



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**POTENCIAL RECARGA GESTIONADA EN LA CUENCA DE
LOS RÍOS TENO Y LONTUÉ, VII REGIÓN, CHILE:
DETERMINACIÓN DE SECTORES FAVORABLES Y
PROPUESTA DE ALTERNATIVAS.**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

IGNACIO ARTURO MATURANA CABEZAS

PROFESOR GUÍA:

CARLOS PARRAGUEZ DECKER

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

LINDA DANIELE

MIGUEL CARO HERNÁNDEZ

SANTIAGO DE CHILE

2016

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE: Geólogo
POR: Ignacio Arturo Maturana Cabezas
FECHA: 04/10/2016
PROFESOR GUÍA: Carlos Parraguez Decker

**POTENCIAL RECARGA GESTIONADA EN LA CUENCA DE LOS RÍOS TENO Y LONTUÉ,
VII REGIÓN, CHILE: DETERMINACIÓN DE SECTORES FAVORABLES Y PROPUESTA DE
ALTERNATIVAS.**

La tendencia general de las precipitaciones en Chile va en descenso, mientras las temperaturas medias van en aumento, siendo los episodios de sequía cada vez más frecuentes. Estas son algunas modificaciones provocadas por el cambio climático, que se proyecta que sigan aumentando para mediados y finales de siglo, principalmente en la zona centro-sur del país (CONAMA, 2006; CEPAL, 2009; MMA, 2011; CR2, 2015). A esta situación se suma una creciente demanda hídrica resultado del aumento poblacional y el incremento constante de la actividad económica, produciéndose un déficit cada vez más importante del recurso hídrico, lo que ha conducido en muchos casos a una sobreexplotación de las fuentes naturales (DGA, 2012).

La cuenca de los ríos Teno y Lontué se ha visto afectada por la disminución general en la disponibilidad de los recursos hídricos y de acuerdo al párrafo anterior se prevé que esta situación siga empeorando, lo que ha llevado a la DGA a declarar la cuenca en condición de restricción. Es por esto que el presente estudio, intenta buscar en la recarga gestionada una solución a la problemática expuesta.

El objetivo principal de esta memoria de título consiste en identificar y mapear, en la cuenca de los ríos Teno y Lontué, las zonas con condiciones hidrogeológicas adecuadas para realizar recarga gestionada. Además se pretende proponer posibles alternativas de proyectos, de acuerdo a las condiciones técnicas de las áreas identificadas.

De acuerdo a las características Hidrogeológicas analizadas, se ha observado que existen al menos 6 sectores, que por las profundidades del nivel estático y permeabilidades (>20m y >20m/d) pueden ser potenciales sectores de recarga. De estos 6, el sector 1 (S1) es el mejor lugar para la recarga gestionada, por poseer los niveles estáticos más profundos y las permeabilidades más altas, ser el más cercano a una fuente hídrica y el más amplio en términos de área. Dentro del sector 1, el subsector ORG se ha propuesto como el más adecuado para instalar obras de recarga gestionada, porque presenta un acuífero libre con las permeabilidades superficiales más altas, a su vez, es el más cercano al cauce del río Teno y el con mayor presencia de obras hidráulicas útiles para un futuro proyecto. Es decir el subsector ORG es el de mayor potencialidad para la recarga la gestionada en toda la cuenca de los ríos Teno y Lontué.

La elección del mejor método de recarga propuesto, quedará sujeta a la disponibilidad de terreno. En caso de que la disponibilidad de terreno en las zonas aledañas al cauce del río Teno sea alta, se propone la utilización de piscinas de infiltración o zanjas de infiltración (Mecanismos superficiales y de muy baja profundidad), ya que estas alternativas son las que mejor se ajustan a las características hidrogeológicas del subsector ORG. En caso de que la disponibilidad de terreno sea baja, la alternativa más adecuada corresponde a los pozos de inyección, que es la alternativa técnicamente más eficiente, pues infiltra la misma cantidad que el resto en un espacio muy reducido.

Los proyectos sugeridos recargarán 3600 l/s durante 4 meses (junio – septiembre), considerando una tasa de infiltración de 6m/d. Utilizando un coeficiente de almacenamiento de 0,2 y teniendo en cuenta que se tendrá un volumen infiltrado de aproximadamente 373248000 m³ se generara un volumen saturado de 186624000 m³.

DEDICATORIA

“Olvidamos que el ciclo del agua y el de la vida son uno”

Jacques-Yves Cousteau

A mi familia incluyendo a Paco y Lola.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer A la Universidad de Chile, en especial al Departamento de Geología por la excelente formación académica que me han brindado.

Quiero agradecer a Carlos Parraguez Decker, profesor guía de esta memoria, por tener confianza en mí y darme la oportunidad de realizar este trabajo. Por su orientación, paciencia y en especial su buen ánimo y humor. Agradezco a los miembros de mi comisión, Linda Daniele y Miguel Caro. A la Dra. Daniele por la buena disposición y compromiso con mi trabajo. A Miguel Caro por creer en mí y ser un pilar fundamental en la construcción de esta memoria de título, sin su constante supervisión y apoyo la tarea hubiese sido mucho más complicada. Gran profesional y persona.

A la Dirección General de Aguas (DGA), Comisión Nacional de Riego (CNR) y al Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN) por facilitarme el material solicitado. Información base para la construcción de la memoria de título. Especiales agradecimientos a las bibliotecarias de cada entidad, las que muchas veces me sacaron de apuros.

Agradezco a mi familia, a mis padres René e Isabel por su compañía y apoyo durante todo el proceso, no está demás decir que gran parte de este camino recorrido no hubiese sido posible sin la educación, valores y amor que ustedes me dieron. A la Dani por ser tanto mi hermana como mi amiga, por su incondicional apoyo y preocupación.

Agradezco a mis amigos de la Universidad por hacer de esta etapa una muy bonita experiencia. Agradezco en particular a los Rompediskotecas por los innumerables buenos momentos que vivimos juntos. También agradezco a mi curso de Geología, por hacer de estos últimos años una experiencia muy gratificante, tanto en clases como en los terrenos que compartimos juntos. En particular me gustaría agradecer por su amistad, a los que estuvieron ahí incondicionalmente: Jamita, Camilo, Dieter y Champs.

Quiero agradecer también a los cabros de Rancagua que han sido un gran apoyo en esta etapa universitaria, gracias por su amistad y las mil y unas historias que vivimos en este tiempo. Mención especial a los que veo con mayor regularidad: Gera, Tuli, Papi, Cheese, J, Pibe y Sonri.

Por ultimo agradecer a Blanca Baccola por las gestiones, favores y ayuda en los geoplazos durante todo mi proceso universitario como Geólogo.

TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción.....	1
1.1 Formulación de estudio propuesto	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivos generales.....	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 Hipótesis de trabajo.....	2
1.4 Metodología.....	3
2. Gestión de la recarga de acuíferos	4
2.1 Definición	4
2.2 Objetivos	5
2.3 Ventajas	5
2.4 Aspectos técnicos	6
2.4.1 Condiciones técnicas para una recarga gestionada exitosa	6
2.4.2 Mecanismos de infiltración	7
2.4.2.1 Sistemas de dispersión o distribución.....	8
2.4.2.2 Modificación del canal	9
2.4.2.3 Pozos y perforaciones	9
2.4.2.4 Sistemas de filtración	10
2.4.2.5 Ventajas y desventajas.....	11
2.4.2.6 Colmatación	12
2.4.3 Calidad de aguas a infiltrar.....	12
2.5 Aspectos legales en Chile.....	13
2.6 Estudios y experiencia internacional.....	14
2.7 Estudio y experiencia en Chile	15
3. Antecedentes generales	17
3.1 Ubicación y vías de acceso	17
3.2 Geomorfología y relieve	18
3.3 Estructuras.....	19
3.4 Hidrografía.....	20
3.5 Antecedentes climáticos.....	21

4. Caracterización hidrológica.....	22
4.1 Introducción	22
4.2 Recopilación de información.....	22
4.3 Corrección, relleno y extensión de estadística.....	23
4.4 Análisis de homogeneidad y consistencia.....	24
4.5 Análisis de la frecuencia de las estadísticas.	24
5. Caracterización hidrogeológica de la cuenca	26
5.1 Marco Geológico-Hidrogeológico	26
5.1.1 Unidades de roca o unidades de importancia hidrogeológica baja a nula.....	27
5.1.1.1 Rocas estratificadas	27
5.1.1.2 Rocas intrusivas	28
5.1.1.3 Depósitos cuaternarios.....	28
5.1.2 Unidades de depósitos no consolidados o unidades de importancia hidrogeológicas baja a alta.....	29
5.2 Unidades hidrogeológicas de acuerdo a la permeabilidad.....	34
5.2.1 Unidad 1: Medios intergranulares de permeabilidad alta a moderada	34
Subunidad 1.1: Depósitos Sedimentarios de Origen fluvial de alta energía.....	34
Subunidad 1.2: Depósitos Sedimentarios de Origen No Fluvial.....	34
5.2.2 Unidad 2: Medios intergranulares y fracturados de permeabilidad moderada a baja	35
5.2.3 Unidad 3: Medios rocosos de permeabilidad muy baja a nula	35
5.3 Estratigrafía de la cuenca	38
5.4 Acuífero	41
5.4.1 Delimitación del acuífero	41
5.4.2 Transmisividad	41
5.4.3 Permeabilidades.....	42
5.4.4 Coeficiente de almacenamiento	43
5.5 Niveles estáticos.....	43
5.6 Dirección del flujo subterráneo	45
5.7 Calidad del agua de la cuenca.....	47
5.7.1 Aguas superficiales	47
5.7.2 Aguas subterráneas	48
5.8 Relación río-acuífero.	50

6. Resultados	51
6.1 Determinación de sectores con potencialidad para la recarga gestionada ..	51
6.1.1 Caracterización Sector 1	55
6.1.1.1 Ubicación	55
6.1.1.2 Estratigrafía	55
6.1.1.3 Gradiente hidráulico y pendiente topográfica.....	61
6.1.1.4 Permeabilidad superficial.....	63
6.2 Zonas con potencialidad para recarga gestionada en sector 1	64
6.2.1 Caracterización subsector ORG.....	68
6.2.1.1 Permeabilidad horizontal	68
6.2.1.2 Permeabilidad superficial vertical	68
6.2.1.3 Nivel estático	69
6.2.1.4 Fuentes de recarga	69
6.2.1.5 Disponibilidad de agua para la recarga.....	71
6.2.1.6 Calidad de la fuente de recarga.....	73
6.2.1.7 Métodos de recarga.....	77
7. Propuesta de alternativas de proyectos de recarga gestionada ...	79
7.1 Caudal susceptible de infiltración	79
7.2 Alternativas de proyectos	81
7.2.1 Alternativa 1: Balsas o estanques de infiltración	81
7.2.1.1 Ubicación	81
7.2.1.2 Caudal de infiltración	82
7.2.1.3 Instalaciones y equipamiento	82
7.2.1.4 Presupuesto	84
7.2.2 Alternativa 2: Zanjas de infiltración.....	86
7.2.2.1 Ubicación	86
7.2.2.2 Caudal de infiltración.....	86
7.2.2.3 Instalaciones y equipamiento	86
7.2.2.4 Presupuesto	88
7.2.3 Alternativa 3: Pozos de inyección.....	89
7.2.3.1 Ubicación	89
7.2.3.2 Caudal de infiltración.....	89
7.2.3.3 Instalaciones y equipamiento	89
7.2.3.4 Presupuesto	91

7.2.4 Alternativa 4: Solución mixta 1: Balsas de infiltración junto con pozos de inyección	93
7.2.4.1 Ubicación	93
7.2.4.2 Caudal de infiltración	93
7.2.4.3 Instalaciones y equipamiento	93
7.2.4.4 Presupuesto	94
7.2.5 Alternativa 5: Solución mixta 2: Zanjas de infiltración junto con pozos de inyección.	95
7.2.5.1 Ubicación	95
7.2.5.2 Caudal de infiltración	95
7.2.5.3 Instalaciones y equipamiento	95
7.2.5.4 Presupuesto	96
7.3 Estimación del volumen saturado generado.....	97
8. Conclusiones y recomendaciones.....	97
Bibliografía.....	100
ANEXOS	109
Anexo A: Mecanismos de recarga gestionada.....	110
Anexo B: Aspectos Legales	131
Anexo C: Fluviometría.....	140
Anexo D: Catastro de pozos.....	163
Anexo E: Normas de calidad de aguas.....	171
Anexo F: Derechos de aguas río Teno.....	176

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resumen de los dispositivos MAR. Fuente: Elaboración propia con datos de Bouwer (2002), UNESCO, (2005) y Fernández Escalante (2011).....	7
Tabla 2. Factores, Ventajas y desventajas de los métodos de recarga gestionada superficiales y en profundidad. Fuente: DGA (2012).	11
Tabla 3. Estaciones fluviométricas seleccionadas .Las Coordenadas UTM, corresponden al DATUM WGS 84, Huso 19 Sur. Fuente: DGA (2010)	23
Tabla 4. Puntos de medida y seguimiento de la calidad de las aguas superficiales en la Cuenca de los Ríos Teno y Lontué. Fuente: ARCADIS (2013).	47
Tabla 5. Caudales medios mensuales a distintas probabilidades de excedencia para la estación fluviométrica 06) Río Teno en el Puente Ferrocarril, estos se asumen para el caudal pasante por el subsector ORG. Elaboración propia a partir de datos del Portal en línea de la DGA.....	70
Tabla 6. Derechos de aguas superficiales otorgados en el río Teno. Se diferencian entre consuntivos y no consuntivos de ejercicio permanente o el total de derechos para todos los meses del año, más el caudal promedio anual otorgado. Fuente: Elaboración propia con datos online DGA.....	71
Tabla 7. Comparación de la calidad de las aguas subterráneas y superficiales del río Teno en el subsector ORG mediante la representación de los pozos M-8, M-9, M-10 y las estaciones fluviométricas “Teno en los Queñes” y “Teno antes de junta con el río Mataquito. IP= Periodo Invierno-Primavera; TQ= Teno en los Queñes; TAJRM = Teno antes junta con río Mataquito; NM= No medido. Fuente: Elaboración propia con datos CNR, (2006); DGA, (2004) y DGA (en línea).	76
Tabla 8. Caudales medios mensuales a distintas probabilidades de excedencia para la estación fluviométrica 06) Río Teno en el Puente Ferrocarril, estos se asumen para el caudal pasante por el subsector ORG. En rojo se marcan los caudales asociados a un 25% de probabilidad de excedencia, los cuales son considerados como los susceptibles a infiltrar. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Portal en línea de la DGA.	80
Tabla 9. Caudal susceptible a infiltrar en un proyecto de recarga gestionada de acuíferos, considerando el 20% del caudal ecológico mínimo. Fuente: Elaboración propia.....	80
Tabla 10. Detalles de los costos de instalación de las obras del proyecto de balsas de infiltración. Fuente: Elaboración propia con los precios se obtenidos en CNR (2013) y DGA (2012).	85
Tabla 11. Detalles de los costos de instalación de las obras del proyecto de zanjas de infiltración. Fuente: Elaboración propia con los precios se obtenidos en CNR (2013), DGA (2012) y MINVU (1996).	88
Tabla 12 Detalles de los costos de instalación de las obras del proyecto de pozos de inyección. Fuente: Elaboración propia con los precios se obtenidos en CNR (2013), DGA (2012) y MINVU (1996).	91

Tabla 13. Detalles de los costos de instalación de las obras del proyecto mixto 1. Fuente: Elaboración propia con los precios se obtenidos en CNR (2013), DGA (2012) y MINVU (1996).
..... 94

Tabla 14. Detalles de los costos de instalación de las obras del proyecto mixto 2. Fuente: Elaboración propia con los precios se obtenidos en CNR (2013), DGA (2012) y MINVU (1996).
..... 96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. . División de la Cuenca del río Mataquito en 3 subcuencas: subcuenca del río Teno (rojo), río Lontué (rojo) y río Mataquito (verde) con sus principales vías de acceso. En rojo se observa la zona de estudio. Proyección UTM, DATUM WGS1984, Huso 19 sur. Fuente: Elaboración propia.....	17
Figura 2. Rasgos geomorfológicos de la cuenca de los ríos Teno y Lontué. Fuente: Elaboración propia con los datos shapefile de Albers (2012). Proyección UTM, DATUM WGS1984, Huso 19 sur.	19
Figura 3. Estructuras ubicadas en el área de estudio. Fuente: Elaboración propia con datos de Alfaro (2011) y DGA (2012).	20
Figura 4. Red Hidrográfica cuenca de los ríos Teno y Lontué. Fuente: Elaboración Propia. Proyección UTM, DATUM WGS1984, Huso 19 sur.....	21
Figura 5. Ubicación de las estaciones fluviométricas de la Dirección General de Aguas. Fuente: Modificado DGA (2012).	23
Figura 6. Curvas de variación estacional de caudales medios mensuales para las 9 estaciones en estudio, considerando 6 probabilidades de excedencia: 5%,10%,25%,50%,85%,95%; Q= caudal en m ³ /s. Fuente: Elaboración propia.	25
Figura 7. Distribución y ubicación de las Unidades Geológicas – Hidrogeológicas de la cuenca de los ríos Teno y Lontué. Incluye diferenciación de unidades de acuerdo a la importancia hidrogeológica relativa. Proyección UTM, DATUM WGS1984, Huso 19 Sur. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de DGA, 2013; Hauser, 1990, 1995; SERNAGEOMIN, 2003	33
Figura 8. Unidades Hidrogeológicas de acuerdo a su permeabilidad. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CNR, 2006; y DGA, 2012.	37
Figura 9. Ubicación de los perfiles y pozos estratigráficos en la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia con datos de DGA (2012).....	38
Figura 10. Perfiles Hidrogeológicos A-A', B-B' y C-C' en la cuenca de los ríos Teno y Lontué. Fuente: Modificado DGA (2012).	39
Figura 11. Perfiles Hidrogeológicos D-D', E-E' y F-F', en la cuenca de los ríos Teno y Lontué. Fuente: Modificado DGA (2012).	40
Figura 12. A) Acuífero de la cuenca de los ríos Teno y Lontué. B) Plano Isobático. Representación de la posición del basamento rocoso, marcando el limite Roca-Relleno de la cuenca en profundidad Proyección, UTM, Datum WGS84, Zona 19S. Fuente: Modificado DGA (2012).	41
Figura 13. Transmisividad del acuífero de la cuenca de los ríos Teno y Lontué. Fuente: Modificado de CNR (1978).....	42
Figura 14. Distribución de permeabilidades (m/d) en la cuenca de los ríos Teno y Lontué. Proyección UTM, Datum, WGS84, Zona 19S. Fuente: Modificado DGA (2012).....	43

Figura 15. Profundidad de los niveles estáticos (m) con sus respectivos pozos de medición en la cuenca de los ríos Teno y Lontué, Datum WGS84, zona 19S. Fuente: Modificado DGA, 2012.	44
Figura 16. Curvas Isofreáticas o equipotenciales de la cuenca de los ríos Teno y Lontué, junto con la dirección de los flujos de aguas subterráneas. Fuente: Modificado DGA (2012).	45
Figura 17. Gradiente hidráulico de las aguas subterráneas de los ríos Teno y Lontué en % relativo. Fuente: Elaboración propia.....	46
Figura 18. Puntos de medida y seguimiento de la calidad de las aguas superficiales en la Cuenca de los Ríos Teno y Lontué. Los puntos destacados presentan coliformes fecales por sobre de los parámetros establecidos. Fuente: Modificado de ARCADIS (2003).	48
Figura 19. Puntos de medida de la calidad ambiental de las aguas subterráneas en la cuenca de los ríos Teno y Lontué. Fuente: Modificado DGA (2006).....	49
Figura 20. Estaciones que sobrepasan el parámetro del Aluminio en aguas subterráneas según la Guía de normas Secundarias (CONAMA ,2003). Fuente: Modificado DGA (2006a.)	50
Figura 21. Relación de recarga entre los ríos Teno y Lontué, y el acuífero asociado. En color rojo se observan las zonas de afloramiento, en morado las zonas mixtas y en amarillo las zonas de infiltración permanente. Fuente: Modificado DGA (2006a).....	51
Figura 22. A) Polígono que encierra las áreas que tienen profundidades del nivel estático mayores a 20 m. B) Polígonos que abarcan las áreas que tienen permeabilidades mayores a 20 m/d. C) Polígonos que encierran los sectores con potencialidad para un proyecto de recarga gestionada, generados por la intersección de los polígonos del mapa A) y B). Existen 6: S1, S2, S3, S4, S5 y S6. Fuente: Elaboración propia.	53
Figura 23. A) Distribución de las profundidades de los niveles estáticos de la cuenca en estudio en los 6 sectores aptos para la recarga gestionada. B) Distribución de las permeabilidades de la cuenca en estudio en los 6 sectores C) relaciones rio-acuífero en los 6 sectores con potencialidad. Fuente: Elaboración propia.	54
Figura 24. Ubicación del sector 1 y de las columnas estratigráficas asociadas al sector. Fuente: Elaboración propia.....	55
Figura 25. Perfiles estratigráficos del sector 1, junto con la ubicación de las columnas geológicas utilizadas para la realización de los perfiles. Fuente: Elaboración propia.	56
Figura 26. Perfil A-A' Zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.	57
Figura 27. Perfil B-B' Zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.	58
Figura 28. Perfil C-C' zona de estudios. Fuente: Elaboración propia.....	59
Figura 29. Perfil D-D' Zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.	60
Figura 30. Gradientes Hidráulicas y curvas isofreáticas en el sector 1. Fuente: Elaboración propia.	61
Figura 31. Pendientes topográficas (%) del sector 1. Fuente: Modificado CIREN (2015).	62

Figura 32. Distribución de la permeabilidad vertical superficial del sector 1.;Proyeccion UTM, DATUM WGS84, Huso 19 Sur; Fuente: CIREN (2015).....	63
Figura 33. Delimitación del subsector ORG de acuerdo a las condiciones técnicas más favorables para captar caudales y posteriormente infiltrarlos. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IDE-Chile, 2016.	66
Figura 34. Características técnicas del subsector ORG en comparación con el resto del sector 1. A) Profundidad de los niveles estáticos. B) Permeabilidad lateral. C) Permeabilidad vertical superficial. D) Relación de recarga río acuífero. Fuente: Elaboración propia.	67
Figura 35. Permeabilidad lateral del Subsector ORG. Proyección UTM, DATUM WGS84, Huso 19 sur. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de DGA, 2012.	68
Figura 36. Permeabilidad vertical superficial en el subsector ORG junto canales de regadío del lugar. Proyección UTM, DATUM WGS84, Huso 19 sur; Fuente: Elaboración propia con datos de CIREN (2015) e IDE-Chile (2016).....	68
Figura 37. Profundidad del nivel estático en el subsector ORG; Proyección UTM, DATUM WGS84, Huso 19 sur; Fuente: Elaboración propia con datos de DGA (2012).....	69
Figura 38. Estación fluviométrica río Teno en el puente ferrocarril, ubicada en el interior del subsector ORG; Proyección UTM, DATUM WGS84, Huso 19 sur; Fuente: Elaboración propia con datos DGA (2013).....	70
Figura 39. Propietarios de los derechos de aguas superficiales del río Teno. A) Propietarios de los derechos de aguas no consuntivos y sus caudales asociados. B) Propietarios de los derechos de aguas consuntivos y sus caudales asociados junto con el tipo de ejercicio asignado a cada derecho. EC = Eventual Continuo; ED = Eventual Discontinuo; EA = Eventual Alternado; PC = Permanente Continuo; PD = Permanente Discontinuo; PA = Permanente Alternado. Fuente: Elaboración propia con datos DGA online.....	72
Figura 40. Estaciones fluviométricas de calidad de agua subterránea M02 y M01. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ARCADIS (2003).....	74
Figura 41. Ubicación de los puntos de monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas, M-8,M-9 Y M-10, junto con la ubicación de las estaciones fluviométricas que miden la calidad de las aguas superficiales del río Teno. Las mediciones de calidad de aguas subterráneas y de las estaciones fluviométricas son comparadas para analizar la factibilidad de infiltrar las aguas superficiales sin un tratamiento sobre éstas. Fuente: Elaboración propia con los datos de CNR (2006) y DGA (2013).....	75
Figura 42. Zonas aptas para la instalación de mecanismos de infiltración superficial: Cauce del río Teno y sus depósitos fluviales actuales junto con las zonas aledañas al río Teno (rosado). Proyección UTM, DATUM WGS84, Huso 19 sur Fuente. Elaboración propia con datos de CIREN (2015).	77
Figura 43. Zonas óptimas para la recarga gestionada mediante sistemas directos al acuífero. Fuente: Elaboración propia.	79
Figura 44. Zona escogida para implementar el proyecto de recarga gestionada con balsas de infiltración; Proyección UTM, DATUM WGS84, Huso 19 sur; Fuente: Elaboración propia.	82

Figura 45. Proyecto de recarga gestionada con 24 módulos de infiltración. Fuente: Elaboración propia	83
Figura 46. . Esquema de módulo de infiltración, y del muro enrocado. Fuente: Modificado de CNR (2012).	84
Figura 47. Elección del factor de seguridad para la instalación de obras de Zanjas de infiltración. Fuente: Azzout et al. (1994).....	87
Figura 48. Proyecto de recarga gestionada mediante 12 zanjas de infiltración de 576 x 2 x 5m. Proyección UTM, DATUM WGS 1984, Huso 19 sur. Fuente: Elaboración propia.	88
Figura 49. Diseño propuesto para un pozo de inyección en la zona saturada. Se muestran los parámetros que se utilizaron para calcular el caudal infiltrante mediante el Método de Lefranc, el que se muestra en las ecuaciones 4 y 5. N.E = Nivel estático; Criba slot 40 12” = Factor Criba 25%. Fuente: Elaboración propia.	90
Figura 50. Esquema de proyecto de recarga gestionada mediante 24 pozos de inyección en un área de 200m ² . Fuente: Elaboración propia.	91
Figura 51. Esquema de proyecto de recarga gestionada mediante 10 piscinas de infiltración con su respectivo modulo y 14 pozos de inyección directos al acuífero. Fuente: Elaboración propia.	93
Figura 52. Esquema de proyecto de recarga gestionada mixto mediante 6 zanjas de infiltración de 567x2x5m y 7 pozos de inyección de 85 m directos al acuífero. Fuente: Elaboración propia	96

1. Introducción

1.1 Formulación de estudio propuesto

Actualmente en muchas cuencas del país existe una escasez, variabilidad e incertidumbre en la disponibilidad de recursos hídricos; a lo que se suma una creciente demanda hídrica, resultado del aumento poblacional y el incremento constante de la actividad económica (industrial, agrícola y minera), produciéndose un déficit cada vez más importante de este recurso sustentable, lo que ha conducido en muchos casos a una sobreexplotación de las fuentes naturales y un aumento en los conflictos entre los usuarios (DGA, 2012; CNR, 2013). Así gran parte de los acuíferos, desde la cuenca del río Rapel hacia el norte, están en una situación de sobreexplotación, debido en parte a la constitución de derechos de aprovechamiento por sobre los límites de su explotación sustentable (CNR, 2013).

Numerosos estudios acerca de la variabilidad climática en el territorio nacional (CONAMA, 2006; CEPAL, 2009; MMA, 2011; CR2, 2015) indican que la tendencia general de las precipitaciones en Chile va en descenso, siendo los episodios de sequía cada vez más frecuentes, junto a esto se proyecta también un aumento en la temperatura para todas las regiones del País. Lo anterior tendría como efecto una disminución en los volúmenes totales de las cuencas, intensificándose este fenómeno a mediados y finales de este siglo.

Bajo este contexto resulta de suma importancia promover estudios y proyectos orientados a aprovechar las fuentes de recursos hídricos de manera inteligente y sustentable. En esta línea aparecen las técnicas de recarga gestionada, que se ha configurado en los últimos años como una herramienta de gestión hídrica económica y de gran efectividad con respecto a las grandes obras hidráulicas. Ésta corresponde a una actividad de primer orden en varios países del mundo como pueden ser Holanda, USA, Australia etc... (Fernández Escalante, 2005).

La cuenca de los ríos Teno y Lontué, es aprovechada principalmente de manera superficial, pero sus aguas subterráneas están siendo explotadas cada vez más en respuesta a la creciente demanda de las actividades productivas de la región, lo que ha llevado a la Dirección General de Aguas (Chile) a declarar la cuenca en condición de restricción (DGA, 2015).

La presente memoria de título, de acuerdo a las necesidades hídricas proyectadas para mitad de siglo y la condición existente de restricción en la cuenca de los ríos Teno y Lontué, se encarga de establecer y mapear zonas con potencialidad o atractivo para la recarga gestionada en esta última. Seleccionadas las zonas, se busca sugerir el mecanismo de ingeniería de recarga gestionada más apropiado, de acuerdo a las condiciones técnicas e hidrogeológicas de los lugares escogidos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos generales

1. Análisis de las características hidráulicas e hidrogeológicas de la cuenca de los ríos Teno y Lontué para evaluar la factibilidad de potenciales proyectos de recarga gestionada.
2. Mapeo de las zonas con mayor atractivo para la recarga gestionada.
3. Proponer alternativas de proyectos de recarga gestionada que se ajusten a las características hidrogeológicas de los lugares seleccionados.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar en detalle el acuífero, determinando su geometría y reconociendo las distintas unidades hidrogeológicas que toman lugar en la zona de estudio. También establecer sus principales parámetros hidrogeológicos como: tipo de acuífero, características sedimentológicas (estratigrafía), niveles estáticos y sus fluctuaciones, conductividad hidráulica o permeabilidad (verticales y horizontales), coeficiente de almacenamiento, transmisividades, gradientes hidráulicos, pendientes topográficas, calidad de aguas, direcciones de los flujos de aguas subterráneas y relaciones río-acuífero.
2. Identificar y delimitar sectores con potencialidad para la implementación de la recarga gestionada.
3. De los sectores delimitados, escoger el o los más aptos para la recarga gestionada y establecer los mecanismos de infiltración más apropiados para cada uno.
4. Caracterizar el comportamiento fluviométrico de la cuenca para evaluar las posibles crecidas de los ríos, y así, determinar si son fuentes de agua factibles para ser infiltradas.
5. Evaluar la calidad físico-química del agua participante en la recarga, de acuerdo a la normativa vigente.
6. Proponer proyecto de infiltración para el o los sectores escogidos.

1.3 Hipótesis de trabajo

La cuenca de los ríos Teno y Lontué presentan extensos y potentes acuíferos en gruesos sedimentos fluviales y aluviales que rellenan los valles, con gran capacidad de almacenamiento. Además cuenta con fuentes de escurrimiento abundantes. (DGA, 1978; Hauser, 1990,1995; DGA, 2012). De acuerdo con estos antecedentes se espera delimitar zonas con las características hidrogeológicas adecuadas para la implementación de la recarga gestionada y a su vez proponer un proyecto con los mecanismos o instrumentos de infiltración más apropiados para los lugares seleccionados.

1.4 Metodología

A continuación se detallan las metodologías referentes a cada objetivo en específico:

Objetivo 1: La información Hidrogeológica de la cuenca de los ríos Teno y Lontué como: Geometría del acuífero, unidades hidrogeológicas según permeabilidad, niveles estáticos, calidad del agua, permeabilidades horizontales, relaciones río-acuífero, dirección de los flujos de agua subterránea, perfiles estratigráficos de toda la cuenca y coeficiente de almacenamiento, se revisaron en los estudios “Estudio de calidad de aguas subterráneas en las cuencas del río Huasco y Mataquito” (CNR,2006a) y “Estudio hidrogeológico cuenca del río Mataquito” (DGA, 2002).

Las transmisividades se obtuvieron del “Estudio integral cuenca del río Mataquito” (DGA, 1978) y las pendientes topográficas junto con las permeabilidades superficiales verticales se revisaron en el informe “Actualización cartográfica de suelos en la VII Región. Chile. Escala 1:100.000” (CIREN, 2015).

Objetivo 2: Se delimitaron los sectores favorables para la recarga gestionada de acuíferos, de acuerdo a las profundidades del nivel estático y sus valores de permeabilidad, los parámetros de elección son $> 20\text{m}$ y $>20 \text{ m/día}$ respectivamente.

Objetivo 3: La elección del sector más apto para la recarga gestionada se hizo en base a las mejores condiciones para poder captar agua y luego filtrarla. Estos parámetros corresponden a profundidad del nivel estático, permeabilidad horizontal y vertical, cercanía a la fuente, estratigrafía, presencia de infraestructuras hidráulicas.

Objetivo 4: Para el análisis fluviométrico se obtuvieron las estadísticas de caudales medios mensuales, estacionales y anuales para el período 1964/65 – 2014/2015 de 9 estaciones fluviométricas ubicadas en la zona de estudio, pertenecientes a la DGA, con el objetivo de corregir, rellenar y extender éstas estadísticas para el período seleccionado.

Las series de estadísticas fueron corregidas, rellenadas y extendidas en base al establecimiento de correlaciones lineales simples entre la llamada “estación base” y el resto. La elección de la estación base utilizada se realizó mediante la correlación lineal simple entre los datos de todas las estaciones, obteniéndose así una matriz de coeficiente de correlación. En base a los mejores coeficientes de correlación y la estadística más robusta se selecciona la o las estaciones base.

Para las series estadísticas rellenadas, de cada estación, se efectuaron análisis de frecuencia analíticos, ajustando las distribuciones Normal, Gumbel, Pearson III, Log-Normal, Log- Pearson III, Log-Normal III y Weibull considerando 6 probabilidades de excedencia :5%, 10%, 25%, 50%, 85% y 95%, procedimiento realizado con el software EasyFit 5.6. El fin de este procedimiento es proyectar los futuros caudales a diferentes probabilidades.

Objetivo 5: La información de calidad de agua superficial y subterránea se obtuvo de los datos mensuales hidrometeorológicos en línea, proporcionados por la DGA, de las

estaciones “Río Teno en los Queñes” y “Río Teno antes junta con río Mataquito”. Estos datos se complementaron con la información proporcionada por ARCADIS (2003) para la zona. Se compararon los datos obtenidos con aquellos que la Norma Nch133 y Norma secundaria de calidad de aguas (CONAMA, 2003) establecen como los máximos para el uso de riego.

Objetivo 6: Se propusieron proyectos de recarga gestionada, más apropiados a los sectores seleccionados, según los requerimientos de aplicación de cada mecanismo, explicados a lo largo de este trabajo.

2. Gestión de la recarga de acuíferos

2.1 Definición

De acuerdo a Custodio y Llamas (1996) la Recarga Artificial o Gestión de la recarga de acuíferos (AR¹ o MAR²) consiste en “la intervención de los procesos de recarga de un acuífero en los puntos y periodos más convenientes a su régimen de explotación”. La DGA (2012,2013) define el proceso como “Cualquier acción antrópica destinada a incrementar la tasa de infiltración natural sobre un acuífero con el objeto de aprovechar la capacidad de regulación natural de éste, para su aprovechamiento en un tiempo posterior o bien para reducir nivel de sobreexplotación de largo plazo”, esta última definición es coincidente con una más reciente propuesta por Sánchez (2015): “La recarga artificial se define como un conjunto de operaciones controladas por el hombre destinadas a la transferencia de agua desde la superficie del suelo hacia los acuíferos adyacentes”. El mismo autor agrega “El caudal, la ubicación de la instalación y la del agua de la recarga son todas variables de decisión, y por tanto sujetos de ser determinados en el marco de la gestión integral de una cuenca” corroborando así, que la definición de Recarga Artificial ha evolucionado a “Gestión de la recarga de acuíferos” (MAR: Management of Aquifer Recharge o Managed Aquifer Recharge) como se describe en el punto 2 en la nota a pie de página.

¹ AR: Artificial Recharge. Se trata del acrónimo más empleado en foros internacionales de recarga artificial de acuíferos y en Internet junto con “MAR.” Se ha encontrado en tantas citas y documentación que, finalmente, y con el objetivo de homogeneizar con la comunidad científica internacional, se ha optado por emplear el término en las alusiones a “recarga artificial” a lo largo de todo el trabajo, a pesar de ser un acrónimo sajón. (Fernández Escalante,2010)

² MAR: Este término tiene su origen en el grupo de trabajo para el estudio de operaciones de recarga artificial fundado por la AIH en 1998 dirigido por Mr. Ivan Johnson, consultor del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), activista con más de 30 años de experiencia en investigación y desarrollo (I+D) y director del ASCE/EWRI (Standards Committee for Artificial Recharge). El grupo celebró su primera reunión en noviembre de 2000 con motivo del 30 aniversario de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (AIH). En tal acontecimiento se decidió modificar el término AR (*Artificial Recharge*) para referirse a operaciones de recarga artificial, por MAR (Management of Aquifer Recharge o Managed Aquifer Recharge) o gestión de la recarga de acuíferos, incorporando los procesos naturales de recarga y configurando una herramienta vital para el desarrollo sostenible de los recursos hídricos del planeta. (Fernández Escalante,2010)

2.2 Objetivos

Según la DGA (2012,2013) y Sánchez (2015) los principales objetivos de la recarga gestionada son:

- Almacenar en acuíferos, agua superficial excedente, evitando las pérdidas por evaporación, utilizando la función capacitiva del acuífero, e incrementando el volumen del recurso de agua disponible.
- Transvasar agua de un punto a otro, sin necesidad de obras de conducción, actuando el acuífero no sólo como almacén sino también como elemento de transporte. Así se utiliza el acuífero como un sistema de distribución de aguas.
- Crear barreras para:
 - Frenar el descenso regional del nivel de aguas subterráneas.
 - Frenar el avance de la intrusión marina.
 - Limitar la extensión del cono de drenaje producido por un drenaje minero u excavación subterránea.

2.3 Ventajas

Según la DGA (2012, 2013) las ventajas de la recarga gestionada respecto a otras obras o mecanismos hidráulicos de almacenaje de agua son:

- Reducir el descenso del nivel del agua producido por sobreexplotación.
- Utilización del acuífero como embalse regulador natural, favoreciendo la reducción de pérdidas por evaporación.

Otras ventajas de menor relevancia que pueden señalarse son:

- Utilización del acuífero como red de distribución, lo que permite reducir o evitar la construcción o instalación de obras de conducción o distribución.
- Permitir la compensación del efecto de pérdida de recarga natural producido por actividades antrópicas tales como modificación de cauces, urbanizaciones, drenajes, etc.
- Evitar que aguas de inferior calidad existentes en el acuífero se desplacen hacia las captaciones de buena calidad.
- Establecer una barrera hidráulica para controlar o “encapsular” focos de contaminación.
- Evacuación y depuración de aguas residuales tratadas, en la medida que las disposiciones vigentes lo permitan, a través de su infiltración en el terreno.
- Control de intrusión salina en zonas costeras.

2.4 Aspectos técnicos

2.4.1 Condiciones técnicas para una recarga gestionada exitosa

Según la CNR, (2013) y la DGA, (2012) el método a usar y su efectividad en la recarga, dependerá de varios factores:

- Disponibilidad de agua para recarga
- Calidad relativa del agua de recarga respecto a la del acuífero y la potencial respuesta frente a cambios de parámetro físico-químico de esta última.
- Relieve y topografía de la cuenca
- Ubicación de afloramientos y zonas de pérdida del cauce.
- Características Hidrogeológicas de la formación acuífera

Las condiciones favorables para la elección de un sector en específico para la recarga gestionada son: Un nivel estático profundo y un acuífero libre poco conectado con los cauces superficiales, así se asegura un volumen de recarga considerable y que no haya interferencia con los procesos de recarga naturales (MINVU 1996; DGA, 2006; CNR, 2013; Cabrera, 2014). También es favorable que el sector tenga una permeabilidad vertical y horizontal preferentemente alta y que esta permita infiltrar, almacenar y conducir las aguas recargadas para posteriormente poder extraerlas en los tiempos estipulados, en el lugar escogido (DGA, 2006; CNR, 2013; Cabrera, 2014; Sánchez, 2015). Por último un requisito previo en la gestión de la recarga gestionada de acuíferos es la disponibilidad de una fuente de agua próxima, con un volumen suficiente y con calidad necesaria (Fernández Escalante, 2010).

Existen otros factores que pueden hacer exitoso o no un proyecto de recarga gestionada, algunos de los cuales resultan relevantes en el caso de Chile. El más importante tiene que ver con la morfología de las cuencas de la mayor parte de los ríos originados en los contrafuertes cordilleranos andinos o en la misma cordillera, y que desembocan en el mar. Su carácter netamente torrencial, con pendientes longitudinales fuertes, hace que las napas que esas cuencas cobijan presenten también pendientes fuertes en la dirección de su flujo principal. Esto puede provocar que, producto de una subida de los niveles a causa de un proyecto de Recarga Gestionada, el domo que se genera se mueva rápido hacia aguas abajo y se amortigüe más debido a ese movimiento, con lo que la efectividad del proceso de recarga sería pequeña o, simplemente, esas nuevas aguas incorporadas a la napa se perderían rápidamente, más allá del área donde interesará recuperarlas mediante el bombeo (CNR, 2013; Cabrera, 2014).

Otro factor que resulta también relevante, tiene que ver con la presencia de embalses de regulación en la cabecera de los valles. En efecto, de existir un embalse que distribuye aguas en un cierto valle, sea para agricultura, minería u otro uso, parte de las aguas acumuladas allí se liberan en épocas de escasez a lo largo de un río o de canales, desde los que se genera una infiltración que, en la mayoría de los casos, ayuda a mantener relativamente alto el nivel de la napa, con lo que la efectividad de un proyecto de recarga gestionada quedaría limitada. Es más, ese tipo de recarga “natural” desde ríos o canales, resulta tanto o más eficiente que la de un proyecto de recarga gestionada que infiltre aguas sobrantes de invierno para aprovecharlas en la temporada de primavera o verano,

ya que justamente la recarga se estaría generando en el período en que pretende utilizarse (CNR, 2013).

2.4.2 Mecanismos de infiltración

Existen gran número de posibles variaciones en los dispositivos de recarga gestionada, dado que, en todos los casos, cada uno debe adaptarse a las condiciones y características de la zona donde se vaya a ubicar, en aras de lograr el máximo de rendimiento y efectividad (Fernández Escalante, 2010).

A continuación se enumeran y describen las distintas tipologías y dispositivos de los distintos mecanismos de infiltración en la recarga gestionada de acuíferos. Estos han sido clasificados por Bouwer (2002), UNESCO (2005), y Fernández Escalante (2010) en 4 grandes grupos divididos de acuerdo al sistema de Recarga:

1. Dispersión o distribución.
2. Modificación del Canal.
3. Pozos y perforaciones.
4. Filtración.

En la tabla 1 se hace un resumen de los mecanismos, y se señala si es de tipo infiltración superficial dentro o fuera del cauce, o si es un mecanismo de infiltración profundo en la zona vadosa o saturada.

Tabla 1. Resumen de los dispositivos MAR. Fuente: Elaboración propia con datos de Bouwer (2002), UNESCO, (2005) y Fernández Escalante (2011).

N°	Sistema	Tipo de dispositivo	Mecanismo de Infiltración
1	Dispersión o distribución	Estanque o balsas de infiltración	Superficial fuera del cauce
2		Canales y zanjas (ladera de cerro) de infiltración	Superficial fuera del cauce
3		Tratamiento suelo /acuifero (SAT)	Superficial fuera del cauce
4		Inundación y difusión controlada (campos de infiltración)	Superficial fuera del cauce
5		Recarga accidental por retornos de riego	Superficial fuera del cauce
6	Modificación del canal	Diques de retención y represas	Superficial dentro del cauce
7		Diques permeables/Presas de arena	Superficial dentro del cauce
8		Serpenteos o leves	Superficial dentro del cauce
9		Escarificación del lecho del río	Superficial dentro del cauce
10		Diques perforados	Superficial dentro del cauce
11	Pozos y perforaciones	Pozos en la zona vadosa	Profundo en zona vadosa
12		Zanjas de infiltración	Profundo en zona vadosa

13		Pozos de inyección directo al acuífero	Profundo en zona saturada
14		ASR	Profundo en zona saturada
15		ASTR	Profundo en zona saturada
16	Filtración	Bancos filtrantes en los lechos del río	Superficial dentro del cauce
17		Infiltración interdunar	Superficial fuera del cauce

A continuación se resumen las principales características de cada metodología, en base a la revisión de antecedentes detallada en el Anexo A.

2.4.2.1 Sistemas de dispersión o distribución

Se utilizan cuando el acuífero está cercano a la superficie y la infiltración se produce a través del medio permeable (UNESCO, 2005). Estos métodos requieren que el suelo sea de alta permeabilidad, y de acuerdo a la distribución de ésta, puede requerir más o menos superficie para infiltrar el caudal deseado (Jiménez, 2013). Los sistemas más utilizados son los siguientes:

Estanque o balsas de infiltración: Corresponde a obras, por lo general de geometría rectangular y de tierra, de poca profundidad destinadas a almacenar agua para su infiltración; la profundidad además del volumen asociado permite contar con “carga hidráulica” para reforzar el proceso de infiltración que se produce por el fondo. Estas obras de recarga suelen construirse en grupo ya sea en serie o con líneas en paralelo. La vida útil, con un adecuado mantenimiento, suele estar entre 10 y 20 años (DGA, 2012,2013).

Canales y zanjas (ladera de cerro) de infiltración: Corresponden a obras lineales de conducción de agua, de poca profundidad, que siguen la topografía del terreno (curvas de nivel); cumplen la función de interceptar el flujo superficial producido por la precipitación generalmente, la infiltración se produce por el fondo y por las paredes de la canalización (DGA, 2012,2013; CNR, 2013).

Tratamiento suelo /acuífero (SAT): Estanques de infiltración cuyo principal objetivo es el mejoramiento de la calidad de aguas residuales provenientes de plantas de tratamiento, a través de la limpieza natural que ejerce el suelo a medida que el agua percola a través de este (Murray R., 2009).

Inundación y difusión controlada (campos de infiltración): Se trata de extender agua por la superficie del terreno, normalmente mediante aspersion, de forma que se oxigena mucho el agua, creando un ambiente oxidante, que mejora la calidad bacteriológica del agua. Un caso particular corresponde a los denominados “campos de extensión o infiltración”, que son campos de labor agrícola sobre los que se aplican elevadas dotaciones de forma intencional, de modo de aprovechar la superficie existente para infiltración; esta técnica sólo es posible en situaciones de excedencia hídrica (DGA, 2012,2013).

Recarga accidental por retornos de riego: Históricamente el exceso de agua de riego en los canales y campos de cultivo ha causado numerosos problemas por inundación y salinización de los suelos. Sin embargo, cuando este exceso de riego está controlado y gestionado correctamente, puede convertirse en una técnica de recarga gestionada de los acuíferos subyacentes (UNESCO, 2005; Fernández Escalante, 2010).

2.4.2.2 Modificación del canal

De utilidad si la permeabilidad del lecho del río es adecuada y no se cuenta con otro sector para implementar un sistema de recarga diferente. También sirven de complemento para controlar crecidas (Jiménez, 2013).

Diques de retención y represas: Una variante de las grandes presas y represas. Son muros construidos en el cauce que retienen el agua y favorecen así la infiltración (Murray R., 2009).

Diques permeables/Presas de arena: Existen diversos tipos de diques por pequeñas diferencias de diseño. La función principal de los diques permeables es reducir la velocidad del flujo, aumentando el tiempo de permanencia del agua en la cuenca; mientras que las llamadas presas de arena además retienen el sedimento, formando un almacén artificial o reservorio aguas arriba de la presa (Fernández Escalante, 2010).

Serpenteos o levés: Son los serpenteos y levées, también llamados diques en “T” y en “L” (debido a la forma que tienen). Se instalan en los ríos para reducir la velocidad del agua y favorecer la recarga natural. Los serpenteos se disponen a ambos lados del canal, con objeto de reproducir el movimiento natural de los ríos meandriformes (Fernández Escalante, 2010).

Escarificación del lecho del río: Consiste en una alteración del lecho del río para aumentar la infiltración natural y recargar el acuífero subyacente (Fernández Escalante, 2010).

Diques perforados: Los diques perforados suelen emplearse en cauces de ríos efímeros, con flujo rápido y con un alto contenido de sólidos en suspensión. En ellos el tiempo de residencia del agua en la cuenca es insuficiente para que se produzca su infiltración y ésta suele perderse por evaporación, como aportes a otros ríos o al mar (Fernández Escalante, 2010).

2.4.2.3 Pozos y perforaciones

En general son utilizados en lugares donde no se dispone de terrenos para implementar un sistema de infiltración superficial o el suelo permeable se encuentra a una profundidad considerable. La colmatación es el factor crítico debido a la dificultad para realizar limpiezas y el alto costo de las instalaciones (UNESCO, 2005).

Pozos en la zona vadosa: Pozos que inyectan el agua en la zona no saturada del acuífero cuando el suelo permeable se encuentra a una profundidad considerable o no

existe disponibilidad de terreno en superficie para construir métodos de distribución. Puede ser implementado como sistema SAT (Bouwer, 2002; Jiménez, 2013).

Zanjas de infiltración: Zanjas de 2 a 5 metros de profundidad rellenas con material graduado donde el agua es aplicada mediante una tubería perforada en la parte superior de la zanja (Bouwer, 2002; Jiménez, 2013).

Pozos de inyección directo al acuífero: La inyección se realiza a través de pozos o sondajes profundos, por gravedad o mediante presión. El agua se inyecta bajo el nivel piezométrico. Es importante cuidar la forma de inyección de forma de evitar turbulencias y desprendimiento de CO₂, que podría ocasionar la formación de incrustaciones calcáreas en los filtros. Por lo general la vida útil de obras adecuadamente operadas suele ser de 5-10 años (CNR, 2013).

Almacenamiento y recuperación (ASR): Este método de recarga gestionada de acuíferos consiste en un único pozo de inyección, el cual es utilizado tanto para la inyección como para la recuperación del agua recargada (Fernández Escalante, 2010).

Almacenamiento, transporte y recuperación (ASTR): Los ASTR “Aquifer Storage Transfer and Recovery” o “Almacenamiento en Acuífero, Transferencia y Recuperación”, el agua es inyectada en un sondeo y se recupera a través de otro/s distinto/s, situado/s a una distancia variable, en ocasiones de varios kilómetros (Fernández Escalante, 2010).

2.4.2.4 Sistemas de filtración

Los dispositivos de filtración son sistemas que utilizan tanto instalaciones artificiales ya existentes como ambientes naturales, con objeto de introducir algunas modificaciones antrópicas que permitan aumentar la tasa de infiltración o recarga natural (Fernández Escalante, 2010).

Bancos filtrantes en los lechos del río: En aquellos casos en los que el río cede agua al acuífero, el propio aluvión sirve de filtro, depurando en gran medida las aguas fluyentes, casuística que es aprovechada por el hombre para ubicar pozos de extracción y utilizar las aguas filtradas de esta manera (Fernández Escalante, 2010).

Infiltración interdunar: En este método, los valles entre dunas costeras de arena son inundados con agua de ríos; el agua se filtra al interior de los sedimentos subyacentes y crea un volumen de agua de recarga. Este volumen puede tener un rol importante en cuanto a prevenir la intrusión salina, además de ser una fuente de agua para utilizar tierra adentro (CNR, 2013).

Un objetivo principal de este tipo de obras es la mejora de la calidad de agua del cuerpo receptor usualmente con niveles de salinidad importantes (CNR, 2013).

2.4.2.5 Ventajas y desventajas

Se presenta en la Tabla 2, las ventajas y desventajas de los mecanismos profundos y superficiales:

Tabla 2. Factores, Ventajas y desventajas de los métodos de recarga gestionada superficiales y en profundidad.
Fuente: DGA (2012).

FACTOR	MÉTODOS	
	SUPERFICIALES	EN PROFUNDIDAD
Precio y disponibilidad del terreno	Puede ser muy difícil o imposible establecerlos en zonas pobladas o muy cultivadas, al no disponer de espacio o por ser los terrenos muy caros. Precisa en general terrenos baratos, así como de grandes superficies si se quieren infiltrar importantes volúmenes de agua	Precisan poco espacio, por lo que el costo del terreno es menos relevante.
Factores estéticos y ambientales.	Pueden presentar problemas de proliferación de insectos y roedores. Requieren cercados y vallas para proteger a personas y animales	Por las limitadas dimensiones de los sitios utilizados para las instalaciones, su influencia estética o ambiental es mínima
Permeabilidad del acuífero	En general, requieren terrenos con permeabilidades medias y altas, ya que permeabilidades bajas exigen grandes extensiones de terreno para poder recargar volúmenes apreciables de agua	Estos métodos se emplean de una forma generalizada en terrenos formados por una alternancia de niveles permeables e impermeables, o cuando existen niveles poco permeables entre la superficie del suelo y el acuífero.
Construcción de instalaciones	Pueden requerir obras u acondicionamientos previos del terreno para nivelarlo, retirar coberturas poco permeables o arcillosas, retirar vegetación, obtener diques resistentes, construir estructuras para la conducción del agua, etc. La construcción de algunas instalaciones, como por ejemplo aquellas que llevan aparejadas un embalse de vaso permeable, puede resultar muy compleja	En general no son complicadas.
Caudal recargable	Puede llegar a ser muy grande	Notablemente inferior si se compara con el medio de las instalaciones superficiales.
Pérdidas por evaporación	En determinados casos pueden ser importantes. Dependen del tamaño de las instalaciones. Los valores de evaporación no superan en general, los 0.005 m/día	Nulas.
Requisitos de calidad	Pequeños ya que se puede aprovechar el poder autodepurador de la zona no saturada.	Grandes, ya que el agua se introduce directamente en el acuífero. A veces implica un costo de pretratamiento importante.
Colmatación	Los problemas derivados de la colmatación pueden ser	Presentan una gran susceptibilidad a la colmatación.

	importantes. El agua introducida debe presentar un bajo contenido de sólidos en suspensión.	
Grado de depuración del agua en el terreno (antes de llegar a la napa)	Grande. El paso del agua por el medio no saturado genera una gran eliminación de eventuales contaminantes.	Pequeño o nulo.

