157,0	7352,8	

Superficie cultivada: sector 6 Puangue Bajo sobre ruta 78, elaborado con datos censo agropecuario 1997

Censo	Cultivos	Hortalizas/Flóres		Frutales			Cereales/Forrajes/tubérculos		Otros	Total [ha]
		Aire Libre [ha]	Invernadero [ha]	En Formación [ha]	En Producción [ha]	Plantado Año 06-07 [ha]	Riego [ha]	Secano [ha]		
1997	Cereales									
	Avena						9,4			9,4
	Maíz						600,5			600,5
	Trigo blanco						119,3	45,5		164,8
	Trigo candeal						556,9	24,0		620,9
	Total Cereales						1326,1	69,5		1395,6
	Chacras									
	Papa						4,7			4,7
	Poroto consumo interno						0,2			0,2
	Total Chacras						4,9			4,9
	Cultivos Industriales									
	Curagülla						0,1			0,1
	Total Cultivos Industriales						0,1			0,1
	Flóres									
	Flóres	2,8	0,0							2,8
	Total Flóres	2,8	0,0							2,8
	Forrajes Anuales									
	Avena						195,9	73,5		269,4
	Ballica						11,0	3,2		14,2
	Cebada forrajera						0,5			0,5
	Maíz						225,8			225,8
	Mezclas forrajeras						17,9			17,9
	Pasto sudán o sergo						9,9			9,9
	Térbol alejandrino						157,8	76,7		234,5
	Total Forrajes Anuales						618,8	154,1		772,9
	Forrajes Permanentes									
	Alfalfa						1168,2			1168,2
	Ballica						5,8			5,8
	Falasis						2,3	16,0		18,3
	Festuca						525,9			525,9
	Mezclas forrajeras						280,8	20,8		301,6
	Otras forrajeras						0,2			0,2
	Pasto ovillo						3,8			3,8
	Térbol blanco						6,7			6,7
	Térbol ladino						0,1			0,1
	Térbol rosado						27,3			27,3
	Total Forrajes Permanentes						2021,0	36,8		2057,8
	Frutales									
	Almendro			0,7	14,9					15,6
	Cítrulo europeo			18,9	12,2					31,1
	Cítrulo japonés			0,2	10,0					10,2
	Damasco			0,4	0,2					0,6
	Durazno			0,3	49,5					49,8
	Frambuesa			0,3	11,9					12,2
	Fruítilla			10,2	0,2					10,4
	Guindo dulce			2,4	0,9					3,3
	Kiwi			13,3	13,3					26,6
	Limónero			78,1	239,0					317,1
	Mandarina			3,0	34,9					37,9
	Manzano rojo			2,4	2,4					4,8
	Manzano verde			3,5	3,5					7,0
	Membrillo			0,9	0,9					1,8
	Naranja			32,4	119,2					151,6
	Nectarino			1,9	2,2					4,1
	Nogal			8,5	13,5					22,0
	Palto			146,5	21,4					167,9
	Peral asiático			2,5	5,4					7,9
	Peral europeo			0,1	73,6					73,7
	Pomelo			0,1	0,6					0,7
	Tuna			0,1	0,1					0,2
	Uva de mesa			7,8	47,2					55,0
	Total Frutales			304,2	681,1					995,3
	Hortalizas									
	Acelga	1,1								1,8
	Aji	0,1								0,3
	Ajo	58,7								58,7
	Albahaca	0,7								0,7
	Alcachofa	47,4								47,4
	Alcayota	0,7								0,7
	Arveja verde	22,8								22,8
	Betarraga	6,5								6,5
	Brécoli	5,6								5,6
	Cebolla de guarda	81,9								81,9
	Cebolla temprana	5,7								5,7
	Choclo	79,5								79,5
	Cilantro	0,1								0,1
	Coliflor	15,3								15,3
	Haba	20,8								20,8
	Huerta casera	24,8	0,0							24,8
	Lechuga	2,9	0,0							2,9
	Melón	39,1								39,1
	Pepino ensalada	1,9								1,9
	Pimiento	7,3								7,3
	Poroto granado	75,0								75,0
	Poroto verde	35,6								35,6
	Rabano	0,1								0,1
	Sandía	0,8								0,8
	Tomate consumo fresco	23,1	0,3							23,4
	Tomate industrial	1,9								1,9
	Zanahoria	12,0								12,0
	Zapallo italiano	9,6								9,6