2.4.2.6 Colmatación

La colmatación o clogging corresponde a cualquier acumulación de un factor físico, químico o biológico en la superficie de recarga, y que provoca una disminución en la tasa de infiltración. Entre ellos se encuentran la acumulación de sólidos suspendidos, crecimiento de microorganismos y precipitación de elementos químicos, entre otros. Otros factores que influyen en la capacidad de infiltración son la presencia de aire en la zona no saturada y la temperatura tanto del agua de recarga como la del acuífero (Bouwer, 2002).

El control de la colmatación viene dado principalmente, primero por la prevención en el diseño, y luego mediante la operación del sistema de recarga. Algunas medidas consisten en la construcción de sedimentadores o filtros de arena previo a la recarga, operación con ciclos de carga y descarga, realizar sesiones de autolavado (backwashing), limpieza manual o mecánica y cloración entre otras soluciones (Bouwer, 2002).

2.4.3 Calidad de aguas a infiltrar

Las exigencias de calidad para las aguas utilizadas en un proyecto de recarga gestionada son diferentes de acuerdo a su origen, ya que pueden ser naturales o corresponder a residuos líquidos.

En caso de que sea un proyecto que infiltra aguas naturales, sean éstas de la misma cuenca o de otra, la exigencia en la calidad del agua vertida es que debe cumplir con la Norma de calidad de agua de riego (NCh 1333 Of 78), salvo en los parámetros en que el agua de la misma napa no lo cumpla, para lo cual ése será el límite admisible para el agua de recarga. Si la recarga de estas aguas naturales son directas al acuífero, la exigencia en la calidad del agua vertida es que debe ser igual o mejor que la de la napa (Cabrera, 2013; CNR, 2013).

En el caso de recargas con residuos líquidos, el Decreto Supremo N°46 de 2003 (DS46) (CONAMA, 2003) determina las concentraciones máximas de contaminantes permitidas en los residuos líquidos que son descargados por una fuente emisora, a través del suelo, hacia las zonas saturadas de un acuífero, usando obras destinadas a ello. Estos residuos líquidos o aguas residuales, están definidos en la norma, como las aguas que se descargan después de haber sido usadas en un proceso, o producidas por éste, y que no tienen ningún valor inmediato para ese proceso, según se establece en la definición contenida en la NCh 410. Of 96. (CNR, 2013).

El DS46 establece en sus tablas los valores característicos para una fuente emisora, de modo que aquéllas que alcanzan contenidos menores a éstos, quedan exentas de los

requisitos que éste impone. La norma fija límites máximos de emisión en términos totales, para los acuíferos según su vulnerabilidad. La Tabla 1 del DS46 fija los límites máximos si se trata de un acuífero de vulnerabilidad calificada como media y la Tabla 2 del DS46 (Ver Decreto Supremo 46) si ésta es baja (CNR, 2013). Si la vulnerabilidad del acuífero es calificada como alta, sólo se podrá disponer residuos líquidos mediante infiltración, cuando la emisión sea de igual o mejor calidad que la del contenido natural del acuífero (CNR, 2013).

2.5 Aspectos legales en Chile

La CNR en su estudio “Estudio diagnóstico de zonas potenciales de recarga de acuífero en las regiones de Arica y Parinacota a la del Maule” (2013) resume los aspectos legales de la recarga gestionada de acuíferos en Chile. Los detalles legales se presentan en el Anexo B.

La ley establece en forma explícita que los derechos otorgados con cargo a la recarga artificial mantienen siempre su calidad de provisionales, mientras dicha recarga permanezca en el tiempo.

Por otra parte, el Código de Aguas, en acuíferos o sectores acuíferos declarados de prohibición, no admite posibilidad de nuevas explotaciones ni nuevos derechos de agua subterránea; esto, sin hacer distinción del tipo de explotación de que se trate. Por tanto, no hace distinción o excepción en el caso de la recarga artificial.

Por el contrario, se hace una distinción expresa cuando se trata el tema de áreas de restricción, donde se establece la facultad de otorgar derechos provisionales a partir de recarga, estableciéndose además que no es necesario que se haya declarado área de restricción previamente para otorgar derechos provisionales.

Por su parte, las Normas de la DGA de aguas subterráneas señalan que los titulares de derechos vigentes asociados a un proyecto de recarga artificial formarán parte de la comunidad de aguas que se origine.

En zonas de prohibición la recarga artificial es un factor que potencialmente puede recuperar el estado del acuífero, ya que es una de las causales a la que puede acudir para alzar esa prohibición en una cierta zona, si se modifican las condiciones que motivaron la declaración de zona de prohibición.

De esto se desprende que la recarga podrá modificar la condición de limitación (zona prohibición) pero no admite “nuevas explotaciones”. Un proyecto de recarga artificial permitirá que con captaciones correspondientes a derechos existentes, se pueda extraer un volumen adicional al establecido como regla general dentro de la zona de prohibición, por cuanto es agua “nueva”, que no corresponde que se someta a distribución o limitaciones que aplican en esa zona.

En suma, en una zona de prohibición, donde se construya un proyecto de recarga artificial, el objetivo de las obras será complementar derechos existentes del titular. Dependiendo de la naturaleza de las obras, pueden presentarse dos situaciones:

- Obras dentro de un cauce natural.
- Obras fuera de un cauce natural.

Para el primer caso la legislación señala que cualquier modificación de cauce, natural o artificial, requiere la autorización previa de la DGA. El propósito de esta aprobación es que la autoridad verifique que las obras no produzcan alteración que entorpezca el libre escurrimiento de las aguas y que no signifique peligro para la vida o salud de los habitantes.

En el segundo caso, no se requiere autorización previa, si es que la obra de captación del agua para recarga no afecta un cauce natural. Sin embargo, si se trata de obras de ciertas características y magnitud, que define el Art.294 del Código de Aguas, sí será necesaria la autorización.

2.6 Estudios y experiencia internacional

Existen experiencias exitosas de recarga gestionada en varios países del mundo, las que tienen el respaldo de años de trabajo sistemático previo que se inició en algunos casos en la década del 60 y antes. Así por ejemplo se puede citar el caso de Estados Unidos, donde proyectos de manejo de recarga de acuíferos en Arizona se iniciaron como fase experimental en las décadas del 60 al 80, para luego pasar a una etapa de proyectos demostrativos, en las décadas de los 80 y 90. Luego de ello se implementaron obras de recarga de gran capacidad, desde la década del 90 hasta fines de la primera década del siglo XXI, para pasar finalmente en los últimos años 5 años a implementar obras complementarias, de capacidad media y pequeña (LLuria, 2011.).

También hay experiencia acumulada en los proyectos de recarga del Orange County de California, así como en las obras que se han utilizado para recarga de acuíferos en varios países europeos (España, Finlandia, Alemania, Holanda, etc.) y para tratamiento suelo acuífero (S.A.T.: soil aquifer treatment) como es el caso de Israel y otros (DGA, 2012).

Respecto a algunas de las experiencias europeas en recarga gestionada de acuíferos, ella se ha sintetizado en diversos trabajos (López Geta y Murillo, 1999; Sahún y Murillo, 2000). A continuación se muestra un resumen:

Finlandia: En la actualidad dispone de 28 plantas de recarga gestionada, con capacidades de hasta 21.000 m³/d. El porcentaje que la recarga gestionada supone sobre el total del agua destinada a abastecimientos urbanos se cifra en el 9%. La recarga inducida supone otro 9% (Hatva, 1996).

Suecia: Existen varios sistemas de abastecimiento situados en Ekerö, Eskilstuna, Gavie, Uppsala y Estocolmo que utilizan la recarga gestionada como fuente de agua. Estos sistemas abastecen a poblaciones de entre 2.500 y 150.000 habitantes. Las plantas tienen capacidades de entre 1.000 y 55.000 m³/d (Hjort y Ericsson, 1996).

Alemania: En este país el agua subterránea aporta 3.100 hm³/año al abastecimiento urbano representando esta cantidad el 63,5% del total destinado a tal fin. De esos 3.100

hm³/año, aproximadamente 520 hm³/año se proporcionan mediante recarga gestionada de acuíferos (Schöttler, 1996).

Dinamarca: En este país el 99% del agua suministrada para consumo humano es de origen subterráneo. En la actualidad, está operativa una planta industrial experimental, situada en la isla de Zealand, construida por la compañía de abastecimiento a Copenhague (Brandt, 1998).

Holanda: La ciudad de Amsterdam se abastece en un 65% con agua cuyo origen proviene de la recarga gestionada de acuíferos. La instalación de recarga se sitúa en una zona de dunas situada en Zandvoort a unos 30 km al norte de la ciudad. El agua del río Rhin se transporta desde una distancia de unos 55 km (Jos, 1996).

En otros países europeos, como Austria y Hungría, se utiliza la tecnología de la recarga gestionada de acuíferos para el abastecimiento a ciudades como Viena (30 hm³/año) o Budapest (180 hm³/año). Mediante la técnica de la recarga inducida, utilizando las aguas del río Danubio, se depuran las mismas a través del proceso de infiltración. Posteriormente son recuperadas por bombeo y puestas en la red de abastecimiento (Dreher y Gunatilaka, 1998; László y Literathy, 1996).

En la generalidad de los países señalados, las obras de recarga gestionada están asociadas a sistemas acuíferos de gran extensión y muy baja pendiente, lo que permite recargarlos con recursos superficiales excedentarios de invierno o a través de aguas servidas tratadas, para su posterior uso en los períodos en que se requiera. En nuestro país en cambio, los cauces y sistemas acuíferos del norte y centro del país, se desarrollan desde la cordillera al mar en un tramo corto de poco más de 200 km, lo que les confiere una pendiente fuerte y régimen de escurrimiento torrencial, lo que representa una desventaja para la recarga de acuíferos en relación a las condiciones observadas en los países señalados (DGA, 2012).

2.7 Estudio y experiencia en Chile

A nivel mundial la implementación de proyectos de recarga gestionada de acuíferos ha tenido gran cantidad de casos satisfactorios, sin embargo en Chile esta experiencia es escasa, por falta de investigaciones y de una legislación efectiva. Es por esto que en los últimos años las instituciones públicas han impulsado estudios y proyectos acerca del tema en cuestión, sin embargo no existen estudios anteriores de recarga gestionada de acuíferos en la cuenca del río Mataquito.

De acuerdo a lo anterior los estudios realizados en Chile se detallan a continuación³:

Investigación Recarga Artificial cuencas del río Choapa y Quilimarí, Región de Coquimbo, SIT N° 292; DEP-DGA, AC Ingenieros Consultores Ltda.; 2012. Estudio licitado por la DGA y desarrollado por AC Ingenieros Consultores Ltda, desarrollado el año

³ Fuente: "Análisis y síntesis preliminar de iniciativas sobre recarga artificial en Chile", Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas. Septiembre 2013

2012 , tiene como objetivo principal determinar las potenciales zonas para implementar proyectos de recarga artificial en las cuencas en estudio.

Mejoramiento de sistemas de aguas subterráneas para utilización de riego en la cuenca del río Copiapó. CNR, Jorquera y Asociados SA. Noviembre 2012. Estudio licitado por la Comisión Nacional de Riego y ejecutado por Jorquera y Asociados SA. En 2012, tiene como objetivo principal analizar potenciales zonas y alternativas de obras de recarga gestionada para uso de riego en la cuenca del río Copiapó.

Mejoramiento de agua subterránea para riego, Ligua y Petorca. CNR, GCF Ingenieros Ltda.; Enero 2013. Este estudio tiene como objetivo analizar alternativas y desarrollar, a nivel de prefactibilidad, obras de recarga gestionada de acuíferos en las cuencas de Ligua y Petorca.

Análisis de alternativas piloto recarga artificial Ligua, Petorca, V Región. CNR, Aquology Medioambiente Chile SA. Agosto 2013. Continúa el estudio anterior para formular plan piloto para recarga de acuíferos de los valles de La Ligua y Petorca mediante sistemas de lagunas de infiltración.

Estudio diagnóstico de zonas potenciales de recarga de acuíferos en las regiones de Arica y Parinacota a la Región del Maule. CNR, GCF Ingenieros Ltda. Marzo 2013. El objetivo principal de este estudio es identificar las zonas con mayor potencial, para la implementación de obras de Recarga Artificial, en las cuencas en estudios, mediante el diseño de un índice de recarga compuesto, que incluye los principales factores decisivos.

Estudio recarga artificial de acuíferos en el valle de Aconcagua usando derechos eventuales del fisco. DOH, Ernesto Brown. Enero 2012. Este informe final tiene por objeto relatar el avance del proyecto de recarga gestionada de acuíferos (recarga inducida) en la cuenca del río Aconcagua, a lo largo del segundo semestre de 2011, y entregar los resultados de los principales análisis hidrológicos realizados; concepciones de proyectos alternativos y complementarios que podrían desarrollarse (DGA, 2013).

Análisis de potencialidad de recarga artificial de acuíferos 1ª y 3ª sección valle del Aconcagua. DOH, GeoHidrología Consultores. 2012. El objetivo principal de este estudio es el análisis de la factibilidad hidrogeológica de realizar distintas alternativas de proyecto de recarga gestionada en los acuíferos de la primera y tercera sección del río Aconcagua, mediante una simulación numérica en el software Modflow (DGA, 2013).

Estudio e Implementación de un Plan Piloto de Recargas Artificiales a los Acuíferos del Valle del Aconcagua; DOH, GeoHidrología Consultores; en ejecución. Actualmente la Dirección de Obras Hidráulicas está implementando un proyecto de recarga gestionada, en la cuenca del río Aconcagua.

Caracterización de la cuenca del Río San José para la implementación de un programa de recarga artificial de acuíferos, proyecto agosto 2012- agosto 2014. Encargado al Instituto Nacional de Hidráulica (INH) por el Gobierno Regional de Arica y

Parinacota. El principal objetivo es caracterizar la cuenca del río San José del para la implementación de un programa de recarga gestionada de acuíferos.

3. Antecedentes generales

3.1 Ubicación y vías de acceso

La zona de estudio se ubica en la zona norte de la séptima región de Chile, Región del Maule, específicamente al interior de la cuenca del río Mataquito, que se divide en 3 subcuencas: subcuenca del río Mataquito, subcuenca del río Teno y subcuenca del río Lontué (Ver figura 1). El área de estudio corresponde a éstas 2 últimas, abarcando un total de 4639,5 km². Cabe mencionar que las subcuencas en estudio se separan de la del río Mataquito en la localidad de Sagrada Familia, punto donde los ríos Lontué y Teno convergen, y abarcan las comunas de Curicó, Molina, Rauco, Romeral, Sagrada Familia, San Clemente y Teno.

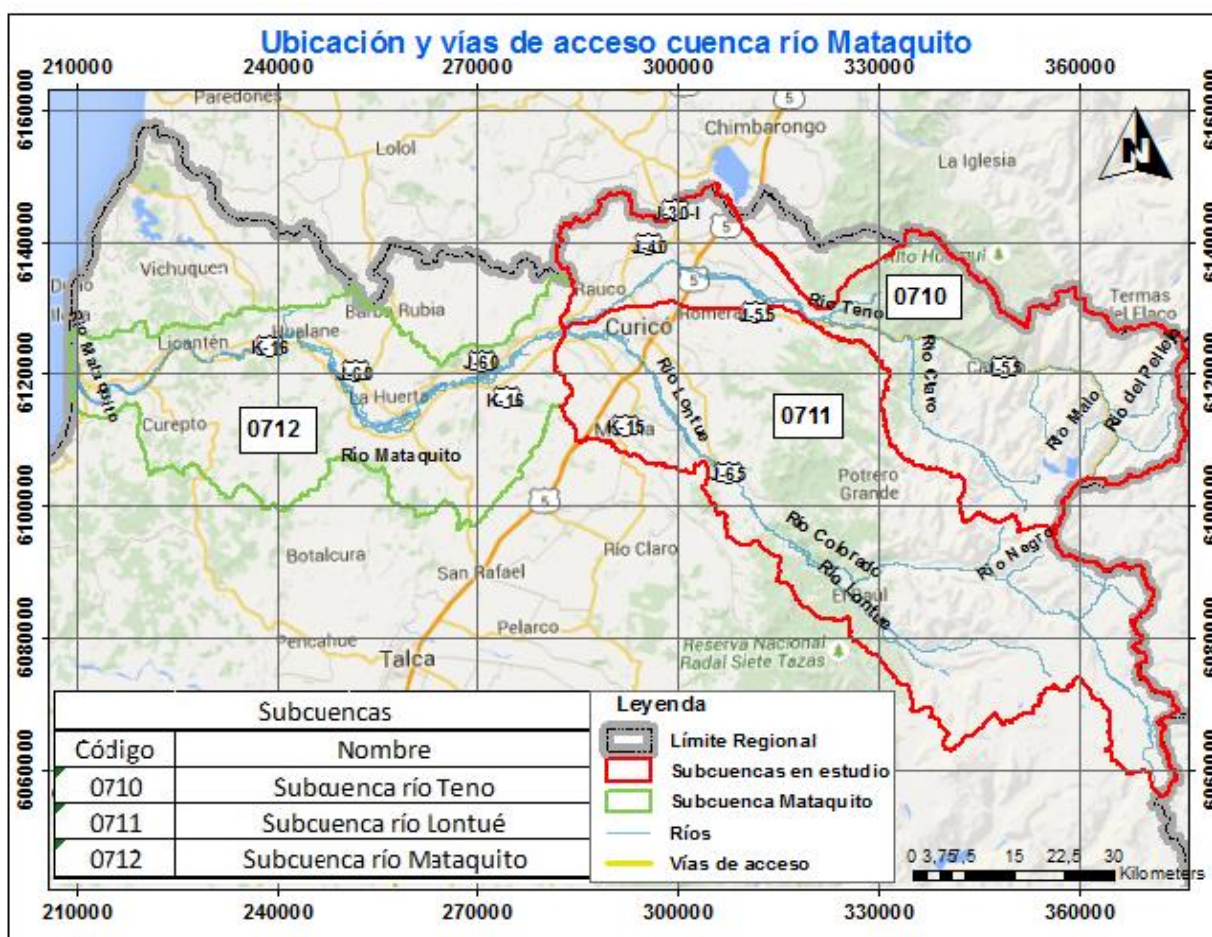


Figura 1. . División de la Cuenca del río Mataquito en 3 subcuencas: subcuenca del río Teno (rojo), río Lontué (rojo) y río Mataquito (verde) con sus principales vías de acceso. En rojo se observa la zona de estudio. Proyección UTM, DATUM WGS1984, Huso 19 sur. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a las vías de acceso al lugar, la principal es la Carretera Ruta 5 Sur, que se conecta con las vías J-55 y J-65 para ingresar a las zonas más orientales de las cuencas, como se puede ver en la figura 1. Por otro lado también se puede hacer ingreso a las

cuencas del río Teno y Lontué por las vías j-60 y k-16 viniendo desde la costa. Otras vías de ingreso son J-30-I y J-40 desde el Norte, y k-15 desde el sur.

3.2 Geomorfología y relieve

De acuerdo con la DGA, (1978) los rasgos geomorfológicos que predominan en la cuenca del río Mataquito son una continuación de los que se han desarrollado a lo largo de la zona central del país: Cordillera de los Andes o Principal, Pre-cordillera, Depresión intermedia o Valle Central; Cordillera de la Costa y Planicies Litorales.

El área de estudio de este trabajo de memoria corresponde a la cuenca de los ríos Teno y Lontué que forma parte de la cuenca del río Mataquito (Ver Figura 1), por lo que sus rasgos geomorfológicos corresponde solo a Cordillera de los Andes, Pre-cordillera y Valle central (Ver figura 2), además se reconocen otras formas particulares, especialmente en la zona de la depresión intermedia, donde se desarrollan los llamados Cerrillos de Teno, depósitos de origen sedimentario – Volcánico que están rellenoando gran parte de la cuenca intermedia.

La Cordillera Principal presenta un relieve dado principalmente por el abundante material volcánico cuaternario, que ha formado un extenso plateau, sobre el cual sobresalen algunas cumbres importantes, que sobrepasan los 2.500 m.s.n.m. Resaltando sobre ese relieve relativamente llano de basaltos y andesitas, hay algunos cráteres de volcanes que dieron origen a esta cubierta, como es el caso del Volcán Planchón (DGA, 1978). Este plateau ha sido profundamente disectado por valles de origen glacial, por los cuales escurren los actuales cursos de agua que conforman la hoya (DGA, 1978).

La Precordillera se presenta conformando un plano inclinado con pendiente hacia el Oeste, compuesto principalmente por rocas sedimentarias y volcánicas, de origen continental y edad cretácicas y/o terciaria. Sobre este plano, se elevan algunas cumbres de composición granítica o similar, relictos de la erosión que afectó a todo el sistema. La zona precordillerana también muestra profunda disecciones de valles glaciales y una cubierta de cenizas volcánicas y piroclastos en esos valles (DGA, 1978).

La depresión intermedia corresponde a una fosa de origen tectónico, que está limitada al este y al oeste por sistema de fallas de rumbo aproximado NNE-SSW. Esta fosa ha sido rellena con los productos de la erosión glacial, fluvial, fluvio-glacial y eólica de las zonas altas que la rodean, o sea, La cordillera Principal y Precordillera por el este, y la Cordillera de la Costa hacia el oeste (DGA, 1978). Presenta una suave pendiente hacia el Oeste, como un plano levemente inclinado, sobre el cual destacan los lomajes aislados y suaves que muestran los Cerrillos de Teno. Se encuentra disectada por, ríos y esteros, de valles poco profundos y relativamente anchos.

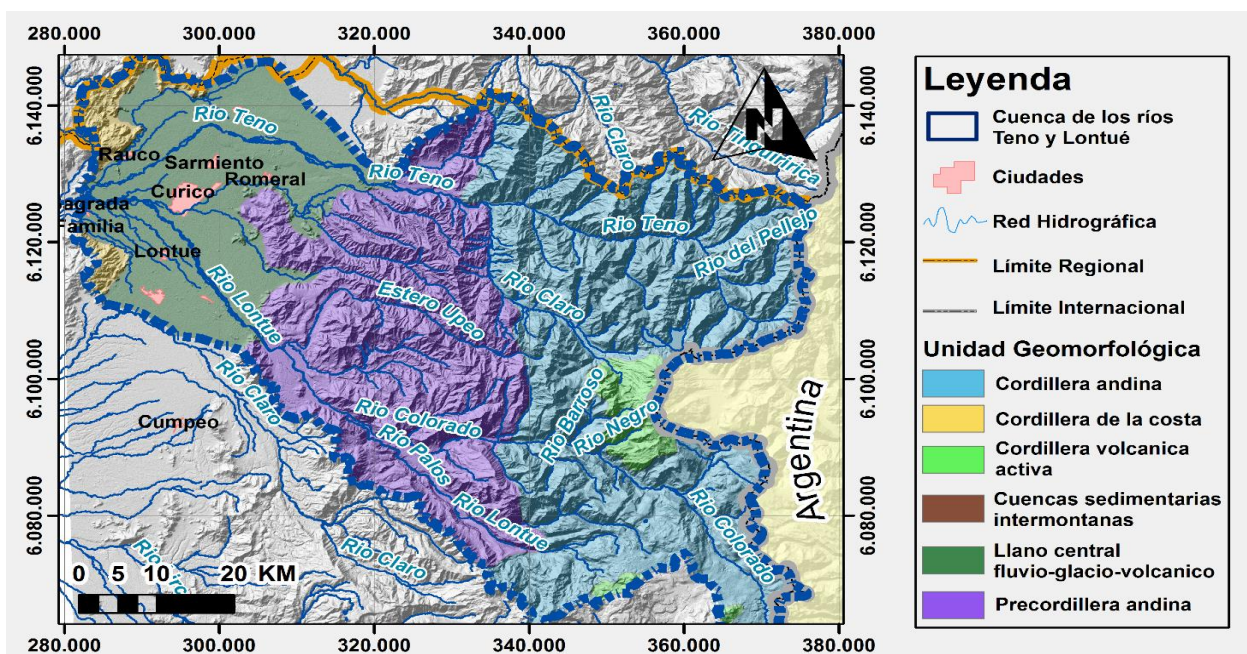


Figura 2. Rasgos geomorfológicos de la cuenca de los ríos Teno y Lontué. Fuente: Elaboración propia con los datos shapefile de Albers (2012). Proyección UTM, DATUM WGS1984, Huso 19 sur.

Hacia el límite sur de la hoya, una característica importante del valle central, es la presencia de cenizas volcánicas en superficie. Estas cenizas o tobas continúan hacia el sur en la hoya del río Maule y presentan un relieve ondulado característico, de lomajes suaves, cruzado por una abundante de red de drenaje de corto recorrido y escasa superficie hidrográfica que se ha sobre impuesto (DGA, 1978).

La figura 2 resume los rasgos Geomorfológicos de la zona.

3.3 Estructuras

Las fallas pueden modificar la permeabilidad local del relleno sedimentario o imponer barreras al expedito escurrimiento subterráneo, ya que influyen en la configuración hidrogeológica de cuencas sedimentarias tectónicamente activas (Hauser, 1995). Los planos de estratificación y las fracturas conceden espacios favorables para el almacenamiento y escurrimiento del agua subterránea; la disposición de estas estructuras resulta determinante para condicionar la magnitud y trayectoria preferencial de los flujos de agua. Las transmisibilidades más elevadas suelen estar asociadas a la presencia de pliegues anticlinales, a zonas de rocas fuertemente fracturadas o al piso de valles (Davis y De Wiest, 1971).

En la zona pre-andina, las fallas alcanzan un escaso desarrollo, en términos de continuidad, ancho y desplazamiento; estos, normalmente producen solo leves modificaciones en los rasgos morfológicos preexistentes (Hauser, 1990).

El Valle Central ha sido interpretado como una estructura del tipo graben, limitado lateralmente por extensas y profundas fallas regionales, que generaron una amplia depresión en la cual se segregaron, en el área, depósitos de acuerdo a diversos procesos de relleno sedimentario; por ello es que las características de estos depósitos varían

lateralmente. En la actualidad, estas fallas limitantes del Valle Central son de difícil detección en el área estudiada, ya que están obliteradas por la acción erosiva y la sedimentación cuaternaria (Hauser, 1995).

De acuerdo a Alfaro, 2011; y DGA, 2012, las fallas de la zona de estudio son las siguientes (Ver figura 3):

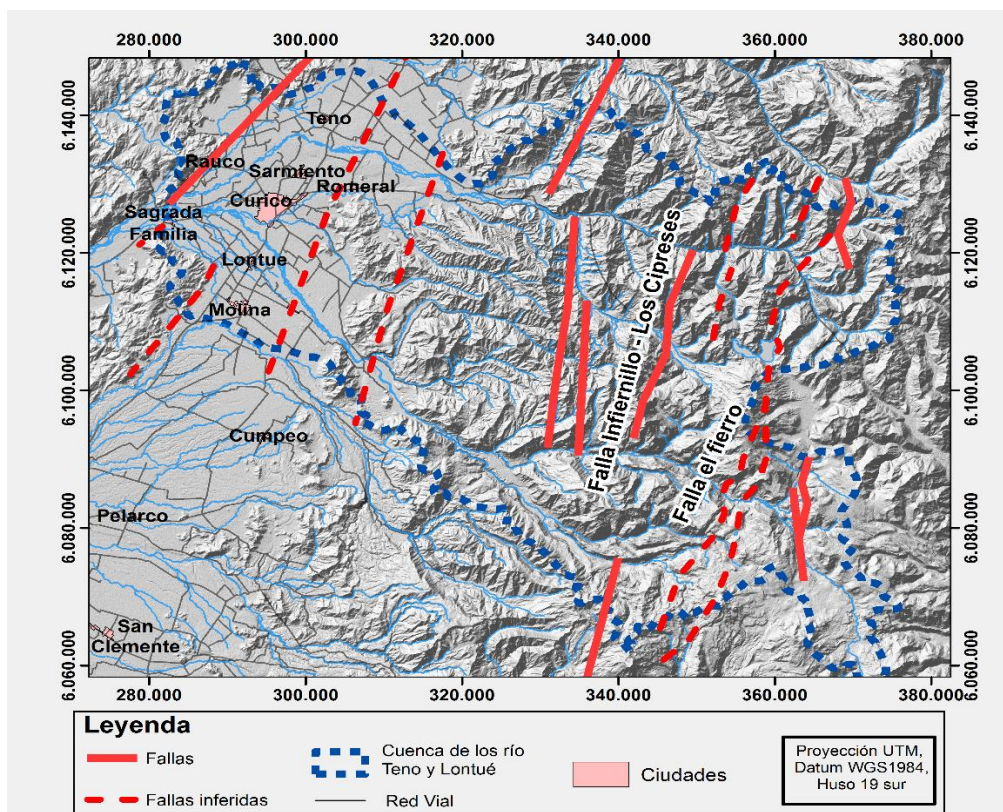


Figura 3. Estructuras ubicadas en el área de estudio. Fuente: Elaboración propia con datos de Alfaro (2011) y DGA (2012).

3.4 Hidrografía

La cuenca de los ríos Teno y Lontué forma parte de la VII Región del Maule y posee una extensión de 4648 km². Su Hidrografía la constituye el Río Teno y Lontué con sus tributarios (Ver figura 4).

El río Teno, uno de los principales ríos del sistema, tiene las cabeceras de sus formativos en las lagunas del Teno. Se forma de la confluencia de los ríos del Nacimiento y Malo y drena un área de 1893 km², con un recorrido de 102 km. El río Malo es el emisario de las dos lagunas de Teno, situadas en serie inmediatamente al norte del volcán Planchón. Las lagunas comprenden una superficie de 9 km² a 2.567 m s.n.m. El más importante tributario por el sur es el Claro, que se le une en Los Queñes, a unos 30 km del nacimiento, el cual ocurre en la zona englaciada del volcán Planchón (DGA, 2004).

El río Lontué posee una cuenca de 2510 km² y un franco rumbo al NW en todo su curso. Se forma en la cordillera andina de la reunión de los ríos Colorado y Patos de San Pedro

a 48 km al SE de su junta con el Teno. Tomando en cuenta el Colorado, que es el más importante de sus afluentes, la longitud total del Lontué asciende a 126 km. El Lontué recibe por su flanco derecho dos tributarios de cierta importancia, los esteros Upeo-Upeo y Chequenlemillo, que afluyen en pleno Valle Central (DGA, 2004).

El río Teno, que drena la porción norte del área, confluye con el río Lontué que drena la porción sur, originando el río Mataquito. Dicha conjunción se produce a 12 km al Oeste de Curicó: desde aquí el Mataquito serpentea por un valle ancho en dirección general al Oeste hasta desembocar en mar abierto.

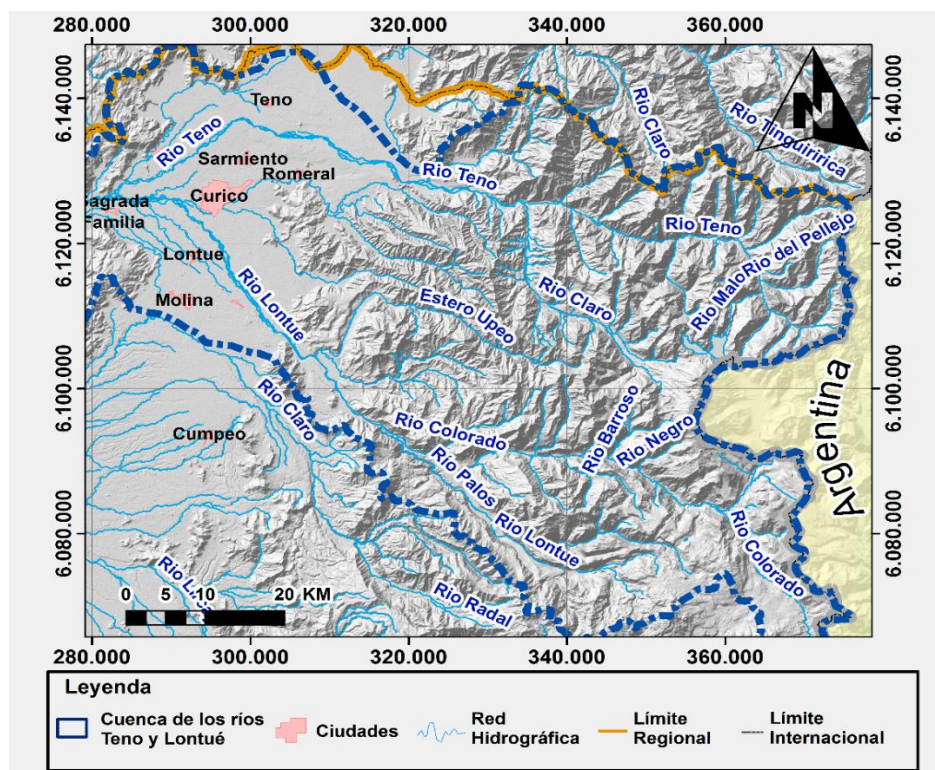


Figura 4. Red Hidrográfica cuenca de los ríos Teno y Lontué. Fuente: Elaboración Propia. Proyección UTM, DATUM WGS1984, Huso 19 sur.

3.5 Antecedentes climáticos

De acuerdo con la DGA (2004): La cuenca del río Mataquito se encuentra bajo la influencia de un clima mediterráneo, es decir, existen al menos dos meses consecutivos del verano con déficit hídrico.

La condición geomorfológica general determina la existencia de ombroclimas que varían de húmedo a subhúmedo, dependiendo de los montos de precipitación.

Las variaciones pluviales sumadas a las diferencias térmicas que ocurren en la cordillera andina, especialmente en lo que se refiere a la amplitud térmica anual o continentalidad, definen en su conjunto dos tipos bioclimáticos en la cuenca, estos son:

- Mediterráneo pluviestacional – oceánico: influyendo los sectores costeros, la Cordillera de la Costa, el Valle Central y los pisos inferiores de la Cordillera de los Andes, bajo los 2.000 m s.n.m (DGA, 2004).
- Mediterráneo pluviestacional – continental: se encuentra en las zonas andinas altas por sobre los 2.000 m s.n.m., cuyo régimen ombrotérmico está dado por el efecto que ejerce la altitud sobre la continentalidad (DGA, 2004).

La temperatura media anual es de 19° C, con una máxima de 30° C y una mínima de 7° C. El período seco es de seis meses y la precipitación promedio anual es de 740 mm (DGA, 2004).

4. Caracterización hidrológica.

En este punto solo se desarrollará el estudio fluviométrico dados los objetivos de este trabajo, la pluviometría se deja para un trabajo futuro.

4.1 Introducción

El análisis fluviométrico de la cuenca de los ríos Teno y Lontué tuvo por objetivo generar series estadísticas de los caudales medios mensuales para el período 1964/65 – 2014/2015, en los distintos cauces del área de estudio que cuentan con control fluviométrico, para así disponer de una herramienta que permita generar caudales en cuencas no controladas.

Se seleccionaron un total de 9 estaciones fluviométricas considerando su distribución y extensión en el área de estudio. Las estaciones de monitoreo escogidas corresponden a las pertenecientes a la Dirección General de Aguas en la hoya hidrográfica del río Mataquito (Ver figura 5).

La información relacionada a las estaciones se ha extraído del portal de “Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea” en la página web de la Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras públicas.

4.2 Recopilación de información

Se recopilaron las estadísticas de los caudales medios mensuales observados de las estaciones seleccionadas para este estudio, estas se indican en la tabla 3 y su ubicación se muestra en la figura 5.

Tabla 3. Estaciones fluviométricas seleccionadas .Las Coordenadas UTM, corresponden al DATUM WGS 84, Huso 19 Sur. Fuente: DGA (2010)

Nº	Estación	Coordenadas UTM (m)		Periodo
		E	N	
1	Río Teno bajo la Quebrada Infiernillo	350.653	6.120.275	1985-2011
2	Río Teno en Los Queñes	334.637	6.125.762	1938-1985
3	Río Claro en Los Queñes	334.673	6.125.177	1929-2011
4	Río Teno después de la Junta con el Río Claro	333.627	6.125.696	1947-2011
5	Estero El Manzano antes de la Junta con el Río Teno	322.518	6.128.624	1959-1984
6	Río Teno en el Puente Ferrocarril	300.576	6.136.048	1962-1976
7	Río Colorado en Junta con el Río Palos	317.663	6.093.776	1917-2011
8	Río Palos en Junta con el Río Colorado	316.498	6.094.033	1947-2011
9	Estero Upeo en Upeo	309.381	6.105.290	1963-2011

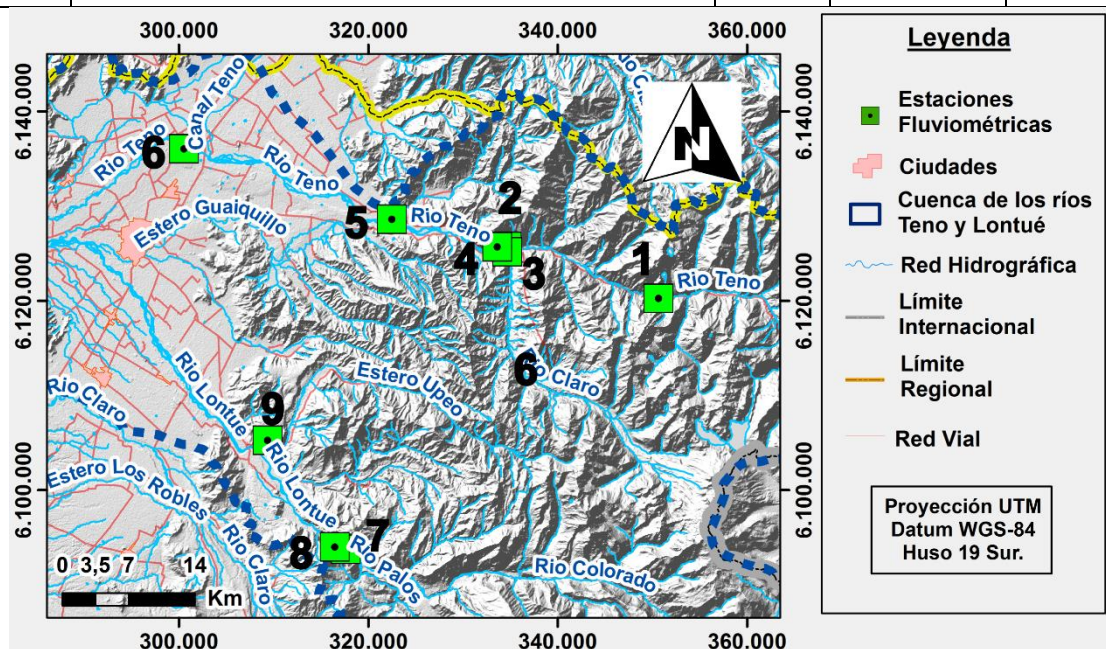


Figura 5. Ubicación de las estaciones fluviométricas de la Dirección General de Aguas. Fuente: Modificado DGA (2012).

4.3 Corrección, relleno y extensión de estadística

Se realizaron correlaciones de caudales medios mensuales, estacionales y anuales entre las estaciones vecinas seleccionadas en el punto anterior, mediante regresiones lineales simples en el software Excel. Así se obtuvo una matriz de coeficientes de correlación. En base a los mejores coeficiente de correlación y a las estadísticas más largas y robustas, se determinó que la estación 04 “Río Teno después Junta con Claro” es la estación base para el relleno y extensión del resto de las series. La estación escogida coincide con la seleccionada en otros estudios realizados por la DGA (2006, 2012).

Para el relleno y extensión de la estadística de las series incompletas se recurrió a establecer regresiones lineales entre la estación base y las restantes. En base a las relaciones líneas correspondientes, se rellenaron y extendieron las estadísticas faltantes.

En el Anexo C.2 se presentan las estadísticas rellenadas y corregidas, mientras en el C.3 las curvas dobles másicas que confirman las consistencias de los datos completados.

4.4 Análisis de homogeneidad y consistencia.

Una vez obtenidas las series de caudales medios mensuales, estacionales y anuales, depuradas y rellenadas, fueron sometidas a un análisis de homogeneidad y consistencia. Dicho análisis se realizó por mediante del método “Curvas dobles másicas o dobles acumuladas”

Para la obtención de estas curvas se tomó como estación base la n°4 “Río Teno después Junta con Claro” y se correlacionó con el resto para periodos anuales y estacionales. El resultado para todos sus casos consiste en recta bien definida (Anexo C.3), por lo que, los datos rellenados constan de buena confiabilidad, Homogeneidad y consistencia

Las curvas dobles másicas se observan el anexo C.3

4.5 Análisis de la frecuencia de las estadísticas.

Para las series de caudales medios mensuales, semestrales y anuales definitivas, de cada estación, se efectuaron análisis de frecuencia analíticos, ajustando las distribuciones Normal, Gumbel, Pearson III, Log-Normal, Log- Pearson III, Log-Normal III y Weibull considerando 6 probabilidades de excedencia :5%, 10%, 25%, 50%, 85% y 95%.

Como se señaló anteriormente, la bondad del ajuste se determinó en base a un Test Chi-Cuadrado. La distribución de mejor ajuste es la que entrega el menor valor de Chi-Cuadrado. El proceso descrito se realizó mediante el software EasyFiT 5.6.

En la figura 6 se presenta el resultado los caudales de acuerdo a las distintas probabilidades de excedencia, junto con las curvas de variación estacional. Estas curvas permiten identificar claramente el régimen pluvial de del Estero el Manzano y Estero Upeo en Upeo, que las diferencia del régimen nivopluvial del resto de las estaciones.

En el anexo C.1 se muestra en detalle los caudales asociados a las distintas probabilidades de excedencia para cada estación.

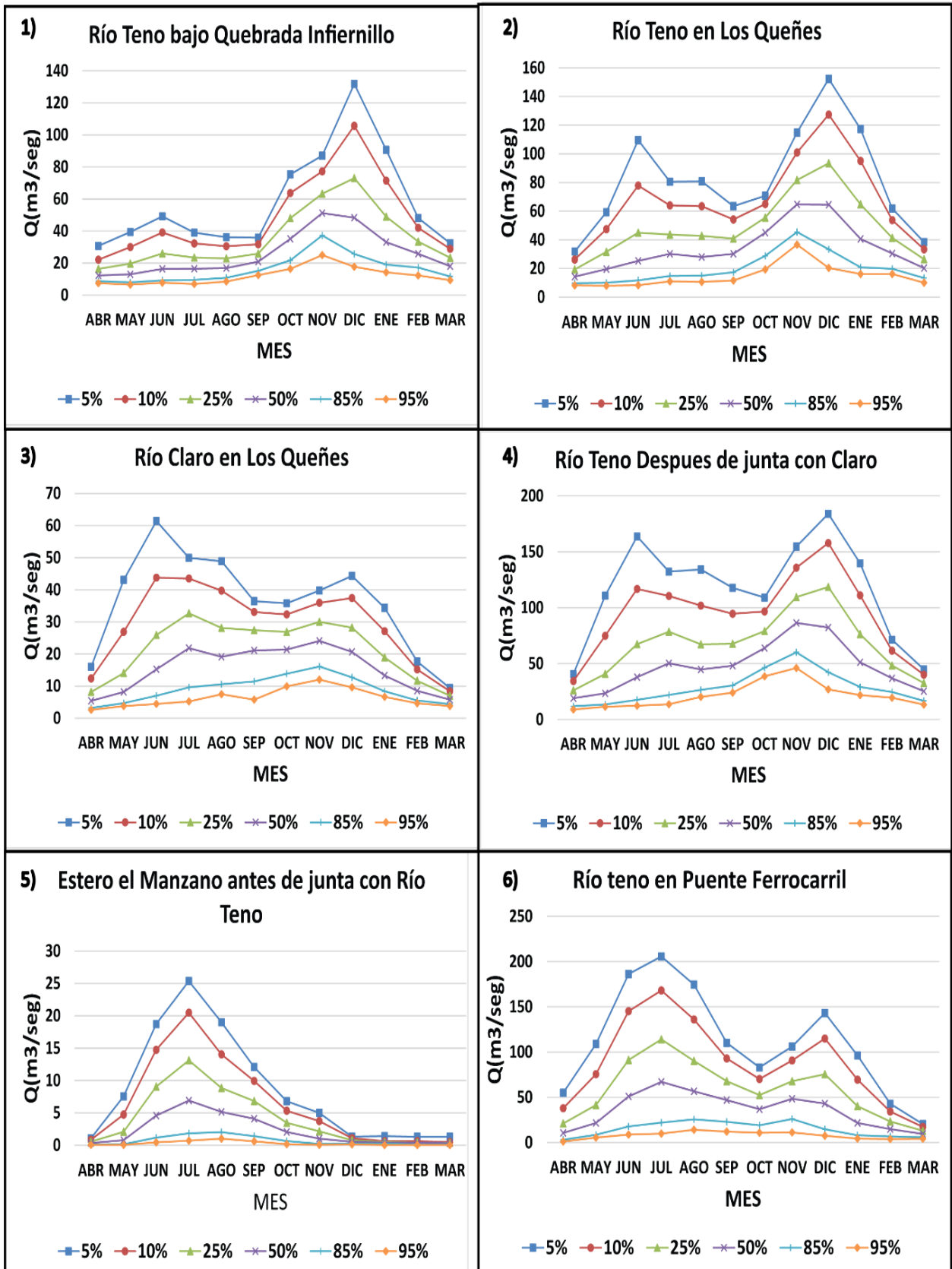


Figura 6. Curvas de variación estacional de caudales medios mensuales para las 9 estaciones en estudio, considerando 6 probabilidades de excedencia: 5%,10%,25%,50%,85%,95%; Q= caudal en m3/s. Fuente: Elaboración propia.

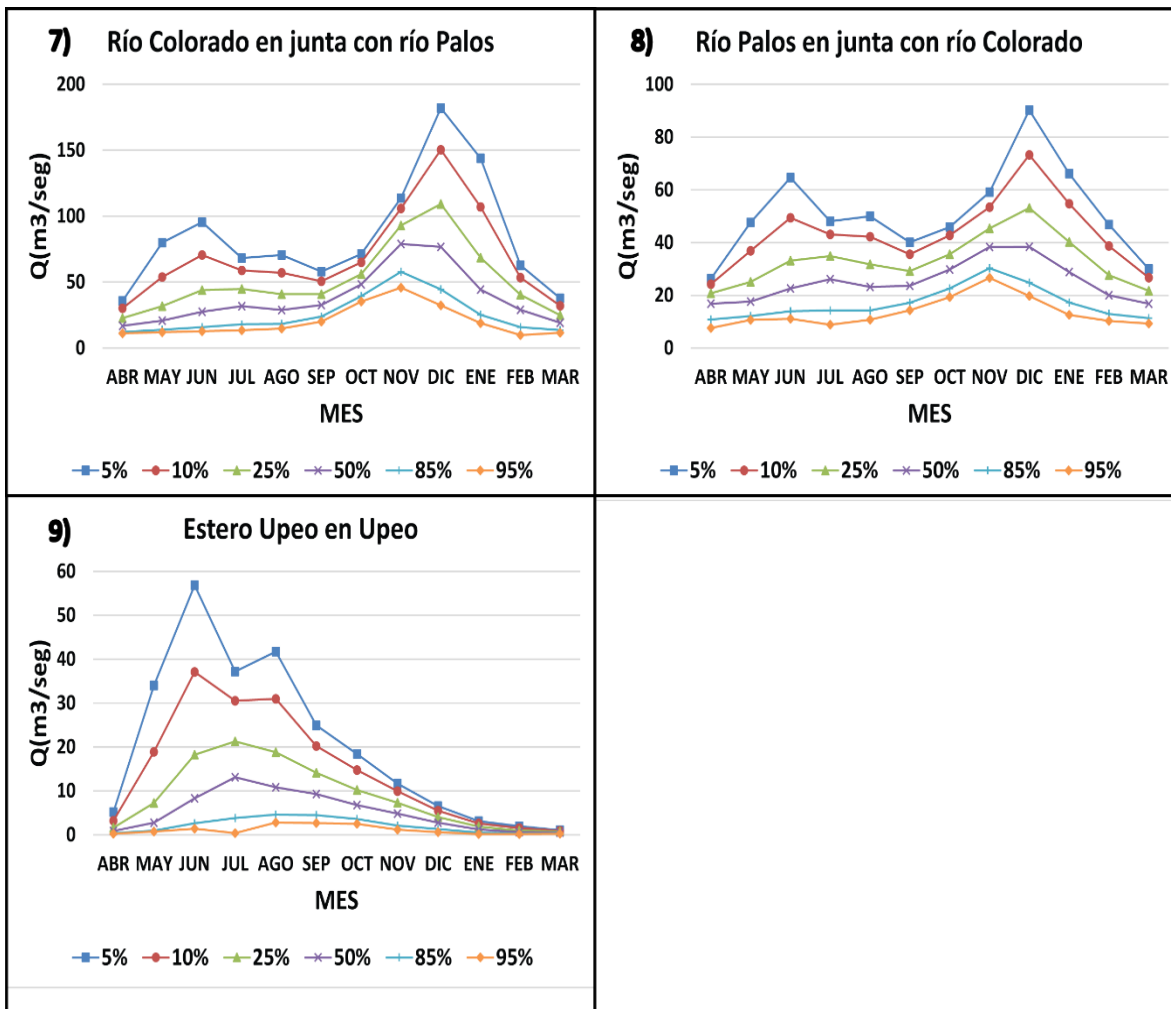


Figura 6 (Continuación). Curvas de variación estacional de caudales medios mensuales para las 9 estaciones en estudio, considerando 6 probabilidades de excedencia: 5%,10%,25%,50%,85%,95%; Q= caudal en m3/s. Fuente: Elaboración propia.

5. Caracterización hidrogeológica de la cuenca

5.1 Marco Geológico-Hidrogeológico

La delimitación y representación cartográfica de las Unidades Geológicas – Hidrogeológicas (Ver figura 7), se basó en el establecimiento de una diferenciación de acuerdo con su importancia hidrogeológica. El criterio de diferenciación se adoptó considerando el respectivo funcionamiento hidráulico de los diversos materiales (capacidad para almacenar y transmitir aguas subterráneas). Se distinguen así: a) Unidades de roca o materiales consolidados, que tienen una importancia hidrogeológica baja a nula Y b) Unidades de depósitos no consolidadas que tienen importancia hidrogeológica baja a alta.

La identificación de las unidades se basa en estudios geológicos previos de Hauser, (1990,1995); SERNAGEOMIN, (2003); CNR, (2006a); y DGA, (2012).

5.1.1 Unidades de roca o unidades de importancia hidrogeológica baja a nula

Tal como ocurre en gran parte de Chile central, las unidades de roca o sedimentos consolidados, indiferenciadamente, no presentan características litológicas, estructurales, geomecánicas o hidráulicas, compatibles con la posibilidad de desarrollar acuíferos importantes, por tanto tienen una importancia hidrogeológica relativa baja a nula (Hauser, 1990,1995).

También se consideraron bajo esta clasificación, depósitos cuaternarios que presentan comportamientos hidrogeológicos similares al de las llamadas unidades de roca, o que producto de su ubicación, extensión o composición tienen una importancia hidrogeológica nula.

5.1.1.1 Rocas estratificadas

Las unidades de rocas estratificadas de la cuenca de los ríos Teno – Lontué tienen edades que van del Jurásico tardío al Cuaternario. La secuencia más antigua es la formación río Damas, correspondiente a depósitos de trasarco, de la primera etapa del ciclo Andino Jurásico y Cretácico temprano (Charrier *et al.*, 1996, 2002; Fock *et al.*, 2006). Son cerca de 3800 m de conglomerados rojos y areniscas intercalados con lavas y brechas andesíticas. Se le asigna una edad kimeridgiana (Charrier *et al.* 1996), e infrayace en conformidad al miembro Santa Elena de la Fm. Nacientes del Teno y está en contacto transicional a la formación Baños del Flaco (Charrier *et al.* 1996).