	Zapallo temprano/de guarda	64,6								64,6
	Total Hortalizas	645,1	0,4							645,5
	Huertos caseros								15,5	15,5
	Huerta casera								15,5	15,5
	Total Huertos caseros								15,5	15,5
	Leguminosas y Tubérculos									
	Papa						94,6			94,6
	Poroto consumo interno						13,4			13,4
	Total Leguminosas y Tubérculos						108,0			108,0
Semilleros										
Aji	0,9								0,9	
Apio	0,3								0,3	
Brécoli	0,3								0,3	
Cebolla temprana y de guarda	2,1								2,1	
Coliflor	11,0	0,1							11,1	
Lechuga	0,3								0,3	
Maíz	212,5								212,5	
Maxarilla	77,3								77,3	
Melón	1,3		0,2						1,5	
Otros semilleros	14,2	0,1							14,3	
Papa	0,1								0,1	
Pepino dulce	2,3								2,3	
Pepino ensalada	7,5	0,1							7,6	
Pimiento	8,2	0,4							8,6	
Poroto consumo interno	0,4	0,1							0,5	
Poroto exportación	1,8								1,8	
Poroto granado	0,4								0,4	
Poroto verde	1,1								1,1	
Puerro	0,2								0,2	
Sabía	0,1								0,1	
Sandía	6,1	0,1							6,2	
Tomate cons. fresco/ind.	1,0								1,0	
Trigo blanco	1,0								1,0	
Trigo candeal	4,0								4,0	
Zanahoria	1,1								1,1	
Zapallo italiano	20,7								20,7	
Zapallo temprano/de guarda	2,3								2,3	
Total Semilleros	374,4	1,1							375,5	
Vías y Parronales										
Parronales						40,8			40,8	
Vías						52,2			52,2	
Total Vías y Parronales						93,0			93,0	
Viveros								7,0	7,0	
Viveros								7,0	7,0	
Total Viveros								7,0	7,0	
Total Censo 1997	1026,3	1,5	304,2	691,1		4171,7	183,0	22,5	6400,3	

Superficie cultivada: sector 6 Puangue Bajo sobre ruta 78, elaborado con datos censo agropecuario 2007

Censo	Cultivos	Hortalizas/Hierbas		Frutales			Cereales/Forrajes/Tubérculos		Otros	Total [ha]	
		Año Libre [Ha]	Invernadero [Ha]	En Formación [ha]	En Producción [ha]	Plantado Año 06-07 [Ha]	Húmedo [Ha]	Seco [Ha]			
2007	Cereales										
	Avena						2,2			2,2	
	Maíz						528,1			528,1	
	Trigo blanco						68,3			68,3	
	Trigo candela						77,0			77,0	
	Total Cereales						675,6			675,6	
	Cultivos Industriales Principales										
	Curagülla						0,1			0,1	
	Tabaco						1,5			1,5	
	Tomate industrial						0,0			0,0	
	Total Cultivos Industriales Principales						1,6			1,6	
	Flores										
	Flores		0,1	0,2							0,3
	Total Flores		0,1	0,2							0,3
	Forrajes Anuales										
	Avena							101,3	18,0		141,3
	Balfica							12,9			12,9
	Maíz							97,0			97,0
	Otras forrajes							2,5			2,5
	Otras mezclas							2,5			2,5
	Trébol alejandrino							86,7			86,7
	Trébol subterráneo							4,0			4,0
	Total Forrajes Anuales							258,8	18,0		296,8
	Forrajes Permanentes										
	Alfalfa							783,8			783,8
	Balfica							1,5			1,5
	Falaris							0,6			0,6
	Festuca							354,6			354,6
	Mezclas forrajes							132,5			132,5
	Otras forrajes							3,3			3,3
	Trébol ladino							9,3			9,3
	Trébol resado							6,8			6,8
	Total Forrajes Permanentes							1292,2			1292,2
	Frutales										
	Almendro				2,4	198,0	2,4				202,8
	Arándano				17,7	2,3	15,7				35,7
	Cerezo				8,0	2,8	8,0				18,8
	Crueto europeo				53,8	74,9	44,8				173,5
	Clementina					0,8					0,8
	Damasco					3,3					3,3
	Durazno					5,7					5,7