A fines del Neocomiano e inicios del Cretácico superior junto con la retirada definitiva del mar hubo un cambio en la dinámica tectónica, pasando de un régimen extensivo a compresivo, lo que produjo el alzamiento de los Andes. Al levantarse estos últimos se produjo una fuerte erosión de toda la cadena montañosa recién formada, lo que permitió el desarrollo de grandes acumulaciones de sedimentos continentales con intercalaciones de depósitos volcánicos (Charrier, 1981, 2002; DGA, 2013). En la zona de estudio este tipo de rocas se encuentra en la cordillera principal y corresponde a la formación Colimapu y formación Plan de los Yeuques, ambas de edad Cretácica inferior tardía (Albiano) – Cretácica superior temprana (Klhon, 1960; Gonzalez y Vergara, 1962). La primera está compuesta por cerca de 2000m (Morel, 1981) de areniscas y lutitas rojas, conglomerados e intercalaciones de tobas y lavas andesíticas (Klhon, 1960); mientras la segunda corresponde a rocas volcánicas continentales, efusivas y piroclásticas, intercaladas con sedimentos continentales. Infrayace en concordancia bajo la formación Abanico (Gonzales y Vergara, 1962).

Los depósitos cenozoicos constituyen el grueso de la Cordillera Principal en la zona de estudio (Ver figura 7). La de mayor extensión es la formación Abanico, de edad Eoceno Tardío-Mioceno Temprano a Medio (e.g. Vergara y Drake, 1979; Charrier *et al.*, 1994; Wyss, 1996; Gana y Wall, 1997; Vergara *et al.*, 1999; Sellés, 1999; Fuentes *et al.*, 2000; Sellés *et al.*, 2000; Charrier *et al.*, 2002a; Fuentes *et al.*, 2002; Muñoz, 2005). Consiste en una secuencia de aproximadamente 3000m (Aguirre, 1960) de depósitos volcánicos-volcanoclásticos con intercalación de lentes sedimentarios de características continentales, fluviales y lacustres que incluyen niveles calcáreos, pero sin presentar depósitos marinos (Vergara *et al.*, 1993; Farías, 2007). Los lentes pueden presentar

espesores considerables de aproximadamente 500 m (Charrier et al., 2002a; Nyström et al., 2003). Por el lado Este, la formación se encuentra limitada por fallas regionales, las cuales ponen en contacto a la unidad con depósitos mesozoicos (Godoy et al., 1999; Baeza, 1999; Charrier et al., 2002; Bustamante, 2001). A su vez infrayace a la Fm. Farellones (Charrier et al., 2002; Godoy et al., 1999).

Sobreyacente a la formación Abanico, mediante una discordancia angular y de erosión, se encuentra la formación Corona del fraile ubicada en su máxima expresión en la zona oriental de los Queñes, entre los ríos Teno y Claro (Ver figura 7). Corresponde a brechas, conglomerados y areniscas medias con niveles tobáceos en disposición subhorizontal. Se le asigna una edad de Mioceno inferior a Medio (Aguirre, 1960; Klohn, 1960).

De las unidades cenozoicas el miembro más joven corresponde a la formación Cola de zorro de edad pliocena a pleistocena (González y Vergara, 1962). Son depósitos volcánicos – volcanoclásticos andesíticos – basálticos. Se caracterizan por su gran extensión (Ver figura 7) y tener una disposición horizontal a subhorizontal (Escobar et al., 1977).

5.1.1.2 Rocas intrusivas

La actividad plutónica se aloja principalmente en rocas de la formación Abanico y es contemporánea con la depositación de la formación Farellones. En general, los plutones se disponen formando alineaciones discontinuas de orientación aproximadamente paralela a la cadena Andina y de edad decreciente hacia el este (Aguirre, 1960; González y Vergara, 1962; Kurtz *et al.*, 1997). Estos se dividen en los intrusivos Miocenos de edad 18 a 6 Ma y 22 a 16 Ma.

5.1.1.3 Depósitos cuaternarios

Los depósitos clasificados en esta sección presentan comportamientos hidrogeológicos similares al de las llamadas unidades de roca, o son depósitos no consolidados que producto de su ubicación, extensión o composición tienen una importancia hidrogeológica nula.

Los depósitos cuaternarios se ubican en la zona oriente y centro de la zona de estudio (Ver figura 7) y tienen una génesis volcánica (DGA, 2013). Corresponden a materiales volcánicos asociados a diferentes centros eruptivos actuales, la unidad más antigua son las Volcanitas del Grupo Descabezado Grande de edad pleistocena, son basaltos grises oscuros a negros intercalados con brechas de similar composición (González y Vergara, 1962). Se extiende desde el volcán Descabezado Grande hacia el río Claro (Ver figura 7). Los antiguos valles glaciares y fluviales en la zona de estudio están ocupados por la unidad de nombre, “Lavas y flujos piroclásticos de planicies y valles” (Ver figura 7) de edad pleistocena – Holocena, que se restringen a depósitos de piroclastos y lavas. Su techo corresponde a una superficie (González y Vergara, 1962).

A las coladas de lavas cordadas, conos volcánicos y de escoria, escorias y piroclásticos actuales que tienen relación con los centros eruptivos o fisuras actuales por donde han extruido, se les denomina unidad Vulcanitas recientes, de edad Holocena (DGA, 2013).

Los centros eruptivos asociados a esta unidad corresponden al Complejo Volcánico Planchón – Peteroa y Complejo Volcánico Descabezado Grande – Quizapu – Cerro Azul. (DGA, 2013).

En la zona del valle central, específicamente en torno a los actuales márgenes del río Teno se encuentra la unidad del Lahar del río Teno, correspondiente a un importante flujo lahárico (Mc Phail, 1973; Davidson, 1974), está constituido por una mezcla de fragmentos de andesita o basaltos, de diversas formas y tamaños, englobados en una matriz cinerítica que presenta cierto grado de cementación (Marangunic, 1979), sus espesores medios son de 30 a 40 m apoyados directamente sobre una antigua llanura aluvional (Hauser 1990). Barozzi (1978) indica para la unidad una edad pleistocena superior – holocena. Estos depósitos presentan características bastante homogéneas a lo largo de toda su extensión (Marangunic, 1979), presentándose maciza, semiconsolidada, con cierto grado de cementación y permeabilidades bajas a medias. (Marangunic, 1979; CNR, 2006a). Hauser, (1990) plantea que el conjunto en algunas zonas es compacto e impermeable. Esta condición muchas veces, junto con restar potencial hidráulico a importantes niveles sedimentarios, determina condiciones puntuales de surgencia, como ocurre en la zona de El Plumero, donde bajo la unidad de depósitos cineríticos se encuentra una amplia unidad detrítica muy permeable de donde proviene el flujo de aguas.

5.1.2 Unidades de depósitos no consolidados o unidades de importancia hidrogeológicas baja a alta.

El valle Central de la cuenca de los ríos Teno y Lontué es de origen tectónico, limitado lateralmente por fallas de gran extensión, constituye un efectivo receptáculo para albergar enormes volúmenes de sedimentos, movilizados desde la zona andina. Así se generaron potentes depósitos que rellenaron el Valle central de la zona de estudio (Ver figura 7) (Hauser, 1995).

El carácter clástico, continuidad lateral y vertical, importante espesor total, escaso grado de compacidad, buena porosidad, altas permeabilidades y efectiva interconexión hidráulica, hace que las unidades desarrollen buenos acuíferos que pueden proporcionar importantes caudales de agua subterránea (Hauser, 1995).

Las unidades de depósitos no consolidadas que se encuentran en la zona de estudio tienen diferentes potenciales hidráulicos (capacidad para almacenar y transmitir aguas subterráneas). De acuerdo a esto se tendrán distintos rangos de importancias Hidrogeológicas relativas, de las cuales se diferencian 2: a) Unidades con importancia Hidrogeológica relativa Media – Alta y b) Unidades con importancia Hidrogeológica relativa Media – Baja (Hauser, 1990,1995).

A continuación se presenta en detalle las características geológicas e hidrogeológicas de las unidades:

Qc. Depósitos cineríticos (Pleistoceno Inferior): Hauser (1990,1995) define esta unidad como una extensa secuencia de sedimentos con mala selección, integrada en su mayor parte por fracciones arena a arcilla-limo que corresponden principalmente a

cenizas volcánicas. Por su mayor consolidación, los depósitos de la unidad adquieren aspectos tobáceos, observándose cementados, duros, compactos y con bajas permeabilidades (Hauser, 1990, 1995), lo cual impide una buena percolación de aguas lluvias hacia estratos subsuperficiales; restándole atractivo hidrogeológico.

La unidad tiene un comportamiento hidráulico muy complejo. Los depósitos son de carácter anisótropo, presentan una secuencia cinerítica que se sitúa en el intervalo de arenas-arcillosas y limos de diversos espesores, con esporádicas intercalaciones de gravas y arenas en bancos hasta de 2 metros; determinando acuíferos semiconfinados. El material cinerítico producto de su escasa permeabilidad, otorga un adecuado confinamiento a los acuíferos radicados en las gravas y arenas ubicadas dentro de la secuencia, o de la unidad subyacente.

En resumen el agua susceptible de alimentar los pozos perforados de la unidad, se ubica en los bancos más permeables (gravas y arenas), que se disponen como delgadas intercalaciones en una secuencia normal, cinerítica, poco permeable. (Hauser, 1990, 1995).

Qffal – Qafcl. Depósitos de abanico fluvial de los ríos Teno, Lontué y Claro (Pleistoceno Medio – Holoceno Superior): Esta unidad correlaciona los “Depósitos fluviales y fluvio-aluvionales” descritos por Hauser (1990) en la carta Hidrogeológica de Rancagua, específicamente la zona correspondiente a la hoya hidrográfica del río Mataquito, con los “Depósitos de abanico fluvial de los ríos Claro y Lontué” definidos por el mismo autor en la carta hidrogeológica Hoja Talca (1995). La correlación se ha hecho en base a una evidente continuación geográfica, similitudes genéticas y marcadas afinidades tanto geomorfológicas como litológicas. Estos son depósitos acumulados por acciones fluviales a fluvio-aluvionales de los ríos Teno, Lontué y Claro.

Litológicamente esta unidad está integrada por un grueso espesor de sedimentos en los que participan predominantemente bolones, ripios, gravas, gravas arenosas y arenas en menor proporción, ocasionales intercalaciones de niveles y lentes limo-arcillosos, estos últimos se presentan con mayor frecuencia en la parte norte de la cuenca, en áreas cercanas a los depósitos del “Lahar del río Teno (Qlt)”. Los sedimentos tienen una elevada porosidad y son muy permeables (Hauser, 1990,1995).En términos de superficie cubre gran parte del valle central, siendo la unidad Hidrogeológica de mayor importancia y extensión (Ver Figura 7); albergando el acuífero más grande de la zona de estudio.

La unidad, al menos hasta profundidades reconocidas, no albergaría acuíferos individuales netamente diferenciados. Se trataría, más bien, de un acuífero continuo integrado por materiales saturados de diferente permeabilidad (Hauser, 1990,1995). La morfología de la unidad favorece la percolación de aguas pluviales, con la consecuente atenuación del escurrimiento superficial. Sumado a esto, sus elevadas permeabilidades aseguran altas tasas de infiltración tanto de aguas lluvias como de retornos de riego, estableciendo comunicaciones expeditas entre los acuíferos y lecho del río, esteros y canales de regadío, haciendo muy eficientes los mecanismos de recarga (Hauser, 1990,1995).

Los numerosos pozos perforados en esta unidad, normalmente proporcionan importantes caudales, puesto que los acuíferos, junto con tener alta transmisibilidad, poseen eficiente conexión hidráulica con el actual cauce de los ríos Teno y Lontué (Hauser, 1990,1995).

En la figura 7 esta unidad se muestra dividida en 2, para diferenciar los mapeos hechos por Hauser en la carta hidrogeológicas de Rancagua (líneas inclinadas) y de Talca (líneas horizontales). La principal diferencia de estas 2 es que la primera se define con mayor presencia de lentes y niveles Limo-arcillosos.

Qfl. Depósitos fluvio-lacustres (Pleistoceno- Holoceno): Esta unidad tiene una restringida ocupación en el área de estudio, encontrándose específicamente en las zonas de La palmilla y Comalle (Ver figura 7). Estos sedimentos se presentan, principalmente en sectores locales con morfología de “Rinconadas” y/o terrenos donde ríos y esteros desarrollan complicadas trayectorias, donde la sedimentación es intermitente. (Hauser, 1990).

En cuanto a la hidrogeología de la unidad, los sedimentos que la integran conforman una secuencia alternante de gravas, arenas y arcillas arenosas. En las gravas se ubican acuíferos semiconfinados a confinados, debido a la adecuada gradación y elevada permeabilidad de estas capas (Hauser, 1990). Además existen numerosos niveles lenticulares arcillosos, que le otorgan al conjunto un claro anisotropismo hidráulico. Esta característica implica que los acuíferos pueden ser detectados a diferentes profundidades, con variadas condiciones de confinamiento y suministros distintos en sitios pocos distantes entre sí. Como consecuencia de ello, generalmente, la explotación racional de un pozo exige habilitar varios niveles acuíferos (Hauser, 1990).

La morfología llana, desarrollada en estos depósitos, unida a la existencia de esteros con escaso escurrimiento y una densa red de riego, favorece las altas tasas de recarga, tanto en acuíferos someros como en aquéllos más profundos, interrelacionados hidráulicamente por lenticularidades o paleocanales arenosos (Hauser, 1990).

Qe. Escombros de faldas de cerro o depósitos gravitacionales. (Actual): La unidad incluye indiferenciadamente aquellos depósitos detríticos que, normalmente, reciben denominaciones de escombros de falda, coluvio, conos de eyección, etc. Morfológicamente, la unidad se observa asociada al relleno de quebradas provistas de fuerte empinamiento. Litológicamente estos depósitos están constituidos por una mezcla caótica de fragmentos de variada composición y tamaño, englobados en escasa matriz de gravilla, limo y arcilla. El conjunto es masivo, carente de estratificación; normalmente se observa suelto; por lo tanto son bastante permeables (Hauser, 1990,1995).

Hidrogeología: Estos depósitos son de extensión reducida y en ellos la ocupación poblacional es muy baja, por lo que normalmente no están sometidos a extracciones de aguas mediante norias y/o pozos, sino por aprovechamientos focalizados. Se circunscriben a explotaciones rudimentarias mediante “tazones”, vertientes, manantiales, o pequeños pozos. Por otro lado los sedimentos se presentan sueltos, muy porosos y permeables con baja capacidad de retener agua lluvia, por lo que su importancia hidrogeológica califica como media a baja. (Hauser, 1990,1995).

Qfa. Depósitos fluviales en cauces actuales (Actual): Estos depósitos incluyen materiales clásticos que conforman los actuales cauces de los ríos mayores y afluentes más significativos, enmarcados en sus activas llanuras de inundación. Alcanzan su mayor desarrollo en torno al cauce actual de los ríos Teno y Lontué. Consisten en ripios, gravas y gravas arenosas, las cuales se disponen una escasa matriz de arena a gravilla. Localmente, en las vecindades del borde precordillerano estos depósitos incorporan abundantes bolones (Hauser, 1990, 1995). Los sedimentos se observan sueltos, no consolidados, con escasa matriz y alta permeabilidad, la que en profundidad tiende a decrecer gradualmente (Hauser, 1990, 1995). Los Materiales sedimentarios más superficiales, englobados en esta unidad, deben ser considerados como actuales mientras que los niveles más profundos, como Holocenos. (Hauser, 1990, 1995)

Hidrogeología: Debido a la evidente dependencia genética con los cauces actuales, los acuíferos que ellos albergan son elongados (Hauser, 1990, 1995). Los depósitos principalmente de gravas y gravas arenosas presentan escasa compactación, lo cual ofrece el desarrollo de atractivos acuíferos libres. Hacia la zona occidente del área de estudio sus niveles estáticos tienden, generalmente, a disponerse a una cota concordante con el nivel de las aguas superficiales de los cauces actuales (Hauser, 1990, 1995).

El normal y buen carácter físico-químico de las aguas extraídas de la unidad denota, en general, clara dependencia respecto del carácter de las aguas de escurrimiento superficial en el lugar. La alta permeabilidad de los depósitos genera una eficiente interconexión hidráulica.

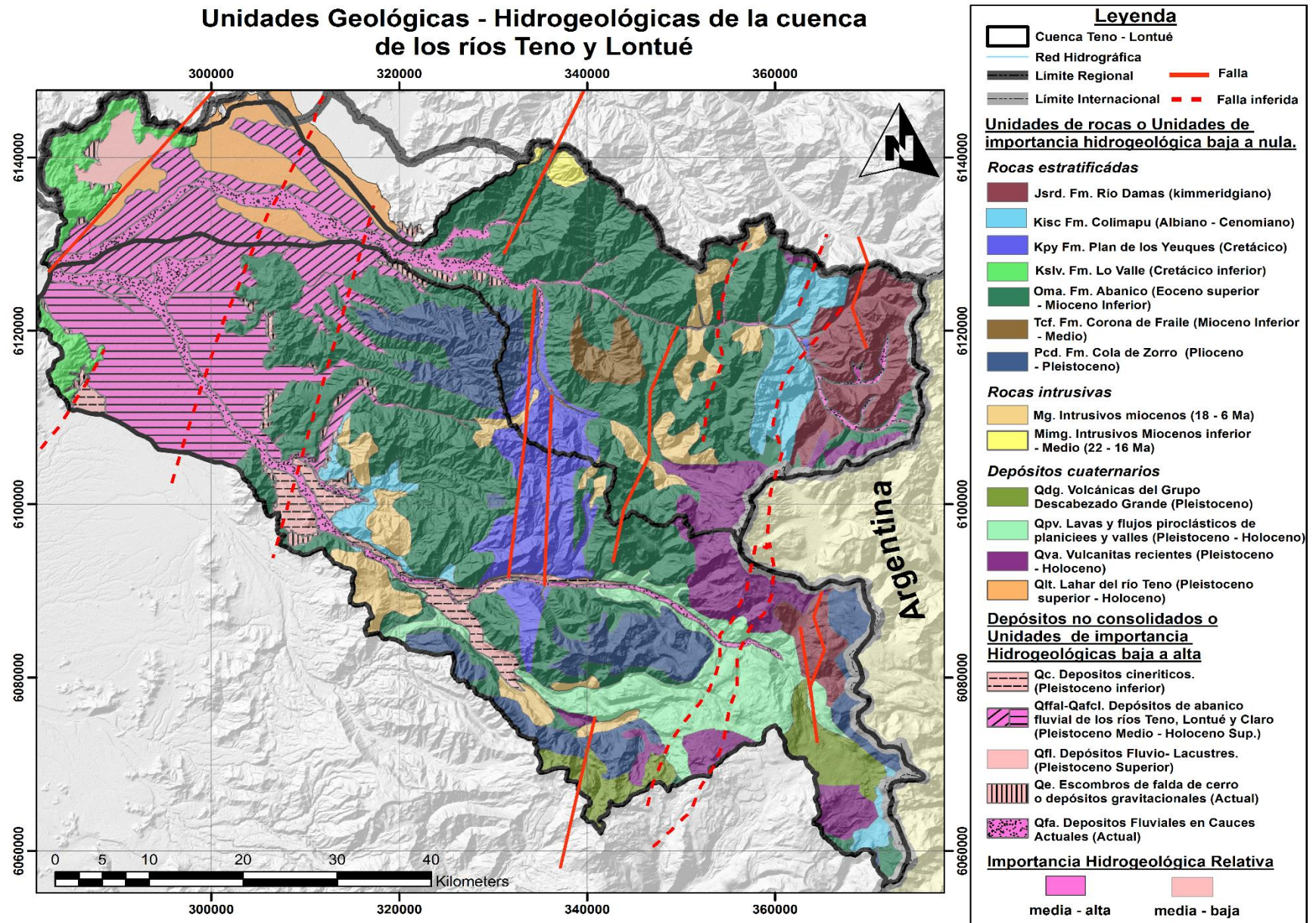


Figura 7. Distribución y ubicación de las Unidades Geológicas – Hidrogeológicas de la cuenca de los ríos Teno y Lontué. Incluye diferenciación de unidades de acuerdo a la importancia hidrogeológica relativa. Proyección UTM, DATUM WGS1984, Huso 19 Sur. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de DGA, 2013; Hauser, 1990, 1995; SERNAGEOMIN, 2003

5.2 Unidades hidrogeológicas de acuerdo a la permeabilidad

La Comisión Nacional de Riego (2006) con colaboración de Aquaconsult Cia. (2006) y la Dirección General de Aguas (2012) han definido 3 unidades hidrogeológicas para la zona de estudio, éstas han sido determinadas en base a rangos estimativos de permeabilidad atribuidos a las características sedimentológicas de las unidades geológicas existentes en la zona, y a los antecedentes estratigráficos aportados por los sondajes existentes en el área estudiada.

A continuación se presentan las unidades definidas en detalle y en la figura 8 se muestra la distribución superficial de éstas.

5.2.1 Unidad 1: Medios intergranulares de permeabilidad alta a moderada

El Rango de conductividad hidráulica de esta unidad corresponde a $> 10^{-1}$ m/día. Esta unidad posee una granulometría variable, compuesta por bolones, gravas, arenas gruesas a finas. El contenido de finos es menor a un 30%. Se define como la unidad de mayor potencial hidrogeológico (CNR, 2006a; DGA, 2012).

La CNR (2006a) divide la unidad en 2 subunidades de acuerdo al tipo de sedimento:

Subunidad 1.1: Depósitos Sedimentarios de Origen fluvial de alta energía

Los depósitos sedimentarios de Origen fluvial de alta energía están compuestos por sedimentos fluviales actuales, pre-actuales y abanicos fluviales que se distribuyen a lo largo de los cauces y valles de los ríos Teno y Lontué (Ver figura 8). La mayor cantidad de afloramientos de esta subunidad está dispuesta en el Valle Central y al oeste del borde pre-andino. Estos sedimentos presentan permeabilidad alta a muy alta, en algunos sectores supera los 100 m/día (CNR, 2006a).

Su composición granulométrica corresponde a bolones, arenas gruesas y gravas finas, con intercalaciones de estratos compuestos por gravas medias y arenas finas con escasos finos (limos y arcillas) (CNR, 2006a).

Subunidad 1.2: Depósitos Sedimentarios de Origen No Fluvial

Se trata de depósitos de edad cuaternaria, que se encuentran de forma muy limitada en la zona de estudio. No pertenecen a ninguna unidad geológica de carácter formal, anteriormente definida por otros autores (CNR, 2006a).

- **Depósitos de “lavado” de ladera de cerro y coluviales**

Estos depósitos ocurren por procesos de tipo aluvial, semejantes a los procesos fluviales aunque en pequeña escala, mediante "lavados" de las laderas de cerros compuestos por roca meteorizada y por depósitos coluviales. Se presentan en drenajes secundarios.

Se componen de arenas medias y gruesas con escasas gravas y algunas intercalaciones relevantes de: (i) gravas medias y gruesas con escasa matriz areno-limosa, y (ii) estratos limo-arcillosos. Posee bajo grado de compactación y nula cementación. Estos depósitos presentan mayoritariamente una permeabilidad media (1 – 10 m/d).

- **Depósitos Gravitacionales**

Los depósitos gravitacionales corresponden a escombros de falda y depósitos aluviales actuales, de origen gravitacional. Formados por fragmentación de rocas expuestas en superficie, remoción y deposición en los bordes topográficamente inferiores de los macizos rocosos. Su distribución muy local, de no más de 1 km² ubicándose en los bordes de las quebradas (Ver figura 8) (CNR, 2006a). Forman taludes y conos de deyección que terminan en pequeñas llanuras aluviales. No presentan estructuras de interés hidrogeológico. Localmente pueden estar interceptados por algunos escurrimientos superficiales menores.

Granulométricamente están constituidos por grava fina a media y arena gruesa en su mayoría, y por una proporción regular de clastos mayores (25 a 30%). Estos sedimentos presentan una permeabilidad baja (0,1 - 1 m/día) a media (1 -10m/día) (CNR, 2006a).

5.2.2 Unidad 2: Medios intergranulares y fracturados de permeabilidad moderada a baja

Según CNR (2006a) y DGA (2012), esta unidad se compone por depósitos cineríticos (Qc), depósitos del Lahar del río Teno (Qlt) y depósitos de remoción en masa o corrientes de barro, los cuales fueron transportados por el agua y finalmente redepositados. La unidad tiene un rango de conductividad hidráulica de 10^{-1} a 10^{-4} m/día.

Su distribución ocurre principalmente en el Valle Central. Forma pequeñas planicies que se extienden alrededor de los depósitos fluviales (Ver figura 8).

Los depósitos de remoción en masa o corrientes de barro, corresponden a depósitos de mala selección con abundantes arcillas (> 30% de finos) y presenta una permeabilidad moderada a baja (10^{-1} a 10^{-4} m/día). Bajo esta denominación también se han incluido depósitos lacustres representados por arcillas y arcillas limosas, las cuales se habrían depositado por aguas tranquilas, probablemente por represamiento temporal, producto de barreras de deposición de sedimentos. En el área del Valle central, estos depósitos se identificaron de manera restringida o limitada. (DGA, 2012).

5.2.3 Unidad 3: Medios rocosos de permeabilidad muy baja a nula

Esta unidad corresponde a rocas consolidadas de tipo intrusiva, metamórfica, sedimentarias y volcanoclásticas. Afloran en la parte oeste de las cuencas de los ríos Teno y Lontué como también en el sector de la Cordillera de la Costa (Ver figura 8).

Son rocas con una porosidad primaria muy reducida a nula, a las cuales se le asocian permeabilidades inferiores a 10^{-4} m/d. Sin embargo, se puede considerar la existencia de eventuales porosidades secundarias, las cuales dependen de la presencia de fracturas; que en su mayoría correspondiente a desclasamientos de poca continuidad (DGA, 2012).

Unidades Hidrogeológicas de acuerdo a su permeabilidad

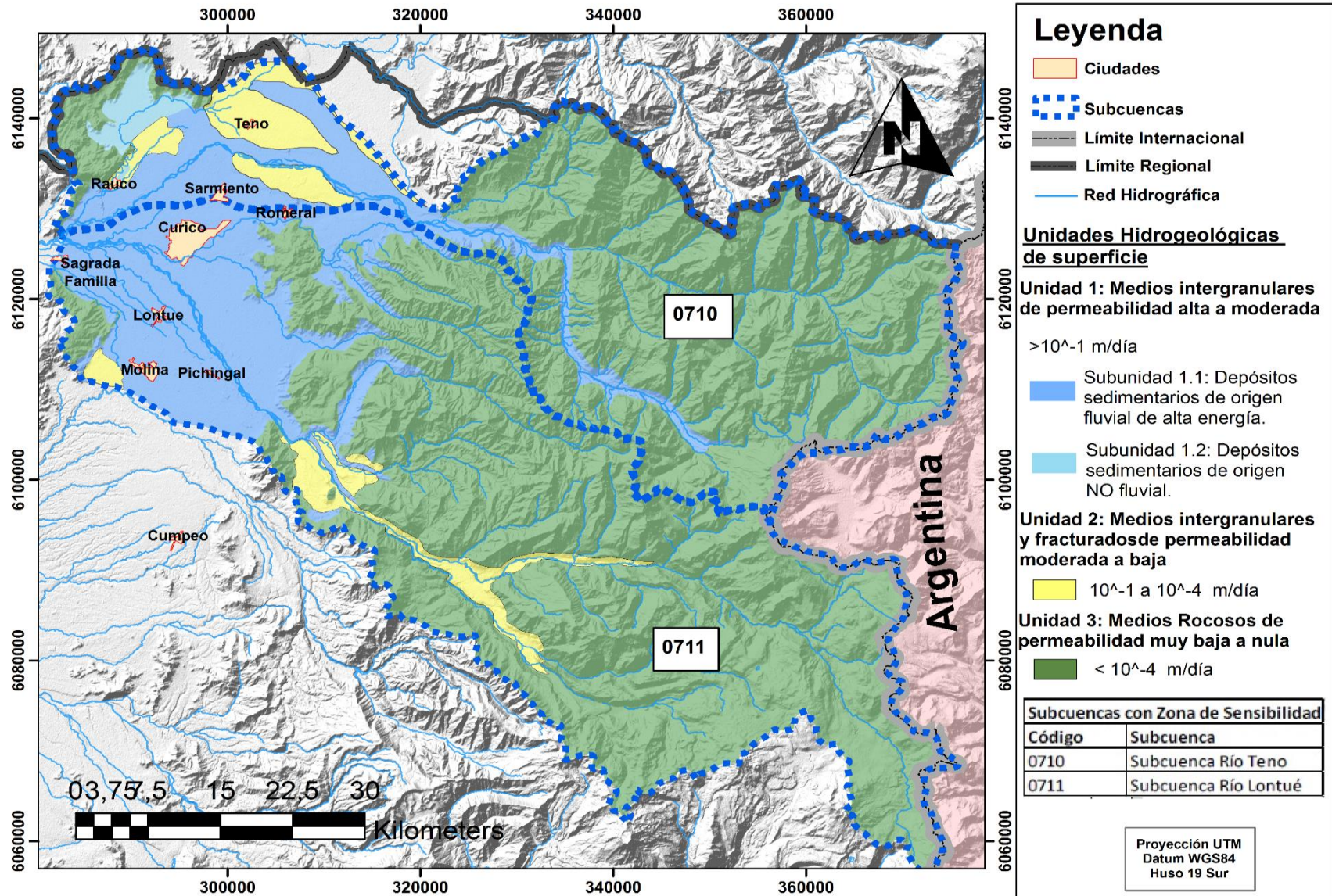


Figura 8. Unidades Hidrogeológicas de acuerdo a su permeabilidad. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CNR, 2006; y DGA, 2012.

5.3 Estratigrafía de la cuenca

La DGA (2012) elaboró 6 perfiles estratigráficos que representan una primera aproximación a la distribución de las unidades Hidrogeológicas de acuerdo a su permeabilidad.

Los perfiles hidrogeológicos están ubicados en la zona de mayor desarrollo de la cuenca de los ríos Teno y Lontué. (Ver figura 9). Éstos se han elaborado sobre la base de la descripción de columnas geológicas efectuadas por personal de las diversas empresas contratistas, por lo tanto, no hay una homologación de criterios descriptivos.

Cabe destacar que la falta de suficientes pozos ubicados en puntos importantes, falta de una homologación de criterios descriptivos y la interpolación de pozos distantes a la línea de perfil, hacen que el resultado de los perfiles posea una alta incertidumbre, pudiéndose sobreestimar como subestimar la extensión de las unidades. A pesar de que posean alta incertidumbre, sirven para conocer la estratigrafía como una primera aproximación y tener una idea general de la distribución de las unidades hidrogeológicas.

En el anexo D.1, se encuentra el catastro de pozos utilizados para estos perfiles, y se presentan en la figura 10 y 11.

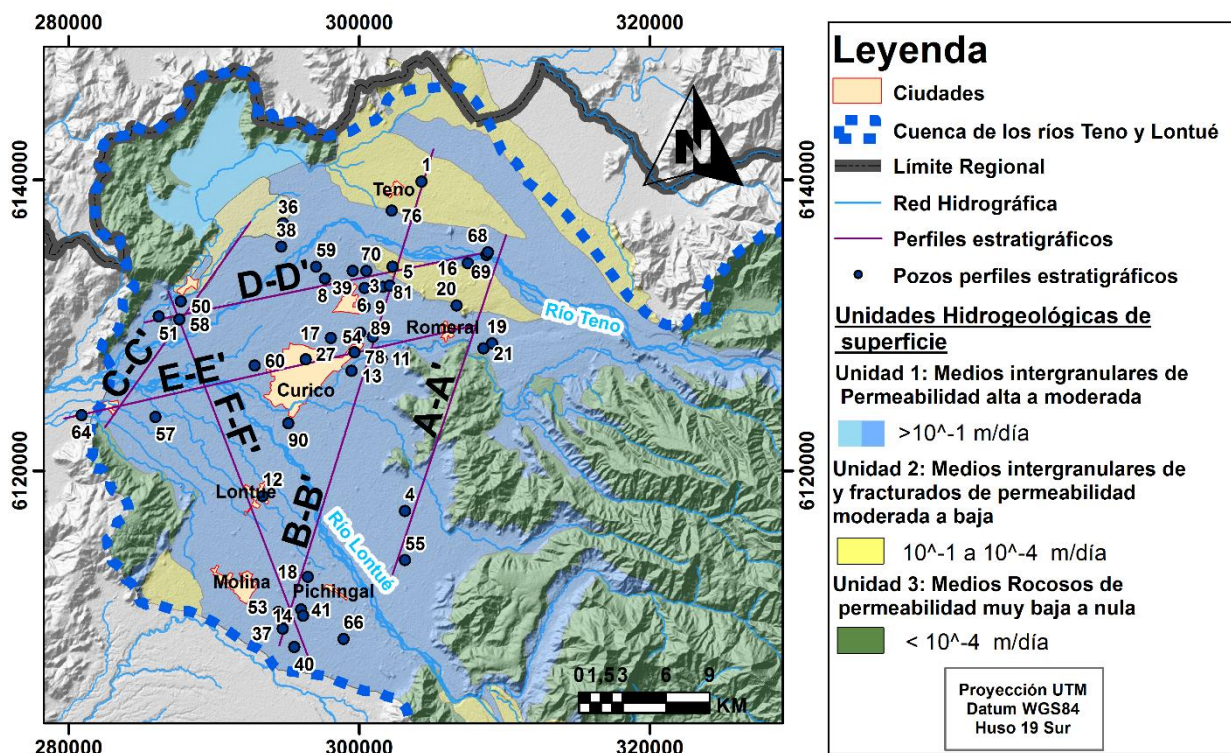
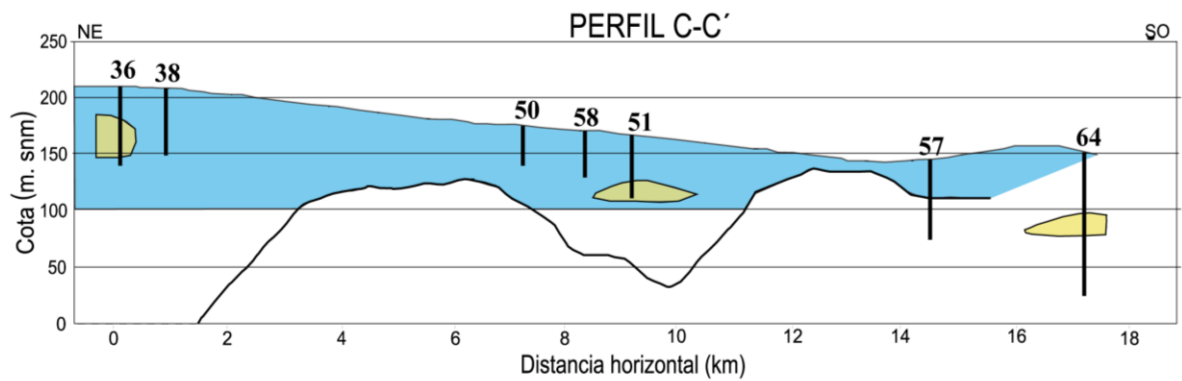
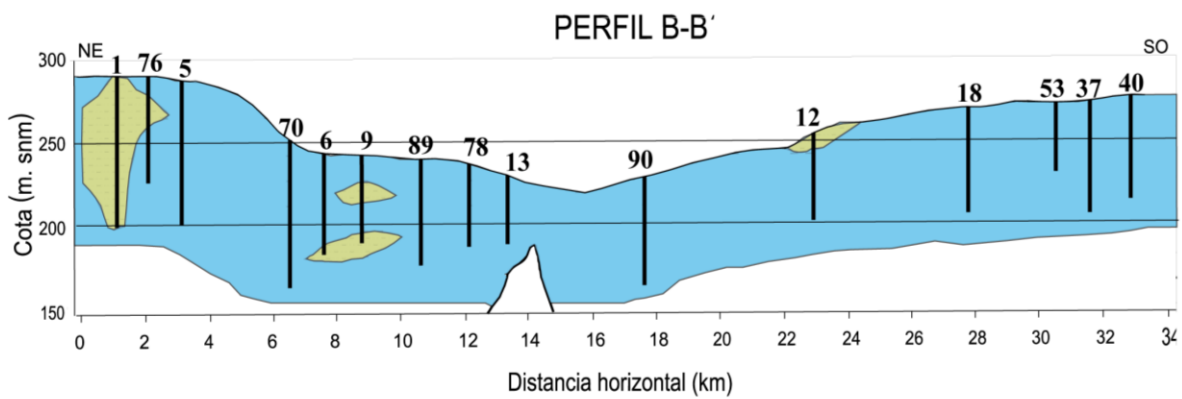
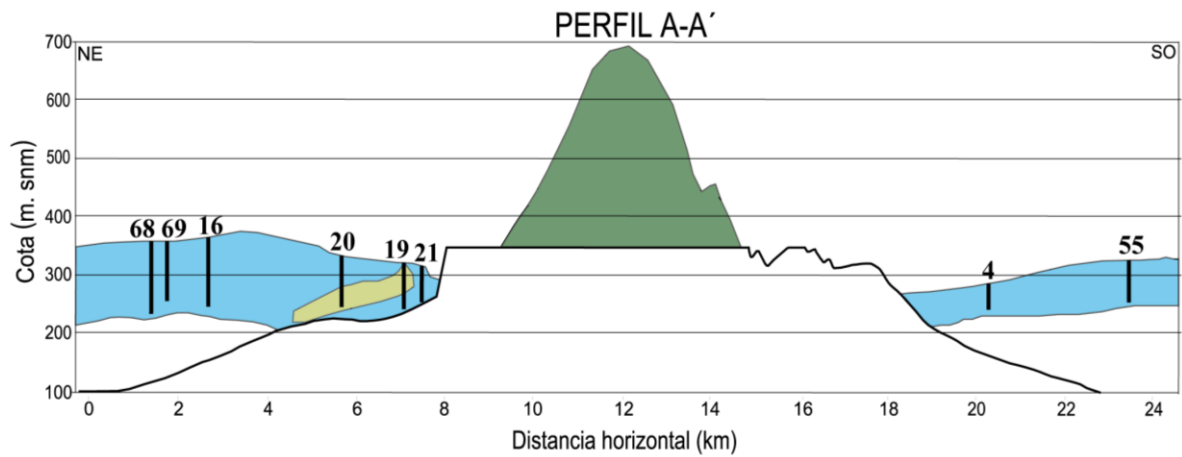


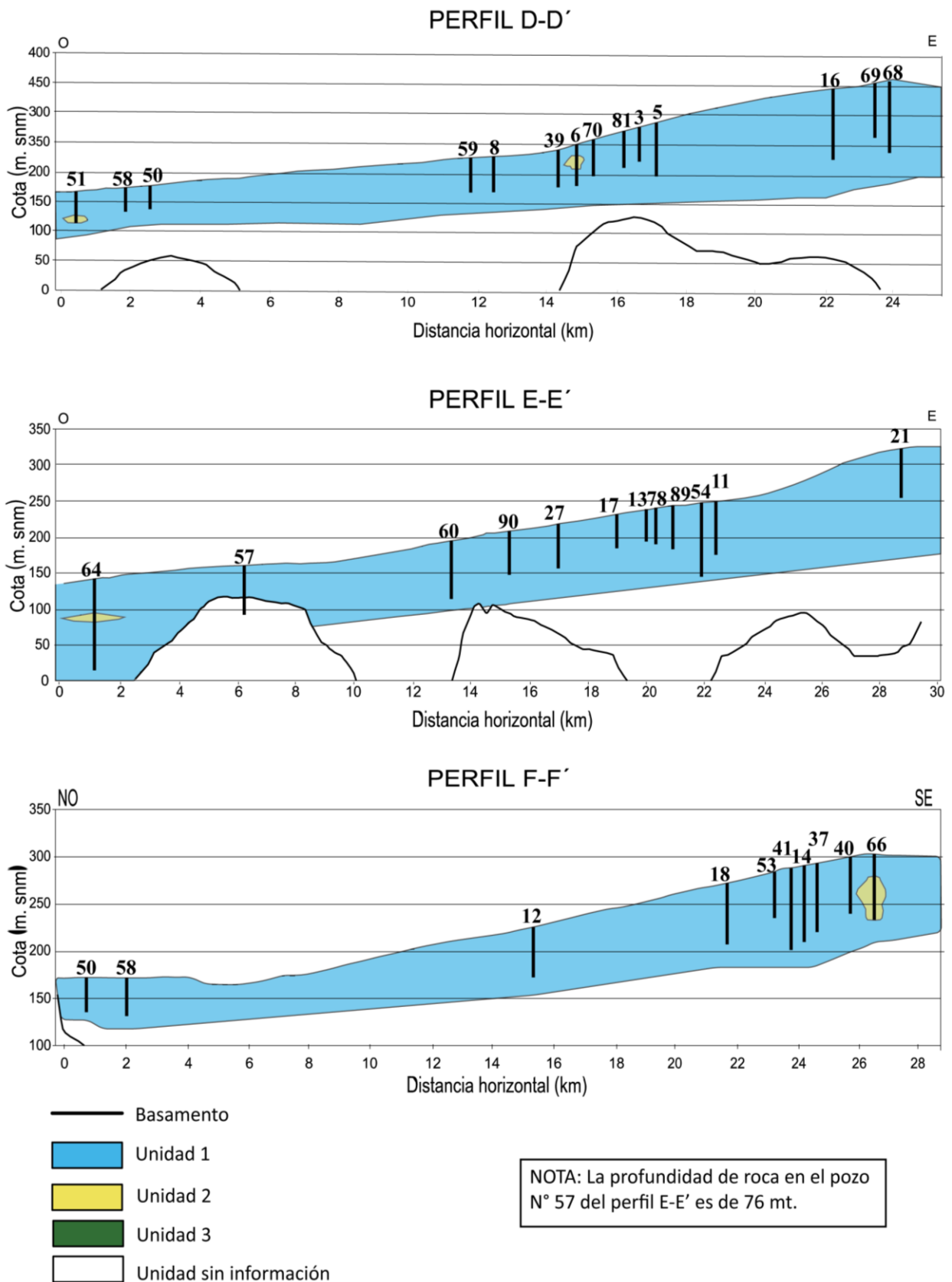
Figura 9. Ubicación de los perfiles y pozos estratigráficos en la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia con datos de DGA (2012).



- Basamento
- Unidad 1
- Unidad 2
- Unidad 3
- Unidad sin información

NOTA: La profundidad de roca en el pozo N°57 del perfil C-C' es de 76m. El Sector del pozo 64, esta fuera del rango del mapa isobático de profundidad de roca, generado por la DGA (2012)

Figura 10. Perfiles Hidrogeológicos A-A', B-B' y C-C' en la cuenca de los ríos Teno y Lontué. Fuente: Modificado DGA (2012).



NOTA: La profundidad de roca en el pozo N° 57 del perfil E-E' es de 76 mt.

Figura 11. Perfiles Hidrogeológicos D-D', E-E' y F-F', en la cuenca de los ríos Teno y Lontué. Fuente: Modificado DGA (2012).

De acuerdo al “Estudio integral de la cuenca del río Mataquito” (DGA, 1978), las transmisividades del acuífero son las siguientes (Ver figura 13):

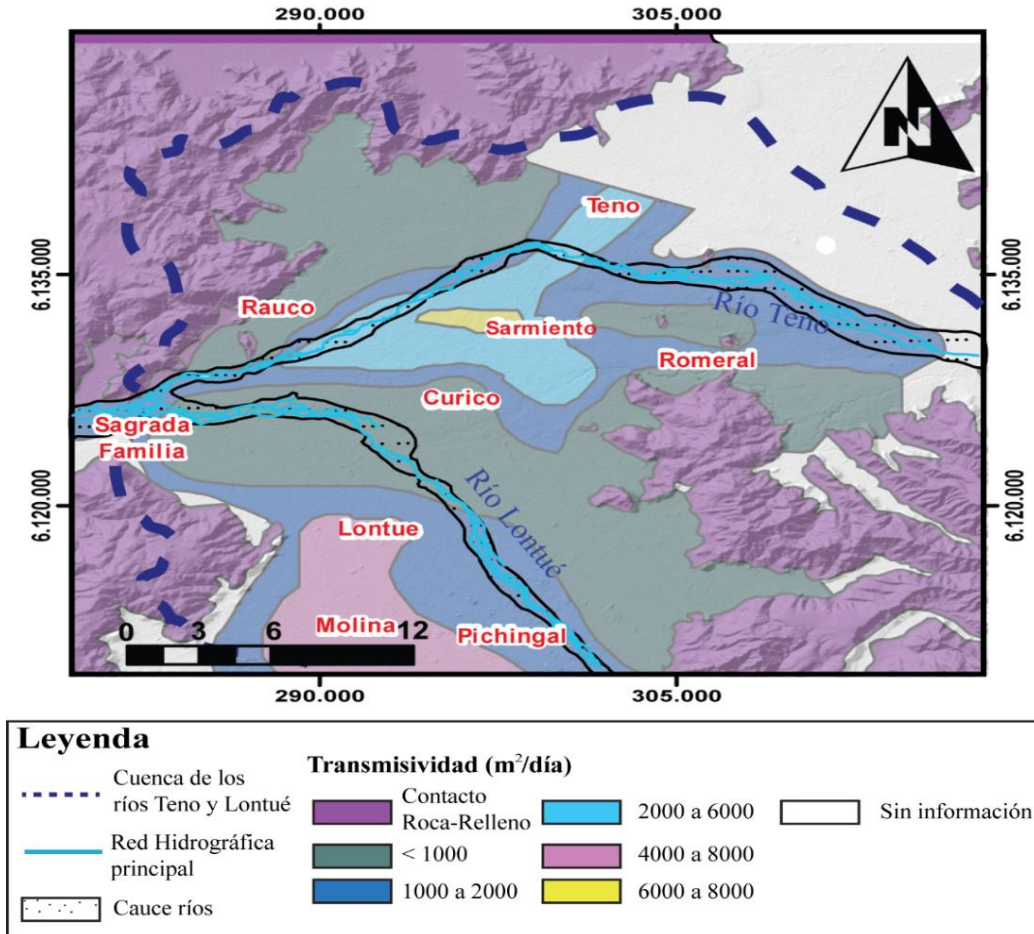


Figura 13. Transmisividad del acuífero de la cuenca de los ríos Teno y Lontué. Fuente: Modificado de CNR (1978).

5.4.3 Permeabilidades

La distribución de las permeabilidades horizontales (Ver figura 14) de la cuenca en estudio se obtuvo del informe “*Estudio Hidrogeológico, cuenca del Mataquito*”, desarrollado por la DGA (2012) mediante la interpolación de 173 datos con el método “*Natural Neighbor*” con el software *ArcGIS 10.0*.

En la figura 14 se observa que las mayores permeabilidades están cercanas o bajo la unidad de los depósitos del Lahar del río Teno (Qlt), definida como una unidad de baja conductividad hidráulica. Esto no representa una inconsistencia de datos, sino que representa las permeabilidades de las unidades detríticas que están bajo el lahar y no las superficiales.

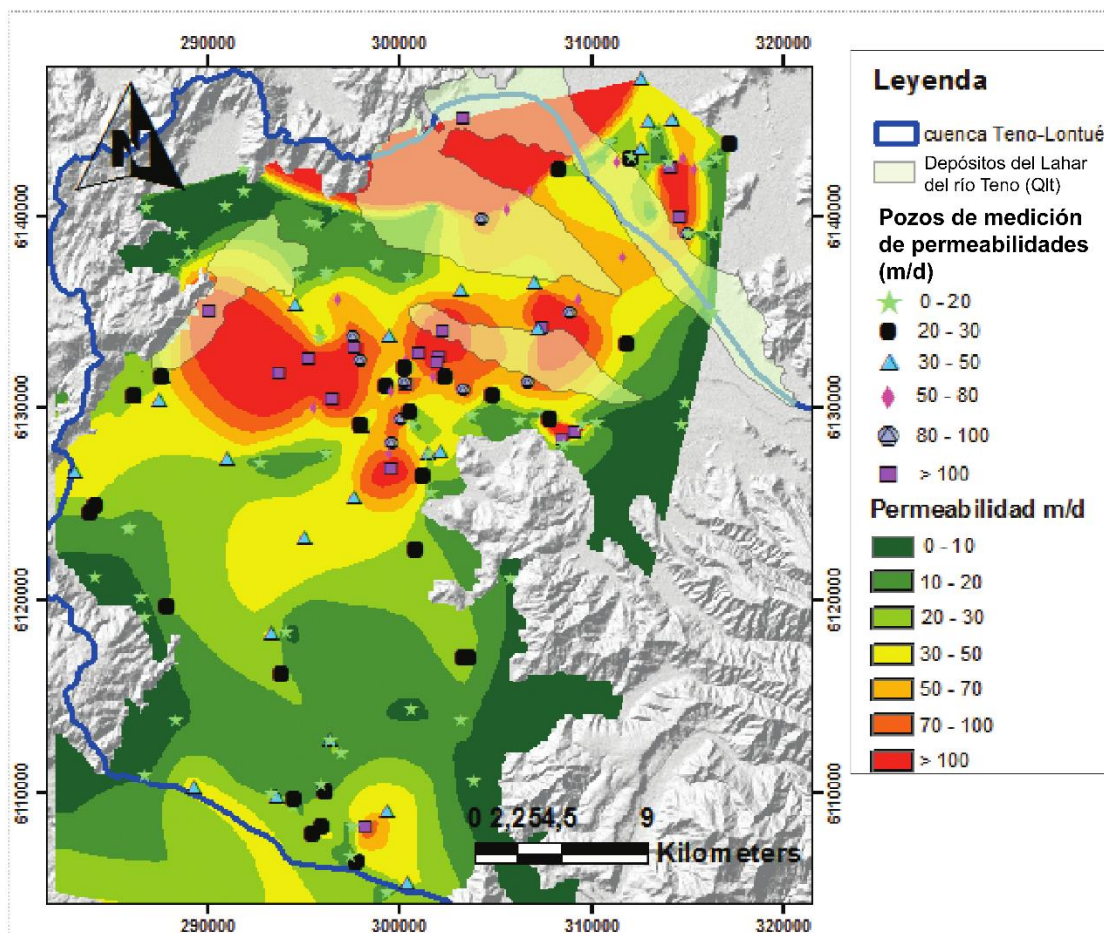


Figura 14. Distribución de permeabilidades (m/d) en la cuenca de los ríos Teno y Lontué. Proyección UTM, Datum, WGS84, Zona 19S. Fuente: Modificado DGA (2012).

5.4.4 Coeficiente de almacenamiento

De acuerdo a la CNR (1978) y las pruebas de bombeo realizadas en dicho estudio, se indica que el rango de valor del coeficiente de almacenamiento (S) se encontraría entre 0,15 a 0,23 y que adoptar un valor de 0,20 como representativo del valle resulta ser adecuado.

5.5 Niveles estáticos

En cuanto a las variaciones estacionales y anuales de la superficie freática, no se cuenta con mediciones que permitan efectuar una evaluación confiable en la zona de estudio. Sin embargo Hauser (1990,1995) describe un comportamiento general de los niveles estáticos de la cuenca:

Los niveles están controlados por 2 factores principalmente: explotación y precipitación; sin desconocer la participación del agua que aportan localmente los extensos sistemas de canales y la infiltración de ríos y/o aportes de tipo fluvial.

Los niveles estáticos más bajos se producen durante los meses de noviembre a abril, coincidiendo con el periodo de escasa precipitación (prácticamente nula) y gran desarrollo de la vegetación. Los niveles más altos, aun cuando resulta muy difícil

establecer con precisión, muestran una tendencia generalizada a desarrollarse en los meses de mayo - agosto; esto coincide con el periodo en que normalmente se registra el 80-85% de la precipitación anual en la región, situación que resalta su participación en la recarga.

Por otro lado, la profundidad de la superficie freática en la cuenca de los ríos Teno y Lontué decrece gradual y constantemente de este a oeste, lo que concuerda con la disminución de pendiente superficial del valle en esa dirección. Este patrón carece de irregularidades significativas; cuando existen, se trata de sectores puntuales, probablemente provocada por ondulaciones de terreno; sin embargo, es posible también la intervención de niveles anormales atribuible a aguas subterráneas “colgadas”; en este caso, los pozos o norias captan aguas de una zona saturada aislada que se ubica sobre el nivel de saturación (Hauser, 1990,1995).

Los sectores donde los niveles estáticos se encuentran a mayor profundidad corresponden a pozos excavados en unidades cineríticas, laháricas y aluviales interestratificadas con capas de baja permeabilidad ubicadas cerca del borde Preandino (Hauser, 1990 ,1995).

Si bien no existen datos que permitan hacer un seguimiento mensual de las variaciones del nivel estático, la DGA en 2012 estimó los niveles estáticos para ese año. El resultado de esto corresponde a un mapa de profundidades de niveles estáticos de la cuenca de los ríos Teno y Lontué, dividida en sectores de rangos de profundidad y se observa en la figura 15.

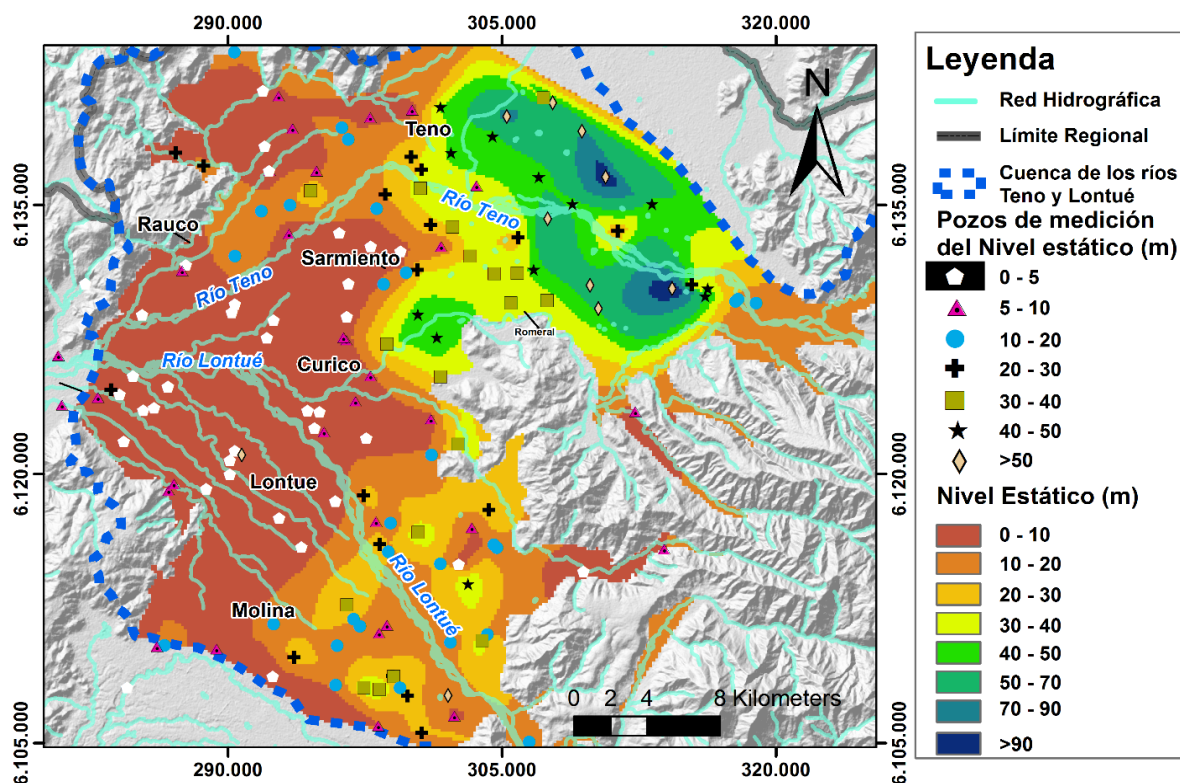


Figura 15. Profundidad de los niveles estáticos (m) con sus respectivos pozos de medición en la cuenca de los ríos Teno y Lontué, Datum WGS84, zona 19S. Fuente: Modificado DGA, 2012.

En la Figura 15 se observa que las mediciones y estimaciones del nivel estático realizadas por la DGA responden a la perfección a la descripción hecha por Hauser (1990,1995), mostrándose los niveles estáticos más profundos en las zonas cercanas al borde preandino y a su vez cercanos o bajo los depósitos cineríticos y laháricos de la parte Noreste de la cuenca.

Se observa que en la parte Noreste de la zona de estudio, en el borde preandino de la sub-cuenca del río Teno (Ver Figura 15), se encuentran las profundidades mayores, con rangos que van desde los 30 m a >90 m, mientras en la zona Este de la cuenca del río Lontué se observan que las profundidades más altas van de los 20 a 40 m.

Viendo las variaciones de manera regional se observa también una clara tendencia a disminuir las profundidades de los niveles estáticos a medida que se avanza de Este a Oeste. Se tienen así las menores profundidades del nivel estático en la zona Oeste de la cuenca con profundidades de 0 a 10m.

5.6 Dirección del flujo subterráneo

En la figura 16 se muestra el mapa con las curvas isofreáticas y la dirección de los flujos subterráneos de la cuenca de los ríos Teno y Lontué, generados por la DGA (2012). Las curvas equipotenciales obtenidas son cada 20m y comprenden un rango entre 500 a 140 m.s.n.m (Ver figura 16).

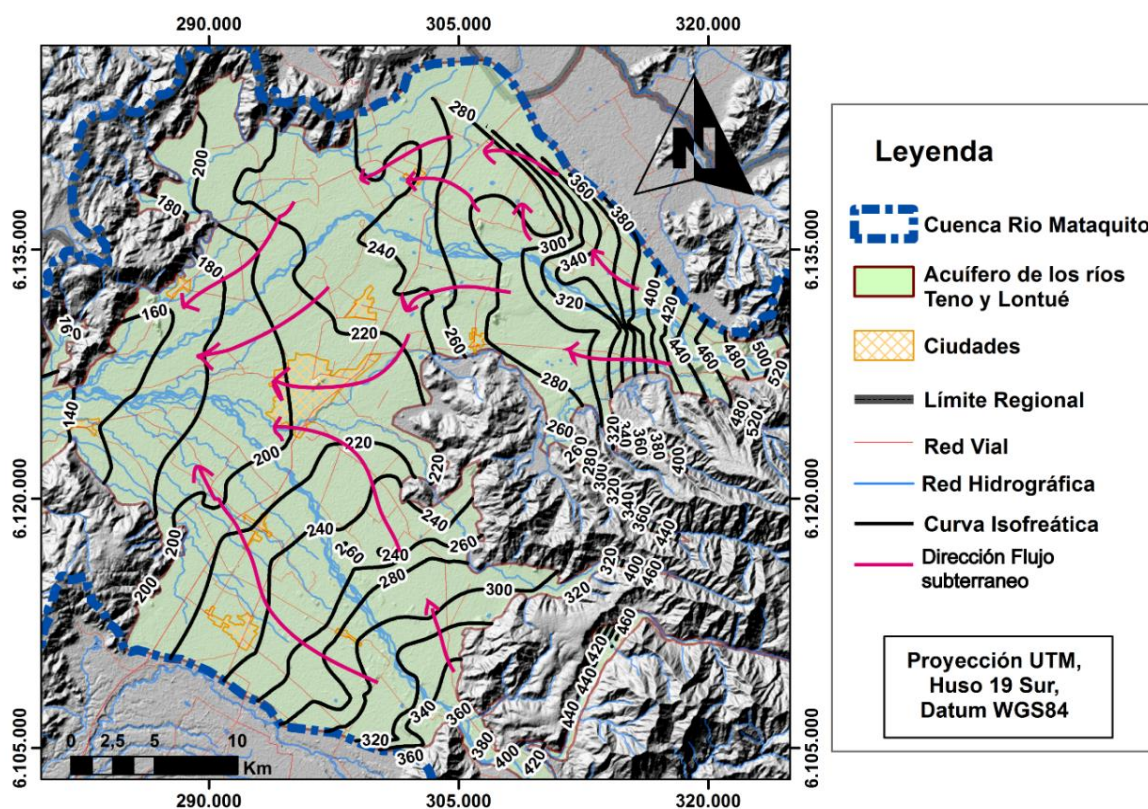


Figura 16. Curvas Isofreáticas o equipotenciales de la cuenca de los ríos Teno y Lontué, junto con la dirección de los flujos de aguas subterráneas. Fuente: Modificado DGA (2012).

En la figura 16 se observa una clara tendencia regional dominante en el movimiento de las aguas subterráneas de Este a Oeste, siguiendo el patrón de flujo que representan las aguas superficiales.

Los resultados obtenidos coinciden con la descripción de Hauser (1995) para la zona de estudio, donde describe: El movimiento del agua subterránea queda representado por las líneas de flujo, que son normales a las líneas equipotenciales (Ver Figura 16). El peculiar carácter morfoestructural de la zona estudiada, en las que se diferencian, Valle Central y borde preandino, determina el sentido y magnitud del flujo de agua subterránea. La trayectoria dominante es Este a Oeste y concuerda con los patrones regionales del escurrimiento superficial.

Hacia el borde preandino, la gradiente del escurrimiento es mayor, ya que se efectúa a través de materiales aluviales de baja permeabilidad. En la medida del avance hacia el oeste, Valle Central, la superficie definida por el nivel de aguas tiende a hacerse más horizontal, evidenciado la presencia de importantes volúmenes de agua, radicados principalmente en potentes secuencias granulares, muy permeables, de tipo fluvial (Hauser, 1995).

Tomando como base las curvas isofreáticas obtenidas (Ver figura 16) se elaboró un mapa de pendiente de la napa subterránea en % relativo (Ver figura 17), para cuantificar el gradiente hidráulico del acuífero en estudio.

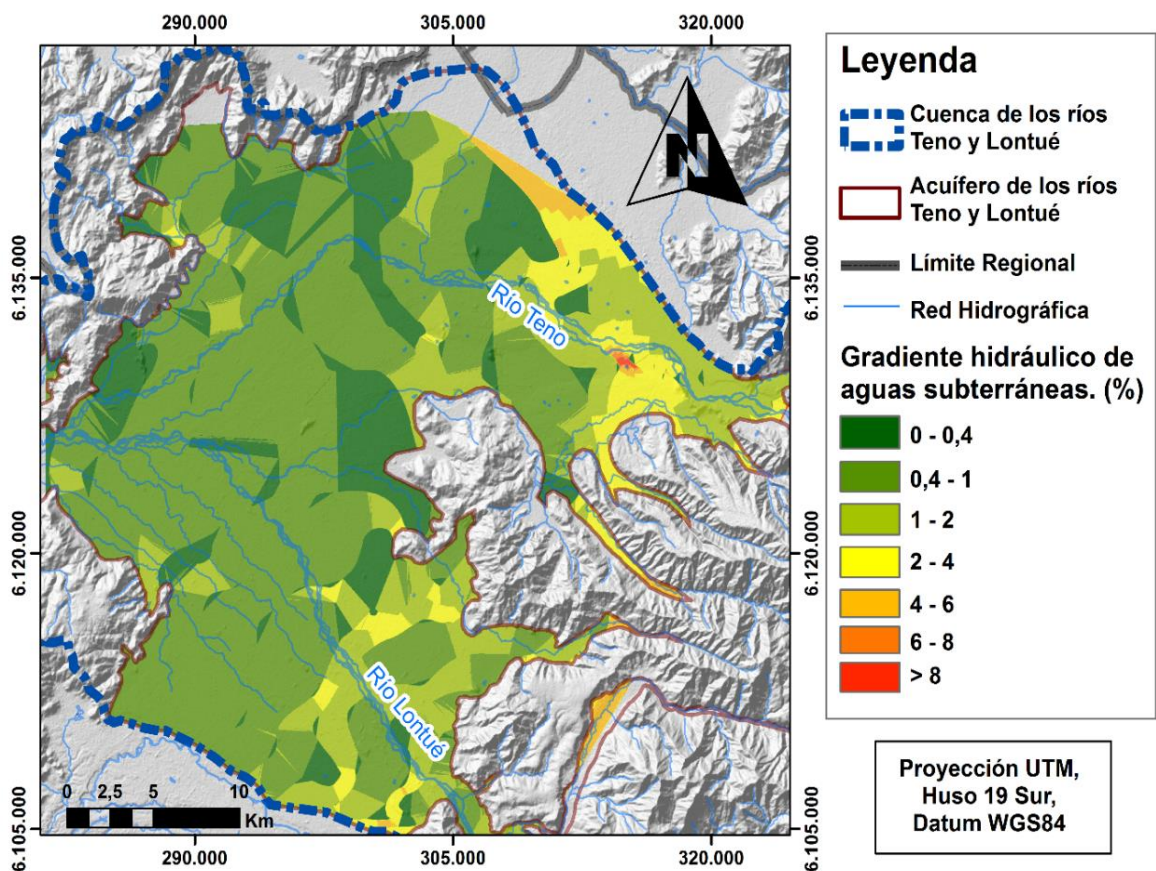


Figura 17. Gradiente hidráulico de las aguas subterráneas de los ríos Teno y Lontué en % relativo. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 17 se puede observar que casi la totalidad del acuífero de los ríos Teno y Lontué tienen una gradiente hidráulica que va desde 0 a 4%, con predominancia del tramo 0 a 2%, por lo que la cuenca posee pendientes de napas freáticas suaves (Oropeza, 2010; MOPUT, 1991). Se observa que las pendientes de 4 a 10% son bastante puntuales y a priori no afectarían el comportamiento general de flujo del acuífero.

5.7 Calidad del agua de la cuenca

5.7.1 Aguas superficiales

Los datos de calidad de agua superficial de la cuenca de los ríos Teno y Lontué se obtuvieron de un trabajo anterior llamado “Diagnostico y análisis de la calidad de agua de riego, cuencas Huasco y Mataquito” desarrollado por ARCADIS (2003), donde se efectuó un estudio de las calidades de aguas superficiales de la cuenca del río Mataquito. En este estudio se tuvieron como parámetros de calidad de agua, los establecidos en la Norma Nch1333 of 78 para agua de riego (INN; 1987), más otros correspondientes al proyecto de Norma Secundaria de calidad ambiental para aguas subterráneas. (CONAMA, 2003). Estos últimos son DQO (Demanda Química de Oxígeno), OD (Oxígeno Disuelto), Detergentes, DBO5 (Demanda Biológica de Oxígeno), Aceites y grasas, Nitrógeno y fósforo total, Poder espumógeno, sólidos suspendidos totales e índice de fenól. Además se analizó la presencia de herbicida (Simazina y MCPA).

Durante los meses que se llevó a cabo el estudio se realizaron 3 muestreos, en 24 puntos de la cuenca para tener una buena aproximación sobre el estado actual del recurso hídrico. Para Efectos de este estudio solo se consideró 16 puntos de muestreo, que son los que están dentro de la cuenca de los ríos Teno y Lontué. Éstos se presentan en la figura 18 y la Tabla 4.

Tabla 4. Puntos de medida y seguimiento de la calidad de las aguas superficiales en la Cuenca de los Ríos Teno y Lontué. Fuente: ARCADIS (2013).

Código	Localización
M01	Río Teno en Bocatoma de Canal La Cañada
M02	Río Teno en el Puente de la Ruta J-60
M03	Río Mataquito después de la junta del Teno con el Lontué
M08	Río Lontué en Puente Yacal
M09	Río Lontué en Puente de la Ruta 5
M10	Río Lontué antes de la confluencia con el Teno
M11	Estero Rauco después de las descargas del Pueblo Rauco
M12	Estero Guaiquillo antes que se junte con el Río Lontué
M13	Río Seco (Hualemo) antes de la Ciudad de Lontué, Sector "Entre Ríos"
M14	Río Seco (Hualemo) en puente de la Ruta 5, antes de la toma del Canal Molina bajo
M15	Canal Quillayes después de la junta con el Río Seco (Hualemo)
M16	Canal Aranguiz después de la Ciudad de Lontué, en Viña de Carlos Spencer
M17	Estero Patagual en puente del camino Sta. Rosa
M18	Canal Patagual en sector Agrícola Sta. Raquel
M19	Estero Carretón en la entrada a la Agrícola Ruggieri
M20	Estero Carretón en Bocatoma del Canal El Morro

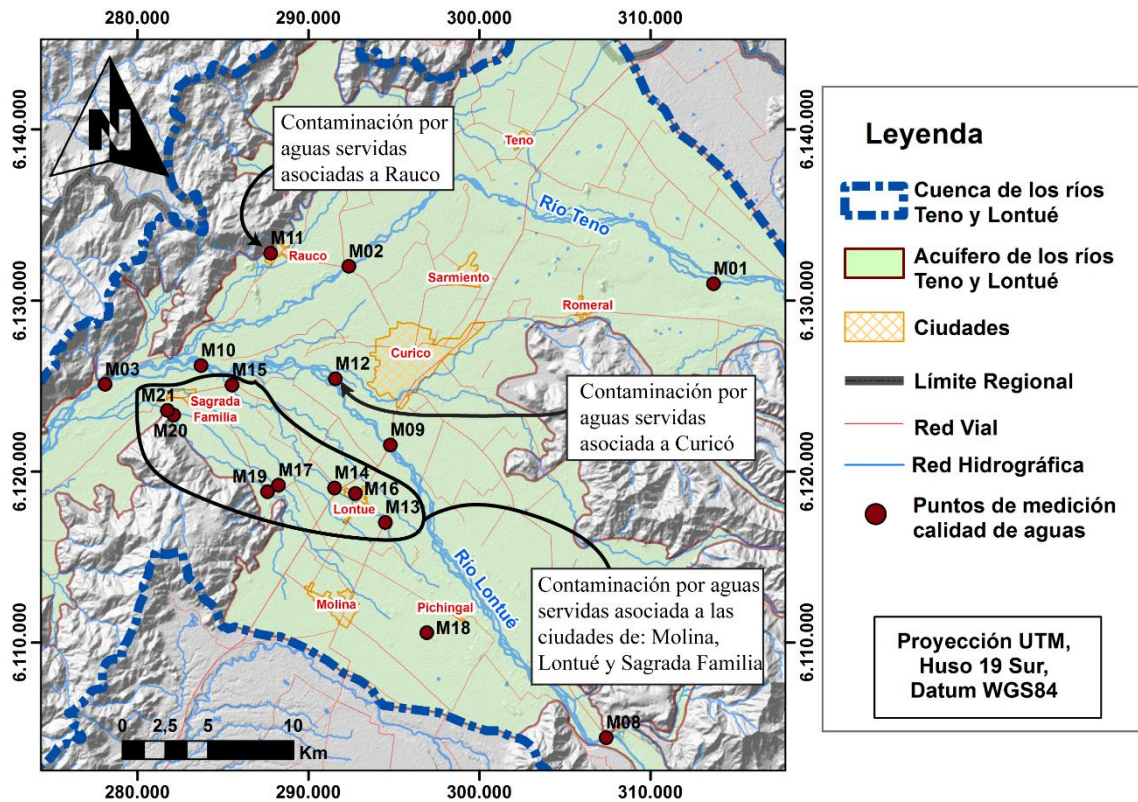


Figura 18. Puntos de medida y seguimiento de la calidad de las aguas superficiales en la Cuenca de los Ríos Teno y Lontué. Los puntos destacados presentan coliformes fecales por sobre de los parámetros establecidos. Fuente: Modificado de ARCADIS (2003).

Los resultados de los análisis de laboratorio indican que todas las mediciones están dentro de los parámetros seleccionados, excepto las Coliformes Fecales en los puntos M11 a M21 que exceden la norma (Ver figura 18). Por otro lado en esos puntos se hicieron estudios de suelo que reiteran la contaminación por Coliformes fecales en el estrato superior del suelo. (ARCADIS, 2003)

Se observa en la figura 18 que la contaminación de Coliformes fecales se asocia a la descarga de aguas servidas asociada a poblados cercanos.

La Norma Nch1333 of.78 y la Norma Secundaria de calidad ambiental para aguas subterráneas (CONAMA, 2003) se describen en detalle en el Anexo E.

5.7.2 Aguas subterráneas

Los datos de calidad de agua subterránea de la cuenca de los ríos Teno y Lontué se obtuvieron de un trabajo anterior llamado “Estudio de calidad de aguas subterráneas en las cuencas del río Huasco y Mataquito” (CNR, 2006a). Los parámetros analizados en ese estudio corresponden a los de la Norma Nch1333 Of.78 (INN, 1987) para agua de riego (INN, 1987), más otros correspondientes al proyecto de Norma secundaria (CONAMA, 2003). Estos últimos son: Alcalinidad Total, Bicarbonatos, Calcio, Carbonatos, Conductividad Eléctrica, DBO5, DQO, Dureza total, Magnesio, Nitritos, Nitratos, Potasio, RAS, Sólidos Disueltos Totales, Sodio, índice Fenal y Fósforo Total.

Se descartan de las normas los parámetros: Poder Espumógeno, Aceites, Grasas y Detergentes y herbicidas (Simazina y MCPA), ya sea por su poca movilidad en el medio acuífero, así como por el hecho de no encontrarse en las aguas superficiales (CNR, 2006a).

Los puntos en los cuales se realizaron las mediciones se muestran en la figura 19. La CNR (2006a) realizó 3 campañas de medición correspondientes a los meses de marzo, mayo y septiembre del 2005.

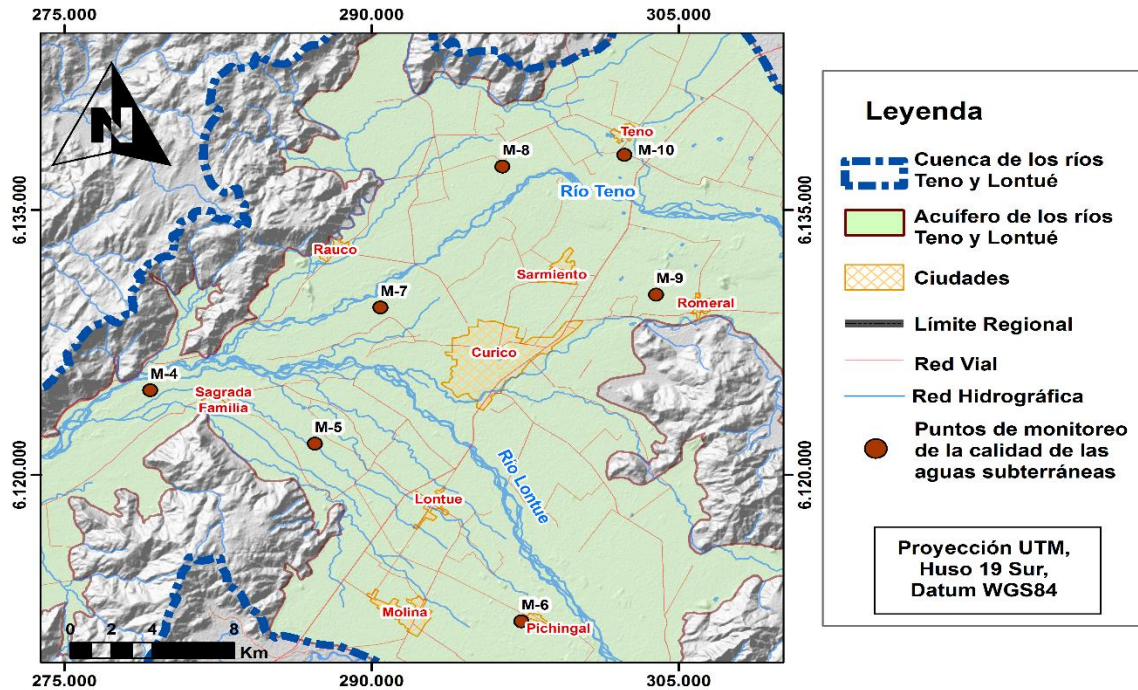


Figura 19. Puntos de medida de la calidad ambiental de las aguas subterráneas en la cuenca de los ríos Teno y Lontué. Fuente: Modificado DGA (2006).

De acuerdo con los resultados obtenidos por la DGA (2006a), sólo algunos parámetros sobrepasan los límites de las normas. Los parámetros excedidos para la cuenca de los ríos del Teno y Lontué son:

- a) Respecto de la norma 1333; Ningún parámetro excede la norma.
- b) Respecto de la guía sobre normas secundarias; Aluminio (Ver Figura 20).

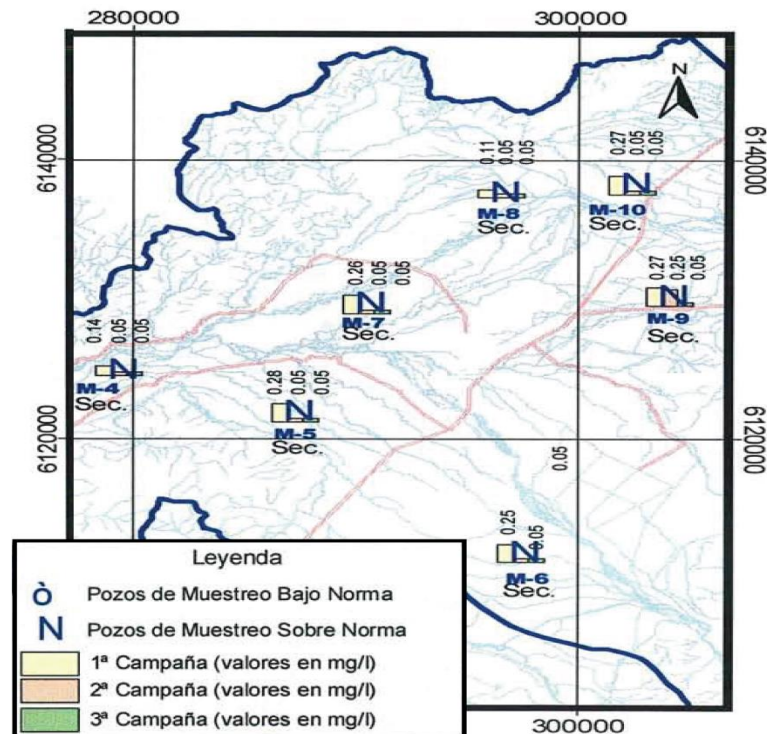


Figura 20. Estaciones que sobrepasan el parámetro del Aluminio en aguas subterráneas según la Guía de normas Secundarias (CONAMA ,2003). Fuente: Modificado DGA (2006a.)

En la figura 20 se observa que gran parte de la cuenca en estudio tiene las aguas subterráneas con valores de aluminio por sobre la norma secundaria. DGA (2004) asocia el origen del Aluminio en la cuenca a la actividad volcánica de la región. Las ignimbritas y micas, que por efectos de meteorización originan arcillas, más el pH y el efecto del arrastre por escorrentías origina que los compuestos aluminico-silicatos se encuentren siempre presentes en los cursos de los ríos Teno y Lontué. Los aumentos puntuales de la concentración de aluminio se producen generalmente durante el derretimiento de nieves ácidas. Por otra parte, dado que la cantidad de aluminio insoluble en los suelos es grande, cambios muy pequeños en las condiciones del suelo, pueden llevar a incrementos relativamente grandes en aguas naturales cercanas (lluvias levemente ácidas).

5.8 Relación río-acuífero.

En el estudio CNR (2006a) se ha logrado identificar las zonas de los ríos Teno y Lontué que presentan infiltración o afloramientos (recarga del acuífero al río) permanentes y en qué sectores los ríos tendrían un comportamiento mixto (afloramiento o recarga dependiente de la fluctuación estacional o interanual de la napa). En la figura 21 se presentan las zonas delimitadas.

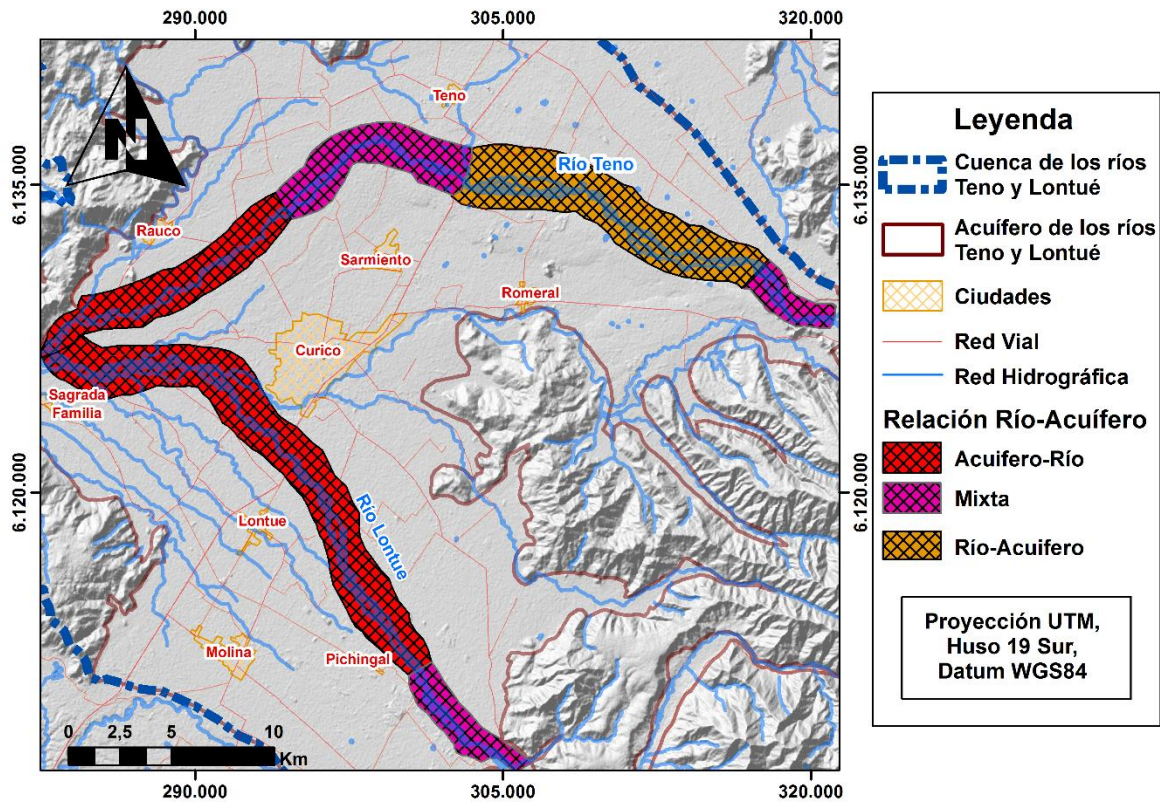


Figura 21. Relación de recarga entre los ríos Teno y Lontué, y el acuífero asociado. En color rojo se observan las zonas de afloramiento, en morado las zonas mixtas y en amarillo las zonas de infiltración permanente. Fuente: Modificado DGA (2006a).

Se observa en la figura 21 que solo en la parte alta del río Teno (color amarillo oscuro) se producirían infiltraciones permanentes del lecho hasta el nivel estático. El “Estudio integral de la cuenca del río Mataquito” (DGA, 1978), indica que la capacidad de infiltración para ese tramo del río sería del orden de 200 a 400 l/s/km. Considerando que el tramo de infiltración permanente posee una longitud de 16,5 km aproximadamente se tendría un caudal potencial de infiltración de 3,3 a 6,6 m³/s (CNR, 2006a).

6. Resultados

6.1 Determinación de sectores con potencialidad para la recarga gestionada

Los sectores con potencialidad para la recarga gestionada en la cuenca de los ríos Teno y Lontué se determinaron en base a los aspectos técnicos favorables para el éxito de un proyecto MAR presentes en la zona de estudio (Ver sección 2.4.1). Específicamente se delimitaron polígonos que abarcan las áreas donde las profundidades del nivel estático son de mínimo 20 m (Ver figura 22.A), y otros que encierran los lugares donde las permeabilidades horizontales son mayores a 20 m/d (Ver figura 22.B), para luego ser intersectados, obteniéndose así los sectores que cumplen con ambas condiciones (Figura 22.C) y que se definen como las zonas con atractivo para este tipo de proyectos.

Se obtienen, así 6 sectores favorables para la recarga gestionada dentro de la cuenca en estudio: S1, S2, S3, S4, S5 y S6 (Ver Figura 22.C y Figura 23).

Los parámetros de nivel estático y permeabilidades (20 m y 20 m/d como mínimo) han sido establecidos para obtener un sector con una extensión que asegure el éxito de un futuro proyecto de recarga gestionada, y que a su vez, abarque las zonas con las mejores condiciones, es decir: las mejores permeabilidades, niveles estáticos y las zonas del río sin conexión con el acuífero (Ver figura 23.C).

El sector 1 es notoriamente el de mayor extensión, también posee los mayores valores de profundidad de niveles estáticos y permeabilidades presentes en la cuenca (Ver figura 23 A y B), y a su vez, contiene las zonas del río Teno donde se genera recarga natural por parte de éste último al acuífero de manera permanente en el tiempo. (Ver figura 23.C). Dados estos atributos con respecto al resto de los sectores, se ha considerado el sector 1, como el único para ser analizado en detalle.

Con respecto a la elección de los parámetros de selección, es importante mencionar que no existen valores de permeabilidad y niveles estáticos considerados “buenos o malos” de manera establecida en un proyecto de recarga gestionada, pues no son una limitante por sí solos, sino más bien ayudan a elegir o descartar distintos métodos de recarga gestionada. Los valores condicionantes para la delimitación de las zonas se escogerán de acuerdo al objetivo y propósitos de cada proyecto. Es preferible elegir sectores con valores más altos para disminuir lo más posible la incertidumbre, y maximizar el beneficio, pero esto no quiere decir que valores bajos harán fracasar un proyecto. Para asegurar el éxito de un proyecto con valores con alta incertidumbre hay que hacer un buen modelo numérico y hacer un análisis de sensibilidad de los parámetros (Sánchez, 2015; Ortuño, 2015).

A modo de ejemplo de lo expuesto en el párrafo anterior, en el proyecto de recarga gestionada del acuífero de la cubeta de Santiuste, Segovia, España, se trabajó con permeabilidades de 6 a 10m/d y Niveles estáticos con una profundidad de 10 m (Fernández Escalante, 2005). Al igual que Fernández Escalante, Sánchez (2016) ha trabajado en España en proyectos con profundidades de nivel estático menores a 10 m y permeabilidades menores a 10 m/d.

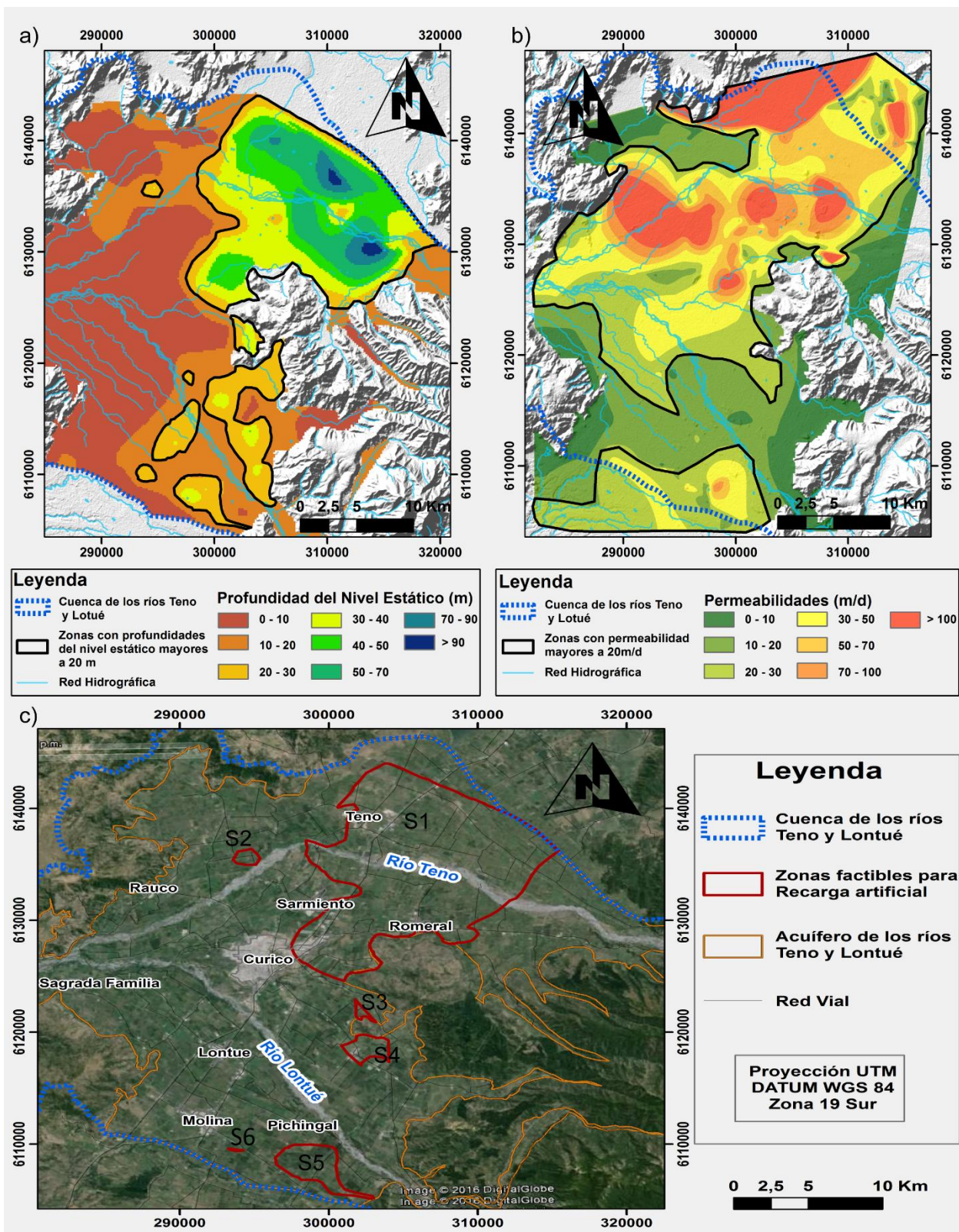


Figura 22. A) Polígono que encierra las áreas que tienen profundidades del nivel estático mayores a 20 m. B) Polígonos que abarcan las áreas que tienen permeabilidades mayores a 20 m/d. C) Polígonos que encierran los sectores con potencialidad para un proyecto de recarga gestionada, generados por la intersección de los polígonos del mapa A) y B). Existen 6: S1, S2, S3, S4, S5 y S6. Fuente: Elaboración propia.

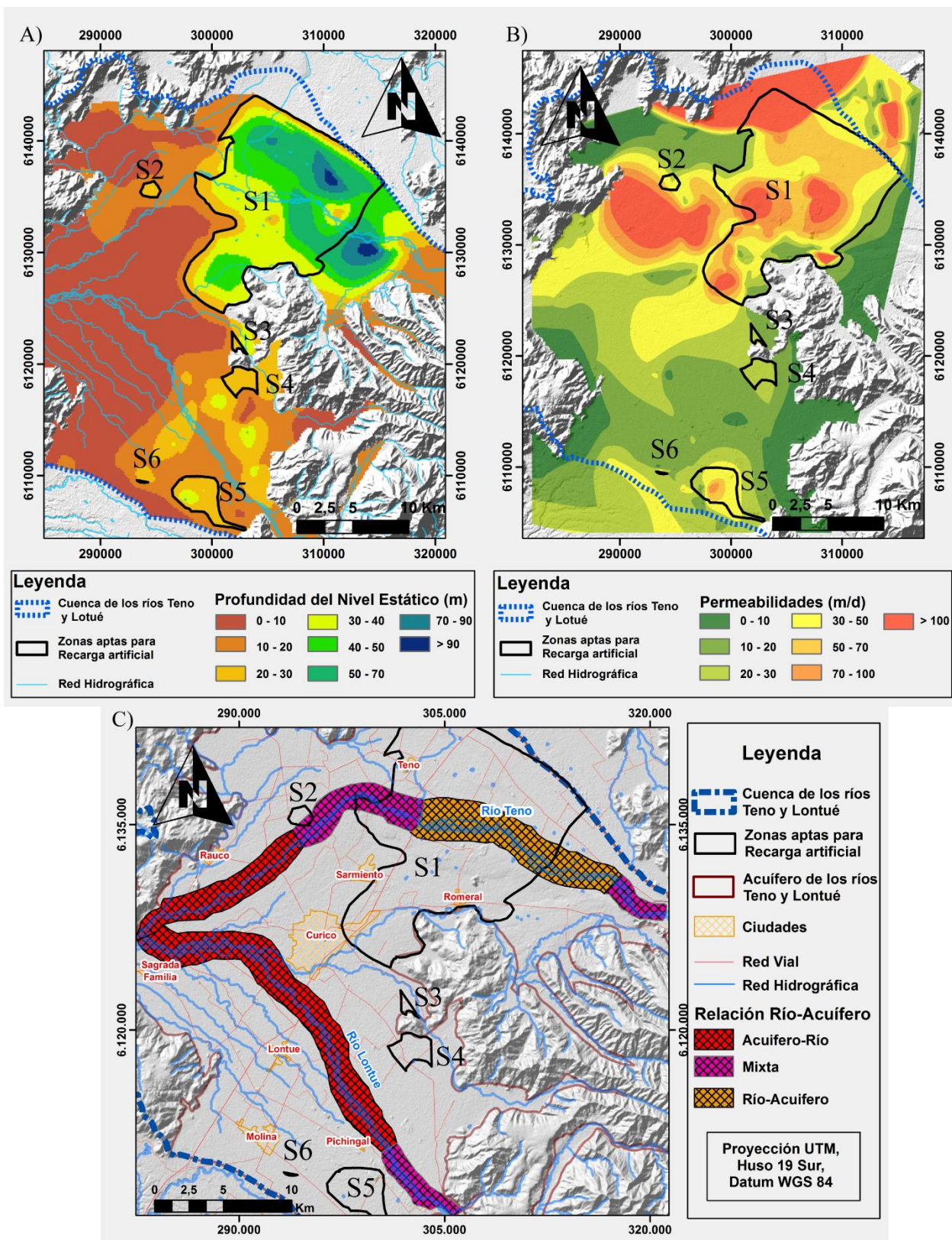


Figura 23. A) Distribución de las profundidades de los niveles estáticos de la cuenca en estudio en los 6 sectores aptos para la recarga gestionada. B) Distribución de las permeabilidades de la cuenca en estudio en los 6 sectores C) relaciones río-acuífero en los 6 sectores con potencialidad. Fuente: Elaboración propia.

6.1.1 Caracterización Sector 1

6.1.1.1 Ubicación

El sector 1 (S1) se ubica en la parte Norte de la cuenca de los ríos Teno y Lontué, y abarca las comunas de Teno, Romeral y una pequeña parte de Curicó, comprendiendo un área de 185 km². Por este sector pasan 14 km del río Teno. El extremo más norte del sector 1 queda a 6 km del embalse Convento Viejo de la provincia de Colchagua. (Ver figura 24).

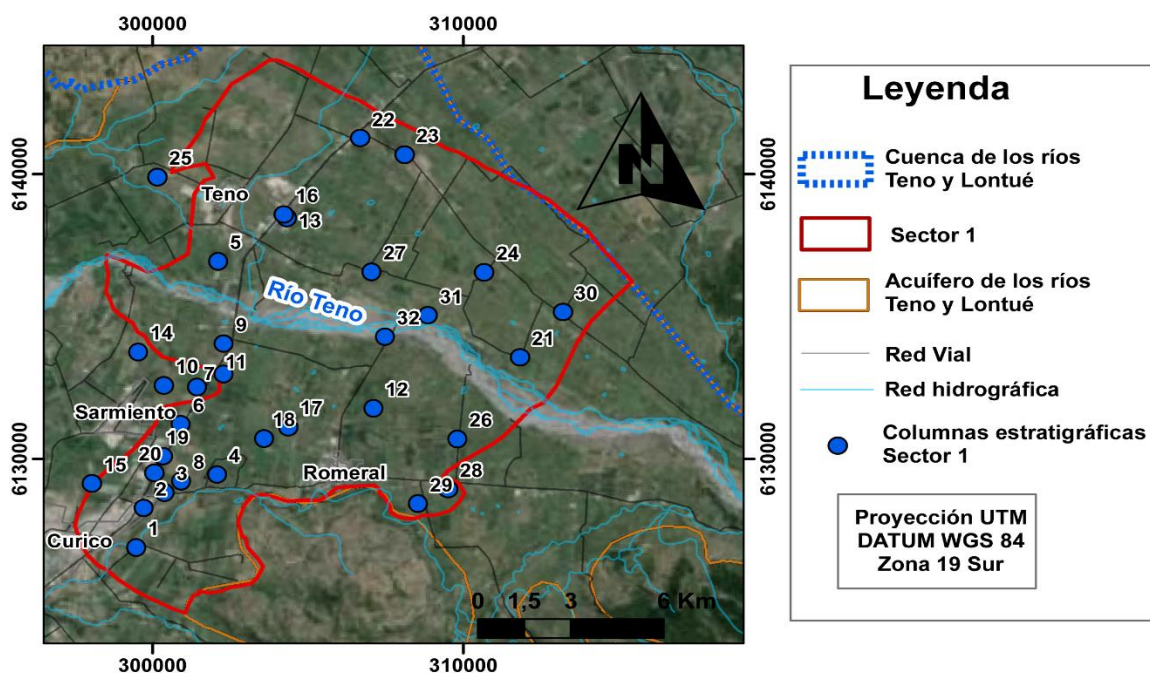


Figura 24. Ubicación del sector 1 y de las columnas estratigráficas asociadas al sector. Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.2 Estratigrafía

Para poder establecer el mecanismo de recarga gestionada de acuíferos más apropiado en la zona, es imprescindible conocer la estratigrafía en detalle del sector 1.

Como se puede observar en la figura 25, dentro del sector 1 hay extensas áreas correspondientes a la Unidad 2 (baja permeabilidad), específicamente depósitos del lahar del río Teno (Qlt), por lo que resulta de suma importancia conocer el espesor y geometría en profundidad de esta unidad para entender a la perfección la dinámica hídrica del acuífero y así elegir de manera correcta el método de recarga en la zona, y con esto reducir la incertidumbre en un futuro proyecto. También es necesario conocer con cierto grado de detalle la geología de subsuperficie, para poder establecer a grandes rasgos el diseño del mecanismo de recarga y poder elegir los puntos de infiltración y extracción.

En este contexto se ha recopilado y analizado la información estratigráfica de 32 pozos ubicados en el sector 1 y sus cercanías (Ver figura 25). La información fue recopilada de los expedientes de la Dirección General de Aguas (Chile) y con ésta se elaboraron 4 perfiles (Ver figura 25), los que se presentan en las figuras 26 a 29.

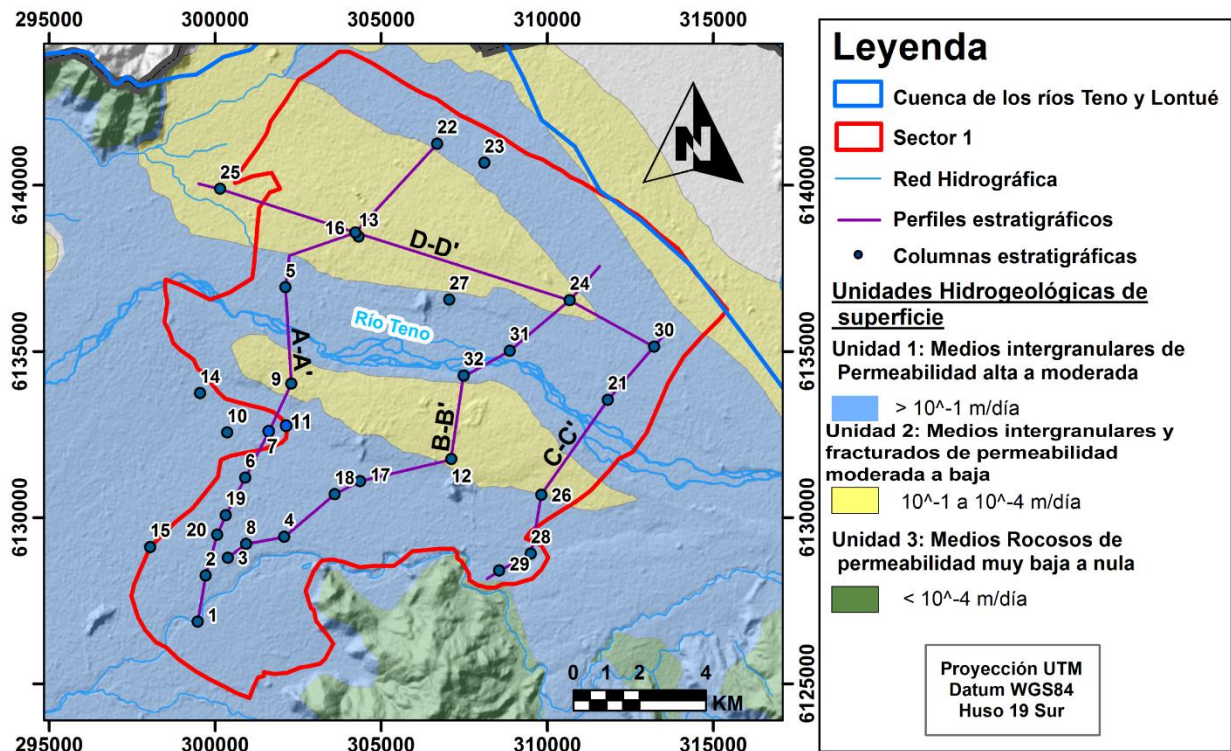


Figura 25. Perfiles estratigráficos del sector 1, junto con la ubicación de las columnas geológicas utilizadas para la realización de los perfiles. Fuente: Elaboración propia.

La estratigrafía de los pozos y de los 4 perfiles (Figuras 26 a 29) se clasificaron en las unidades Hidrogeológicas 1, 2 y 3, como se definió en la sección 5.2. La clasificación se hizo en base a los rangos estimativos de permeabilidad atribuidos a las características sedimentológicas de los pozos.

La descripción estratigráfica de los pozos en detalle y sus principales características hidráulicas se encuentran en el anexo D.2.

Cabe mencionar que la descripción estratigráfica de las columnas geológicas fue efectuada por diverso personal, muchas veces no capacitado, de diferentes empresas contratistas, por lo tanto, no hay una homologación de criterios descriptivos.