	Durazno tipo conservero					9,5					9,5
	Frambuesa				0,0	1,5	0,0				1,5
	Frutilla				0,4						0,4
	Huerto casero (fruta)					2,1					2,1
	Kivi					2,1					2,1
	Limonero				23,8	246,7	18,7				289,2
	Macadamia					1,6					1,6
	Manzano rojo					0,4					0,4
	Manzano verde					6,0					6,0
	Naranja				53,5	185,0	19,6				258,0
	Nectarino					18,0					18,0
	Nogal				29,7	29,7	27,6				87,0
	Olivo				21,6	32,3	8,0				61,9
	Palo				114,0	406,2	83,2				583,4
	Peral europeo					0,8	0,8				1,6
	Pistacho				3,7						3,7
	Pluots					2,4					2,4
	Pomelo					0,1					0,1
	Tuna				4,2	4,0	2,4				10,6
	Uva de mesa				22,4	7,4	7,4				29,8
	Total Frutales				356,2	1368,3	218,5				1942,9
	Hortalizas										
	Acelga		0,9								0,9
	Aji		1,0								1,0
	Ajo		49,6								49,6
	Albahaca		0,1								0,1
	Alcachofa		192,1								192,1
	Alayota		3,6								3,6
	Apio		2,6								2,6
	Aveja verde		3,7								3,7
	Berengena		0,5								0,5
	Berriaga		6,2								6,2
	Briccoli		5,3								5,3
	Cebolla de guarda		41,6								41,6
	Cebolla temprana		13,2								13,2
	Chico		101,2								101,2
	Cilantro		0,9								0,9
	Coliflor		16,6								16,6
	Haba		21,3								21,3
	Huerta casera		13,1								13,1
	Lechuga		9,0	0,0							9,0
	Melón		34,3								34,3
	Pepino dulce		15,1	0,0							15,1
	Pepino ensalada		0,1								0,1
	Pequi		0,2								0,2
	Pinacete		20,8								20,8
	Poroto grande		17,8	0,0							17,8
	Poroto verde		42,2								42,2
	Repollo		1,6								1,6
	Sandía		7,0								7,0
	Tomate consumo fresco		25,9	0,1							26,2
	Zanahoria		13,3								13,3
	Zapallo italiano		4,9								4,9
	Zapallo temprano/de guarda		155,3								155,3
	Total Hortalizas		818,9	0,1							819,2
	Huertos caseros									2,1	2,1
	Huerta casera									2,1	2,1
	Total Huertos caseros									2,1	2,1
	Leguminosas y Tubérculos										
Otras chaxas							0,2			0,2	
Papa							103,1	4,0		107,1	
Poroto consumo interno							10,8			10,8	
Total Leguminosas y Tubérculos							114,1	4,0		118,1	
Semilleros											
Acelga									4,5	4,5	
Alcaparra									0,4	0,4	
Berengena									16,7	16,7	
Camote									22,3	22,3	
Cilantro									22,1	22,1	
Haba									5,9	5,9	
Lechuga									0,8	0,8	
Maíz									222,9	222,9	
Mazavilla									78,0	78,0	
Miudle									4,0	4,0	
Orégano									20,0	20,0	
Papa									1,1	1,1	
Pepino ensalada									0,3	0,3	
Pequi									5,2	5,2	
Pinacete									0,3	0,3	
Soya									0,5	0,5	
Tomate cons. fresco/md.									8,7	8,7	
Trigo candela									16,0	16,0	
Zanahoria									19,4	19,4	
Zapallo temprano/de guarda									18,2	18,2	
Total Semilleros									418,2	418,2	
Viveros y Parcelales											
Viveros							283,0			283,0	
Total Viveros y Parcelales							283,0			283,0	
Viveros											
Vivero frutal				0,5		0,3				0,8	
Vivero ornamental									1,6	1,6	
Total Viveros				0,5		0,3			1,6	2,4	
Total Censo 2007		819,0	0,1	356,7	1368,2	218,8	2025,2	42,0	421,0	5852,2	

Superficie cultivada: sector 6 Puangue Bajo, aguas abajo de ruta 78, elaborado con datos censo agropecuario 1997

Censo	Cultivos	Hortalizas/Flores		Frutales			Cereales/Forrajeras/Tuberculos		Otros	Total [ha]