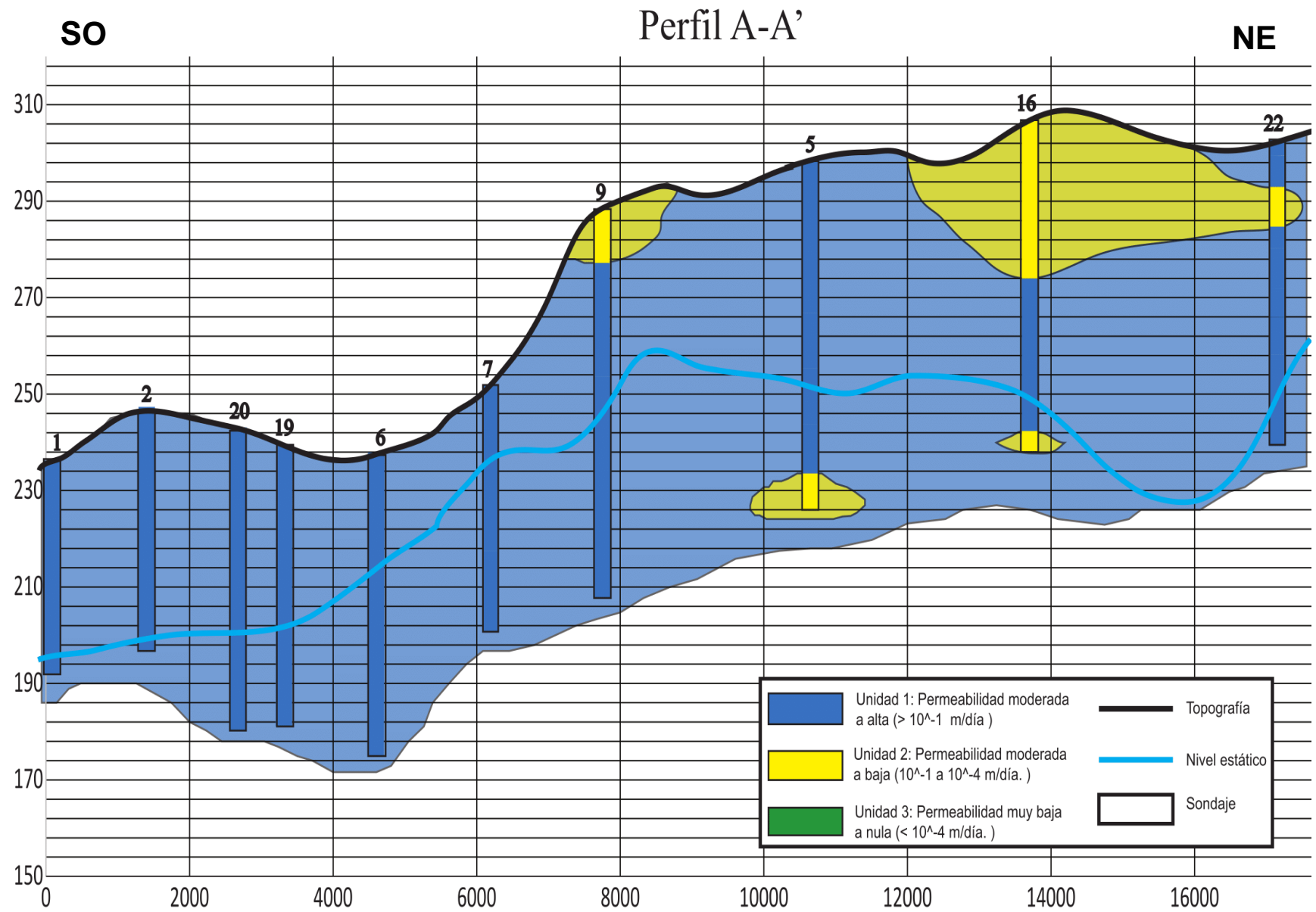


Figura 26. Perfil A-A' Zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

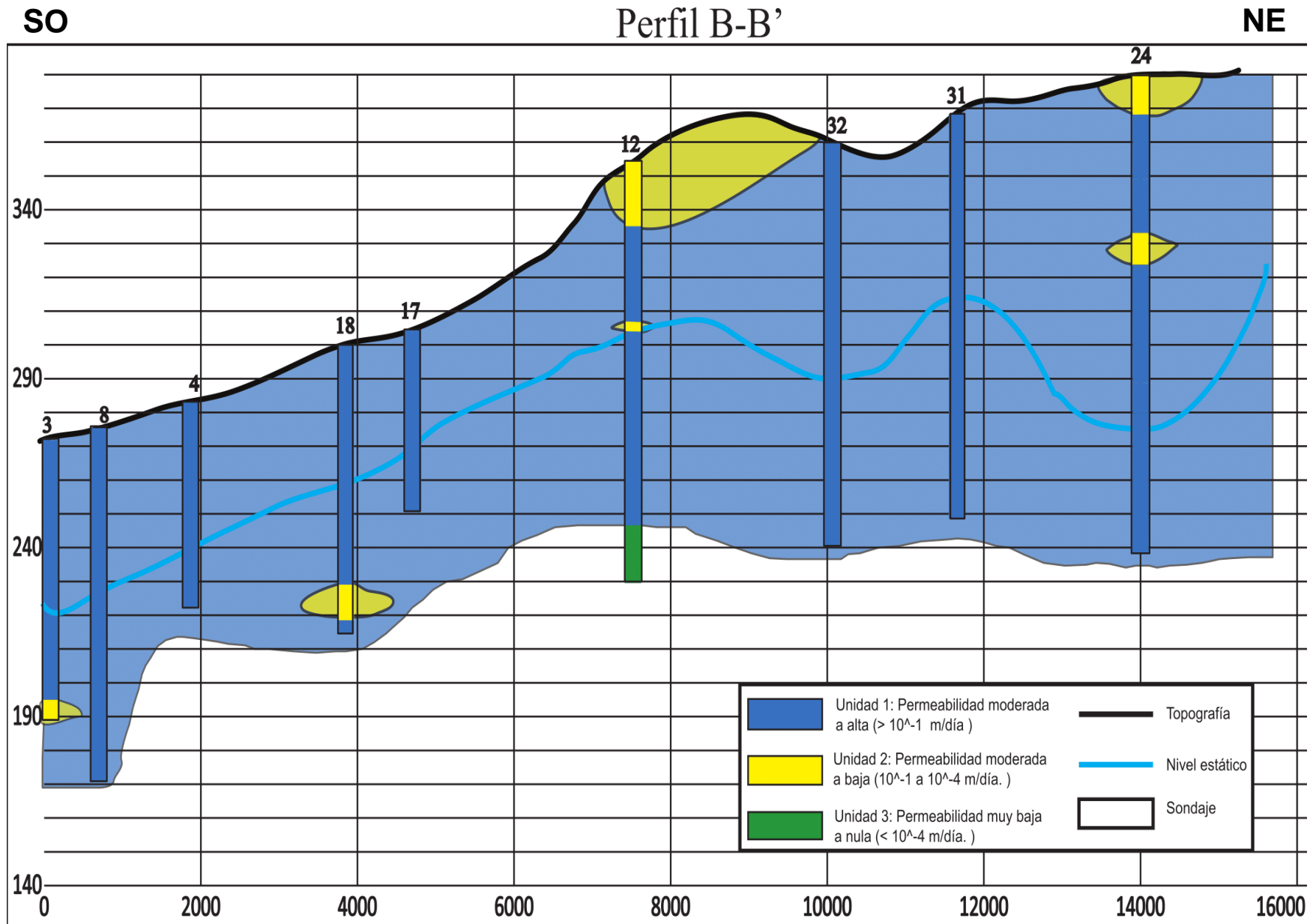


Figura 27. Perfil B-B' Zona de estudio. Fuente: Elaboración propia

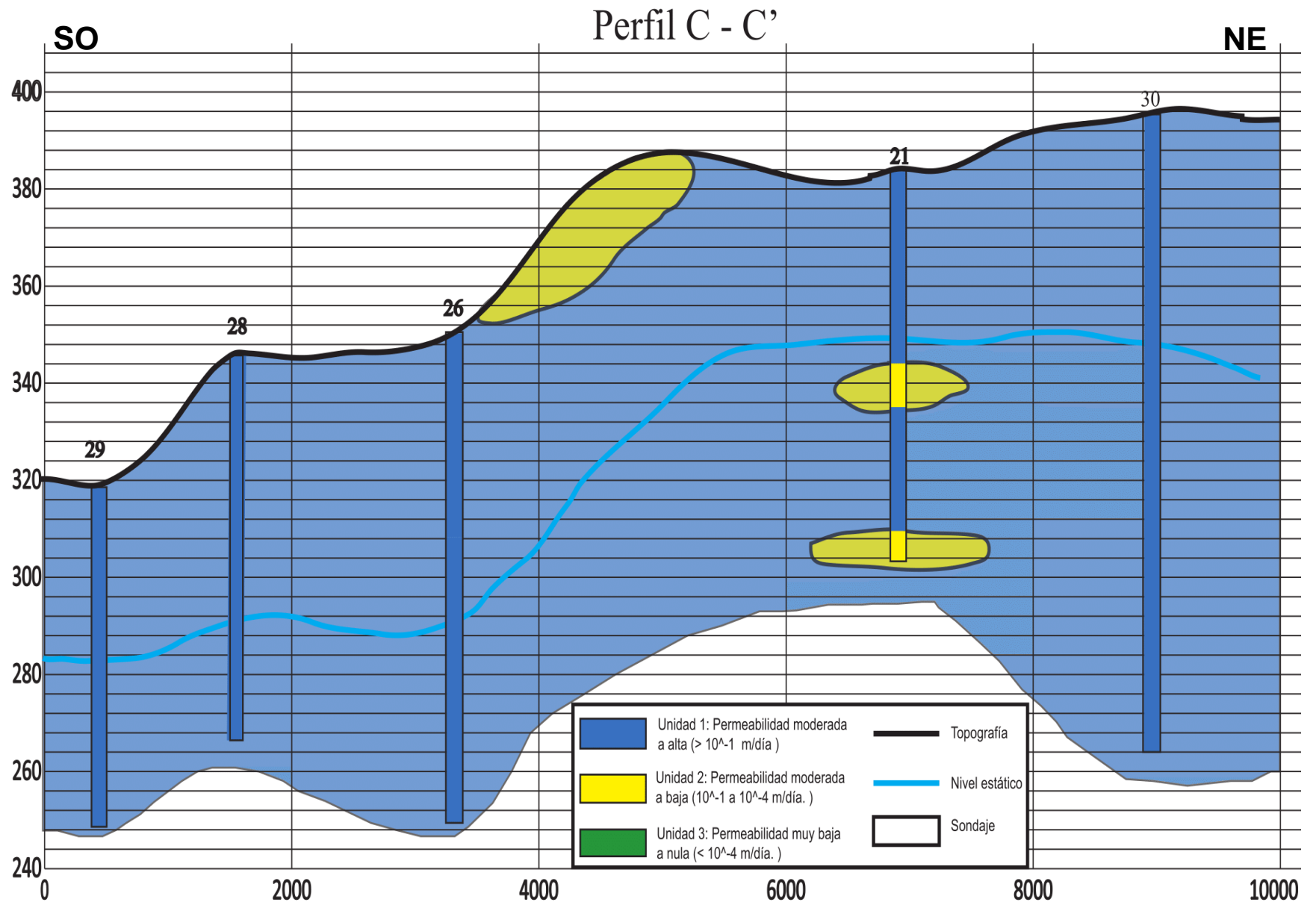


Figura 28. Perfil C-C' zona de estudios. Fuente: Elaboración propia.

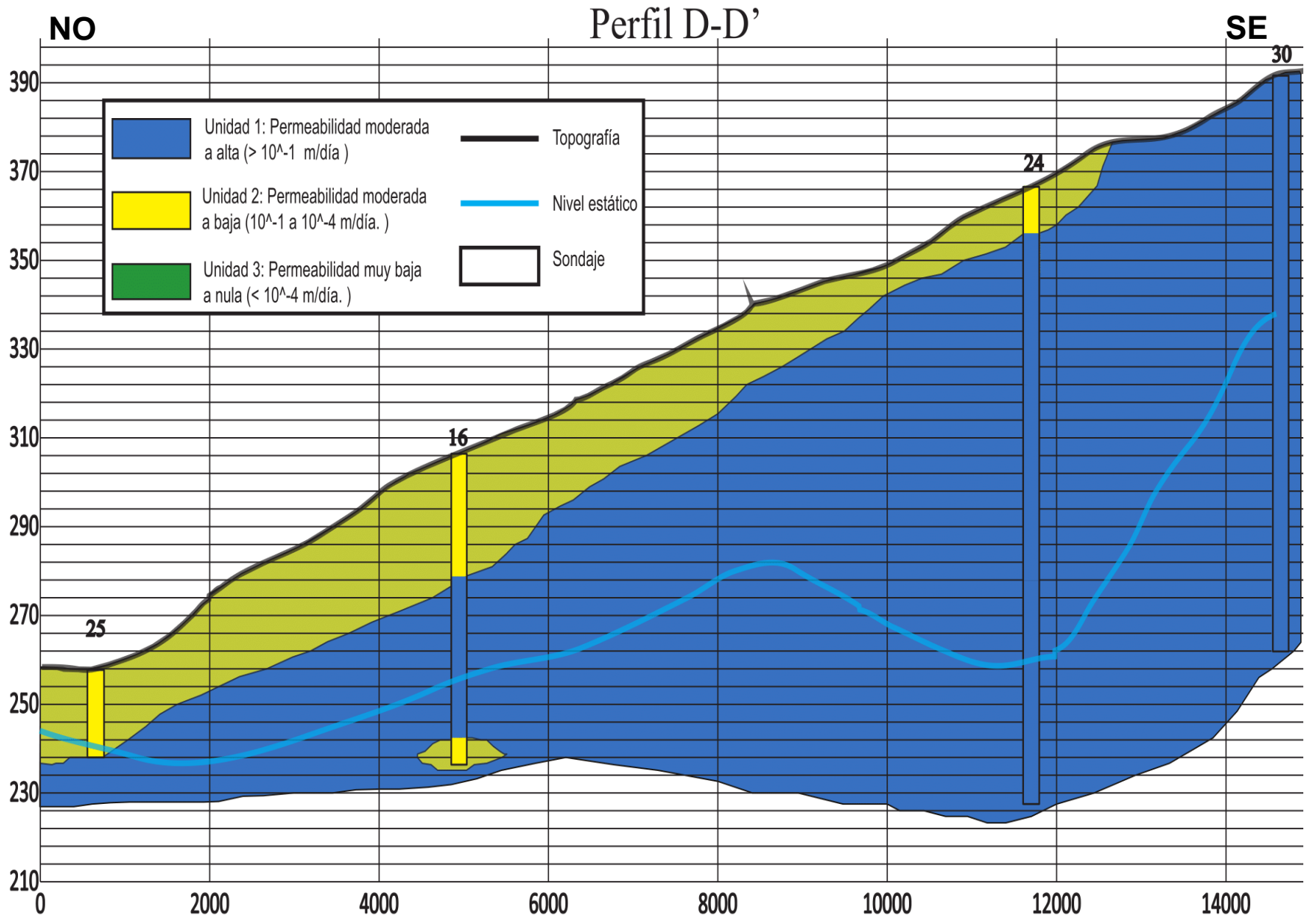


Figura 29. Perfil D-D' Zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

6.1.1.3 Gradiente hidráulico y pendiente topográfica

Bajas gradientes hidráulicas evitan o reducen al mínimo la incertidumbre de que el domo generado por la subida de los niveles estáticos (a causa de un proyecto de recarga gestionada), se mueva rápido aguas abajo y se amortigüe. Este proceso reduce la efectividad de la recarga, o simplemente, hace que las aguas incorporadas a la napa se pierdan rápidamente (Cabrera ,2014; CNR, 2013).

Como se observa en la figura 30 el sector 1 posee gradientes hidráulicos que van de 0 a 6%, con un claro predominio de pendientes de la napa entre 0 a 2% seguido por el rango 2 a 4%, por tanto el sector posee principalmente pendientes de napas freáticas “suaves” (Oropeza, 2010; MOPUT, 1991) o “Buenas” a “Muy buenas” para la recarga gestionada (Chowdhury et al., 2009). De acuerdo con Fernández Escalante (2005) y Chowdhury (2009), el sector 1 tendría condiciones gradientes hidráulicas muy favorables para un futuro proyecto de recarga gestionada.

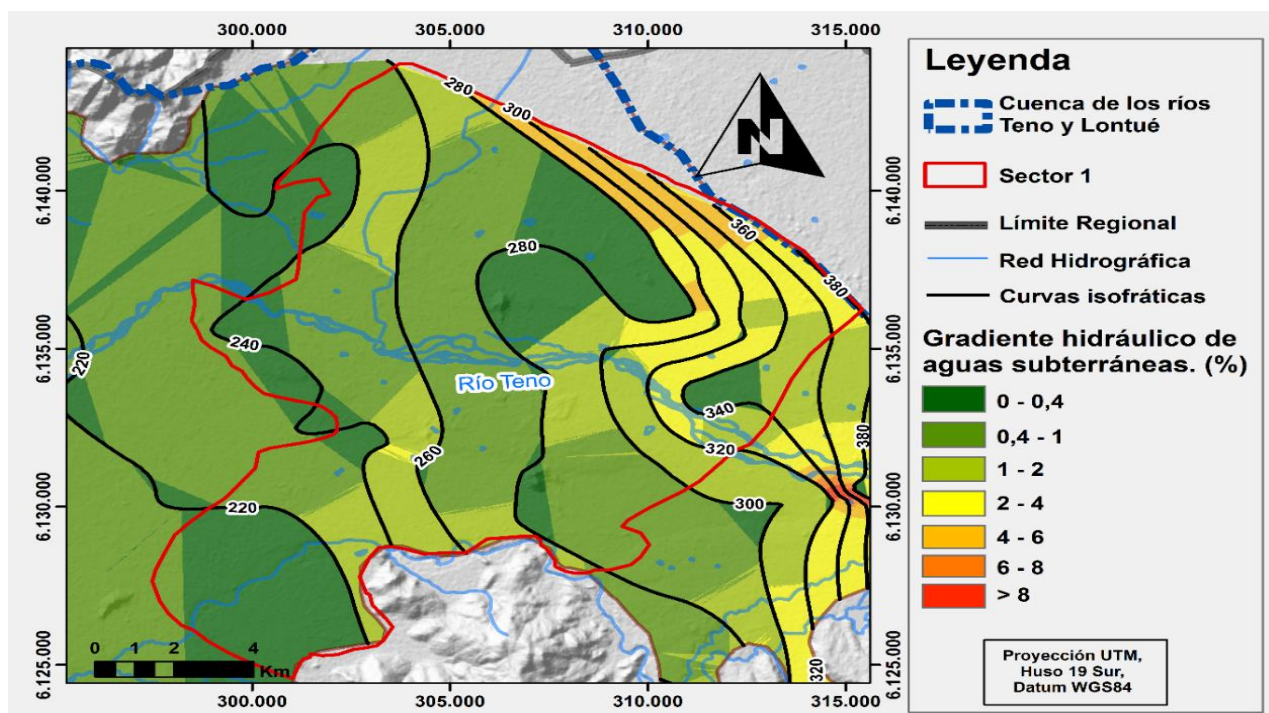


Figura 30. Gradientes Hidráulicos y curvas isofreáticas en el sector 1. Fuente: Elaboración propia

Los gradientes de 4 a 6 %, se presentan de manera muy puntual (Ver figura 30) y ocurrirían producto de flujos de mayor gradiente provenientes del embalse Convento Viejo ubicado al norte del sector en estudio. A priori esta situación no presentaría problema alguno para la instalación de una obra destinada a la recarga gestionada de acuíferos en el sector 1, ya que se presenta de manera muy puntual y su ubicación geográfica es distante a la fuente de recarga (río Teno).

Cabe destacar que no existen valores intrínsecamente buenos de gradientes hidráulicas, sino datos que bajan o suben la incertidumbre y riesgo de fracaso. Para asegurarse de buenos resultados debe hacerse un modelo matemático de flujo subterráneo para hacer el análisis de sensibilidad de parámetros (Sánchez, 2016).

Las pendientes topográficas del sector 1 (Ver figura 31), se obtuvieron del estudio “Actualización cartográfica de suelos en la VII Región. Chile. Escala 1:100.000” realizado por CIREN (2015).

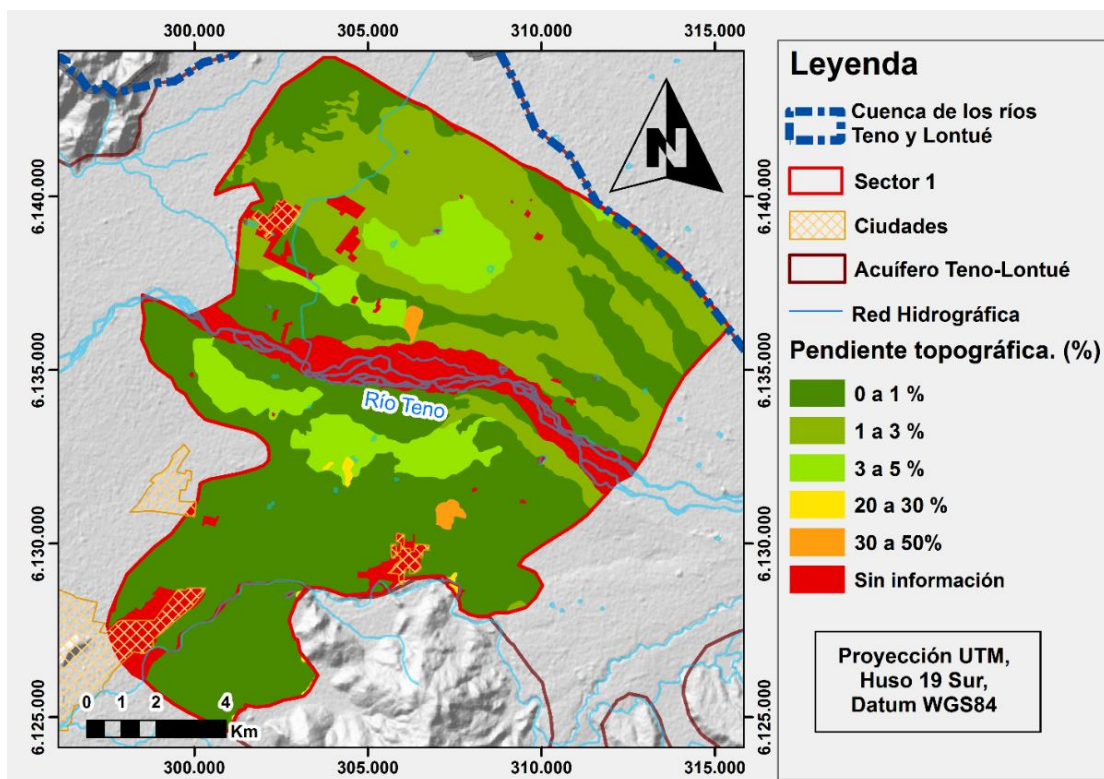


Figura 31. Pendientes topográficas (%) del sector 1. Fuente: Modificado CIREN (2015).

Se observa en la figura 31 que las pendientes varían de 0 a 50%, con un claro predominio del rango 0 a 3%. Según CIREN (2015) la zona sur del sector 1 es principalmente “Plana” (0 a 1 %) y la zona Norte (al Norte del río Teno) “Casi plana” (1 a 3%). Las pendientes “onduladas” (3 a 5%) se presentan al Norte y Sur del río Teno con una extensión limitada, y son asociadas a morfologías de los depósitos del Lahar del río Teno (Qlt). Las zonas que no tienen información de pendiente son las áreas pobladas y el cauce del río Ten, sectores que no se consideraron el estudio de CIREN (2015).

Chowdhury et al. (2009) clasifica las pendientes topográficas de acuerdo a la factibilidad de recibir un proyecto de recarga gestionada. Según este estudio las áreas del sector 1 que tienen pendientes de 0 a 1 % caen en la clasificación de “muy bueno”. Las con 1 a 3% son consideradas “buenas” para el almacenamiento de agua subterránea, debido a la topografía suavemente ondulada pero con algo de escorrentía. Las áreas con 3 a 5% de pendiente generan relativamente alta escorrentía con poca infiltración por lo que se categoriza como “moderada”. Por últimos los rangos 5 a 10% y > 10 % son considerados como “pobres” o “malos” para la recarga gestionada de acuíferos debido a su alta escorrentía y su baja infiltración.

6.1.1.4 Permeabilidad superficial

La permeabilidad vertical de la superficie en estudio, es una información necesaria para la elección de un mecanismo de recarga y su apropiada gestión.

Las zonas con permeabilidades superficiales altas, son más susceptibles de alojar un sistema de infiltración superficial como zanjas, piscinas etc. Por el contrario las zonas que solo pueden alojar mecanismos MAR profundos o directos al acuíferos son las de permeabilidades bajas.

En la figura 32 se presenta la distribución de las permeabilidades verticales superficiales del sector 1. Se observa que las permeabilidades más altas se encuentran en la zona del cauce del río Teno y en su llanura de inundación. Las permeabilidades bajas (0,1 – 0,5 m/d) se encuentran al sur y norte del río Teno, asociadas a la ubicación de la Unidad Hidrogeológica 2, específicamente el Lahar del río Teno.

La zona sur del sector 1 (triángulo Sarmiento – Romeral – Curicó) se caracteriza por tener permeabilidades verticales superficiales entre 0,5 a 1,5 m/d con apariciones esporádicas de áreas poco extensas con permeabilidades de 1,5 – 3 m/d y 3 – 6 m/d (Ver figura 32).

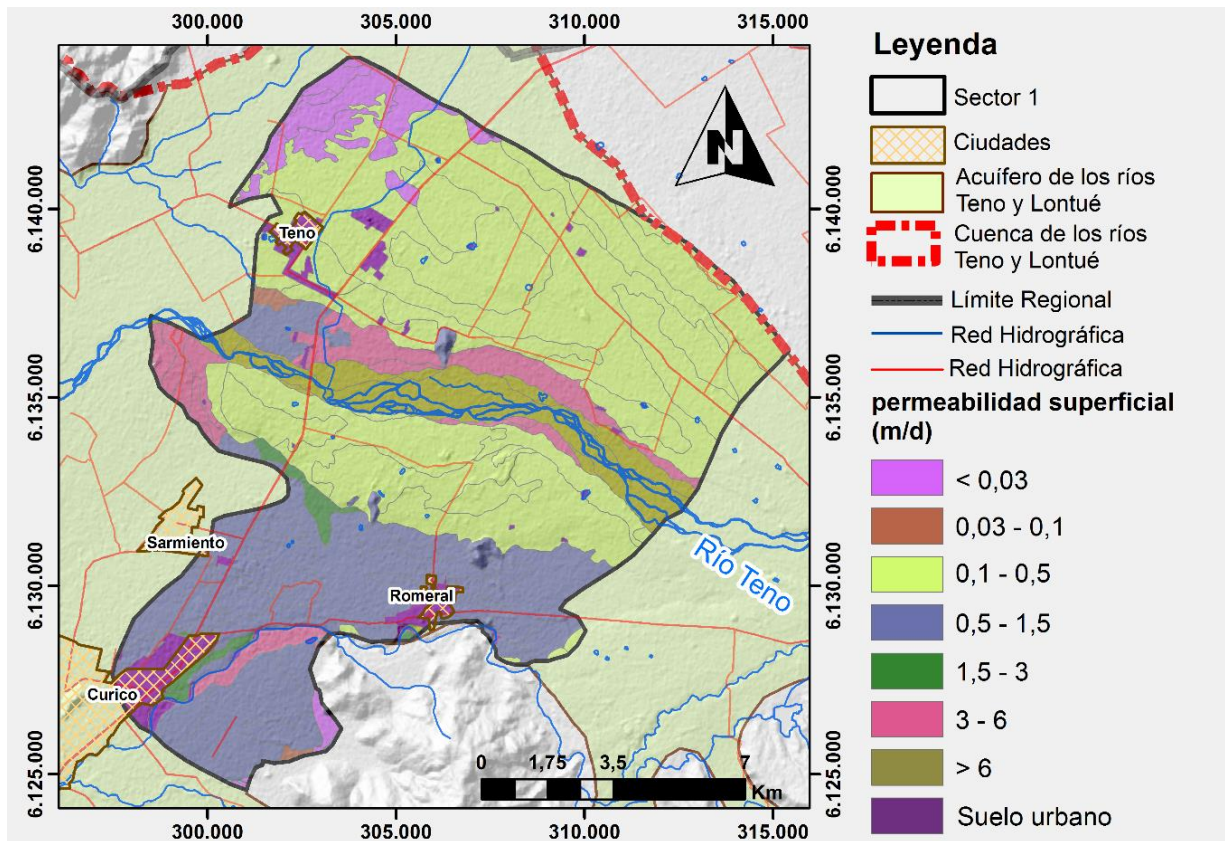


Figura 32. Distribución de la permeabilidad vertical superficial del sector 1.;Proyección UTM, DATUM WGS84, Huso 19 Sur; Fuente: CIREN (2015).

6.2 Zonas con potencialidad para recarga gestionada en sector 1.

En busca de las zonas con mayor potencial para la recarga gestionada dentro del sector 1, se delimitó un polígono (Ver figura 33) tal que su geometría abarcara las mejores características técnicas para captar agua y luego infiltrarla, a este polígono se le denominará Subsector ORG (óptimo para la recarga gestionada). Las características técnicas seleccionadas corresponden a permeabilidades y profundidades del nivel estático altas, zonas cercanas a una fuente de agua, relaciones río-acuífero que no interfieran en el proceso de recarga, acuíferos libres, presencia de infraestructuras hidráulicas y gradientes hidráulicos bajos.

Para la delimitación del subsector ORG se generó un polígono de 1 km de radio en torno al recorrido del río Teno, y se intersectó con el polígono definido por la DGA (2006) como la zona de infiltración del río al acuífero (Ver figura 34.D). Se utilizó este procedimiento para que el subsector ORG sea la zona más cercana al río Teno, y además abarque la mayor cantidad de infraestructuras de regadío como canales y bocatomas directas al río (Ver figura 33). También se consideró abarcar las zonas de mayor permeabilidad superficial (Ver figura 34.C) junto con las áreas de recarga río-acuífero. La delimitación del subsector ORG también busca la ocupación de áreas pertenecientes a la Unidad hidrogeológica 1, para asegurar un acuífero libre (Ver figura 33). Por último su geometría fue pensada para encerrar zonas de baja gradiente hidráulica.

De acuerdo a lo anterior el subsector ORG tiene las siguientes características:

- La Fuente natural de recarga corresponde al río Teno y este pasa por todo el subsector de Este a Oeste (Ver figura 33). Los puntos más alejados del río están a 2km.
- Existen muchas instalaciones hidráulicas como canales de regadío y Bocatomas en el subsector, que permitirían obtener los recursos hídricos de manera sencilla y en diferentes lugares (Ver figura 33). Esta zona es la única que posee Bocatomas y que además posee canales de regadío directos al río Teno en todo el sector 1.
- Casi el 100% del área está ocupada por depósitos correspondientes a la Unidad Hidrogeológica 1 (Ver figura 33).
- Las permeabilidades horizontales son relativamente altas, variando principalmente de 30 a >100 m/d (Ver Figura 34.B).
- Las permeabilidades verticales superficiales varían de 0,1 a >6m/d con un claro predominio del rango 3 a > 6m/d (Ver Figura 34.C). Estas permeabilidades se asocian al cauce del río Teno y las zonas de inundación aledañas, CIREN (2015) define las constantes hidráulicas como “Rápidas” a “Muy rápidas”.
- Los Niveles estáticos varían de 30 a 70m (Ver Figura 34.A).
- El subsector ORG se ubica en la zona del río Teno que ejerce una recarga permanente al acuífero (Ver Figura 34.D).
- Se ubica en un área donde los gradientes hidráulicos varían de 0 a 4% con un predominio del rango 0 a 1%.

Las ventajas del subsector ORG para albergar un futuro proyecto de recarga gestionada respecto al resto del sector 1 son:

- Posee las permeabilidades verticales superficiales más altas, asociadas al lecho y zona de inundación del río (Ver figura 34.C), sectores con depósitos de excelente potencial hidráulico. Esta condición permite proponer mecanismos de infiltración superficial dentro y fuera del cauce con muy baja incertidumbre.

El resto del sector 1 por el contrario tiene mayormente permeabilidades superficiales bajas, condición que solo permite la infiltración artificial profunda; que se traduce en mayores costos.

- El río Teno atraviesa todo el subsector ORG, facilitando la obtención del recurso hídrico producto de su cercanía. Para el resto del sector 1, al estar distantes al río Teno, la única forma de obtener los caudales del río es mediante una extensa red de canales de regadío, lo que supone mayores complicaciones por un largo transporte de caudales, que se puede traducir en mayores costos de operación.

Si bien la zona sur del sector 1 cuenta con el Estero Guaiquillos, no se tiene información sobre sus caudales, por lo que se considera el río Teno como la única fuente natural.

- Existen mayor cantidad de infraestructuras hidráulicas como bocatomas y canales de regadío que se encuentran conectadas directas al río, en variados puntos del subsector ORG; ampliando las posibilidades de recarga en diversos lugares dentro del subsector (Ver Figura 33).
- Las permeabilidades horizontales son similares al resto del sector 1
- La zona está ubicada en un lugar donde el río recarga permanentemente el acuífero (Ver figura 34.D), lo que no genera problemas en la infiltración artificial.
- Casi el 100% del área es ocupada por la Unidad Hidrogeológica 1, unidad con condiciones óptimas para la recarga gestionada (Ver figura 33).

En base a lo anterior el subsector ORG corresponde a la zona con mayor atractivo para la recarga artificial en toda la cuenca de los ríos Teno y Lontué, es por esto que se analizara en mayor detalle.

Que se haya escogido el subsector ORG para desarrollarse en mayor profundidad no significa que el resto del sector 1 no sea apto para la recarga gestionada, sino que para objetivos de este trabajo, es menos favorable. Por ejemplo la zona norte del sector 1 (Ver figura 7) tiene los niveles estáticos más profundos, por ende la mayor capacidad de almacenar volumen, pero estaría sujeto a mecanismos de infiltración profunda directo al acuífero, dada su mala permeabilidad superficial y los extensos depósitos pertenecientes a la Unidad Hidrogeológica 2 (Ver Figura 33 y 34).

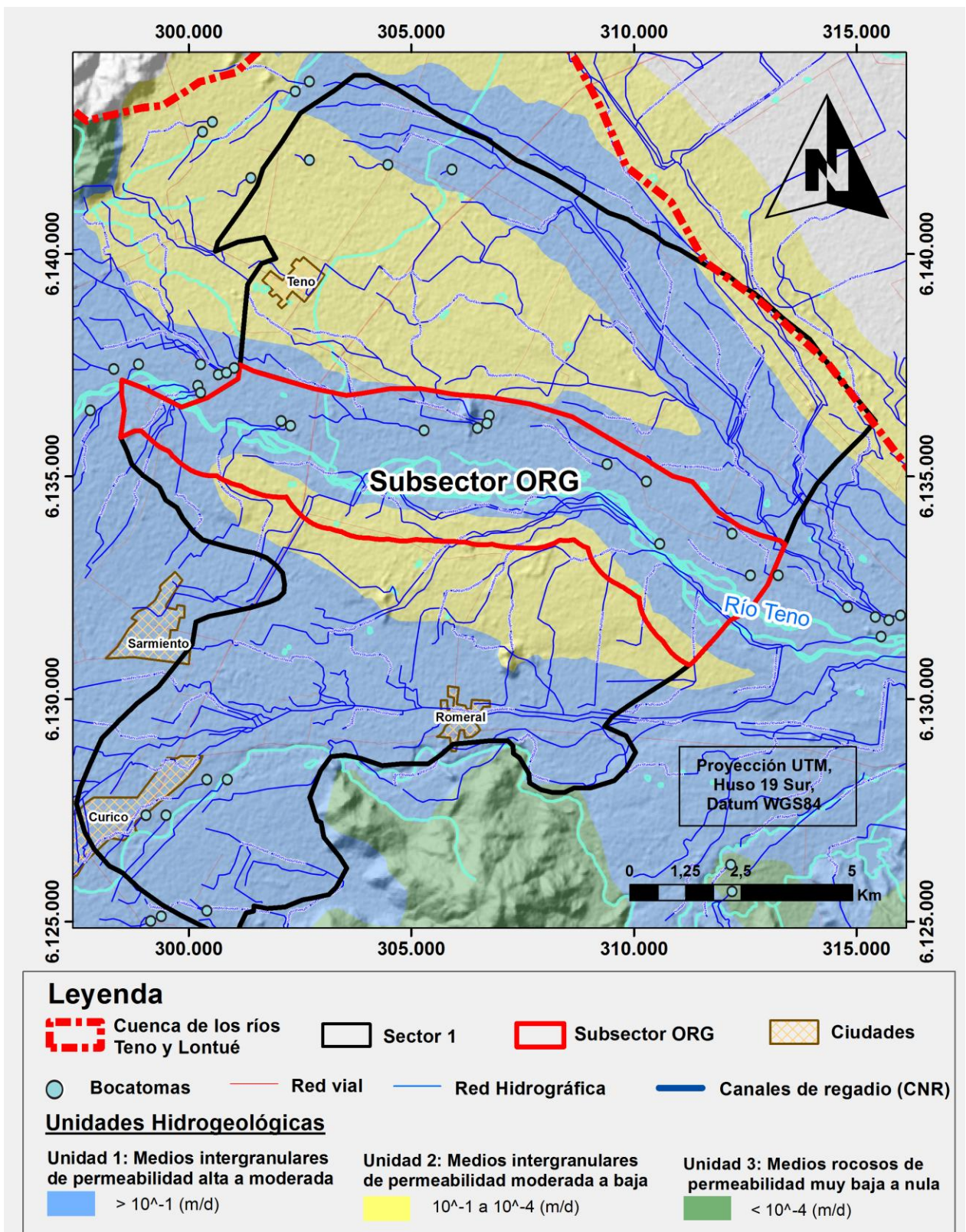


Figura 33. Delimitación del subsector ORG de acuerdo a las condiciones técnicas más favorables para captar caudales y posteriormente infiltrarlos. Fuente: elaboración propia a partir de los datos de IDE-Chile, 2016.

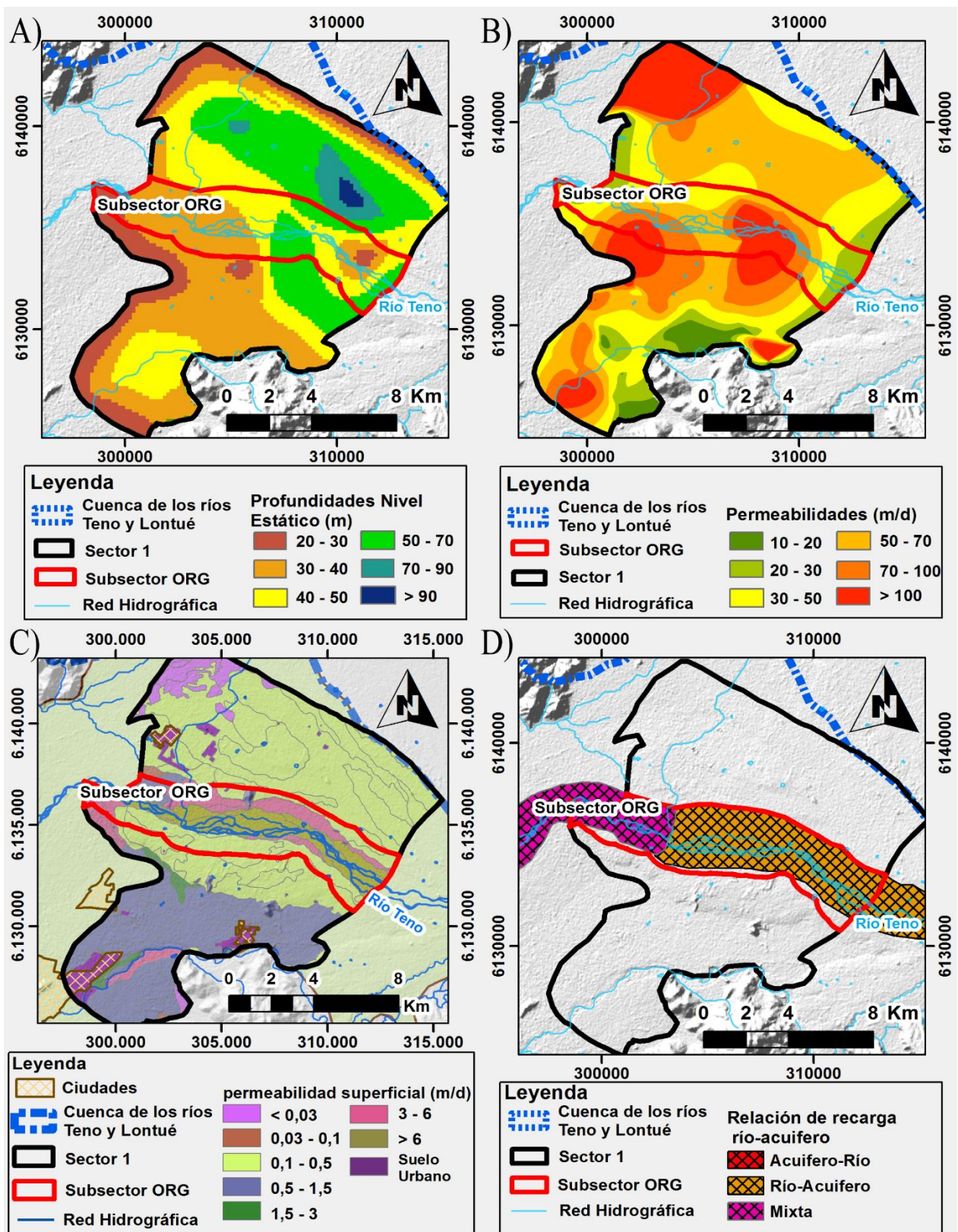


Figura 34. Características técnicas del subsector ORG en comparación con el resto del sector 1. A) Profundidad de los niveles estáticos. B) Permeabilidad lateral. C) Permeabilidad vertical superficial. D) Relación de recarga río acuífero. Fuente: Elaboración propia.

6.2.1 Caracterización subsector ORG

6.2.1.1 Permeabilidad horizontal

En la figura 35, se observa que la permeabilidad horizontal del subsector ORG va de 20 m/d a >100m/d. Las permeabilidades más altas se encuentran en el centro del subsector.

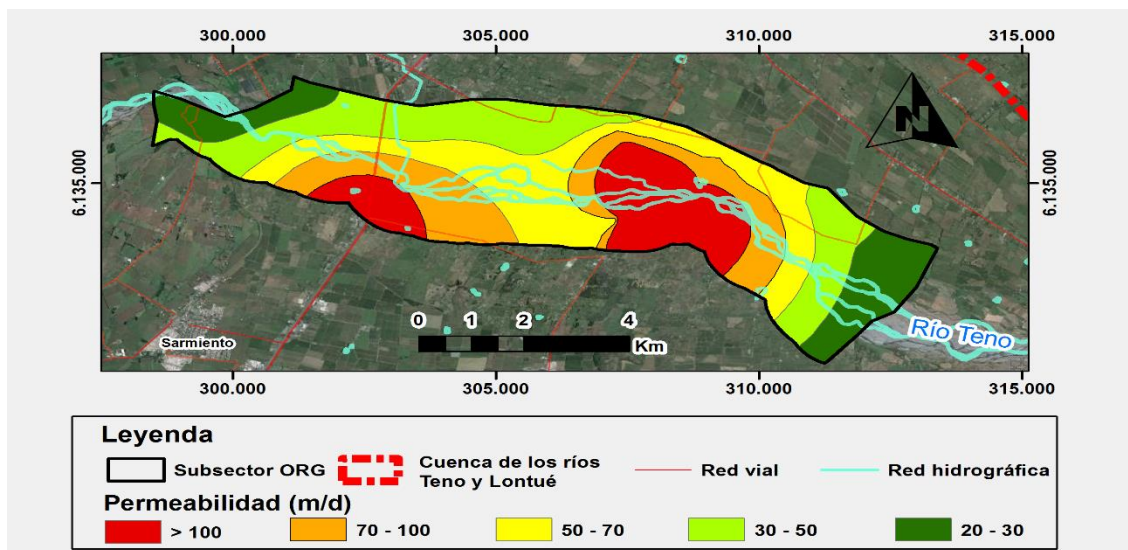


Figura 35. Permeabilidad lateral del Subsector ORG. Proyección UTM, DATUM WGS84, Huso 19 sur. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de DGA, 2012.

6.2.1.2 Permeabilidad superficial vertical

El subsector ORG, contiene permeabilidades superficiales con rangos de 3 a 6m/d y >6m/d en las zonas del cauce de río Teno y sus áreas de inundación aledañas (Ver figura 36). Estos lugares tienen un alto potencial hídrico y presentan condiciones óptimas para albergar un sistema de recarga gestionada de infiltración superficial.

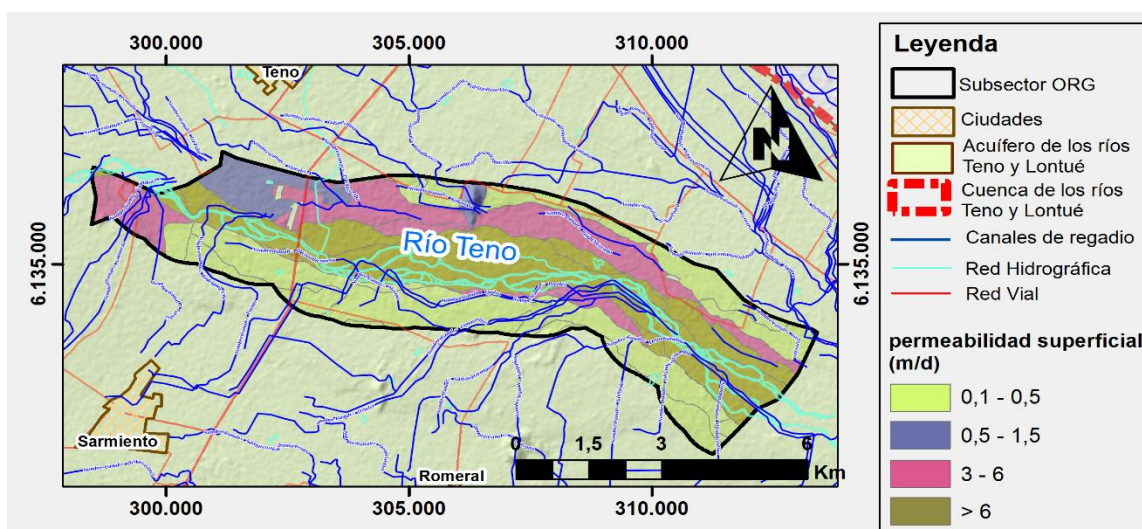


Figura 36. Permeabilidad superficial en el subsector ORG junto canales de regadío del lugar. Proyección UTM, DATUM WGS84, Huso 19 sur; Fuente: Elaboración propia con datos de CIREN (2015) e IDE-Chile (2016).

6.2.1.3 Nivel estático

En el subsector ORG las profundidades de los niveles estáticos fluctúan de los 20 m a los 70 m, con una clara predominancia del rango 30 a 70 m (Ver figura 37).

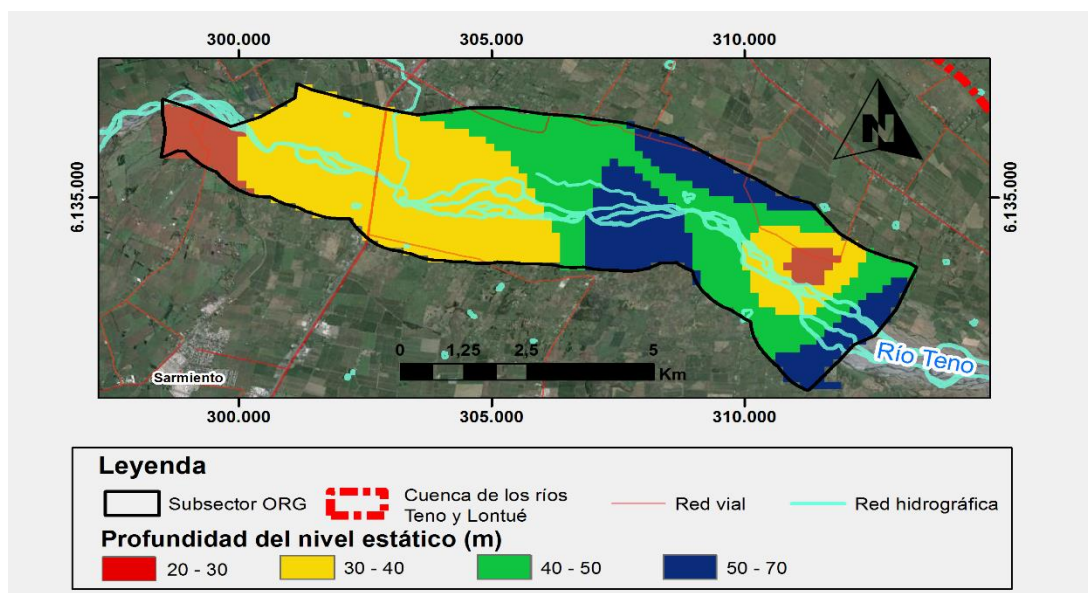


Figura 37. Profundidad del nivel estático en el subsector ORG; Proyección UTM, DATUM WGS84, Huso 19 sur; Fuente: Elaboración propia con datos de DGA (2012).

6.2.1.4 Fuentes de recarga

Para la evaluación de la factibilidad de un futuro proyecto de recarga gestionada en el subsector ORG, se hace imprescindible cuantificar las diferentes fuentes de agua disponibles para recargar.

Para el subsector ORG, la fuente natural de agua disponible para infiltrar y que además tiene mediciones de caudales, corresponde al río Teno. Para este río se cuenta con 4 estaciones fluviométricas vigentes, encontrándose una dentro del subsector ORG: 6) Río Teno el puente ferrocarril (Ver figura 38). Para el resto del río Teno que abarca el subsector, no se tienen mediciones de caudales, por lo que se asume el mismo caudal para todo área. Considerando que no hay ningún tributario o bifurcación que afecte fuertemente el caudal, y que además no cambia la dinámica río acuífero, no debiese haber mayores variaciones.

En la sección 4: "Caracterización Hidrológica" se han medido y evaluado los caudales medios mensuales, estacionales y anuales de ésta estación. La figura 6 y la tabla 5 muestran los caudales de la estación río Teno en puente ferrocarril para distintos periodos del año y probabilidades de excedencia.

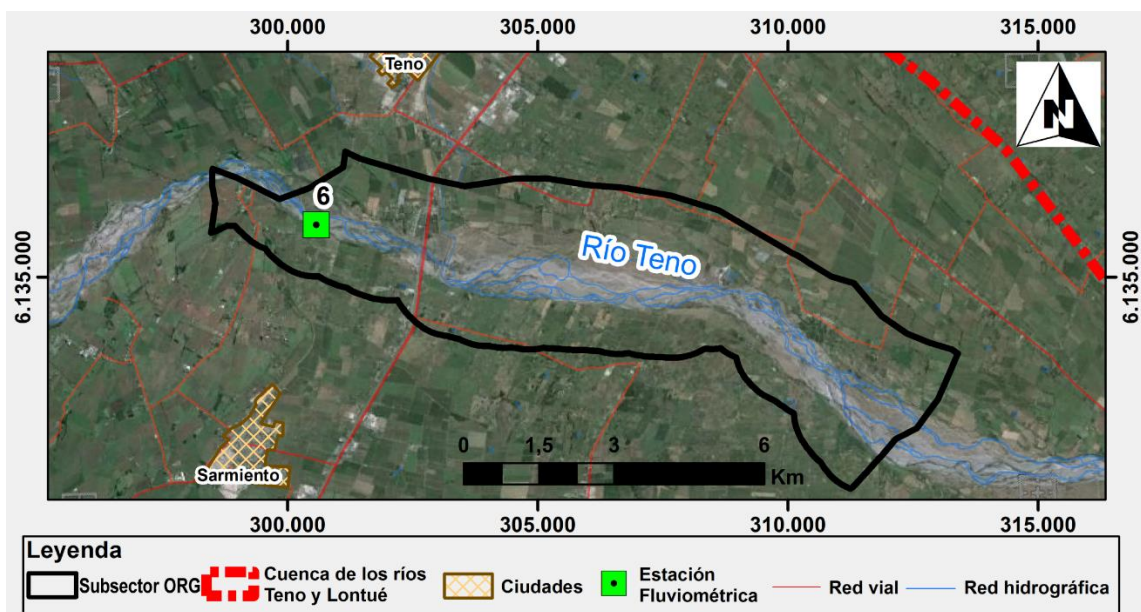


Figura 38. Estación fluviométrica río Teno en el puente ferrocarril, ubicada en el interior del subsector ORG; Proyección UTM, DATUM WGS84, Huso 19 sur; Fuente: Elaboración propia con datos DGA (2013).

En la figura 6 y la tabla 5 se observa que los caudales del río Teno son bastantes considerables, se debe mencionar que solo el 80% de su valor puede ser utilizado para la recarga, ya que el restante 20% del caudal debe permanecer en el curso del río, aguas abajo, para cumplir con el denominado caudal ecológico mínimo, reglamento aprobado el año 2012 por el Ministerio del Medio Ambiente, Republica de Chile.

Se descarta el uso de aguas residuales o reutilizadas como de aguas lluvias para la recarga gestionada en este sector, dada la cercanía y disponibilidad de los caudales del río Teno (Ver tabla 5). Así el proyecto futuro proyecto se simplifica y abarata en costes.

Tabla 5. Caudales medios mensuales a distintas probabilidades de excedencia para la estación fluviométrica 06) Río Teno en el Puente Ferrocarril, estos se asumen para el caudal pasante por el subsector ORG. Elaboración propia a partir de datos del Portal en línea de la DGA.

06 Río Teno en el Puente Ferrocarril (m3/s)												
Pbex (%)	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
5	55,00	108,87	186,28	205,65	174,48	110,18	83,07	106,10	143,21	96,24	42,90	20,31
10	38,00	75,64	145,12	168,13	135,98	92,93	70,30	90,70	114,98	69,52	34,26	17,19
25	21,10	41,49	91,37	114,03	90,16	67,92	52,48	67,89	75,61	40,24	23,29	13,04
50	10,64	21,72	50,95	67,08	56,75	46,99	36,88	48,41	43,20	21,74	14,84	9,58
85	3,14	8,71	17,84	22,11	25,66	23,03	19,02	26,10	14,73	8,13	6,82	5,85
95	1,11	5,52	8,81	10,00	14,07	12,16	10,92	11,30	7,47	4,36	3,90	4,27
Ajuste	LN3	LN3	LP3	W	P3	G	G	G	P3	LN3	LN3	P3

6.2.1.5 Disponibilidad de agua para la recarga

La cuenca de los ríos Teno y Lontué fue declarada por la Dirección General de Aguas en condición de restricción el 2015 (DGA, 2015), haciendo casi imposible la obtención de derechos de aguas subterráneos y superficiales. Bajo este contexto resulta de suma importancia conocer la disponibilidad de agua existente en la zona, para así determinar la mejor alternativa técnica y económica de las aguas a infiltrar.

Los posibles proyectos de recarga gestionada ubicados en el subsector ORG, infiltrarán aguas del río Teno, por lo que es necesario conocer los derechos de aguas otorgados que existen en éste; para ver si sus caudales se encuentran otorgados por sobre sus límites o existen excedentes para poder solicitar. En caso que los derechos de agua estén completamente concedidos, se sugiere comprar el uso de agua al dueño respectivo y así concretar la infiltración.

Tabla 6. Derechos de aguas superficiales otorgados en el río Teno. Se diferencian entre consuntivos y no consuntivos de ejercicio permanente o el total de derechos para todos los meses del año, más el caudal promedio anual otorgado. Fuente: Elaboración propia con datos online DGA.

Derechos No Consuntivos													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Caudal Promedio Anual
Derechos Permanentes (m3/s)	217,91	138,80	95,79	48,32	68,27	106,65	123,31	130,56	176,05	299,68	369,15	337,32	175,98
Total de derechos (m3/s)	544,59	406,73	299,64	272,06	478,46	509,03	515,82	513,34	513,06	560,11	658,18	688,18	496,60
Derechos Consuntivos													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Caudal Promedio Anual
Derechos Permanentes (m3/s)	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,44
Total de derechos (m3/s)	14,50	0,39	0,39	19,41	19,41	19,41	19,41	19,41	19,41	20,48	56,10	69,53	23,24
Total Derechos													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Caudal Promedio Anual
Derechos Permanentes (m3/s)	218,26	139,15	96,14	48,67	68,62	107,00	123,66	130,91	176,40	300,03	369,50	337,67	176,42
Total de derechos (m3/s)	559,09	407,12	300,03	291,47	497,86	528,44	535,22	532,75	532,47	580,59	714,28	757,71	519,84

De acuerdo a la legislación chilena, los derechos de ejercicio eventual pueden ser utilizados cuando existe un excedente en el caudal superficial pasante, mientras los de ejercicio permanentes facultan a su titular para usar el agua en la dotación que corresponda, salvo que la fuente de abastecimiento no contenga la cantidad suficiente para satisfacer íntegramente todos los DAA (Derechos de agua) de ejercicio.

Comparando los derechos otorgados de ejercicio permanente en el río Teno (Ver tabla 6) con los caudales asociados a diferentes probabilidades de excedencia (Ver tabla 5), se observa que para la mayoría de los meses existe una constitución de derechos de aguas otorgados por sobre los límites del río Teno, exceptuando casos puntuales asociados a probabilidades de excedencia bajas de 5% y 10% (Periodos Abril-Agosto y

Mayo-Agosto respectivamente). En este tipo de derechos, 99% del caudal otorgado corresponden a derechos no consuntivos para uso de energía Hidroeléctrica y el 1% restante son caudales asociados a derechos consuntivos para uso principalmente de riego.

Si se compara el total de los derechos otorgados en el río Teno (Ver tabla 6) con los caudales asociados a las diferentes probabilidades de excedencia (Ver tabla 5), se observa que los caudales otorgados superan la disponibilidad de agua. El 95% de los caudales conferidos están asociados a derechos no consuntivos para uso de energía hidroeléctrica, y el 5% restante son caudales otorgados asociados a derechos consuntivos para uso principalmente de riego. Bajo este contexto la obtención de derechos de aguas superficiales del río Teno son casi imposibles.

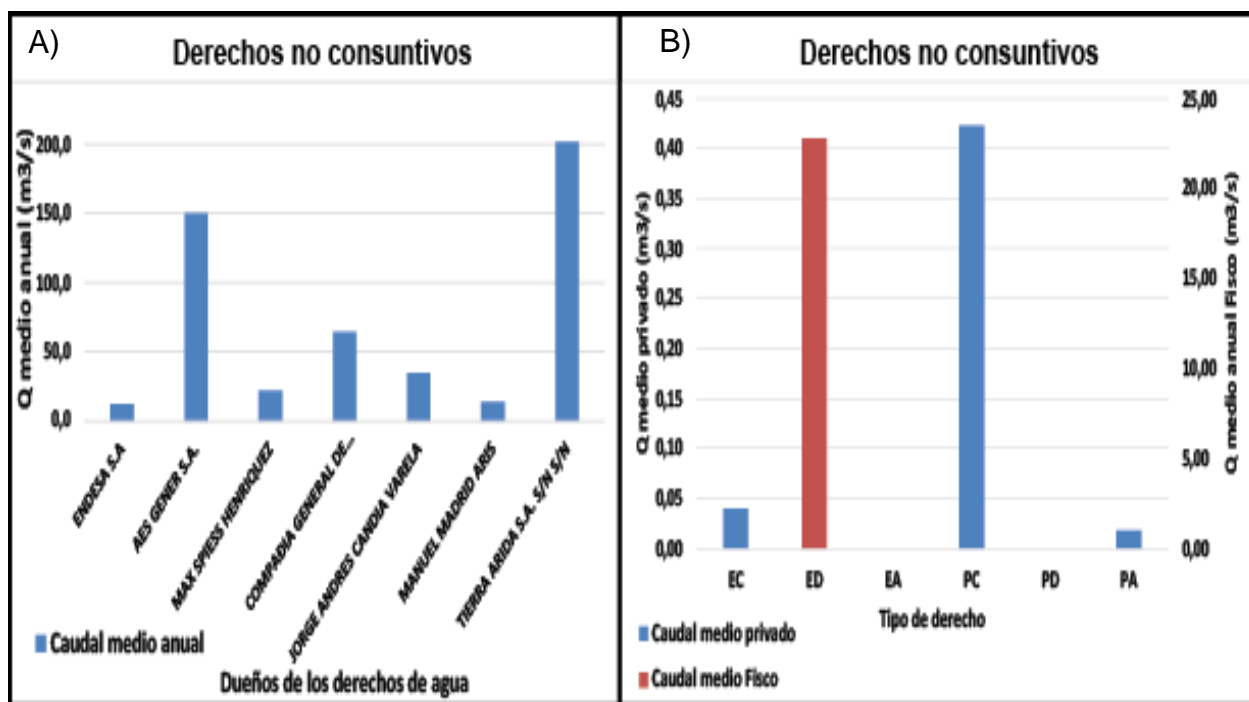


Figura 39. Proprietarios de los derechos de aguas superficiales del río Teno. A) Propietarios de los derechos de aguas no consuntivos y sus caudales asociados. B) Propietarios de los derechos de aguas consuntivos y sus caudales asociados junto con el tipo de ejercicio asignado a cada derecho. EC = Eventual Continuo; ED = Eventual Discontinuo; EA = Eventual Alternado; PC = Permanente Continuo; PD = Permanente Discontinuo; PA = Permanente Alternado. Fuente: Elaboración propia con datos DGA online.

Por otro lado el 100% de los caudales otorgados asociados a derechos no consuntivos se encuentra en manos de privados (Ver figura 39.A), mientras el 98% de los derechos consuntivos otorgados son de propiedad del fisco, asociados a un ejercicio del tipo Eventual Discontinuo (Ver figura 39.B). Este último corresponde a un caudal medio anual de 22,76 (m³/s)

En base a los antecedentes entregados se sugieren 2 opciones para obtener el agua a infiltrar:

1. Comprar derechos de aguas de propiedad privada, o llegar a algún acuerdo de uso con el propietario, preferentemente de DDA de ejercicio permanente continuo.
2. Hacer uso de los derechos de aguas perteneciente al fisco en los momentos que existan excedentes de aguas para utilizar.

En el primer caso los derechos de agua a comprar y/o utilizar corresponden a los consuntivos, ya que se considera que un proyecto de recarga gestionada consumiría los caudales otorgados, y por el contrario, el ejercicio de los derechos no consuntivos solo permiten el uso del agua sin consumirla. De lo anterior se desprende que en caso de tomar esta opción al rubro que se le debe solicitar el agua, corresponde al de la agricultura, específicamente al riego.

En base a lo anterior se sugiere infiltrar durante los meses de invierno donde el uso de caudales para regadío por parte de los propietarios es menor, producto de las lluvias.

Las estadísticas analizadas en este punto, junto con la normativa de derechos de aguas se encuentran en el Anexo F.

6.2.1.6 Calidad de la fuente de recarga

Al ser el caudal sobrante del río Teno la fuente natural a infiltrar, debe cumplir con la Norma de calidad de agua de riego (NCh 1333 Of 78) (Anexo E.1), salvo en los parámetros en que el agua de la misma napa no lo cumpla, para lo cual ése será el límite admisible para el agua de recarga. En caso de que la recarga de estas aguas sean directas al acuífero, la exigencia en la calidad del agua vertida es que debe ser igual o mejor que la de la napa (CNR, 2013; Cabrera, 2014).

De acuerdo con el “Estudio Diagnostico y análisis de la calidad de agua de riego cuencas Huasco y Mataquito” (ARCADIS, 2003) existen 2 estaciones fluviométricas de calidad de aguas superficiales en el río Teno: M02 y M01 (Ver figura 40). Entre estas 2 estaciones se encuentra el tramo del río perteneciente al subsector ORG (Ver Figura 40). Para el análisis de la calidad de aguas superficiales del caudal pasante por el subsector ORG, se consideraran los datos de estas 2 estaciones como los representativos, debido a sus ubicaciones geográficas y a la falta de información más detallada dentro del subsector.

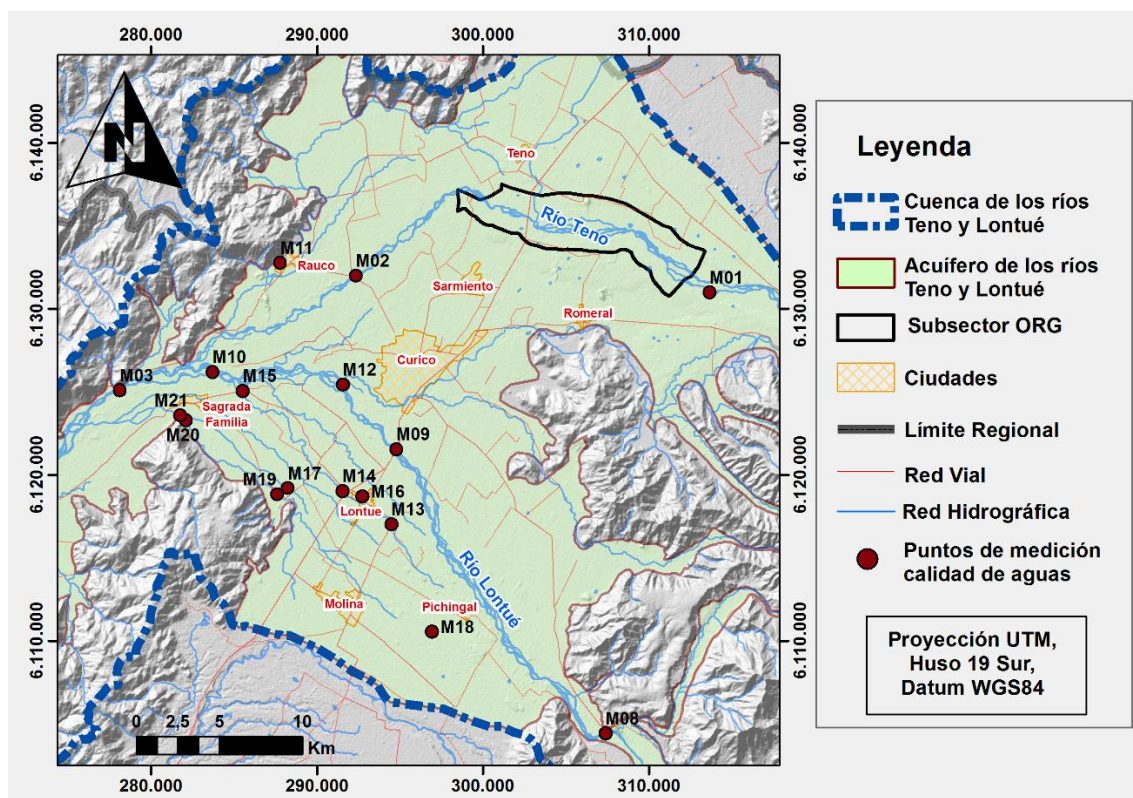


Figura 40. Estaciones fluviométricas de calidad de agua subterránea M02 y M01. Fuente: Elaboración propia a partir de datos de ARCADIS (2003).

De acuerdo con ARCADIS (2003), los caudales medidos en las estaciones M01 y M02 cumplen con la normativa de aguas para riego (Nch133), por lo que los caudales del río Teno pasantes por el subsector ORG son aptas para la recarga gestionada con mecanismos de infiltración superficiales y poco profundos en la zona vadosa.

Por otro lado si la recarga es directa al acuífero, la fuente natural de recarga debe ser de la misma calidad que la que se encuentra en el acuífero, es por eso que se hace necesaria una comparación entre estas dos en el subsector ORG.

Para la comparación de la calidad de las aguas subterránea del subsector ORG con las aguas superficiales del río Teno (Aguas a infiltrar), se consideraron los pozos M-8, M-9 y M-10 (Ver figura 41), analizados en el estudio “*Estudio de Calidad de aguas subterráneas cuencas Huasco y Mataquito*” (CNR, 2006), como los datos representativos, por ser los pozos más cercanos al sector ORG y por falta de información en este último.

Para las mediciones de calidad de aguas representativas del caudal del río Teno en el subsector ORG, se consideran las estaciones fluviométricas “Río Teno en los Queñes” y “Río Teno antes junta con río Mataquito” (Ver figura 41), pertenecientes a la Dirección General de Aguas. Si bien éstas se encuentran lejos del subsector ORG, son la única información de calidad de aguas superficiales del río Teno con las que se cuenta.

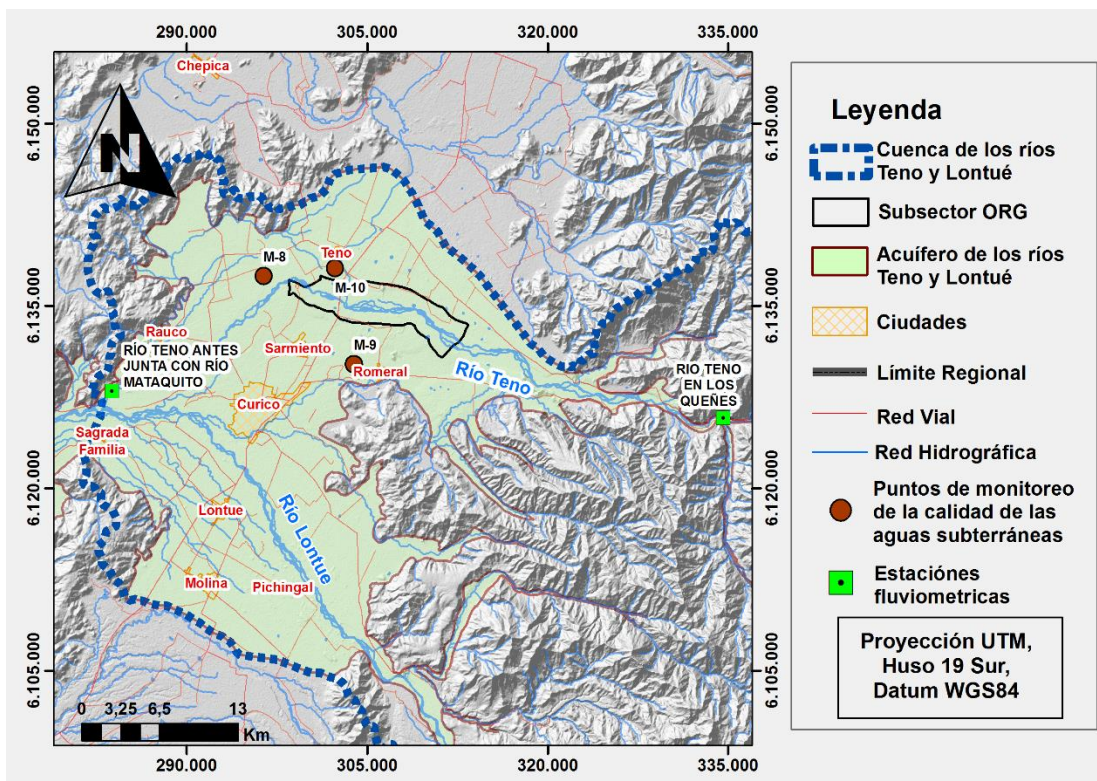


Figura 41. Ubicación de los puntos de monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas, M-8, M-9 Y M-10, junto con la ubicación de las estaciones fluviométricas que miden la calidad de las aguas superficiales del río Teno. Las mediciones de calidad de aguas subterráneas y de las estaciones fluviométricas son comparadas para analizar la factibilidad de infiltrar las aguas superficiales sin un tratamiento sobre éstas. Fuente: Elaboración propia con los datos de CNR (2006) y DGA (2013)

En la tabla 7 se muestra la comparación de las mediciones de calidad de agua entre los pozos y las estaciones fluviométricas en el periodo invierno-primavera del año 2003. Esto representa la comparación entre la calidad de las aguas subterráneas y superficiales del río Teno en el subsector ORG.

En la tabla 7 se observa que las aguas del río Teno presentan concentraciones altas respecto a las subterráneas en los parámetros de aluminio, cloruros y coliformes fecales, por tanto puede llegar a ser un agente contaminante para el acuífero. Las coliformes fecales pueden desestimarse pues la estación de medida que presenta un dato alto (Río Teno antes junta con río Mataquito) se encuentra cercano a muchos núcleos urbanos, condición geográfica muy diferente a la del subsector ORG.

Por otro lado existen muchos parámetros que no tienen medida (NM) en la estaciones fluviométrica, pudiendo desestimar otros contaminantes.

En base a los antecedentes se concluye que en caso de utilizar aguas del río Teno para infiltrar directo a la napa subterránea, estas deben pasar por un tratamiento de mejoramiento de la calidad.

Por último la instalación de un futuro proyecto de recarga gestionada directo al acuífero quedaría sujeto a la medición y comparación de calidad de aguas subterráneas con superficiales en el lugar de instalación de obras, ya que los datos existentes son bastante precarios y la incertidumbre asociada a estos es muy alta.

Tabla 7. Comparación de la calidad de las aguas subterráneas y superficiales del río Teno en el subsector ORG mediante la representación de los pozos M-8, M-9, M-10 y las estaciones fluviométricas “Teno en los Queñes” y “Teno antes de junta con el río Mataquito. IP= Periodo Invierno-Primavera; TQ= Teno en los Queñes; TAJRM = Teno antes junta con río Mataquito; NM= No medido. Fuente: Elaboración propia con datos CNR, (2006); DGA, (2004) y DGA (en línea).

Pozo/Estación		M-8	M-9	M-10	TQ	TAJRM
Periodo medición		I-P	I-P	I-P	I-P	I-P
Aguas		Subterráneas			Superficiales río Teno	
Parámetro	Unidad					
Alcalinidad total	[Mg/l]	60	71	41	NM	NM
Aluminio	[Mg/l]	0,11	0,27	0,27	9,2	1,1
Arsénico	[Mg/l]	0,001	0,001	0,001	0,001	0,004
Bario	[Mg/l]	0,06	0,06	0,06	NM	NM
Berilio	[Mg/l]	0,01	0,01	0,01	NM	NM
Bicarbonato	[Mg/l]	73,2	86,6	50	NM	NM
Boro	[Mg/l]	0,02	0,02	0,02	0,1<	NM
Cadmio	[Mg/l]	0,005	0,005	0,005	0,001	NM
Calcio	[Mg/l]	60,9	67,3	64,1	77,219	NM
Carbonato	[Mg/l]	60	71	41	NM	NM
Cianuros	[Mg/l]	0,02	0,02	0,02	NM	0,03<
Cloruros	[Mg/l]	40,1	29,4	47,9	75,734	NM
Cobalto	[Mg/l]	0,03	0,03	0,03	0,04<	NM
Cobre	[Mg/l]	0,01	0,01	0,01	0,01<	0,01<
Coliformes Fecales	[NMP/100ml]	74	2	2	NM	790
Conductividad	[uS/cm]	393	343	403	191,9	137,8
Cromo Total	[Mg/l]	0,02	0,02	0,02	0,01<	0,01<
DBO5	[Mg/l]	2	2	2	NM	2,5
DQO	[Mg/l]	0,3	0,3	0,3	1<	NM
Dureza Total	[Mg/l]	184	216	190	NM	NM
Fluoruro	[Mg/l]	0,26	0,2	0,2	NM	0,2
Hierro	[Mg/l]	0,05	0,05	0,08	0,305	0,04
Litio	[Mg/l]	0,1	0,1	0,1	NM	NM
Magnesio	[Mg/l]	6,6	11,9	7,75	3,241	NM
Manganeso	[Mg/l]	0,01	0,01	0,01	NM	0,02
Mercurio	[Mg/l]	5E-04	5E-04	0,0005	0,0002<	NM
Molibdeno	[Mg/l]	0,01	0,01	0,01	0,01<	<0,01
Nitratos	[Mg/l]	1,84	1,85	1,19	NM	NM
Nitritos	[Mg/l]	0,05	0,05	0,05	NM	0,01<

Níquel	[Mg/l]	0,05	0,05	0,05	0,05	NM
pH	[Mg/l]	6,84	7,73	6,89	7,7	7,9
Plata	[Mg/l]	0,05	0,05	0,05	0,01<	NM
Plomo	[Mg/l]	0,03	0,03	0,03	0,07<	NM
Porcentaje de Sodio	[%]	22	15,7	23,4	NM	NM
Potasio	[Mg/l]	4,07	4,25	3,45	4,687	NM
RAS		0,79	0,56	0,86	NM	NM
Selenio	[Mg/l]	0,005	0,005	0,005	0,001<	NM
Sodio	[Mg/l]	24,9	19	27,5	NM	NM
Sólidos Disueltos Totales	[Mg/l]	228	212	260	64,472	NM
Sulfatos	[Mg/l]	47,7	62,1	99,1	65	65
Turbiedad	UNT	0,77	0,35	0,6	NM	NM
Vanadio	[Mg/l]	0,02	0,02	0,02	NM	NM
Zinc	[Mg/l]	0,01	0,02	0,08	0,01	NM

6.2.1.7 Métodos de recarga

La elección del mecanismo de recarga más apropiado quedara sujeto a la disponibilidad de los terrenos en el subsector ORG, ya que dependiendo de la posibilidad de obtener un terreno en el cauce del río Teno o en sus zonas aledañas (Ver figura 42), la instalación de mecanismos superficiales es factible, puesto que esos terrenos tienen permeabilidades superficiales altas (3 a >6m/d) y de acuerdo al estudio estratigráfico (Ver Anexo C.2 y sección 6.1.1.2) gozan de un acuífero libre sin lentes pocos permeable cercanos a la superficie. Por el contrario si no se pueden obtener esos terrenos, se sugiere la instalación de mecanismos de recarga profundos o mixtos.



Figura 42. Zonas aptas para la instalación de mecanismos de infiltración superficial: Cauce del río Teno y sus depósitos fluviales actuales junto con las zonas aledañas al río Teno (rosado). Proyección UTM, DATUM WGS84, Huso 19 sur Fuente. Elaboración propia con datos de CIREN (2015).

De acuerdo a lo anterior se sugieren los siguientes mecanismos de recarga para 3 casos de disponibilidad de terreno:

1. En caso de que la disponibilidad de terrenos amplios fuese alta, y que además estos sitios estuviesen en el cauce del río Teno o en sus depósitos fluviales actuales (ver figura 42), se propone utilizar los siguientes mecanismos superficiales y/o de muy baja profundidad: **a) Escarificación del lecho del río, b) estanques o balsas de infiltración, y c) zanjas de infiltración.** El grado de depuración del agua sería alto, debido a que atravesaría toda o gran parte de la zona vadosa del acuífero. El riesgo de colmatación es moderado con opción a mantenimiento manual o mecánica.

Se recomienda utilizar en primer lugar las áreas con permeabilidades verticales mayores a 6 m/d. En caso de no contar con estos terrenos, hacer las instalaciones en las zonas con un rango de 3 a 6 m/d.

Se descarta el uso de pozos a la zona vadosa, porque la presión de la columna de agua ejercida para distancias bajas no sería lo suficientemente fuerte para la infiltración sin bomba de impulso, además las aguas a infiltrar deben pasar por un proceso de mejoramiento de su calidad, aumentando considerablemente los costos respecto a otras alternativas, también este tipo de mecanismos tienen la desventaja de colmatarse muy fácilmente. Se descarta también mecanismos de presas o represas en el río dado la baja pendiente.

2. En caso de que la disponibilidad de terreno fuese baja se sugiere la utilización de mecanismos profundos, específicamente la instalación de **pozos de inyección.** En caso de utilización de este método se debe tener en consideración que las aguas deben pasar por un tratamiento de mejoramiento de su calidad.

Para la instalación de este tipo de mecanismos no existe una limitante en cuanto a la permeabilidad superficial, por lo tanto todo el subsector ORG es apto para la recarga directa al acuífero. La elección más detallada del lugar de instalación de obras, de acuerdo con los objetivos de este trabajo, debe velar por obtener las mejores condiciones de profundidad del nivel estático y permeabilidades laterales. Es por esto que sugiere utilizar algún terreno del subsector con niveles estáticos mayores a 40 m y permeabilidades horizontales mayores a 50 m/d (Ver figura 43). La utilidad de esta área quedará sujeta a su disponibilidad

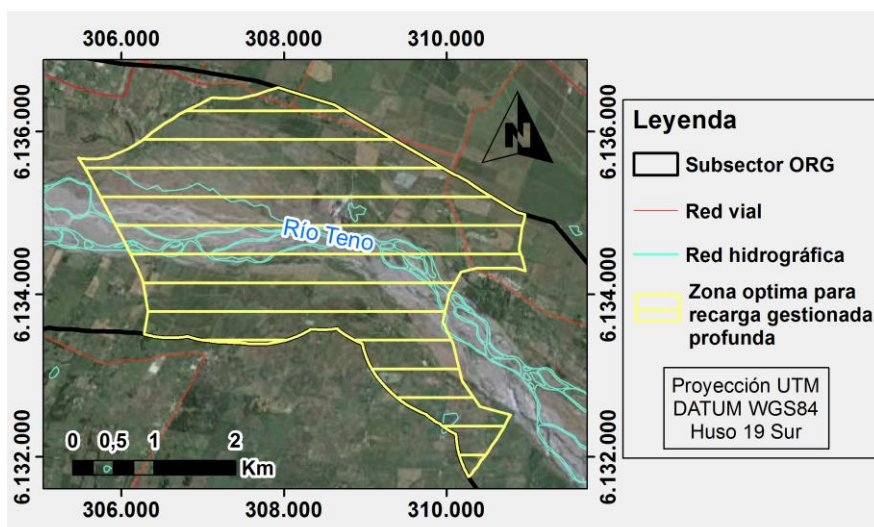


Figura 43. Zonas óptimas para la recarga gestionada mediante sistemas directos al acuífero. Fuente: Elaboración propia.

3. En caso de no contar con un terreno lo suficientemente amplio para albergar las obras de ingeniería de un mecanismo de infiltración superficial, pero que si sea capaz de hospedar parte de ellas, se sugiere instalar una **solución mixta** que utilice al mismo tiempo mecanismos MAR superficiales junto con pozos de inyección, con esta propuesta la infiltración y utilización del terreno será mucho más eficiente pues los pozos pueden ser instalados entre las obras de Zanjas o Piscinas propuestas en el caso 1.

Para los 3 casos descritos arriba se sugiere tratar de elegir lugares con obras hidráulicas preexistentes, a modo de abaratamiento de costos en construcciones. Se recomienda también escoger los terrenos con los niveles estáticos más profundos y las constantes de permeabilidad horizontal más altas. Siempre y cuando las condiciones legales, disponibilidad de terreno y objetivos del proyecto lo permitan.

Por último se propone no utilizar las áreas cercanas al borde poniente del subsector ORG, para evitar que de esta forma producto del flujo de las aguas subterráneas, las aguas recargadas se movilen fuera del sector 1.

7. Propuesta de alternativas de proyectos de recarga gestionada

En esta sección se presentan alternativas de proyectos de recarga gestionada a desarrollar en la cuenca en estudio, específicamente en el subsector ORG. Junto a esto se presenta también el caudal susceptible a infiltrar en el proyecto.

7.1 Caudal susceptible de infiltración

La tabla 8, obtenida en la sección de “Caracterización hidrológica”, corresponde al caudal pasante que atraviesa la sección del río Teno en el subsector ORG, a diferentes probabilidades de excedencia.

Tabla 8. Caudales medios mensuales a distintas probabilidades de excedencia para la estación fluviométrica 06) Río Teno en el Puente Ferrocarril, estos se asumen para el caudal pasante por el subsector ORG. En rojo se marcan los caudales asociados a un 25% de probabilidad de excedencia, los cuales son considerados como los susceptibles a infiltrar. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Portal en línea de la DGA.

06 Río Teno en el Puente Ferrocarril (m3/s)												
Pbex (%)	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
5	55,00	108,87	186,28	205,65	174,48	110,18	83,07	106,10	143,21	96,24	42,90	20,31
10	38,00	75,64	145,12	168,13	135,98	92,93	70,30	90,70	114,98	69,52	34,26	17,19
25	21,10	41,49	91,37	114,03	90,16	67,92	52,48	67,89	75,61	40,24	23,29	13,04
50	10,64	21,72	50,95	67,08	56,75	46,99	36,88	48,41	43,20	21,74	14,84	9,58
85	3,14	8,71	17,84	22,11	25,66	23,03	19,02	26,10	14,73	8,13	6,82	5,85
95	1,11	5,52	8,81	10,00	14,07	12,16	10,92	11,30	7,47	4,36	3,90	4,27
Ajuste	LN3	LN3	LP3	W	P3	G	G	G	P3	LN3	LN3	P3

La cuenca de los ríos Teno y Lontué fue declarada cuenca en restricción el 2015, haciendo casi imposible constituir derechos consuntivos en algún sector del río Teno (DGA, 2015), es por esto que el funcionamiento de algún proyecto de recarga gestionada será posible en años lluviosos donde existe un excedente hídrico considerable en los caudales del río Teno, y así, infiltrar estos. De esta forma se podrá hacer uso de los derechos de agua consuntivos de ejercicio eventual discontinuo que pertenecen al fisco (Ver sección 6.2.1.5) evitando conflictos entre los usuarios.

Al escenario del 25% de excedencia se le asocia un periodo de retorno de 4 años y corresponde a un año lluvioso con abundancia hídrica en el caudal del río Teno, como se observa en la tabla 8. Por tanto los caudales asociados a un 25% de excedencia cumplen con el requisito y serán considerados como los susceptibles a infiltrar.

Se debe considerar que solo el 80% del valor total del caudal pasante puede ser utilizado para la recarga, ya que el 20% del caudal debe permanecer en el curso del río, aguas abajo, para cumplir con el denominado Caudal Ecológico Mínimo, reglamento aprobado por el Ministerio de Medio Ambiente, República de Chile. Con esta modificación los caudales utilizables para infiltrar son los siguientes (Ver tabla 9):

Tabla 9. Caudal susceptible a infiltrar en un proyecto de recarga gestionada de acuíferos, considerando el 20% del caudal ecológico mínimo. Fuente: Elaboración propia.

06 Río Teno en el Puente Ferrocarril (m3/s)												
Pbex (%)	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
25	16,88	33,19	73,10	91,22	72,13	54,34	41,98	54,31	60,49	32,19	18,63	10,43

La infiltración se realizara en el período de 4 meses junio –septiembre correspondiente a los excedentes de invierno, periodo donde las se presentan las mayores crecidas de caudales (Ver tabla 9 y 8). Con un caudal susceptible para infiltrar promedio de 72696 l/s.

7.2 Alternativas de proyectos

De acuerdo a la sección 6.2.1.7 existen amplias zonas donde es factible la implementación de proyectos de recarga gestionada de infiltración superficial, profunda y mixta. Es por esto que se propone la implementación de 5 proyectos que abarquen el uso de los 3 sistemas de infiltración. Estos corresponden a:

- 1. Balsas o estanques de infiltración.**
- 2. Zanjas de infiltración.**
- 3. Pozos de inyección.**
- 4. Solución mixta 1: Balsas de infiltración junto con pozos de inyección.**
- 5. Solución mixta 2: Zanjas de infiltración junto con pozos de inyección.**

Cabe mencionar que la configuración espacial de los proyectos presentados en las siguientes secciones es solo esquemática, y que la ingeniería en detalle, como la configuración de los canales de admisión, aducción y devolución no será considerada en el esquema de proyecto ni en los costos, pues escapan de los objetivos de este trabajo.

Los costos considerados para los 5 proyectos corresponden a los de instalación y levantamiento de obras.

7.2.1 Alternativa 1: Balsas o estanques de infiltración

7.2.1.1 Ubicación

Los mecanismos de balsas, piscinas o estanques de infiltración son unos de los sistemas de recarga gestionada que más requieren disponibilidad de superficie para su instalación. Es por esto que para la instalación de un futuro proyecto de este tipo, debe buscarse un amplio territorio que asegure la factibilidad de funcionamiento, y que a su vez, se encuentre lo más cerca posible a la fuente de agua y que además posea permeabilidades y niveles estáticos óptimos.

En este contexto, la zona óptima para la recarga con el sistema de balsas (Ver Figura 44) ha sido escogida por ser la más amplia y con niveles estáticos más profundos dentro de las áreas definida como “Zonas aptas para recarga gestionada de infiltración superficial” (Ver figura 42), específicamente en el cauce del río Teno. La zona escogida para la instalación del proyecto posee un área de 2,8km² (Ver figura 44).

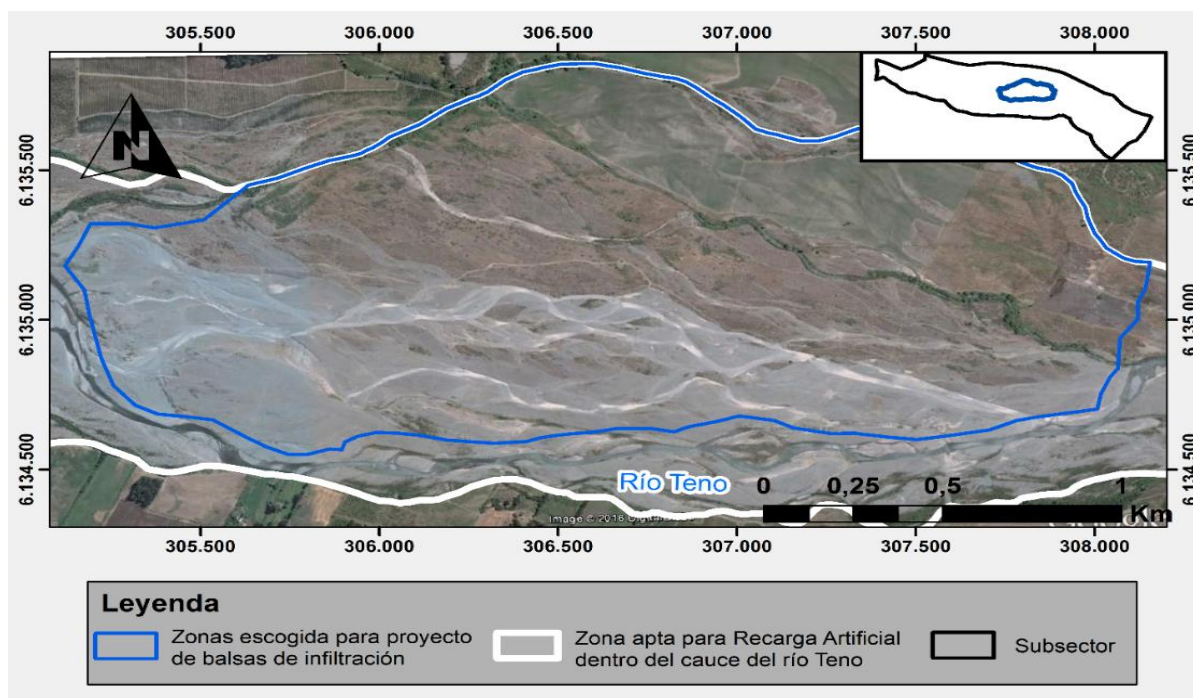


Figura 44. Zona escogida para implementar el proyecto de recarga gestionada con balsas de infiltración; Proyección UTM, DATUM WGS84, Huso 19 sur; Fuente: Elaboración propia.

7.2.1.2 Caudal de infiltración

De acuerdo al punto 7.1 se consideran como caudales susceptibles a infiltrar, los asociados a un 25% de probabilidad de excedencia en la estación 06) Teno en el puente ferrocarril (Ver tabla 9), durante el periodo junio – septiembre. Esto significa un caudal promedio de 72696 l/s

A modo de aumentar las probabilidades de la obtención de derechos de aguas, y así, poder infiltrar caudales durante 4 meses consecutivos, se considerará un caudal de infiltración conservador correspondiente a un 5% de las aguas susceptibles a infiltrar, lo que equivale a 3600 l/s.

7.2.1.3 Instalaciones y equipamiento

Recientes estudios de recarga gestionada en Chile, correspondientes a “Mejoramiento de Aguas Subterráneas para Riego Ligua y Petorca” (CNR, 2013) e “Investigación de la Recarga artificial, acuíferos cuencas del río Choapa y Quilimari” (DGA, 2012), proponen la instalación en los cauces de los ríos Choapa, Ligua y Petorca de piscinas de 60 x 80m que incluyen un decantador y sedimentador de 40x40 (Ver figura 46), teniendo así módulos de recarga de 100x80m para caudales de 150 l/s, con un mínimo de 2 por proyecto.

El cauce del río Teno y sus depósitos fluviales actuales, presenta tasas de infiltración y condiciones geológicas casi iguales a las de los ríos Choapa, Ligua y Petorca, es por esto que se propone la instalación de módulos de recarga de 100x 80m iguales a los descritos en el párrafo anterior. Se propone también una lámina de 50cm de altura, por lo que las

piscinas deberían medir 1,2 m, considerando este último como la máxima carga hidráulica (CNR, 2013).

En base a lo anterior podría resultar conveniente un proyecto de recarga gestionada que consiste en la instalación de 24 módulos de infiltración (Ver figura 45), donde cada uno infiltrará 150 l/s.

Entonces de acuerdo a la DGA (2012) y CNR (2013) las obras del proyecto corresponden a:

- 24 Módulos de recarga de 100m x 80m (Ver figura 46), que incluye un sedimentador (40mx40m), un decantador (40mx40m) y la piscina de infiltración (60mx80m).
- Obras de protección de crecidas del río, consistentes en un muro de enrocados de 2 metros de altura ubicado en el perímetro de las instalaciones (Ver figura 46).
- Canaleta Parshall (Caudalímetro): Dispositivo de control que se instalará en el canal de admisión y de salida, para registrar los caudales afluentes a la obra de recarga.

Adicionales a las obras del módulo de infiltración ya señaladas, se contempla la perforación de 2 piezómetros de 3" de diámetro y 50 m de profundidad cada uno, para controlar los niveles de napa aguas abajo de la obra de recarga.

En la figura 45, se presenta un esquema con la distribución general de obras y en la figura 46 se muestra el esquema de un módulo de infiltración con todos sus componentes técnicos.

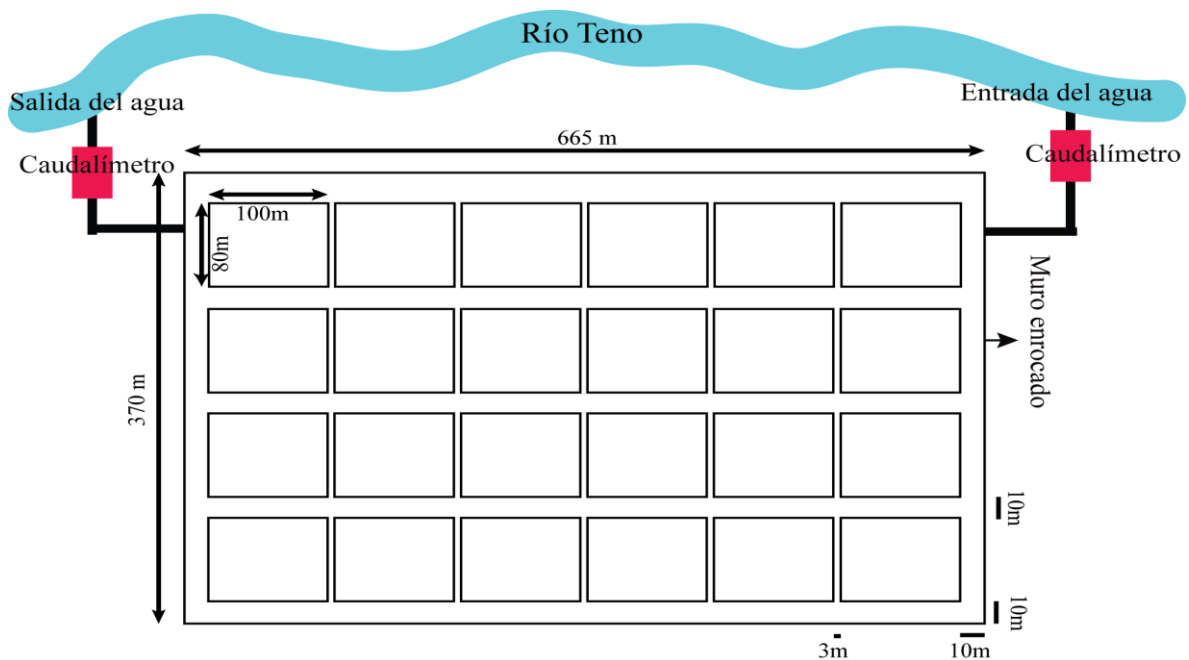


Figura 45. Proyecto de recarga gestionada con 24 módulos de infiltración. Fuente: Elaboración propia

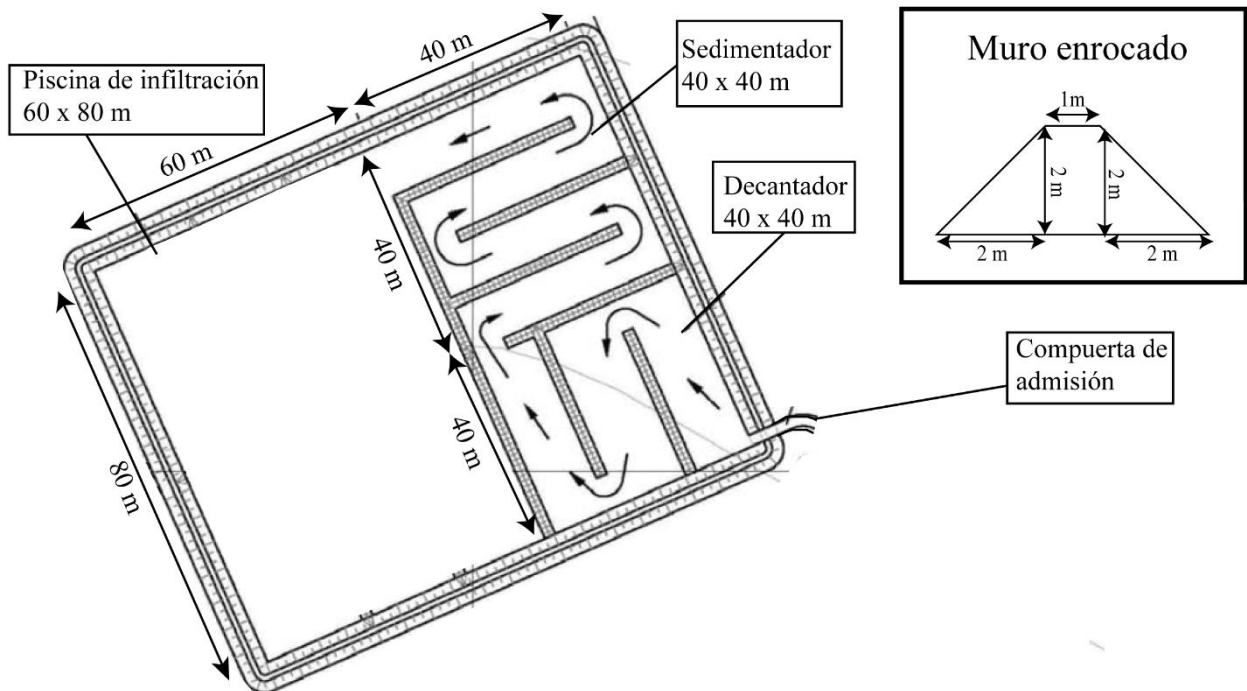


Figura 46. . Esquema de módulo de infiltración, y del muro enrocado. Fuente: Modificado de CNR (2012).

Respecto a la operación de obras se debe comenzar el llenado de la primera piscina, hasta que se alcance la carga máxima. Luego de ello, las aguas deben llevarse a la segunda piscina, hasta que se produzca el llenado, para repetir el proceso, hasta que se llenen todas (CNR, 2013).

Estos ciclos se repetirán en la medida que se disponga de aguas superficiales para ser infiltradas. El control de la tasa de infiltración en las piscinas definirá que se requiere mantención cuando la tasa actual se reduzca a un 60% de la original (CNR, 2013).

Las labores de limpieza serán ejecutadas utilizando maquinaria semipesada, con frecuencia variable en función de los requerimientos, pero al menos una vez al año, de forma de retirar los sedimentos que se hayan acumulado por efecto del proceso de recarga.

7.2.1.4 Presupuesto

La tabla 10 muestra los costos en detalle.

Tabla 10. Detalles de los costos de instalación de las obras del proyecto de balsas de infiltración. Fuente: Elaboración propia con los precios se obtenidos en CNR (2013) y DGA (2012).

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	COSTO TOTAL (\$)
A	INST. FAENA, ROCE Y LIMP TERRENO	gl	1	2.500.000	2.500.000
				Sub total	2.500.000
B	DECANTADOR Decantador	Nº	24	5852234	140453616
				Sub total	140453616
C	SEDIMENTADOR Sedimentador	Nº	24	8509030	204216720
				Sub total	204216720
D	BALSAS O PISCINAS DE INFILTRACIÓN Piscinas o balsas	Nº	24	24706781	592962744
				Sub total	592962744
E	ENROCADO DE PROTECCIÓN Enrocado de protección	m³	12420	24800	308016000
				Sub total	308016000
F	PIEZÓMETRO DE MONITOREO piezómetro	Nº	2	11478500	22957000
				Sub total	22957000
G	TERRENO	Ha	24,6	15.000.000	369000000
				Sub total	369000000
H	CAUDALÍMETRO Canaleta Parshall	Nº	2	1100000	2200000
				Sub total	2200000
	TOTAL COSTO DIRECTO				1.642.306.080
	GG Y UTILIDADES (45%)				739037736
	SUBTOTAL				2.381.343.816
	19% IVA				452455325
	COSTO TOTAL				2.833.799.141

Es importante mencionar que para poder hacer una evaluación económica del proyecto se deben conocer los costos junto con los beneficios agrícolas y sociales (ingresos) que éste generaría, para así medir la viabilidad del proyecto con los parámetros del VAN y TIR. La estimación de los beneficios escapa de los objetivos de este trabajo, por lo que solo se presentaran los costos.

7.2.2 Alternativa 2: Zanjas de infiltración

7.2.2.1 Ubicación

La ubicación óptima para este tipo de mecanismos corresponde a la misma que para el proyecto de balsas (Ver figura 44), puesto que al igual que este último, la construcción de zanjas necesita amplio espacio.

7.2.2.2 Caudal de infiltración.

Se infiltrará un caudal de 3600 l/s, al igual que en el proyecto de balsas de infiltración, las razones son las mismas.

7.2.2.3 Instalaciones y equipamiento

La expresión que permite estimar el caudal infiltrado por cada zanja es la siguiente:

Ecuación 1. Cálculo del caudal infiltrado (Q) en una zanja de infiltración, de acuerdo a sus características técnicas: Fuente: MINVU (1996).

$$Q=0,001*Cs*f*A$$

En donde:

- Q: Caudal infiltrado en una zanja (m³/hr).
- Cs: factor de seguridad (Azzout *et al.* 1994).
- f: tasa de infiltración (mm/hr).
- A: área total de percolación de la zanja (m²).

El área de percolación (A) de la zanja está dada por las siguientes ecuaciones según sea el caso: con decantador o sin decantador, respectivamente:

Ecuación 2. Cálculo del área de percolación de una zanja de infiltración, en el caso de que exista un elemento decantador. Fuente: MINVU (1996).

$$A=2*(L+W)+0,5*L*W$$

Ecuación 3. Expresión que calcula el área de una zanja de infiltración, en el caso de la no existencia de un decantador. Fuente: MINVU (1996).

$$A = 2*H(L+W)$$

En donde:

- A: área de percolación de la zanja (m²).
- L: largo de la zanja (m).
- H: altura del agua en la zanja (m).
- W: ancho de la zanja (m).

El factor de seguridad (Cs), según Azzout et al. (1994), se define respondiendo a las preguntas que se observan en la figura 47, hasta obtener un coeficiente determinado.

Considerando que en el funcionamiento de este proyecto no habrá tratamientos de aguas, pero si un mantenimiento constante de las obras hidráulicas, el factor de seguridad utilizado es de 3 /4 (Ver figura 47).

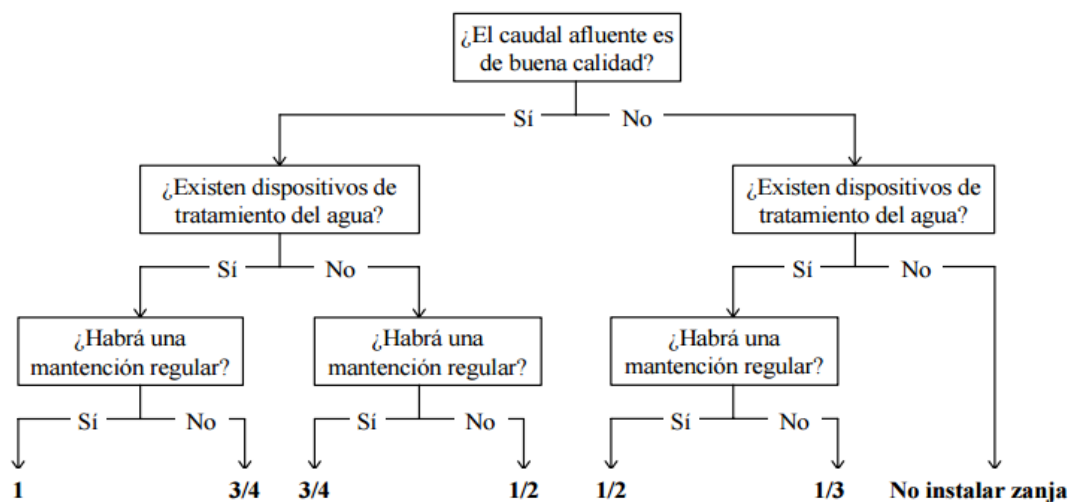


Figura 47. Elección del factor de seguridad para la instalación de obras de Zanjas de infiltración. Fuente: Azzout et al. (1994).

De acuerdo a la ecuación 1 y considerando un caudal de 3600 l/s, tasa de infiltración de 6 m/d y un factor de seguridad de 0,75. El área de percolación necesaria para el proyecto corresponde a 69120 m².

La capacidad de recarga de la fosa incrementa con el área de la sección transversal, por lo tanto, siempre es recomendable construir una fosa tan larga como sea posible. (Government of India, 2007). En base a esta aseveración se ingresó el área de percolación obtenida para este proyecto (69120 m²) a la ecuación 3, considerando un ancho de 2m (W), profundidad de 5m (H), que no existirá un decantador y que habrá un mantenimiento regular. Así se define que el largo de una zanja para infiltrar 3600l/s corresponde a 6910 m.

Para optimizar la ocupación del espacio, el proyecto propone dividir el largo de 6910m de una zanja en 12 de 576m cada una (Ver figura 48), por lo tanto las obras del proyecto de zanjas de infiltración son las siguientes:

- 12 zanjas de infiltración de 576 m x 2m x 5m
- Instalación de geotextil en bordes y base. Colocación de material de filtro granular de grava, con una capa de 10 cm.
- Canaleta Parshall (Caudalímetro): Dispositivo de control que se instalará en el canal de admisión y salida, para registrar los caudales afluentes a la obra de recarga.
- Muros enrocados para la protección de las zanjas frente a crecidas del río, consideradas con una altura de 2 m (Ver figura 46).

Adicionales a las obras del módulo de infiltración ya señaladas, se contempla la perforación de 2 piezómetros de 3" de diámetro y 50 m de profundidad cada uno, para controlar los niveles de napa aguas abajo de la obra de recarga.

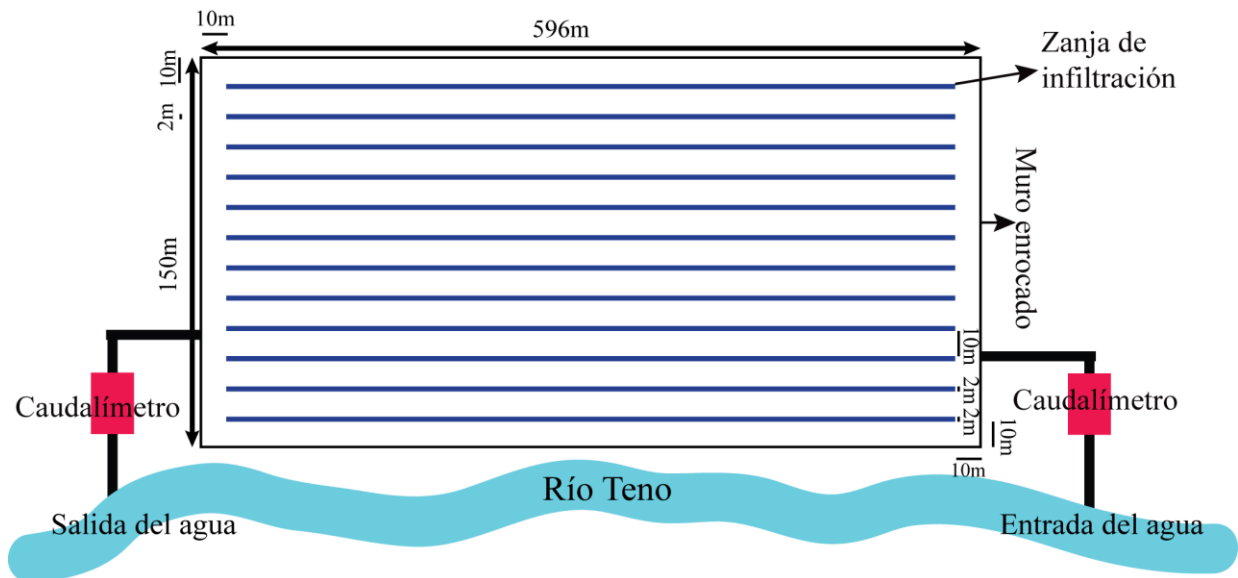


Figura 48. Proyecto de recarga gestionada mediante 12 zanjas de infiltración de 576 x 2 x 5m. Proyección UTM, DATUM WGS 1984, Huso 19 sur. Fuente: Elaboración propia.