		Aire Libre [Há]	Invernadero [Há]	En Formación [há]	En Producción [há]	Plantado Año 06-07 [Há]	Riego [Há]	Secano [Há]	Sup.[Há]	
1997	Cereales									
	Avena						7,2			7,2
	Maiz						759,5			759,5
	Trigo blanco						43,8	133,4		177,2
	Trigo candeal						241,7	12,0		253,7
	Total Cereales						1052,1	145,4		1197,5
	Flores									
	Flores	0,4								0,4
	Total Flores	0,4								0,4
	Forrajeras Anuales									
	Avena						49,9	195,7		245,6
	Ballica						2,0			2,0
	Maiz						38,3			38,3
	Trébol alejandrino						3,8			3,8
	Total Forrajeras Anuales						94,0	195,7		289,7
	Forrajeras Permanentes									
	Alfalfa						259,1			259,1
	Ballica						10,5			10,5
	Falaris							24,0		24,0
	Festuca						34,7			34,7
	Lotería o alfalfa chilota						6,5			6,5
	Mezclas forrajeras						57,6	31,2		88,8
	Trébol blanco						9,5			9,5
	Trébol rosado						9,5			9,5
	Total Forrajeras Permanentes						387,3	55,2		442,5
	Frutales									
	Almendra					17,1				17,1
	Ciruelo europeo			7,2	18,3					25,5
	Ciruelo japonés				22,8					22,8
	Durazno				9,4					9,4
	Guindo dulce			3,6						3,6
	Higuera			1,2						1,2
	Limonero			6,2	6,1					12,2
	Membrillo			0,1						0,1
	Naranja			14,7	52,4					67,1
	Nectarino			1,8	3,6					5,4
	Nogal			5,7	9,7					15,4
	Olivo			0,5						0,5
	Palto			4,9	25,1					29,9
	Peral europeo				15,8					15,8
	Tuna				0,1					0,1
	Uva de mesa			1,2	19,7					20,9
	Total Frutales			47,0	199,9					246,9
	Hortalizas									
	Acelga	0,6								0,6
	Ajo	0,3								0,3
	Arveja verde	38,7								38,7
	Betarraga	0,1								0,1
	Brócoli	0,3								0,3
	Cebolla de guarda	24,8								24,8
Cebolla temprana	0,2								0,2	
Choclo	91,6								91,6	
Cilantro	0,1								0,1	
Haba	15,0								15,0	
Huerta casera	2,7								2,7	
Melón	5,8								5,8	
Otras hortalizas	0,5								0,5	
Pimiento	4,8								4,8	
Poroto granado	41,3								41,3	
Poroto verde	9,6								9,6	
Rabanito	0,1								0,1	
Tomate consumo fresco	2,3								2,3	
Tomate industrial	0,5								0,5	
Zapallo italiano	0,3								0,3	
Zapallo temprano/de guarda	9,2								9,2	
Total Hortalizas	248,6								248,6	
Huertos caseros										
Huerta casera								1,3	1,3	
Total Huertos caseros								1,3	1,3	
Leguminosas y Tubérculos										
Papa						38,2			38,2	
Poroto consumo interno						22,6			22,6	
Poroto exportación						0,8			0,8	
Total Leguminosas y Tubérculos						61,6			61,6	
Semilleros										
Brócoli	0,5								0,5	
Cebolla temprana y de guarda	3,0								3,0	
Coliflor	15,0	0,1							15,1	
Haba	6,0								6,0	
Lechuga	3,0								3,0	
Maiz	163,7								163,7	
Maravilla	66,0								66,0	
Melón	1,2	0,2							1,4	
Otros semilleros	20,6	0,1							20,6	
Pepino ensalada	11,7								11,7	
Pimiento	5,4	0,6							6,0	
Puerro	0,4								0,4	
Sandia	2,3								2,3	
Tomate cons. Fresco/ind.	2,4								2,4	
Trigo blanco	1,5								1,5	
Trigo candeal	21,0								21,0	
Zapallo italiano	10,8								10,8	
Zapallo temprano/de guarda	3,5								3,5	
Total Semilleros	337,8	1,1							338,8	
Viñas y Parronales										
Viñas						6,0			6,0	
Total Viñas y Parronales						6,0			6,0	
Total Censo 1997	586,7	1,1	47,0	199,9		1601,0	396,3	1,3	2833,2	

Superficie cultivada: sector 6 Puangue Bajo, aguas abajo de ruta 78, elaborado con datos censo agropecuario 2007

Censo	Cultivos	Hortalizas/Flores		Frutales			Cereales/Forrajeras/tuberculos		Otros	Total [ha]
		Aire Libre [Há]	Invernadero [Há]	En Formación [há]	En Producción [há]	Plantado Año 06-07 [Há]	Riego [Há]	Secano [Há]	Sup.[Há]	
2007	Cereales						781,5			781,5
	Maiz						19,6			19,6
	Trigo blanco							19,0		19,0
	Trigo candeal						26,8			26,8
	Total Cereales						827,9	19,0		846,9
	Cultivos Industriales Permanentes									
	Manzanilla						7,5			7,5
	Total Cultivos Industriales Permanentes						7,5			7,5
	Forrajeras Anuales									
	Avena						4,5	12,0		16,5
	Cebada						0,1			0,1
	Maiz						0,8			0,8
	Total Forrajeras Anuales						5,3	12,0		17,3
	Forrajeras Permanentes									
	Alfalfa						192,8			192,8
	Mexclas forrajeras						7,0			7,0
	Total Forrajeras Permanentes						199,8			199,8
	Frutales									
	Almendro				5,9	19,1	5,9			30,8
	Cerezo				10,1	4,1	6,6			20,8
	Ciruelo europeo				19,2	92,2	19,2			130,6
	Ciruelo japonés				1,5					1,5
	Clementina					1,2				1,2
	Durazno					6,6				6,6
	Durazno tipo conservero				0,5	3,0	0,5			4,0
	Huerto casero (frutal)					0,1				0,1
	Limonero				2,7	22,2	0,2			25,0
	Macadamia					5,5				5,5
	Manzano verde					1,5				1,5
	Naranja				0,8	31,8				32,6
	Nectarino					26,6				26,6
	Nogal				18,3	28,2	18,3			64,8
	Olivo				0,8	35,4				36,2
	Palta				43,9	147,6	1,7			193,2
	Peral europeo					20,8				20,8
	Pluots					3,6				3,6
	Tuna					3,0				3,0
	Total Frutales				103,5	452,4	52,3			608,2
	Hortalizas									
	Acelga		0,1							0,1
	Alcachofa		1,0							1,0
	Betarraga		0,1							0,1
	Cebolla de guarda		2,5							2,5
	Cebolla temprana		0,2							0,2
	Chiclo		39,0							39,0
	Haba		8,6							8,6
	Huerta casera		1,9							1,9
	Lechuga		0,2							0,2
	Melón		15,8							15,8
	Pepino dulce		1,5							1,5
	Pepino ensalada		0,3							0,3
	Pimiento		1,8							1,8
	Poroto granado		11,4							11,4
	Poroto verde		11,7							11,7
	Tomate consumo fresco		2,4	0,3						2,7
	Zanahoria		42,3							42,3
	Zapallo temprano/de guarda		91,2							91,2
	Total Hortalizas		231,5	0,3						231,8
	Huertos caseros									
	Huerta casera								0,1	0,1
Total Huertos caseros								0,1	0,1	
Leguminosas y Tubérculos										
Papa							120,5		120,5	
Poroto consumo interno							1,0		1,0	
Total Leguminosas y Tubérculos							121,5		121,5	
Semilleros										
Berengena								10,2	10,2	
Betarraga								15,0	15,0	
Camote								3,9	3,9	
Cilantro								2,7	2,7	
Haba								0,5	0,5	
Maiz								111,9	111,9	
Maravilla								3,6	3,6	
Maule								6,0	6,0	
Orégano								4,0	4,0	
Tomate cons. Fresco/ind.								8,7	8,7	
Zanahoria								1,0	1,0	
Zapallo temprano/de guarda								17,2	17,2	
Total Semilleros								184,7	184,7	
Viñas y Parronales										
Viñas							6,0		6,0	
Total Viñas y Parronales							6,0		6,0	
Viveros										
Vivero frutal				0,2					0,2	
Total Viveros				0,2					0,2	
Total Censo 2007		231,5	0,3	103,6	452,4	52,3	1168,0	31,0	184,7	2223,8