Las labores de limpieza serán ejecutadas utilizando maquinaria semipesada, con frecuencia variable en función de los requerimientos, pero al menos una vez al año, de forma de retirar los sedimentos que se hayan acumulado por efecto del proceso de recarga.

7.2.2.4 Presupuesto

En la tabla 11 se presentan los costos de instalación y levantamiento de obras.

Tabla 11. Detalles de los costos de instalación de las obras del proyecto de zanjas de infiltración. Fuente: Elaboración propia con los precios se obtenidos en CNR (2013), DGA (2012) y MINVU (1996).

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	COSTO TOTAL (\$)
A	INST. FAENA, ROCE Y LIMP TERRENO	gl	1	2.500.000	2.500.000
				Sub total	2.500.000
B	OBRAS DE CAPTACIÓN Y AFORO				
	Canaleta Parshal	N°	2	1100000	2200000
				Sub total	2200000
D	Zanjas de infiltración				
	Excavación zanjas	m ³	69120	3850	266112000
	Retiro y transporte de excedentes	m ³	69120	3700	255744000
	Relleno zanjas	m ³	8177	3850	31481450
	geotextil	m ²	69360	2.498	173261280

				Subtotal	726598730
E	ENROCADO DE PROTECCIÓN Enrocado de protección	m3	8952	24800	222009600
				Sub total	222009600
F	PIEZÓMETRO DE MONITOREO piezómetro	N°	2	11478500	22957000
				Sub total	22957000
G	TERRENO	Ha	9,0	15.000.000	135000000
				Sub total	135000000
	TOTAL COSTO DIRECTO				1111265330
	GG Y UTILIDADES (45%)				500069399
	SUBTOTAL				1611334729
	19% IVA				306153598
	COSTO TOTAL				1917488327

Es importante mencionar que para poder hacer una evaluación económica del proyecto se deben conocer los costos junto con los beneficios agrícolas y sociales (ingresos) que éste generaría, para así medir la viabilidad del proyecto con los parámetros del VAN y TIR. La estimación de los beneficios escapa de los objetivos de este trabajo, por lo que solo se presentaran los costos.

7.2.3 Alternativa 3: Pozos de inyección

7.2.3.1 Ubicación

La ubicación puede ser en cualquier lugar de la zona denominada “Zona apta para recarga artificial profunda” que se muestra en la figura 43. Cabe mencionar que la configuración espacial de esta alternativa es solo esquemática y que la ingeniería en detalle como la configuración de los canales de admisión, aducción y devolución no será considerada en el esquema de proyecto ni en los costos pues escapan de los objetivos de este trabajo.

7.2.3.2 Caudal de infiltración.

Se infiltrará un caudal de 3600 l/s, al igual que en el proyecto de balsas de infiltración, las razones son las mismas.

7.2.3.3 Instalaciones y equipamiento

La expresión que permite estimar el caudal infiltrado por cada pozo en la zona saturada es la siguiente:

Ecuación 4. Método de LeFranc: Fórmula que permite calcular el caudal infiltrado (Q) por un pozo en la zona saturada. Fuente: Parraguez (2014).

$$Q=K*C*H$$

En donde:

- Q: caudal infiltrado por un pozo en la zona saturada (m³/d).
- H: altura de agua por sobre el nivel estático (m).
- K: conductividad hidráulica (m/d).
- C: factor de forma.

El factor de forma C, se determina según la siguiente ecuación:

Ecuación 5. Fórmula para determinar el Factor de forma C. Fuente: Parraguez (2014).

$$C = \frac{(2 * \pi * L * F)}{\ln\left(2 * \frac{L}{d}\right)}$$

En donde:

- L: Longitud del tramo filtrante (m).
- d: Diámetro del pozo (m).
- F: Factor Criba (%)

La figura 49 muestra el diseño propuesto para un pozo de infiltración en la zona saturada. Este ha considerado la posición del nivel estático a 50 m y una permeabilidad de 50 m/d, ya que es el nivel estático promedio y la permeabilidad más conservadora de la zona, respectivamente. También se propone dejar un espacio de 5 m (tubería ciega), inmediatamente bajo el nivel estático, debido a posibles variaciones de este último. Además se ha considerado un espacio para la ubicación de la bomba y para la trampa de arena del pozo.

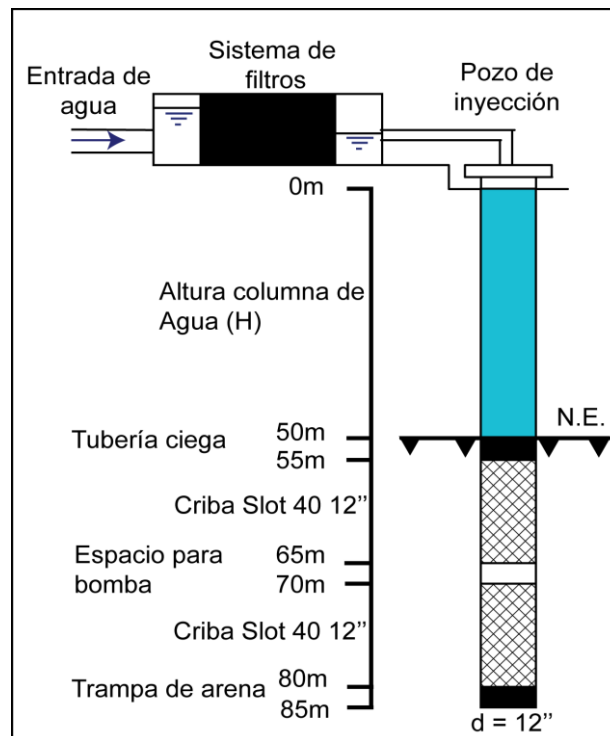


Figura 49. Diseño propuesto para un pozo de inyección en la zona saturada. Se muestran los parámetros que se utilizaron para calcular el caudal infiltrante mediante el Método de Lefranc, el que se muestra en las ecuaciones 4 y 5. N.E = Nivel estático; Criba slot 40 12'' = Factor Criba 25%. Fuente: Elaboración propia.

Utilizando los parámetros expuestos anteriormente en la ecuación 4 y 5 (Método de Le Franc), se obtiene que el caudal infiltrado por pozo es de 149,1 l/s, que se redondeara a 150 l/s.

Considerando que el caudal susceptible a infiltrar es de 3600 l/s es necesaria la instalación de 24 pozos de inyección para poder infiltrar el caudal en su totalidad (Ver figura 50).

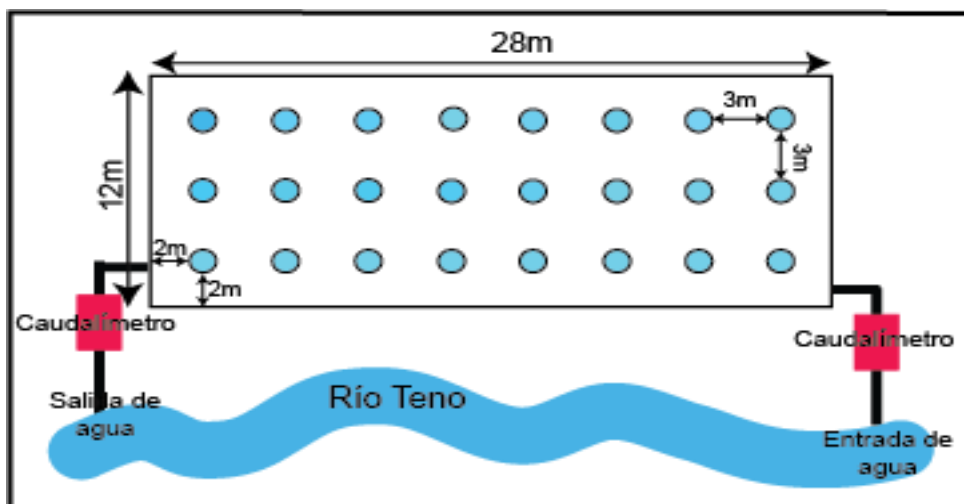


Figura 50. Esquema de proyecto de recarga gestionada mediante 24 pozos de inyección en un área de 200m². Fuente: Elaboración propia.

La limpieza y mantención de los pozos debe ser con frecuencia (Backwashing), para así prevenir la colmatación severa. Por ejemplo hacer Backwashig tres veces al día durante 15 minutos. Bouwer (2002) propone que un bombeo frecuente puede incluso eliminar la necesidad de una membrana de filtración

7.2.3.4 Presupuesto

De acuerdo a la sección 6.2.1.6 de este estudio, en caso de llevar a cabo un proyecto de recargar artificial con pozos de inyección directos al acuífero, el agua a infiltrar proveniente del río Teno debe pasar por un tratamiento de mejoramiento de su calidad, costo que no se considerara al momento de hacer la estimación del presupuesto, pues escapa de los objetivos de este trabajo.

En la tabla 12 se presentan los costos de instalación.

Tabla 12 Detalles de los costos de instalación de las obras del proyecto de pozos de inyección. Fuente: Elaboración propia con los precios se obtenidos en CNR (2013), DGA (2012) y MINVU (1996).

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	COSTO TOTAL (\$)
A	INST. FAENA, ROCE Y LIMP TERRENO	gl	1	2.500.000	2.500.000
				Sub total	2.500.000

B	CONSTRUCCIÓN SONDAJE				
	Perforación Dmin = 16"	m	85	280000	23800000
	Entubación cañería de acero D=12"	m	65	80000	5200000
	Cribas acero al carbono, Slot 40, D= 12"	m	20	220000	4400000
	suministro y colocación de filtro granular	m	85	46700	3969500
	Sello y brocal de Hormigón	gl	1	225.000	225000
	Tapa del pozo según plano de proyecto	gl	1	50000	50000
			Sub total	37644500	
C	OBRA DE CAPTACIÓN, FILTRO Y CASETA				
	Obra de captación bomba y obra de arte para tratamiento	gl	1	2000000	2000000
	Recinto sólido y seguro de 3x 3m, metálico	gl	1	3000000	3000000
			Sub total	5000000	
D	INTERRUPCIÓN DE FAENAS				
	Interrupción de faenas	hr	24	40000	960000
			Sub total	960000	
E	CAUDALÍMETRO				
	Canaleta Parshall	Nº	2	1100000	2200000
			Sub total	2200000	
F	PIEZÓMETRO DE MONITOREO				
	Piezómetro	Nº	2	11478500	22957000
			Sub total	22957000	
G	PLANO DE CONSTRUCCIÓN				
	Plano de construcción e informe final	gl	1	300000	300000
H	TERRENO	Ha	0,02	15.000.000	300000
				Sub total	300000
	SUBTOTAL POR POZO				43904500
	SUBTOTAL 24 POZOS				1053708000
	TOTAL COSTO DIRECTO				1.081.665.000
	GG Y UTILIDADES (45%)				486749250
	SUBTOTAL				1.568.414.250
	19% IVA				297998707,5
	COSTO TOTAL				1.866.412.958

Es importante mencionar que para poder hacer una evaluación económica del proyecto se deben conocer los costos junto con los beneficios agrícolas y sociales (ingresos) que éste generaría, para así medir la viabilidad del proyecto con los parámetros del VAN y TIR. La estimación de los beneficios escapa de los objetivos de este trabajo, por lo que solo se presentaran los costos.

7.2.4 Alternativa 4: Solución mixta 1: Balsas de infiltración junto con pozos de inyección

7.2.4.1 Ubicación

La ubicación óptima para este tipo de mecanismos corresponde a la misma que para el proyecto de balsas (Ver figura 44).

7.2.4.2 Caudal de infiltración

Se infiltrará un caudal de 3600 l/s, al igual que en el proyecto de balsas de infiltración, las razones son las mismas.

7.2.4.3 Instalaciones y equipamiento

Considerando las mismas instalaciones y parámetros técnicos que en la alternativa 1 y 3 (Ver secciones 7.2.1 y 7.2.3), se propone la instalación simultánea de 10 módulos de infiltración (piscina, decantador y sedimentador: (Ver figura 46) y 14 pozos de inyección directos al acuíferos, de 85 m de profundidad (Ver Figura 51). Cada uno infiltra 150 l/s respectivamente, lo que da un total a infiltrar de 3600 l/s para el proyecto.

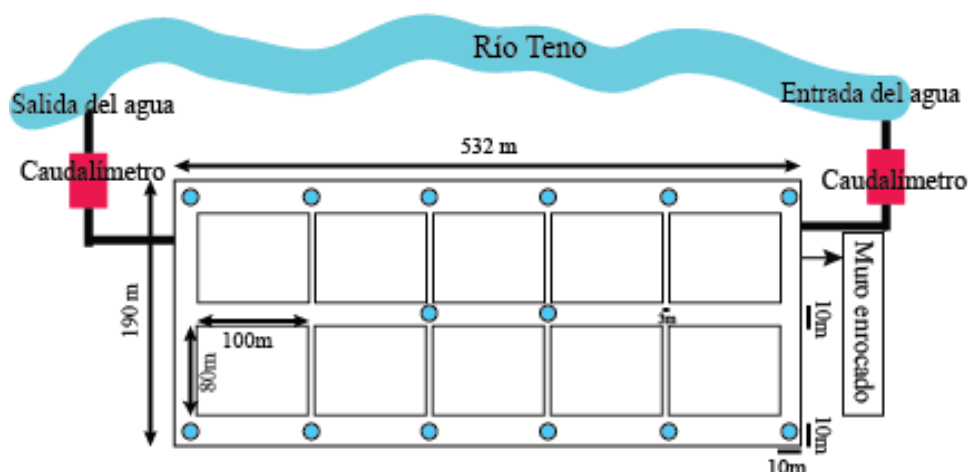


Figura 51. Esquema de proyecto de recarga gestionada mediante 10 piscinas de infiltración con su respectivo modulo y 14 pozos de inyección directos al acuífero. Fuente: Elaboración propia.

En las instalaciones se considera también:

- 2 Canaletas Parshall (Caudalímetro): Dispositivo de control que se instalará en el canal de admisión y salida, para registrar los caudales afluentes a la obra de recarga.
- Muros enrocados para la protección de las zanjas frente a crecidas del río, consideradas con una altura de 2 m (Ver figura 46).

Adicionales a las obras de infiltración ya señaladas, se contempla la perforación de 2 piezómetros de 3" de diámetro y 50 m de profundidad cada uno, para controlar los niveles estáticos aguas abajo de la obra de recarga.

7.2.4.4 Presupuesto

Los costos utilizados para cada módulo de infiltración y pozo de inyección serán el mismo utilizado en la alternativa 1 y 3.

En la tabla 13 se presentan los costos de instalación

Tabla 13. Detalles de los costos de instalación de las obras del proyecto mixto 1. Fuente: Elaboración propia con los precios se obtenidos en CNR (2013), DGA (2012) y MINVU (1996).

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	COSTO TOTAL (\$)
A	INST. FAENA, ROCE Y LIMP TERRENO	gl	1	2.500.000	2.500.000
				Sub total	2.500.000
B	INSTALACIÓN Y CONSTRUCCIÓN POR POZO	N°	14	43904500	614663000
				Sub total	614663000
C	MODULO DE INFILTRACIÓN Decantador Sedimentador Piscinas o balsas	N°	10	5852234	58522340
				8509030	85090300
				24706781	247067810
				Sub total	390680450
D	ENROCADO DE PROTECCIÓN Enrocado de protección	m ³	8664	24800	214867200
				Sub total	214867200
E	CAUDALÍMETRO Canaleta Parshall	N°	2	1100000	2200000
				Sub total	2200000
F	PIEZÓMETRO DE MONITOREO Piezómetro	N°	2	11478500	22957000
				Sub total	22957000
H	TERRENO	Ha	10,1	15.000.000	151500000
				Sub total	151500000
	TOTAL COSTO DIRECTO GG Y UTILIDADES (45%) SUBTOTAL 19% IVA COSTO TOTAL				1.399.367.650 629715442,5 2.029.083.093 385525787,6 2.414.608.880

7.2.5 Alternativa 5: Solución mixta 2: Zanjas de infiltración junto con pozos de inyección.

7.2.5.1 Ubicación

La ubicación óptima para este tipo de mecanismos corresponde a la misma que para el proyecto de balsas (Ver figura 44).

7.2.5.2 Caudal de infiltración

Se infiltrará un caudal de 3600 l/s, al igual que en el proyecto de balsas de infiltración, las razones son las mismas.

7.2.5.3 Instalaciones y equipamiento

Considerando las mismas instalaciones y parámetros técnicos que en la alternativa 2 y 3 (Ver secciones 7.2.2 y 7.2.3), se propone la instalación simultánea de:

- 6 Zanjas de infiltración de 567 m de largo, 2m de ancho y 5m de profundidad, las cuales infiltran 300 l/s cada una haciendo un total de 1800 l/s.
- 12 pozos de inyección de 85 m de profundidad (Ver figura 49), los cuales infiltran 150 l/s cada uno, haciendo un total de 1800 l/s.

En las instalaciones se considera también:

- 2 Canaletas Parshall (Caudalímetro): Dispositivo de control que se instalará en el canal de admisión y salida, para registrar los caudales afluentes a la obra de recarga.
- Muros enrocados para la protección de las zanjas frente a crecidas del río, consideradas con una altura de 2 m (Ver Figura 46).

Adicionales a las obras de infiltración ya mencionadas, se contempla la perforación de 2 piezómetros de 3" de diámetro y 50 m de profundidad cada uno, para controlar los niveles estáticos aguas abajo de la obra de recarga.

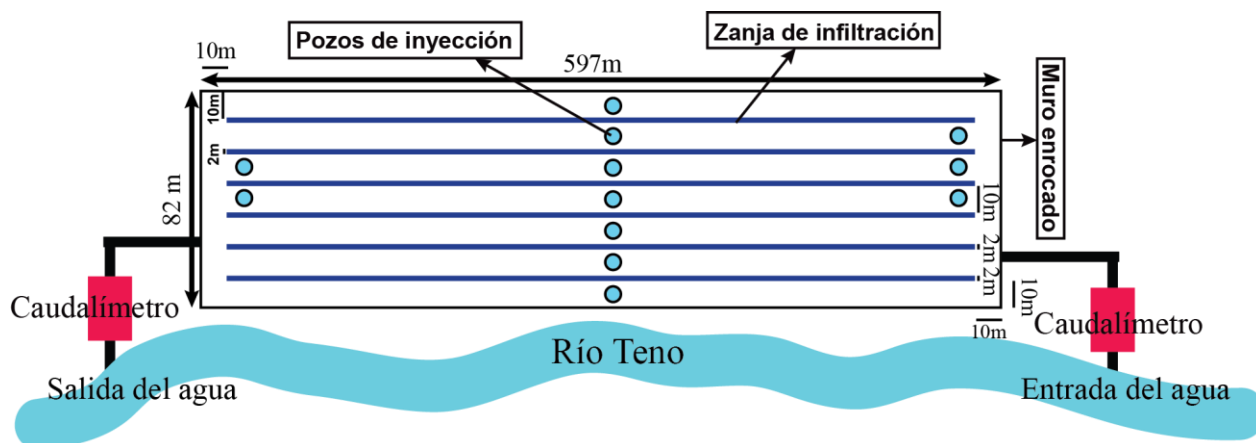


Figura 52. Esquema de proyecto de recarga gestionada mixto mediante 6 zanjas de infiltración de 567x2x5m y 7 pozos de inyección de 85 m directos al acuífero. Fuente: Elaboración propia

7.2.5.4 Presupuesto

En la tabla 14 se presentan los costos de instalación.

Tabla 14. Detalles de los costos de instalación de las obras del proyecto mixto 2. Fuente: Elaboración propia con los precios se obtenidos en CNR (2013), DGA (2012) y MINVU (1996).

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	COSTO TOTAL (\$)
A	INST. FAENA, ROCE Y LIMP TERRENO	gl	1	2.500.000	2.500.000
				Sub total	2.500.000
B	INSTALACIÓN Y CONSTRUCCIÓN POR POZO	N°	12	43904500	526854000
				Sub total	526854000
C	ZANJA DE INFILTRACIÓN Excavación zanjas Retiro y transporte de excedentes Relleno zanjas geotextil	m3	34020	3850	130977000
				3700	125874000
		m3	4025	3850	15496034,4
				2.498	102278112
		Sub total	374625146		
D	ENROCADO DE PROTECCIÓN Enrocado de protección	m3	8148	24800	202070400
				Sub total	202070400
E	CAUDALÍMETRO Canaleta Parshall	N°	2	1100000	2200000
				Sub total	2200000
F	PIEZÓMETRO DE MONITOREO				

	Piezómetro	N°	2	11478500	22957000
				Sub total	22957000
G	TERRENO	Ha	4,9	15.000.000	73500000
				Sub total	73500000
	TOTAL COSTO DIRECTO GG Y UTILIDADES (45%)				1.204.706.546
	SUBTOTAL				542117945,7
	19% IVA				1.746.824.492
	COSTO TOTAL				331896653,4
					2.078.721.145

7.3 Estimación del volumen saturado generado.

Para estimar el volumen saturado que se generará producto del volumen infiltrado por la recarga gestionada se utiliza la ecuación 6.

Ecuación 6. Cálculo del volumen saturado a partir del volumen de agua infiltrado y el coeficiente de almacenamiento del acuífero.

$$V_{saturado} = \frac{(V_{infiltrado})}{S}$$

En donde:

- $V_{infiltrado}$ = Volumen de agua total considerado a infiltrar.
- S = Coeficiente de almacenamiento.

Las alternativas de proyecto proponen infiltrar 3600 l/s durante 4 meses de recarga, siendo un total de 37324800 m³ de agua, correspondiente al 5% del caudal susceptible. Considerando un coeficiente de almacenamiento de 0,2 el Volumen saturado corresponde a 186624000 m³.

8. Conclusiones y recomendaciones

En la cuenca de los ríos Teno y Lontué existen 6 zonas favorables para la recarga gestionada, considerando como parámetros de elección profundidades del nivel estático de mínimo 20 m y permeabilidades mayores a 20m/día. Entre éstas existe una zona que posee las características más favorables para la instalación de un futuro proyecto, la cual fue denominada Sector 1 (S1). Ésta presenta los niveles estáticos más profundos, las permeabilidades más altas, la mayor extensión de área, y además, se ubica en un sector del río Teno que recarga el acuífero de manera permanente.

Dentro del Sector 1 se encuentra el subsector ORG, el cual posee una geometría tal que abarca las mejores características para captar agua y posteriormente infiltrarla mediante un método de recarga gestionada, de todo el sector 1. Las ventajas para la recarga gestionada del subsector ORG respecto al resto del sector 1 son las siguientes: Es la zona más cercana al río Teno (fuente de agua a utilizar) y además abarca la mayor

cantidad de infraestructuras de regadío como canales y bocatomas directas al río. Posee las permeabilidades superficiales de mayor valor, junto con las áreas de recarga río-acuífero. Por último posee un acuífero libre donde las gradientes hidráulicas son bajas.

En resumen, se concluye en base a lo descrito anteriormente, que el subsector ORG corresponde al área de mayor potencialidad para recarga gestionada de la cuenca de los ríos Teno y Lontué.

De acuerdo a las características hidrogeológicas del subsector ORG, se proponen 5 alternativas de futuros proyectos de recarga gestionada: 1) Piscinas o estanques de infiltración, 2) Zanjas de infiltración, 3) Pozos de inyección, 4) Solución mixta 1: Balsas de infiltración junto a pozos de inyección 5) Solución mixta 2: Zanjas de infiltración junto a pozos de inyección. Todos se ubicarían en las cercanías del cauce del río Teno y son aptos para infiltrar 3600 l/s, correspondientes al 5% del caudal susceptible de infiltración. Se considera el funcionamiento de éstos durante 4 meses, donde las crecidas del río son mayores.

La elección de la mejor alternativa o método de recarga propuesto, quedará sujeta a la disponibilidad de terreno. En caso de que la disponibilidad de terreno en las zonas aledañas al cauce del río Teno sea alta, se propone la utilización de piscinas de infiltración o zanjas de infiltración (Mecanismos superficiales y de muy baja profundidad), ya que estas alternativas son las que mejor se ajustan a las características hidrogeológicas del subsector ORG, puesto que existen amplias zonas de acuíferos libres con permeabilidades superficiales altas (3 a > 6m/d). También estos mecanismos tienen costos de mantención más económicos respecto a los profundos, principalmente porque no requieren tratamientos en la calidad de las aguas a recargar, lo que los hace más competitivos (MINVU, 1996; Bouwer, 2002; Fernández Escalante, 2010; DGA, 2012; CNR, 2013). De estos 2 proyectos las zanjas resultan ser más competitivas ya que utilizan menos espacio y sus costos son bastante menores.

En caso de que la disponibilidad de terreno sea baja, la alternativa más adecuada corresponde a los pozos de inyección, que es la alternativa técnicamente más eficiente pues filtra la misma cantidad que el resto en un espacio muy reducido.

Los DDA (Derechos de agua) asociados al río Teno están completamente concedidos e incluso estarían otorgados por sobre su capacidad, por tanto se concluye que para obtener el agua a infiltrar en los proyectos sugeridos, las opciones son las siguientes: 1) Comprar derechos de aguas de propiedad privada, o llegar a algún acuerdo de uso con el propietario. Estos deben ser derechos consuntivos asociados a la agricultura, preferentemente en invierno donde el requerimiento de caudales en este rubro es menor. 2) Hacer uso de los derechos de aguas eventuales perteneciente al fisco en los momentos que existan excedentes de aguas para utilizar.

En base a los antecedentes descritos en los párrafos anteriores se concluye que la cuenca de los ríos Teno y Lontué tiene un gran potencial para la recarga gestionada.

Antes de ejecutar cualquier proyecto, se recomienda estudiar con mayor detalle los antecedentes históricos de caudales, variación de los niveles estáticos y precipitaciones,

de manera de generar una correlación entre éstos, y así, poder proyectar de manera certera las posibles variaciones de estos factores a consecuencia del cambio climático para mediados y finales de siglo.

Los datos disponibles en este estudio solo entregan una visión general de la estratigrafía, es por esto que se recomienda hacer un estudio estratigráfico en detalle de la cuenca, para conocer a la perfección la zona vadosa. Se estima conveniente para esto, la realización de labores geofísicas para la elaboración de perfiles, y la realización de pozos estratigráficos descritos por profesionales capacitados, estableciendo criterios de descripción homologados.

La información de calidad de aguas superficiales y subterráneas de este estudio es muy limitada. En caso de la instalación de un proyecto de recarga gestionada debe hacerse una medición in situ en el lugar escogido, debido a las exigencias legales al respecto.

Para conocer la influencia de las aguas infiltradas sobre el acuífero, se recomienda modelar matemáticamente la dinámica de las aguas subterráneas de la cuenca. Debe hacerse un análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo frente a los caudales recargados, y así tener una aproximación más realista del alza de la napa subterránea.

Se recomienda estimar el beneficio agrícola y social que genera el aumento de los niveles estáticos producto de la recarga, para poder hacer una evaluación económica de los posibles proyectos, mediante indicadores como el VAN y TIR.

Por último se recomienda que previo a la instalación de un proyecto de recarga gestionada, se implementen proyectos pilotos, que evalúen el real comportamiento hidrogeológico del sector escogido frente a los caudales infiltrados.

BIBLIOGRAFÍA

AGUIRRE, L. 1960. Geología de los Andes de Chile Central (provincia de Aconcagua). Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín, No. 9, 70 p.

ALBERS, C, 2012. Coberturas SIG, para la enseñanza de la Geografía en Chile [en línea]. Universidad de la Frontera, Temuco. < www.rulamahue.cl/mapoteca>.

ALFARO, A. 2011. Peligro sísmico en el segmento norte de la Región del Maule, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Santiago. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Física y Matemáticas

AQUACONSULT. 2006. Anexo 4.1-1 Informe Geológico. En: Estudio de calidad de aguas subterráneas en las cuencas del río Huasco y Mataquito. Santiago, Chile.

ARCADIS. 2003. Diagnóstico y análisis de la calidad de agua de riego cuencas Huasco y Mataquito. Santiago, Chile.

AZZOUT, Y., S. BARRAUD, E. ALFAKIH Y F. N. CRES. 1994 Techniques Alternatives en Assainissement Pluvial. Technique et Documentation, Lavoisier, París.

BAEZA, O., 1999. Análisis de litofacies, evolución depositacional y análisis estructural de la Formación Abanico en el área comprendida entre los ríos Yeso y Volcán, Región Metropolitana. Memoria, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 119 p.

BORDE, J. 1958. Las depresiones tectónicas del Maipo inferior, glaciaciones y cenizas volcánicas. Revista de informaciones Geográficas de Chile, p. 6 – 15.

BRANDT, G. 1998. Arrenæs artificial recharge trial plant, Denmark–Hydrological and chemical aspects. In Proceedings of the Third International. Symposium on Artificial Recharge of Groundwater–TISAR 98 Amsterdam. Pp. 217-222

BRAVO, P. 2001. Geología del borde oriental de la Cordillera de la Costa entre los ríos Mataquito y Maule, VII Región. Memoria de Título (Inédito). Universidad de Chile, Departamento de Geología, 113 p., escala 1:100.000. Santiago.

BOUWER, H. 2002. Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. Hydrogeology Journal, volumen 10, n°2, abril 2002

BRÜGGEN, M. J. 1950. Fundamentos de la Geología de Chile. Instituto Geográfico Militar. Santiago, Chile.

BUSTAMANTE, M. A., 2001. El contacto entre la Formación Abanico y las unidades mesozoicas, valle del río Volcán, Región Metropolitana. Memoria, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 54 p

CABRERA, G. 2013. Aspectos generales de la recarga artificial de acuíferos en Chile. Tercera jornada Técnica 2013. Asociación Latinoamericana de Hidrología Subterránea para el desarrollo (ALHSUD). [Diapositiva] Santiago, Chile.

CABRERA, G. 2014. Análisis desde Arica hasta Maule: ¿Dónde hay condiciones para la Recarga Artificial de acuíferos en Chile? Revista AIDIS, (1). Santiago, Chile.

CARTER, W. y L. AGUIRRE. 1965. Structural geology of Aconcagua Province and its relationship to the Central Valley graben. Geological Society of America, Bulletin N°76, pp. 651-664.

CENTRO DE CIENCIA DEL CLIMA Y LA RESILIENCIA (CR)2. 2015. Informe a la nación, La megasequía 2010-2015: Una lección para el futuro. Santiago, Chile.

CENTRO DE INFORMACIÓN DE RECURSOS NATURALES (CIREN). 2015. Actualización cartográfica de suelos en la VII Región. Chile. Escala 1:100.000.

CHARRIER, R. 1981. Carta geológica de Chile, Hoja El Teniente. (Inédito), escala 1:250.000. Santiago, Universidad de Chile, Departamento de geología.

CHARRIER, R., WYSS, A. R., FLYNN, J. J., SWISHER III, C. C., SPICHIGER, S., & ZAPATTA, F. 1994. Nuevos antecedentes estratigráficos y estructurales para las Formaciones Coya-Machalí y Abanico, entre 33 50'y 35 S, Cordillera Principal Chilena. Congreso Geológico Chileno (Vol. 2).

CHARRIER, R., BAEZA, O., ELGUETA, S., FLYNN, J.J., GANS, P., KAY, S.M., MUÑOZ, N., WYSS, A.R. AND ZURITA, E., 2002a. Evidence for Cenozoic extensional basin development and tectonic inversion south of the flat-slab segment, southern Central Andes, Chile (33°-36° S.L.). Journal of South American Earth Sciences, Vol. 15, p. 117-139.

CHOWDHURY, A., MADAN K, J., CHOWDARY, V. Delineation of groundwater recharge zones of artificial recharge sites in West Medinipur district, West Bengal, using RS, GIS and MCDM techniques. Environ Earth Sci, 59(6), pp. 1209 – 1222.

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). 2009. La Economía del Cambio climático en Chile. Santiago, Chile.

COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO (CNR), (CHILE). 2006a. Estudio de calidad de aguas subterráneas en las cuencas del río Huasco y Mataquito. Desarrollado por GCF Ingenieros Consultores Ltda. Santiago, Región Metropolitana, Chile. Ministerio de Agricultura

COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO (CNR), (CHILE). 2006b. Estudio e implementación de modelos hidrológicos acoplados a SIG para el manejo y planificación, cuenca de Maule, Mataquito e Itata. Desarrollado por GCF Ingenieros Consultores Ltda. Santiago, Región Metropolitana, Chile. Ministerio de Agricultura

COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO (CNR), (CHILE). 2013. Mejoramiento de agua subterránea para riego Ligua y Petorca. Desarrollado por GCF Ingenieros Ltda. Santiago, Chile. Ministerio de Agricultura

COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO (CNR), (CHILE). 2013. Estudio diagnóstico de zonas potenciales de recarga de acuíferos en las regiones de Arica y Parinacota a la región del Maule. Realizado por GCF Ingenieros Ltda. Santiago, Región Metropolitana, Chile. Ministerio de Agricultura.

COMISIÓN NACIONAL DE MEDIO AMBIENTE (CONAMA), (CHILE). 2003. Decreto 46: Establece Norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas, 17 de enero del 2003.

COMISIÓN NACIONAL DE MEDIO AMBIENTE (CONAMA), (CHILE). 2006. Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de ciencias físicas y matemáticas, Departamento de Geofísica.

CUSTODIO, E. Y LIAMAS, M. R. 1996. Hidrología Subterránea. - Tomo I. 2da. Ed. Edición corregida. Barcelona, Omega. 85p.

DAVIDSON, J. 1974. A Quaternary mudflow (lahar) down the Claro and Teno valleys from Planchón Volcano (Curicó Province, Chile). International Association Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior, Symposium on Andean and Antarctic Problems, Abstract.

DAVIS, S. N. y DE WIEST, R. 1971. Hidrogeología. Ediciones Ariel, 583 p. Barcelona.

DE LOS COBOS, G. 2002. "The aquifer recharge system of Geneva, Switzerland: a 20 year successful experience Proceedings of the 4th International Symposium on Artificial Recharge of Groundwater, Adelaide, South Australia 22-26

DILLON, P. Y MOLLOY, R. 2006. Technical guidance for ASR. Report to Smart Water Fund, CSIRO Land and Water Science Report 4/06, 24 pp.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA), (CHILE). 1978. Estudio Integral de riego de la cuenca del río Mataquito. Tomo G: Hidrogeología. Santiago, Región Metropolitana, Chile. Ministerio de Obras Públicas

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA), (CHILE). 1990. Análisis estadístico de caudales en los ríos de Chile. Santiago, Ministerio de Obras públicas.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA), (CHILE). 2004. Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca río Mataquito. Realizado por cade-idepe consultores en ingeniería. Santiago, Chile. Ministerio de Obras públicas.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA), (CHILE). 2008. Manual de Normas y procedimientos para la administración de recursos hídricos. Santiago, Región Metropolitana, Chile. Ministerio de Obras Públicas. 417p.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA), (CHILE). 2012. Estudio hidrogeológico cuenca del río Mataquito. Realizado por Aquaterra Ingenieros Limitada. Santiago, Región Metropolitana, Chile. Ministerio de Obras Públicas

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA), (CHILE). 2012. Investigación recarga artificial de acuíferos cuencas de los río Chopa y Quilimarí, Región de Coquimbo. Realizado por AC Ingenieros Consultores Ltda. Santiago, Región Metropolitana, Chile. Ministerio de Obras Públicas.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA), (CHILE). 2013. Análisis y síntesis preliminar de iniciativas sobre Recarga Artificial en Chile. Santiago, Región Metropolitana, Chile. Ministerio de Obras Públicas.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA), (CHILE). 2015. Evaluación de la disponibilidad de recursos hídricos subterráneos en el sector acuífero Teno-Lontué. Informe Técnico Darh n°44. Santiago, Ministerio de Obras públicas. Pp 1 a 5.

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS (DGA), (CHILE). 2016. Información Oficial Hidrometeorológica y de calidad de Aguas en línea. [En línea] disponible en: < <http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes> >. Santiago, Ministerio de Obras públicas.

DREHER, J.E. & GUNATILAKA, A. 1998. Groundwater management system in Vienna, Austria. An evaluation after three years of operation. Third international symposium on Artificial Recharge of groundwater. Amsterdam, pp 167 – 172.

ESCOBAR et al. 1977. Avance geológico de las hojas Rancagua-Curicó, Talca-Linares y Concepción-Chillán (Inédito). Instituto de investigaciones Geológicas, 20 p. Santiago, Chile.

FARÍAS, M. 2007. Tectónica y erosión en la evolución del relieve de los Andes de Chile Central durante el Neógeno. Tesis (Doctor en Ciencias, Mención Geología) Departamento de Geología, Universidad de Chile. 191p.

FERNÁNDEZ ESCALANTE, E. 2005. Recarga artificial de acuíferos en cuencas fluviales. Aspectos cualitativos y medioambientales. Criterios técnicos derivados de la experiencia en la Cubeta de Santiuste (Segovia). Revista ecosistemas 14 (3): 140-147.

FERNÁNDEZ ESCALANTE, E. 2010. La gestión de la recarga artificial de acuíferos en el marco del desarrollo sostenible. Madrid: Grafinat. Pp 43-251.

FEWSTER, E. 2010. Resilient techniques to improve water availability, with a focus on drought-prone areas.

FOCK, A. 2005. Cronología y tectónica de la exhumación en el Neógeno de los Andes de Chile Central entre los 33° y los 34°S. Memoria de Título, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago. 179p.

FOCK, A., CHARRIER, R., FARIAS, M. and MUÑOZ, M. 2006. Fallas de vergencia oeste en la Cordillera Principal de Chile Central: Inversión de la cuenca de Abanico, Asociación Geológica Argentina, Serie Publicación Especial. N° 6. pp. 48-55.

FUENTES, F.; VERGARA, M.; NYSTRÖM, J. O.; LEVI, B.; AGUIRRE, L. 2000. Geology and geochemistry of Tertiary volcanic rocks from the Cuesta de Chacabuco area. Congreso Geológico Chileno, No. 9, Actas, Vol. 2, p. 656-659. Puerto Varas.

FUENTES, F., VERGARA, M., AGUIRRE, L., FÉRAUD, G., 2002. Relaciones de contacto de unidades volcánicas terciarias de los Andes de Chile central (33° S): una reinterpretación sobre la base de dataciones 40Ar/39Ar. Revista Geológica de Chile, Vol. 29, N° 2, p. 207- 225.

GANNA, P., Y WALL, R. 1997. Evidencias geocronológicas 40Ar/39Ar y K-Ar de un hiatus cretácico superior-eoceno en Chile central (33-33° 30'S). Andean Geology, 24(2), 145-163.

GARCÍA RODRÍGUEZ, J.L. 2004. Proyecto Determinación de Estándares de Ingeniería en obras de Conservación y Aprovechamiento de Aguas y Suelos, para la Mantención cremento de la Productividad Silvícola: Proyecto E.I.A.S. Universidad de Talca, Talca, Chile.

GODOY, E., YÁÑEZ, G., VERA, E., 1999. Inversion of an Oligocene volcano-tectonic basin and uplifting of its superimposed Miocene magmatic arc in the Central Chilean Andes: first seismic and gravity evidences. Tectonophysics, Vol. 306, N° 2, p. 217-236.

GONZÁLEZ, O Y VERGARA, M. 1962. Reconocimiento geológico de la cordillera de los Andes entre los paralelos 35° y 38° latitud sur. Instituto de Investigaciones Geológicas. Universidad de Chile, Publicación 24.

GOVERNMENT OF INDIA. 2007. Manual in artificial recharge of ground water. Ministry of water resources.

HATVA, T. 1996. Artificial groundwater recharge in Finland. International symposium on Artificial Recharge of Groundwater. Helsinki, pp 3 – 12.

HAUSER Y, A. 1990. Carta Hidrogeológica de Chile, Hoja Rancagua, VI Región. Escala 1:250.000. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería.

HAUSER Y, A. 1995. Carta Hidrogeológica de Chile, Hoja Talca, VII Región. Escala 1:100.000. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería.

HJORT, J & ERICSSON, P. 1996. Investigation of future artificial groundwater supply of greater Stockholm. International symposium on Artificial Recharge of groundwater. Helsinki, pp. 25 – 30.

INFRAESTRUCTURA DE DATOS GEOESPACIALES (IDE-CHILE), [en línea] <www.geoportal.cl> [consulta: 25 marzo 2016].

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 1987. Norma Chilena Oficial Nch1333 of 78, requisitos de calidad del agua para diferentes usos.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 1996. Norma Chilena Oficial Nch410 of 96, Calidad del agua – vocabulario.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 2005. Norma Chilena Oficial NCh409/1 of 2005, requisitos de calidad del agua potable.

JIMÉNEZ, G. 2013. Caracterización de la cuenca del río san José en Arica para la evaluación a nivel de perfil de un sistema de recarga artificial de acuíferos. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. Santiago. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Física y Matemáticas.

JOS, H. 1996. Are there any blueprint for artificial recharge?. International symposium on artificial recharge of groundwater. Helsinki, Finlandia. The Nordic coordinating committee for hydrologu. Kohyno, pp. 257 – 269.

KARZULOVIC J. 1963. Características de los depósitos de cenizas volcánicas en Chile Central. Revista de informaciones Geográficas de Chile, p. 205

KLOHN, C. 1960. Geología de la cordillera de los Andes de Chile Central, provincias de Santiago, O'higgins, Colchagua y Curicó. Mapa escala 1:250.000. Instituto de investigaciones Geológicas de Chile, Boletín No. 8, 95p.

LAVENU, A. 2005. Fallas Cuaternarias de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín N° 62. 71p.

LÁZLÓ, F. & LITERATHY, P. (1996). Processes affecting the quality of bank-filtered water. International symposium on Artificial Recharge of Groundwater, Helsinki, pp 53 – 64.

LEENHEER, J. 2002. Processes controlling attenuation of disolver organic matter in the subsurface. US. Geological Survey Artificial Recharge Workshop proceedings. Sacramento, California.

LLURIA, M. 2011. Managed aquifer recharge for the Arizona desert: The development of large surface water-spreading facilities. Managed aquifer recharge symposium, Irvine, California.

LOFTUS, A. 2011. Treating wastewater for reuse using natural systems. En: SWITCH Training Kit, Case study. Tel Aviv, Israel

LOPEZ GETA, J.A Y MURILLO DIAZ, J.M. 1999. El papel de los acuíferos en la gestión integral de los recursos hídricos. Jornadas sobre el agua. Universidad de Almería.

MAC PHAIL, D. 1973. The Geomorphology of the Teno Lahar, Central Chile. Geographical review. No. 66, p. 517 – 532.

MARANGUNIC, C.; MORENO, H.; VARELA, J. 1979. Observaciones sobre los depósitos de relleno de la Depresión Longitudinal de Chile, entre los ríos Tinguiririca y Maule. Congreso Geológico Chileno, No 2, Actas, Vol. 3, p- 29 – 39. Arica.

MINAM. 2002. Estudio del sistema de utilización conjunta de los recursos hídricos superficiales y subterráneos de las cuencas del Cega-Pirón y del Adaja –Eresma. MINAM-PROINTEC

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (MMA), (CHILE). 2011. Segunda comunicación nacional de Chile ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Santiago, Región Metropolitana.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTE (MOPUT), (ESPAÑA). 1991. Guía para la elaboración de estudios del medio físico: Contenido y metodología. Tercera Edición. Madrid, España.

MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO (MINVU), (CHILE). 1996. Técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias en sectores urbanos, guía de diseño. Santiago. Realizado por DICTUC, Dirección de investigaciones Científicas.

MOREL, R., THIELE, R. 1981. Geología del sector norte de la Hoja Gualleco entre los 35°00' y 35°10' latitud sur, provincia de Talca, VII región, Chile. Santiago, Universidad de Chile, Departamento de Geología y Geofísica.

MORENO, J.; VARELA, J. 1982. Los depósitos de relleno de la Depresión Longitudinal de Chile, entre los ríos Bío-Bío y Tolten- Allipén. Congreso Geológico Chileno, No 3, Actas, Vol. 1, p.203 – 222. Concepción.

MUÑOZ, M., 2005. Geoquímica, metamorfismo y petrogénesis de la franja oriental de la Formación Abanico en Chile central, área de El Volcán, Cajón del Maipo (33°50's, 70°12'-70°05'). Tesis de Magister, Departamento de Geología, Universidad de Chile.

MURRAY, R. 2009. A check-list for implementing successful artificial recharge projects. Department of Water Affairs, Republic of South Africa.

NYSTRÖM, J. O., VERGARA, M., MORATA, D., & LEVI, B. 2003. Tertiary volcanism during extension in the Andean foothills of central Chile (33 15'–33 45' S). Geological Society of America, Boletín 115(12), 1523-1537.

OROPEZA, O. 2010. B.1 Pendiente del terreno. En: Atlas Regional de Impactos derivados de las actividades petroleras en Coatzacoalcos, Veracruz. 1st ed. Ciudad de México, México.

ORTUÑO, F. 2015. Recarga artificial en el río Llobregat, Barcelona. En: Seminario Gestión de la recarga de acuíferos. Santiago. Universidad de Chile. Departamento de geología.

PARRAGUEZ, C. 2013. Unidad 2 (Parte A): Componentes del ciclo hidrológico. Precipitaciones. [Diapositivas: Material de clases]. GL5213 Hidrogeología. Universidad de Chile, Departamento de Geología. Santiago, Chile.

PARRAGUEZ, C. 2014. Unidad 5 (Parte D): Infiltración artificial e Hidrogeología Costera. [Diapositivas: Materia de clases]. Curso de Hidrogeología. Universidad Andres Bello, Departamento de Geología. Santiago, Chile

RAULD, R.A., 2002. Análisis morfoestructural del frente cordillerano de Santiago Oriente, entre el río Mapocho y la Quebrada Macul. Memoria de Título, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago. 57p.

RAULD, R., VARGAS, G., ARMIJO, R., ORMEÑO, A., VALDERAS, C., & CAMPOS, J. (2006). Cuantificación de escarpes de falla y deformación reciente en el frente cordillerano de Santiago. Congreso Geológico Chileno (No. 11, pp. 447-450).

SAHÚN ARTIGAS, B. Y MURILLO DIAZ, J.M. 2000. Identificación de acciones y programación de actividades de recarga artificial de acuíferos en las cuencas intercomunitarias. Ministerio de medio ambiente y ministerio de Ciencia y Tecnología. Instituto Tecnológico Geominero de España.

SÁNCHEZ, X. 2015. Seminario: Gestión de la recarga de acuíferos. Santiago. Universidad de Chile. Departamento de geología.

SÁNCHEZ, X. 2016. Duda Recarga Artificial. [email].

SELLÉS, D. 1999. La Formación Abanico en el Cuadrángulo Santiago (33 15'-33 30'S; 70 30'-70 45'O), Chile Central. Estratigrafía y Geoquímica. Memoria de Título (Inédito), Universidad de Chile, Departamento de Geología.

SELLÉS, D. 2000. La relación discordante entre las Formaciones Abanico y Las Chilcas en la localidad de Angostura: implicancias regionales. Congreso Geológico Chileno (No. 9, pp. 555-558).

SCHÖTTLER, U. 1996. Artificial Recharge of groundwater in Germany. State of art in research and practice. N H P Rapport, pp 41- 49

SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA (SERNAGEOMIN). 2003. Mapa Geológico de Chile, Escala 1:1.000.000, versión digital. Santiago, Chile.

STERN, C.R.; AMINI, H.; CHARRIER, R.; GODOY, E.; HERVÉ, F.; VARELA, J. 1984. Petrochemistry and age of rhyolitic pyroclastics flows which occur along the drainage valleys of the Río Maipo and Río Cachapoal (Chile) and the Río Chaucha and Río Papagayos (Argentina). *Revista Geológica de Chile*, No. 23, p. 39-52.

THOMAS, H. 1958. Geología de la Cordillera de la Costa entre el valle de la Ligua y la Cuesta de Barriga. Instituto de Investigaciones Geológicas de Chile, Boletín N°2, 86 p. Santiago.

UNITED NATIONS, EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO). 2005. Strategies for Managed Aquifer Recharge (MAR) in semi-arid áreas. International Hydrological programme (IHP).

VERGARA, M., & DRAKE, R. 1979. Edades K/Ar en secuencias volcánicas continentales postneocomianas de Chile Central, su depositación en cuencas intermontanas restringidas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 34(4).

VERGARA, M.; MORATA, D.; VILLARROEL, R.; NYSTRÖM, J.O.; AGUIRRE, L. 1999. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages, very low-grade metamorphism and geochemistry of the volcanic rocks from "Cerro El Abanico", Santiago Andean Cordillera (33°30'S-70°30'-70°25'W). Fourth International Symposium on Andean Geodynamics, Extended Abstracts Volume. Georg August Universität, p. 785-788. Göttingen

WYSS, A. R.; CHARRIER, R.; FLYNN, J. J. 1996. Fossil mammals as a tool in Andean stratigraphy: dwindling evidence of Late Cretaceous volcanism in the south central Main Range. *Paleobios*, 1996, vol. 17, no 2-4, p. 13-27.

ANEXOS

Anexo A: Mecanismos de recarga gestionada

Existen gran número de posibles variaciones en los dispositivos de recarga gestionada de acuíferos ya existentes, dado que, en todos los casos, cada uno debe adaptarse a las condiciones y características de la zona donde se vaya a ubicar, en aras de lograr el máximo de rendimiento y efectividad (Fernández Escalante, 2010).

Un requisito previo en la gestión de la recarga artificial de acuíferos es la disponibilidad de una fuente de agua próxima, con un volumen suficiente y con calidad necesaria. Los sistemas de gestión de la recarga o *managed aquifer recharge*, o simplemente, “sistemas MAR”, pueden utilizar aguas con diferentes orígenes y calidades, siendo éste un aspecto muy importante a tener en cuenta, tanto en el diseño como en la selección de materiales a emplear (Fernández Escalante, 2010).

Un tema muy importante es la probabilidad de colmatación de los sistemas de infiltración, aspecto que debe ser comprendido para que los impactos puedan ser minimizados y gestionados de manera que la relación costo-beneficio sea positiva (Unesco, 2005).

A continuación se enumeran y describen las distintas tipologías y dispositivos de los distintos mecanismos de infiltración en la recarga gestionada. Estos han sido clasificados por Unesco (2005), Bouwer (2002) y Escalante (2011) en 4 grandes grupos, divididos de acuerdo al sistema de Recarga, los que se describirán a continuación:

- Dispersión o distribución.
- Modificación del Canal
- Pozos y perforaciones.
- Filtración.

A.1 Métodos de dispersión o distribución

Los sistemas de dispersión consisten en la distribución de las aguas de recarga gestionada sobre una superficie permeable, por la cual se infiltra el agua a través de la zona no saturada hasta el acuífero. Para ello precisa afloramientos permeables y la proximidad de una fuente de agua fiable (en cuanto a cantidad y calidad se refiere) (Fernández Escalante, 2010).

Estos dispositivos se emplean, en general, en acuíferos superficiales libres, ya que el agua llega hasta el acuífero a través de la superficie del terreno (Fernández Escalante, 2010).

En general, los estándares de calidad del agua de recarga gestionada requeridos para este tipo de sistemas de superficie son menores que para los profundos, ya que el filtrado natural que tiene lugar en la zona no saturada y en el acuífero mejoran la calidad del agua infiltrada en el origen (Fernández Escalante, 2010).

A.1.1 Estanque o balsas de infiltración

Según Unesco (2005) y Fernández Escalante (2010) es uno de los dispositivos de uso más extendido. Las balsas o estanques están constituidos por una depresión en el terreno (bien natural o artificial), con paredes inclinadas y cuyo fondo debe estar lo más nivelado posible, para favorecer que la infiltración sea homogénea (Ver Figura A.1).

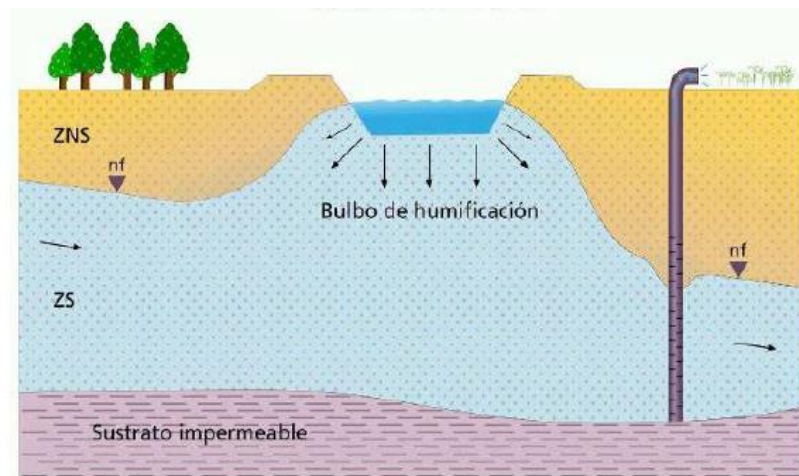


Figura A.1. Esquema de balsa o estanque de infiltración. Fuente: Fernández Escalante (2010)

Ya sea excavada en el terreno o rodeada de muros que retengan el agua de recarga, tanto el fondo de la balsa como las paredes deben tener una alta capacidad de infiltración. Si el acuífero está formado por materiales menos permeables, deberá emplearse una capa de arena en el fondo y laterales de la balsa para retrasar los procesos de obstrucción y ampliar los periodos o ciclos de recarga.

Las características hidrogeológicas más importantes que deben cumplir este tipo de dispositivos, es que el acuífero no sea confinado (superficial y libre), ya que la recarga gestionada se produce desde la superficie, que posea un coeficiente de almacenamiento elevado y una alta transmisividad. Las formaciones aluviales, sistemas dunares o detríticos con buena selección suelen ser los más idóneos. Sin embargo, hay que considerar que unos valores excesivamente altos de transmisividad, pueden dar lugar a una rápida dispersión del agua de recarga gestionada, lo cual dificultaría su recuperación. Es importante tener en cuenta que los materiales que afloran en superficie, deben tener una alta permeabilidad, para favorecer la infiltración del agua desde la superficie hasta el acuífero.

Para obtener unos volúmenes mínimos de recarga artificial de agua en el acuífero, es necesario que la superficie de infiltración de la balsa sea lo suficientemente extensa, lo que implica la ocupación de grandes superficies de terreno. Dicha necesidad de terreno o el elevado precio del suelo, puede ser uno de los factores más importantes a tener en cuenta a la hora de seleccionar y ubicar este tipo de dispositivos.

La fuente de agua que se utilice para recargar el acuífero también es importante, tanto desde el punto de vista de la calidad como de la fiabilidad de la misma. Debe estar lo más cerca posible de la zona donde vaya a instalarse la balsa y mantener un caudal mínimo

durante el periodo de recarga gestionada, lo cual abarata considerablemente los costes de la obra y el mantenimiento de las instalaciones.

La calidad del agua condiciona en gran medida el diseño, características y mantenimiento de las balsas. Si el agua proviene de una fuente potable, los problemas de colmatación, debidos a procesos mecánicos, químicos o a la actividad biológica, serán menores, que si se utilizan aguas residuales para la recarga del acuífero.

En general es conveniente construir un sistema de decantación previo, mediante balsas escalonadas, filtros intercalados en el sistema de alimentación, la compartimentación de una de las balsas o la construcción de plazoletas para favorecer la decantación de los sólidos en suspensión antes de llegar a la balsa, evitando, en la medida de lo posible, que aumenten los gases disueltos.

Uno de los principales problemas que presentan estos dispositivos es la reducción en la capacidad de infiltración, debido a fenómenos de colmatación que tienen lugar en el fondo y paredes de la balsa, así como en determinadas profundidades. Para reducir lo máximo posible la obstrucción producida por la decantación de finos, colmatación y minimizar las pérdidas por evaporación, es necesario realizar una serie de inspecciones periódicas y un mantenimiento adecuado para cada situación. Los métodos de mantenimiento de las balsas de infiltración son variables, desde la alternancia de ciclos de llenado-secado (Ver Figura A.2) que permiten secar una balsa mientras otros siguen infiltrando, para así, reducir la actividad bacteriológica, el escarificado del lecho, la retirada de la capa superficial de suelo y su sustitución por terreno natural "limpio" en función del grado de colmatación.



Figura A.2 Sistema de alternancia de ciclos llenado-secado y tratamiento de suelo (SAT) de las balsas de infiltración en Tel Aviv. Se observa la alternancia de balsas llenas y vacías para así, darle una mantención regular al sistema balsas de la Gestión de la Recarga de acuíferos. Fuente: LOFTUS ,2011.

Valores típicos de infiltración van desde los 30 [m/año] hasta los 500 [m/año] en suelo fino y arena gruesa respectivamente, mientras que la profundidad de la laguna puede variar entre 1 y 4 metros. Costos en India se estiman entre \$US 5.000 y \$US 10.000 para estanques de 10.000 a 15.000 [m³] de capacidad (Fewster, 2010; Jiménez 2013).

La utilización de métodos de recarga gestionada combinados, como puede ser tratamientos mecánicos combinados con Técnicas de Tratamiento de Suelo y Acuífero (SAT), mejoran considerablemente la efectividad de estos dispositivos y reducen los costes de obra y mantenimiento.

A.1.2 Canales y zanjas de infiltración (Ladera de cerro)

La principal diferencia entre zanjas y canales es que, mientras que los canales suelen instalarse para conducir el agua a través de las zonas más permeables o guiarla hasta los reservorios aumentando la infiltración, las zanjas son estructuras de retención de aguas de escorrentía que, además de reducir significativamente la erosión de laderas, aumentan la infiltración natural, recargando así el acuífero subyacente (Fernández Escalante, 2010).

Otra de las diferencias entre estos dos dispositivos de AR es que las zanjas suelen instalarse en serie, mientras que los canales suelen tener un trazado continuo (Fernández Escalante, 2010).

A.1.2.1 Canales de Infiltración

Según Fernández Escalante, (2010) se entiende por canal de infiltración una construcción superficial destinada al transporte del agua de recarga artificial para favorecer la infiltración. El canal consiste en una estructura más o menos lineal excavada o sobre el terreno cuya sección tiene forma de trapecio invertido. Tanto el diseño como el trazado deben ser designados en función de las características hidrogeológicas, topográficas, sociológicas, etc. de la zona donde vaya a instalarse el dispositivo (Ver figura A.3).



Figura A.3 Esquema de Canales de infiltración. A) y B) vista en perfil. C) Vista en diagonal. Fuente: Fernández Escalante, 2010.

El trazado de los canales debe discurrir a lo largo de zonas con pendiente y que tengan la mayor permeabilidad posible, aumentando así la infiltración natural de agua en el acuífero.

El método de recarga es muy similar al de las balsas de infiltración. La principal diferencia es que el agua se infiltra “en movimiento”, incluso contando con dispositivos de parada intercalados. Este movimiento es lineal, aguas abajo. En cuanto a la necesidad de terreno es mucho menor respecto a las balsas.

Los canales suelen construirse sobre acuíferos detríticos y sobre la superficie de alteración (regolito) de rocas duras, donde la recarga artificial se produce directamente desde el fondo del canal hasta el acuífero. Las características hidrogeológicas del medio receptor son bastante similares a las requeridas para la instalación de las balsas de infiltración, puesto que tienen mayor influencia las propiedades físicas superficiales (pendiente, disponibilidad de terreno) y la morfología tridimensional del acuífero que se pretende recargar.

Para diseñar el trazado de los canales, es necesario un conocimiento avanzado de las características hidrogeológicas del acuífero como pueden ser las direcciones de flujo, el espesor de la zona no saturada, la capacidad de almacenamiento, la transmisividad, la caracterización estructural del macizo rocoso, etc.

Al igual que en otros dispositivos, uno de los principales problemas durante la fase de funcionamiento, son los procesos de colmatación que pueden reducir la infiltración del canal. Para minimizar lo máximo posible la obstrucción del dispositivo, es necesario realizar un mantenimiento similar al de las balsas de infiltración, adaptándose, claro está, a la morfología lineal de este dispositivo.

La erosión producida por el agua en la base del canal tras varios ciclos de recarga artificial puede afectar a la estabilidad del talud, produciendo deslizamientos y derrumbes que pueden evitarse con un revestimiento de dichas paredes mediante piedras o roca, mediante mampostería o gaviones.

En acuíferos rocosos, cuya permeabilidad es debida a la fracturación de la roca y al grado de alteración del “arenazo” superficial, pueden llegar a constituir un sistema de recarga muy importante, especialmente si se conoce la disposición de las fracturas colectoras, su magnitud y tipo de conexión de las distintas familias en el macizo rocoso.

A.1.2.2 Zanjas de infiltración en laderas de cerro

Según Fernández Escalante (2010):

En el caso de las zanjas es necesario que exista una capa superficial de material blando que permita la ubicación de las zanjas en el suelo, a diferencia de los canales que pueden discurrir sobre la roca. Las zanjas no se pueden construir en terrenos totalmente erosionados, donde la roca madre queda expuesta en superficie (Ver figura A.4).

Las zanjas son estructuras excavadas en el terreno, con una morfología lineal y cuya sección es semicircular. Suelen ubicarse siguiendo las curvas de nivel, lo cual además de aumentar la infiltración también reduce los procesos de erosión.



Figura A.4 Fotografía de una zanja de infiltración en Hidalgo (Chile) perteneciente al proyecto de investigación EIAS para la “Determinación de estándares de ingeniería en obras de conservación y aprovechamiento de aguas y suelos para la conservación e incremento de la productividad silvícola” (2005).

Las zanjas son un dispositivo que se utiliza principalmente para reducir la erosión hídrica en laderas con altas pendientes. Generalmente se construyen de forma perpendicular a las líneas de máxima pendiente, con trazado semiparalelo a las curvas de nivel. Suelen contar con un canal de desborde para evitar la destrucción de la zanja en caso de fuertes lluvias.

Además de ser estructuras para reducir la erosión producida por la escorrentía superficial, permiten la recarga artificial de los acuíferos, ya que al retener el agua superficial, aumentan el tiempo de permanencia en la ladera y favorecen la infiltración.

En laderas con grandes pendientes suelen construirse gran cantidad de zanjas estrechas pero con mayor profundidad, mientras que en laderas suaves las zanjas pueden llegar a tener varios metros de ancho. A su vez, si la inclinación de la ladera donde van a instalarse las zanjas de infiltración está comprendida entre el 2% y el 45 % es recomendable construirlas siguiendo las curvas de nivel.

A.1.3 Técnicas de tratamiento suelo/acuífero (SAT)

Esta técnica de Recarga Artificial es muy similar al de las balsas de infiltración, con la diferencia que las técnicas SAT se consideran, en general, como una forma de reutilización de aguas regeneradas (Ver Figura A.5), pero que el origen del término es bastante más amplio (Fernández Escalante, 2010).

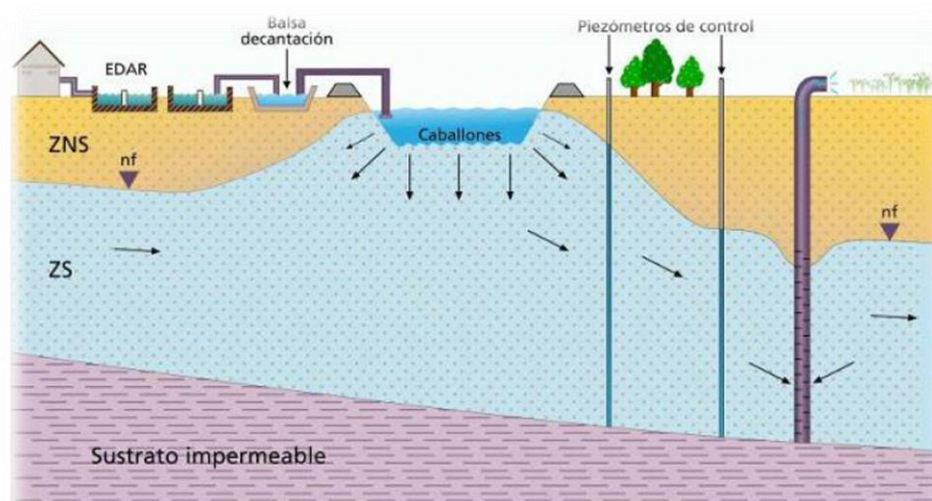


Figura A.5 Esquema tipo SAT; EDAR = estación depuradora de aguas residuales; Fuente: Fernández Escalante, 2005

Las técnicas SAT más habituales están encaminadas a extraer o minimizar ciertos contaminantes de las estructuras de AR, especialmente compuestos orgánicos y nitrogenados, reducir la colmatación física, biológica y química, la eliminación de los sólidos en suspensión y microorganismos, así como la reducción de fosfatos, metales y aire disuelto en el agua mediante actuaciones preventivas o bien curativas (Ver Figura A.5). Estas técnicas pueden inferir bien en el medio receptor (caracterización de ambientes), en los dispositivos de recarga artificial (estructuras de obra), en el agua o en las combinaciones de éstos (Fernández Escalante, 2010).

Entrando en las distintas líneas de investigación llevadas a cabo, la mayoría de los autores coinciden en que el pretratamiento de las aguas es la medida más efectiva para lograr altas tasas de infiltración (Leenheer, 2002; De los Cobos, 2002).

El pretratamiento del agua de recarga artificial suele ser complicado y costoso. Son deseables tasas por debajo de 2 o 3 mg/l de materia en suspensión, así como la eliminación de los nutrientes y materia orgánica del agua, para conseguir la mayor vida útil del pozo (Bouwer, 2002 y MIMAM, 2002). Este objetivo se lleva a cabo de diversas maneras, tales como la filtración (Ver figura A.6) para la reducción de la turbidez, el Total de Sólidos en Suspensión (TSS) y el Carbono Orgánico Total (COT); factores que condicionan en gran medida la colmatación química y biológica (bioclogging). Otra técnica SAT clásica es la adición de desinfectantes o DBPs (Disinfection By Products) (Fernández Escalante, 2010).



Figura A.6 Ejemplo de técnica SAT de filtración. Fuente Fernández Escalante, 2005.

Además de la composición de las aguas, es preciso conocer la del suelo y la del acuífero, para prever los resultados de la interacción entre las aguas de recarga artificial y el medio receptor y diseñar una actuación específica para cada caso (Leenheer, 2002).

A.1.4 Inundación y difusión controlada (campos de infiltración)

Esta técnica consiste principalmente en forzar al flujo de agua a salir de su álveo natural, por ejemplo a través de un sistema de canales o bordos, hacia los campos cultivados planos y amplios donde el agua se infiltrará (Fernández Escalante, 2010) (Ver figura A.7).

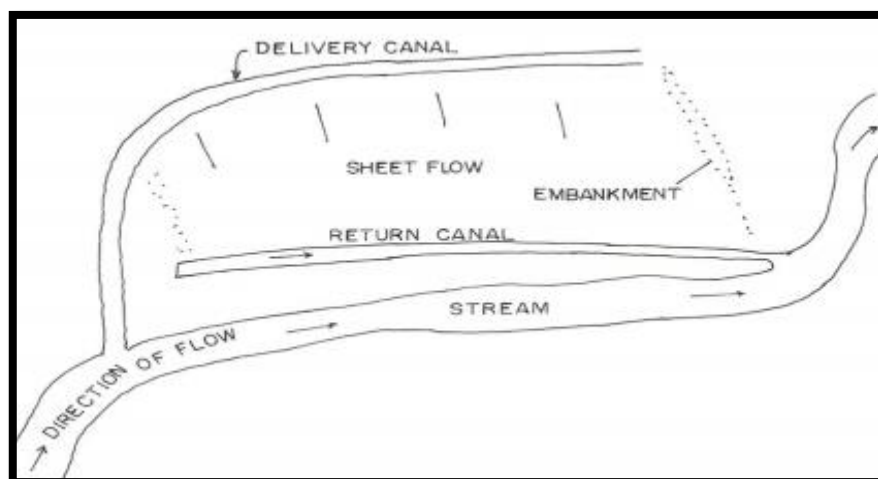


Figura A.7 Esquema del mecanismo de Recarga artificial: Inundación y difusión controlada. Fuente: Government of India (2007)

Normalmente este tipo de dispositivo se utiliza en regiones donde las precipitaciones anuales son irregulares y no suelen superar los 200mm. Para la implantación de estos sistemas de AR suele ser necesario disponer de extensas llanuras de fondos planos y permeables (llanuras aluviales) en las que llevar a cabo la inundación (Fernández Escalante, 2010).

La derivación a través de canales del agua del río permite la difusión controlada de una lámina de agua a lo largo de una gran superficie, donde el exceso de caudal vuelve al río por otro canal. Esta lámina se desplaza sobre la superficie a muy baja velocidad, alterando mínimamente la superficie del suelo. Para controlar en todo momento la lámina de agua deben instalarse en los márgenes de la llanura de inundación bancos o zanjas

que la rodeen completamente y eviten la inundación de zonas no deseadas (Ver Figura A.7).

Es el método de recarga más económico ya que requiere una mínima preparación del terreno y los costos de mantención también son bajos (Jiménez, 2013).

La capacidad de infiltración del suelo depende, en gran medida, de sus características, como son la textura, estructura, contenido en materia orgánica, etc. Así en este tipo de dispositivo, los mayores valores de infiltración se dan en suelos que conservan la vegetación y la capa superficial permanece intacta. (Fernández Escalante, 2010)

A.1.5 Recarga accidental por retornos de riego

Según Escalante (2011) y UNESCO (2005):

Históricamente el exceso de agua de riego en los canales y campos de cultivo ha causado numerosos problemas por inundación y salinización de los suelos. Sin embargo, cuando este exceso de riego está controlado y gestionado correctamente, puede convertirse en una técnica de recarga artificial de los acuíferos subyacentes.

Según datos del Instituto Internacional de Gestión del Agua (2002), se estima que alrededor del 60% del agua utilizada para el riego del cultivo de arroz es consumida por la planta, mientras que el 40% restante se filtra a las aguas subterráneas, lo cual representa un volumen importante de agua para AR.

Algunas modificaciones en la morfología de los canales de riego permiten aumentar la recarga natural de las aguas subterráneas. Dentro de los diferentes tipos de riego que suelen utilizarse, los de superficie son los más indicados para la recarga artificial de acuíferos, y en especial, los canteros y los surcos (Fernández Escalante, 2010).

A.2 Modificación del Canal

Dentro del grupo de técnicas superficiales de recarga artificial también se engloban las actuaciones que implican modificaciones o cambios en los cauces de los ríos. Aunque este tipo de técnicas también se realizan desde la superficie, la zona no saturada no interviene de una forma tan directa en el proceso de recarga artificial, ya que la infiltración se realiza desde el lecho del río. Mientras que en los dispositivos pertenecientes a los métodos de dispersión la zona saturada siempre actuaba como sistema auto-filtrante del agua de recarga artificial, en esta serie de sistemas no siempre ocurre así. Al producirse la recarga artificial a través de la zona subálvea del río, el agua de recarga puede llegar directamente desde ésta hasta el acuífero en “control vertical” (Fernández Escalante, 2010).

A.2.1 Diques de retención y Represas.

Una variante de las grandes presas, pero a menor escala, son los diques de retención y represas o *levées*. Los diques que se construyen transversalmente en el cauce de un río

con el fin de contener y canalizar la escorrentía superficial (Ver figura A.8), mientras que las represas se sitúan en cauces con caudal permanente durante todo el año.

A.2.1.1 Diques y presas de retención

En ingeniería se denomina presa o represa a un muro fabricado con piedra, hormigón o materiales sueltos, que se construye habitualmente en una cerrada o desfiladero sobre un río, arroyo o canal, con la finalidad de contener el agua en el cauce fluvial para elevar su nivel, con el objetivo de derivarla para riego, aprovechamiento en abastecimiento o para la producción de energía mecánica. (Fernández Escalante, 2010)

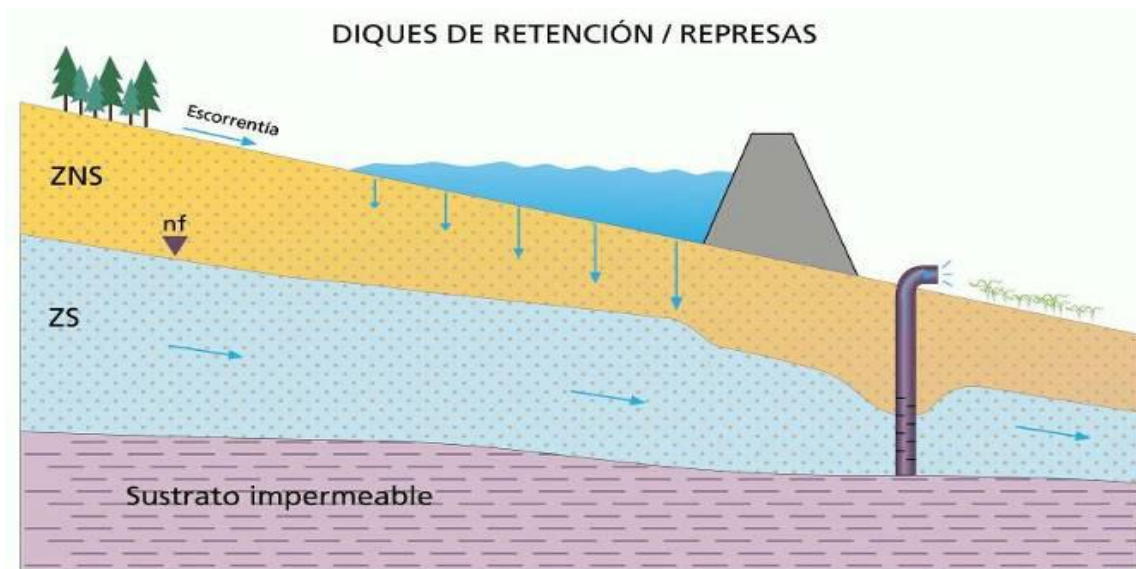


Figura A.8. Esquema de un dispositivo de recarga artificial, tipo diques de retención/represa. Fuente: Fernández Escalante, 2011.

En las regiones donde las lluvias son intermitentes y discontinuas, con fuertes tormentas o la pendiente del terreno es elevada, el agua superficial discurre a gran velocidad sobre el terreno, reduciéndose significativamente su capacidad de infiltración, además de generar intensos procesos de erosión hídrica. La construcción de estas presas reduce la energía mecánica de la escorrentía superficial y aumenta el tiempo de concentración y residencia del agua en la cuenca, favoreciendo la infiltración natural en el terreno (siempre y cuando éste sea apropiado). El caudal infiltrado es recuperado aguas abajo del muro mediante pozos de bombeo (Ver Figura A.8). Podría requerir mantenimiento para mantener las tasas de infiltración (Fernández Escalante, 2010).

Los diques de retención deben constar de un aliviadero que permita la salida del exceso de agua, evitando que ésta llegue a desbordar por los laterales del dique, con lo que podría dañar seriamente la estructura del mismo. Además como ya se ha mencionado anteriormente, debe contar con un dissipador en la parte de la presa situada aguas abajo, para minimizar la erosión y deterioro de la estructura debido al salto del agua (Fernández Escalante, 2010).

La presa debe construirse con materiales impermeables como piedras, ladrillo u hormigón para evitar las pérdidas por filtración por el cuerpo de la presa. Ocupa el ancho total del cauce del río (Fernández Escalante, 2010).

A.2.1.2 Represas

Los cauces fluviales cuyo flujo anual es permanente, permiten la instalación de otro tipo de dispositivo, las represas. Éstas están constituidas por una serie de barreras dispuestas transversalmente al cauce del río, sin llegar a bloquear totalmente el flujo del agua. Estas barreras ralentizan la velocidad del agua en el canal, favoreciendo la infiltración de ésta en el subsuelo y recargando así al acuífero (Fernández Escalante, 2010).

Al igual que en los otros tipos de estructuras de retención, debe existir un acuífero superficial no confinado, con una capacidad de almacenamiento y permeabilidad suficientemente alta y una profundidad freática suficientemente profunda. (Fernández Escalante, 2010).

A.2.2 Diques permeables/presas de arena

Existen diversos tipos de diques por pequeñas diferencias de diseño.

La función principal de los diques permeables es reducir la velocidad del flujo, aumentando el tiempo de permanencia del agua en la cuenca; mientras que las llamadas presas de arena además retienen el flujo en sedimentos, formando un almacén artificial o reservorio aguas arriba de la presa (Ver Figura A.9). (Fernández Escalante, 2010)

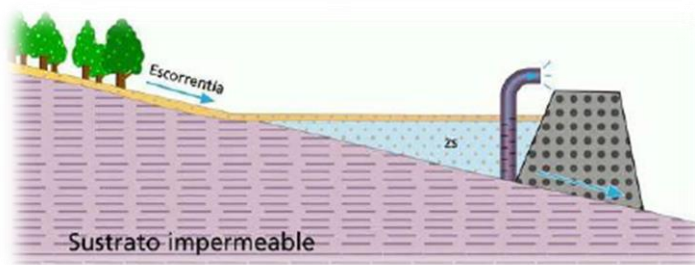


Figura A.9 Esquema de un dispositivo de recarga artificial de Diques permeables/Presas de arena. Fuente: Fernández Escalante, 2010.

A.2.2.1 Diques permeables

Los diques permeables son estructuras que se instalan transversalmente a la dirección de flujo del cauce, bloquean el cauce natural del río desde un extremo hasta el otro, y retienen parte del caudal, aumentando significativamente la infiltración natural (Fernández Escalante, 2010).

Los diques permiten el paso de un cierto caudal a través de ellos, reducen la velocidad del agua y aumentan la infiltración natural. Además de esto retienen parte del sedimento que transporta el río, que generan procesos de colmatación y obstrucción. Para ello se

construyen con materiales permeables, como gravas y bloques (Fernández Escalante, 2010).

A.2.2.2 Presas de arena

Son presas construidas en el lecho de cauces de ríos; aguas arriba de éstas se produce la acumulación de sedimentos (natural y antrópica) formando un depósito altamente permeable que puede considerarse como un “acuífero artificial”. En él se almacenará parte de la escorrentía superficial de la cuenca (Ver figura A.10) (Fernández Escalante, 2010).



Figura A.10 Esquema de una represa de Arena. Fuente: UNESCO, (2005)

Estos “acuíferos artificiales”, tan empleados en zonas áridas, permiten reducir las pérdidas por evaporación, al tiempo que suponen una importante fuente de agua para la población local durante la estación seca (Fernández Escalante, 2010).

Suelen ubicarse en terrenos ondulados o en el valle de pequeños ríos de zonas con clima árido o semiárido, donde las intensas lluvias tienen carácter intermitente y los ríos son efímeros, de alta energía y transportan grandes cargas de sedimentos como consecuencia de su régimen pluviométrico (Fernández Escalante, 2010).

La ubicación de la presa debe elegirse cuidadosamente, para asegurar la máxima capacidad de almacenamiento, mínimo impacto y mínimo coste. Son adecuados los valles de ríos con una pendiente baja (entre 1 y 4%) (Fernández Escalante, 2010).

A.2.3 Serpenteos y levées

Otro tipo de dispositivos de AR que conllevan actuaciones y modificaciones en el lecho del cauce son los serpenteos, también llamados diques en “T” y en “L” (Ver figura A.11) y levées. Se instalan en los ríos para reducir la velocidad del agua y favorecer la recarga natural (Fernández Escalante, 2010).



Figura A. 11 Imagen de satélite de los dispositivos de AR, mediante serpenteos en el río Santa Ana en Anaheim, California. Fuente: Fernández Escalante, 2010.

Los serpenteos se disponen a ambos lados del canal, con objeto de reproducir el movimiento natural de los ríos meandriiformes (Ver figura A.11). Cuanto más sinuoso sea el cauce del río, menor será su velocidad y mayor la infiltración. Los serpenteos, al reducir la velocidad de la corriente, causan un aumento de la anchura del canal y evitan que el río seccione los meandros, manteniendo su sección mojada, y con ello, la infiltración (Fernández Escalante, 2010).

Las estructuras favorecen la acumulación de sedimento en las zonas donde la energía se reduce por la presencia del dique, las cuales tienden a colmatarse lentamente. Esto da lugar durante a la formación de corredores en algunas partes del canal del río en los meses de estiaje.

A.2.4 Escarificación del lecho del río

Según Fernández Escalante (2010):

Consiste en una alteración del lecho del río para aumentar la infiltración natural y recargar el acuífero subyacente. (Ver Figura A.12).

Para que tenga lugar la recarga artificial es necesario que dicho acuífero sea superficial y libre, además de cumplir unas características hidrogeológicas necesarias, como son una capacidad de almacenamiento y transmisividad altas.

Estas operaciones de escarificado se realizan mediante unos *ripper* montados en una excavadora de cadenas, que removiliza las gravas y arenas del fondo del cauce, poniendo en suspensión los materiales más finos para que sean arrastrados por la corriente. Para que esta técnica sea efectiva, la velocidad a la que avanza la excavadora debe ser menor que la velocidad de la corriente para evitar la decantación de los finos en las zonas ya escarificadas, además de realizarse siempre en el sentido de la corriente (Ver figura A.12).



Figura A.12 Esquema de la escarificación de un río. Fuente: Fernández Escalante ,2010.

La escarificación tiene los mismos efectos sobre el lecho de forma artificial que las crecidas de forma natural. Durante las crecidas, la velocidad del agua aumenta y el material que se ha decantado sobre el fondo es arrastrado, limpiando el lecho de sedimentos y favoreciendo la infiltración. Como este fenómeno natural ocurre de manera esporádica, es preciso escarificar para eliminar los finos depositados.

A.2.5 Diques perforados

Los diques perforados suelen emplearse en cauces de ríos efímeros, con flujo rápido y con un alto contenido de sólidos en suspensión. En ellos el tiempo de residencia del agua en la cuenca es insuficiente para que se produzca su infiltración y ésta suele perderse por evaporación, como aportes a otros ríos o al mar (Fernández Escalante, 2010).

Este tipo de diques están formados por una presa construida con materiales impermeables, la cual incluye en su base una o varias tuberías para permitir la salida del agua aguas abajo, siguiendo el cauce del río y favoreciendo la infiltración en una mayor superficie (Ver figura A.13).

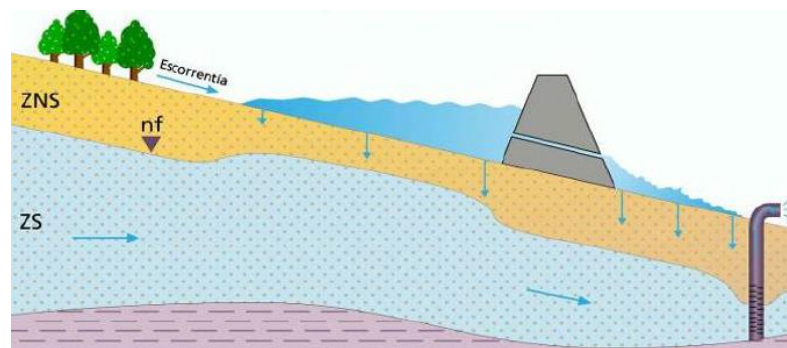


Figura A.13. Esquema de un dique perforado. Fuente: Fernández Escalante (2010)

El embalse actúa como una trampa de sedimentos, después el agua fluye a través de las tuberías situadas en la base de la presa y discurre a lo largo del cauce y las balsas construidas con material aluvial del lecho del río. La presa retiene los excedentes hídricos del río durante la época de inundaciones, recargando así el acuífero, que abastece a varias ciudades costeras (Fernández Escalante, 2010).

A.3 Pozos y perforaciones.

Los sistemas de recarga artificial mediante pozos, sondeos, etc., suelen emplearse en terrenos donde el uso de sistemas superficiales es inadecuado, ya sea por disponer de poco espacio o por tratarse de acuíferos poco transmisivos o que presenten alternancia de niveles permeables e impermeables (Fernández Escalante, 2010).

A.3.1 Pozos en la zona vadosa

Este tipo de dispositivo de recarga artificial es utilizado cuando existen capas superficiales o lenticulares de baja permeabilidad sobre acuíferos más idóneos para la técnica MAR y que a su vez se encuentren en la zona vadosa. También, dado su carácter puntual, cuando la disponibilidad de terreno en superficie es baja y no es posible construir dispositivos de dispersión (Fernández Escalante, 2010).

Los pozos en la zona vadosa, normalmente, tienen alrededor de 1m de diámetro y a lo más 60 metros de profundidad. Estos se rellenan con arena gruesa o grava fina para favorecer la infiltración y reducir los costes de mantenimiento en caso de obstrucción. El agua se aplica, normalmente, mediante una tubería perforada en el centro. La caída libre del agua, en esta tubería debe evitarse para impedir la entrada de aire y agua y la formación de aire entrampado en el relleno y el suelo que rodea el pozo. Para eso el agua es suministrada a través de una tubería más pequeña, dentro de la tubería perforada, que se prolonga bajo el nivel del agua del pozo, hasta una distancia segura. (Bouwer, 2002 (Ver figura A.14). Cabe destacar que esta inyección suele hacerse por mecanismos gravitacionales.

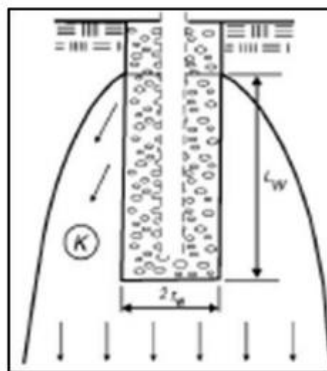


Figura A.14 Esquema de pozo en zona vadosa. Fuente: Bouwer (2002)

Este tipo de dispositivo (los pozos en general), aunque es más efectivo en algunos casos que las técnicas de dispersión, tiene la desventaja de que puede sufrir problemas de contaminación y colmatación en función de la calidad del agua de recarga artificial, ya que no tiene lugar el filtrado natural de los sólidos en suspensión, bacterias, patógenos, nitrógenos, plaguicidas etc., lo cual hace imprescindible la realización de un estricto mantenimiento y control de la calidad de las aguas subterráneas (Fernández Escalante, 2010).

Los sólidos en suspensión asociados a las aguas de recarga, hacen que esta metodología tenga un riesgo de colmatación alto. Como el pozo está en la zona no saturada, éste no puede ser lavado mediante bombeo (backwashing) o mediante limpieza manual o mecánica del suelo. Por este motivo el agua debe ser lo más limpia posible y necesariamente requiere un tratamiento previo para eliminar sólidos suspendidos o materia orgánica según sea el caso (Bouwer, 2002).

Desde el punto de vista económico, la decisión está entre mejorar el pretratamiento y así extender la vida útil del pozo o no invertir en tratamiento y reemplazarlo por uno nuevo. Una alternativa para disminuir la colmatación es alternar ciclos de infiltración y secado para recuperar las propiedades hidráulicas del suelo y eliminar el material biológico (Jiménez, 2013).

A.3.2 Zanja de infiltración

Las zanjas de infiltración en la zona vadosa al igual que los pozos en esa zona se utilizan cuando no hay suficiente terreno disponible para sistemas superficiales, o donde el estrato superior es de baja permeabilidad. Estas son excavadas con alrededor de 2 m de ancho y hasta 5 m de profundidad. Son rellenadas con arena gruesa y grava fina. El agua es infiltrada normalmente por una tubería que es perforada de forma horizontal cerca de la superficie de la zanja (Ver figura A.15). También se agregan geotextiles para cubrir las zonas con presencia de finos y así evitar su desprendimiento (Bouwer, 2002).

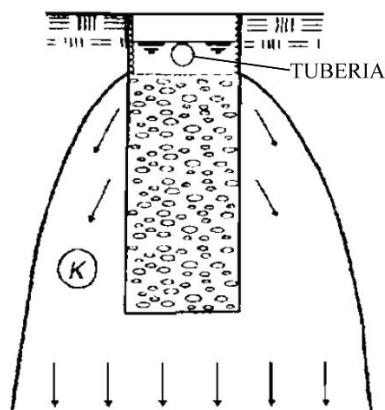


Figura A.15 Esquema del sistema de MAR de Zanjas de Infiltración; K = constante de permeabilidad; Fuente: Modificado Bouwer, 2002.

A.3.3 Pozos de inyección directo al acuífero

Este tipo de instalaciones suelen emplearse en terrenos donde el uso de sistemas superficiales es inadecuado, ya sea por disponer de poco espacio o por tratarse de acuíferos poco transmisivos o con alternancia de niveles permeables e impermeables, que hacen la zona vadosa no apta para recarga artificial, o directamente generan un acuífero confinado o semiconfinado (Bouwer, 2002; Fernández Escalante, 2011).

Son pozos construidos para aumentar el almacenamiento de agua en acuíferos profundos, mediante el suministro de agua en acuíferos profundos, ya sea por gravedad o bajo presión. Estos suelen tener un revestimiento de grava fina, pero dependiendo de

la roca de estrato pueden no llevar. La efectividad de la recarga en los pozos de inyección está limitada por las características físicas de los acuíferos. Si se aplica excesiva presión al agua inyectada, puede resultar en la colmatación y/o colapso del pozo (Government of India, 2007). Es importante cuidar la forma de inyección de forma de evitar turbulencias y desprendimiento de CO₂, que podría ocasionar la formación de incrustaciones calcáreas en los filtros. Por lo general la vida útil de las obras adecuadamente operadas suele ser de 5 a 10 años (DGA, 2013).

La principal diferencia con los “pozos en la zona vadosa” es la profundidad relativa, ya que estos llegan directo al acuífero, dependiendo así de los espesores de las unidades no permeables que se encuentren sobre el nivel estático (Fernández Escalante, 2010).

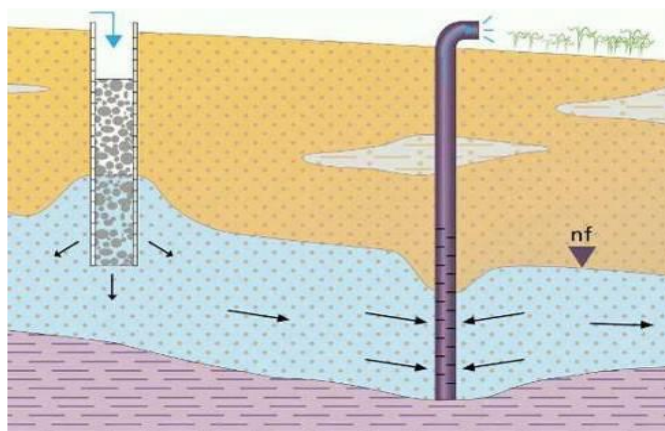


Figura A.16. Esquema de un dispositivo de un pozo directo al acuífero. Fuente: Fernández Escalante ,2010.

El resto de las características en cuanto a revestimiento, relleno, mantenimiento, calidad de las aguas de recarga, costes, etc., son muy similares a las descritas anteriormente, salvo las diferencias debidas a que los diseños constructivos suelen tener un diámetro inferior, con lo que difieren los materiales, sistemas de construcción, etc.. (Fernández Escalante, 2010).

La recarga mediante pozos de inyección incrementa las probabilidades de colmatación del pozo y del material acuífero, resultando en el decrecimiento de las tasas de inyección. La colmatación puede ser causada por los siguientes factores: acumulación de partículas suspendidas y burbujas de aire en la fuente de agua; formación de precipitados químicos en el pozo, en la fuente de agua, o material acuífero; proliferación de bacterias en y alrededor del pozo, abultamiento y dispersión de arcillas en el acuífero. La colmatación puede ser minimizada mediante tratamiento apropiado y remoción de material suspendido desde la fuente de agua, estabilización química y control bacteriano. El tratamiento ácido ayuda en la remoción de precipitados de carbonato de calcio del acuífero. Desarrollo periódico del pozo mediante bombeo puede mejorar considerablemente la eficiencia y vida del mismo (Government of India, 2007). La mejor alternativa para prevenir la colmatación, junto con mejorar la calidad del agua, es realizar sesiones de autolavado (backwashing) mediante el bombeo desde el pozo. Experiencias internacionales muestran que 2 o 3 sesiones de entre 15 a 30 minutos diarias mejoran notablemente el rendimiento y vida útil del sistema (Bouwer, 2002).

Esta metodología es la que requiere la mejor calidad de agua ya que no existe limpieza natural en el transporte a través del suelo. Como regla general, el agua a infiltrar debería recibir al menos tratamiento terciario para eliminar sólidos suspendidos, bacterias u otros organismos patógenos, elementos químicos y materia orgánica. Geoquímicamente el agua subterránea y la de recarga deben ser compatibles para evitar procesos de precipitación, formación de hidróxidos y otros efectos (Bouwer, 2002).

También es importante conocer la composición del suelo, ya que dependiendo de la granulometría el agua obtendrá mayor o menor tratamiento dependiendo si el suelo es grueso o fino respectivamente (Bouwer, 2002).

A.3.4 Almacenamiento y recuperación (ASR)

Los dispositivos de ASR/ASTR, al igual que el resto de los dispositivos pertenecientes al grupo de pozos, son adecuados en zonas donde existen estratos de baja permeabilidad sobre el acuífero, cuando la disponibilidad de terreno impide la utilización de técnicas de dispersión superficial.

Este método de recarga artificial consiste en un único pozo de inyección, el cual es utilizado tanto para la inyección como para la recuperación del agua del recarga artificial (Figura A.17 a) y b)). En los momentos en los que existe un excedente hídrico en la cuenca, el excedente puede ser utilizado para recargar artificialmente el acuífero mediante la inyección. Cuando la demanda de agua aumenta o sobrevienen períodos de sequía o de emergencia, existe un volumen en la reserva del acuífero para hacer frente a esta situación y paliar el impacto sin tener que incrementar la producción de plantas de tratamiento de aguas o la captación de aguas superficiales (Fernández Escalante, 2010).

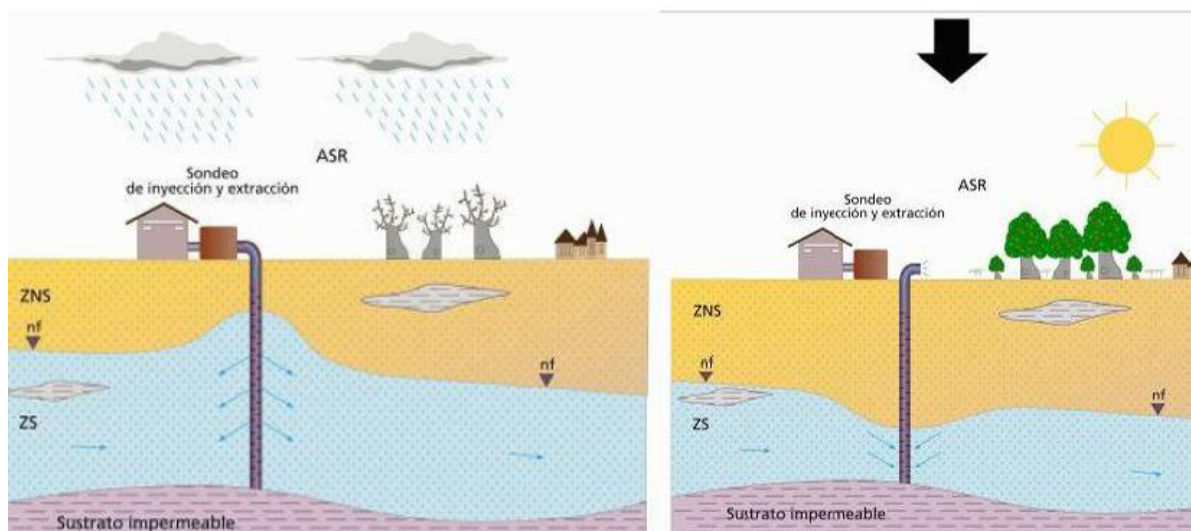


Figura A.17 Esquema de un sistema de recarga artificial tipo ASR. A) Fase de inyección; B) Fase de recuperación; Fuente: Fernández Escalante, 2011.

La técnica ASR puede emplearse en diferentes tipos de acuíferos, siendo preferente la utilización de estos dispositivos en aquellos consolidados donde las formaciones

geológicas proporcionan un nivel competente y no hacen necesario el empleo de pantallas y empaques de gravas (Dillon y Molloy, 2006).

A.3.5 Almacenamiento, transporte y recuperación (ASTR)

En los sistemas ASTR “*Aquifer Storage Transfer and Recovery*” o “*Almacenamiento en Acuífero, Transferencia y Recuperación*”, el agua es inyectada en un sondeo y se recupera a través de otro/s distinto/s, situado/s a una distancia variable, en ocasiones de varios kilómetros (Ver Figura A.18) (Fernández Escalante, 2010).

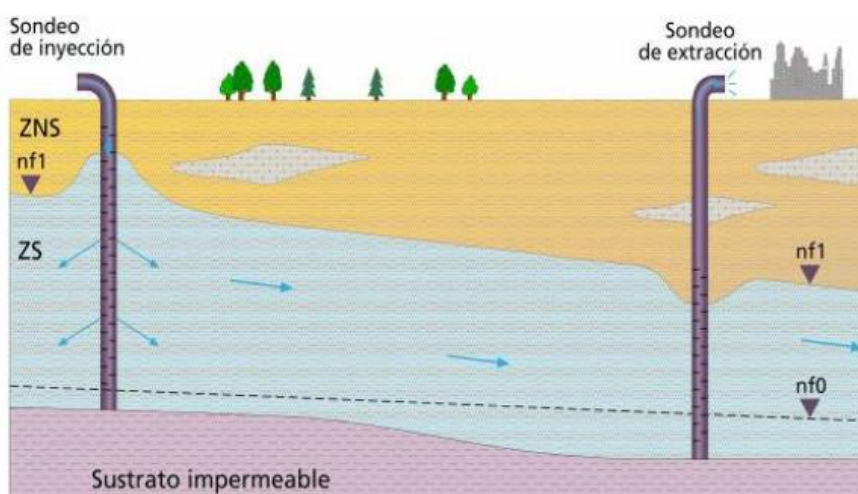


Figura A.18 Esquema dispositivo de Recarga artificial ASTR. Fuente: Tomado de Fernández Escalante, 2010.

En los ASTR, se produce un filtrado inducido del agua de recarga artificial durante su paso a través del acuífero, desde el sondeo de inyección hasta el sondeo de recuperación. Este filtrado variará en función de las características hidrogeológicas del acuífero, como son el tiempo de permanencia, la textura y composición del acuífero, el gradiente hidráulico, etc... (Fernández Escalante, 2010).

Las necesidades de los ASTR son muy similares, y en algunos casos mayores, de las de los ASR, ya que al no haber, en general, recuperación a través del pozo de inyección, no tienen lugar procesos de lavado (Fernández Escalante, 2010).

A.4 Sistemas de Filtración.

Los dispositivos de filtración son sistemas que utilizan tanto instalaciones artificiales ya existentes como ambientes naturales, con objeto de introducir algunas modificaciones antrópicas que permitan aumentar la tasa de infiltración o recarga natural (Fernández Escalante, 2010).

A.4.1 Bancos filtrantes en los lechos de un río (RBF)

Existen tres tipos de conexiones entre las masas de agua superficiales y las aguas subterráneas. Un río ganador o efluente es aquel que recibe aportes de las aguas subterráneas, mientras que uno perdedor o influente es aquel que cede agua a las

mismas. Existe un tercer tipo de conexión en la cual el río actúa de las dos formas anteriores como ganador y perdedor en diferentes puntos dependiendo de cambios locales y temporales. Los desconectados se suelen designar “conservativos” en la literatura hidrogeológica (Fernández Escalante, 2010).

En aquellos casos en los que el río cede agua al acuífero, el propio aluvión sirve de filtro, depurando en gran medida las aguas fluyentes, casuística que es aprovechada por el hombre para ubicar pozos de extracción y utilizar las aguas filtradas de esta manera. (Ver Figura A.19) Si la permeabilidad del suelo y la conductividad hidráulica vertical del acuífero son bajas, el flujo entre las masas de aguas superficiales (ríos, lagunas, embalses, etc.) y el acuífero será más lenta, y el volumen de recarga y de recuperación será menor, aunque no necesariamente menos importante (Fernández Escalante, 2010).



Figura A.19 Esquema de Bancos filtrantes en los lechos de un río. Fuente: UNESCO ,2005.

Los pozos situados en las inmediaciones de estas masas de agua superficiales pueden tener un fuerte impacto en el nivel de las aguas superficiales. Las extracciones realizadas en estos pozos próximos al cauce aumentan la infiltración natural por “efecto llamada”, generando un flujo de agua desde el río hasta el acuífero. El fenómeno está acrecentado cuando el lecho y los márgenes de las masas de aguas son altamente permeables y no están revestidos (Fernández Escalante, 2010).

A.4.2 Infiltración interdunar

La filtración interdunar es otro tipo de dispositivo de AR de filtración, muy similar al RBF, que, además de recargar el acuífero, la filtración más fina mejora la calidad del agua de recarga artificial (Fernández Escalante, 2010).

Se trata de un dispositivo típico pero no exclusivo de zonas costeras, proclive para combatir la intrusión marina, ya que aumentan la cantidad y calidad del agua de los acuíferos costeros que recargan de modo artificial en la interfaz tierra-mar (Ver Figura A.20) (Fernández Escalante, 2010).

El agua es bombeada o derivada por gravedad desde un río, canal u otra fuente de agua hasta los marjales o depresiones que existen entre los trenes de dunas. Desde aquí el agua se filtra por gravedad y se desplaza por el suelo y el acuífero hacia zonas más bajas. Las dunas actúan como un filtro natural, eliminando los residuos de materia orgánica, nitrógeno, microorganismos patógenos, etc. (Fernández Escalante, 2010).

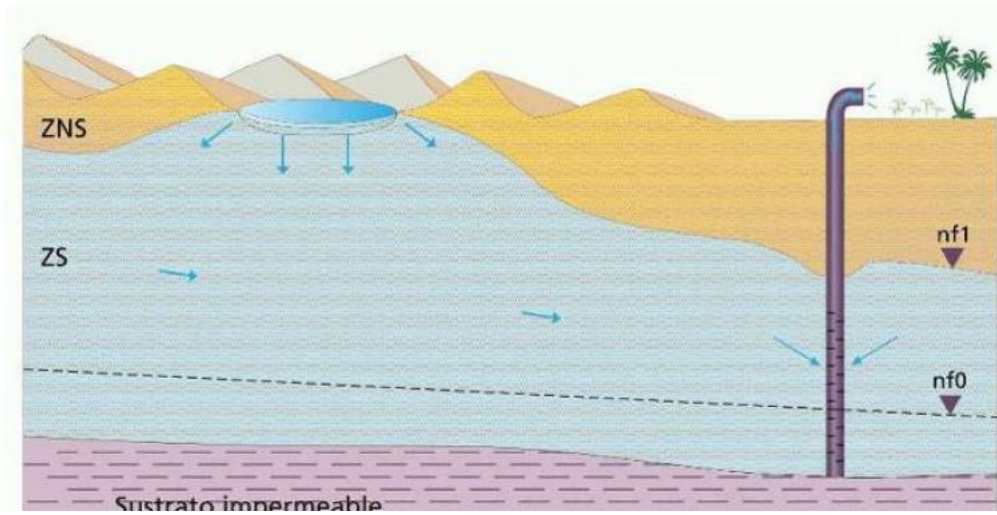


Figura A. 20 Esquema de infiltración interdunar. Fuente: Fernández Escalante, 2010.

Anexo B: Aspectos Legales

A continuación se presentan todas las disposiciones que se refieren a la posibilidad de realizar la acción de recarga; las relacionadas con la materialización de las obras mismas, y las relacionadas con la operación de la recarga, elementos contenidos en el Código de Aguas y su Reglamento relativo a las aguas subterráneas.

Lo presentado a continuación corresponde a un extracto del estudio "Investigación Recarga Artificial Acuíferos Cuencas del Río Choapa y Quilimarí, Región de Coquimbo", SIT N° 292 (DEP-DGA, AC Ingenieros Consultores Ltda.; 2012.).

B.1 Disposiciones del Código de Aguas

B.1.1 Código de aguas

1. Recarga artificial

El Código de Aguas, en la modificación efectuada en el año 2005, incorpora el concepto de recarga artificial:

Art. 66. La Dirección General de Aguas podrá otorgar provisionalmente derechos de aprovechamiento en aquellas zonas que haya declarado de restricción⁴. En dichas zonas, la citada Dirección limitará prudencialmente los nuevos derechos pudiendo incluso dejarlos sin efecto en caso de constatar perjuicios a los derechos ya constituidos. Sin perjuicio de lo establecido en el inciso primero del artículo 67, y no siendo necesario que anteriormente se haya declarado área de restricción, previa autorización de la Dirección General de Aguas, cualquier persona podrá ejecutar obras para la recarga artificial de acuíferos, teniendo por ello la preferencia para que se le constituya un derecho de aprovechamiento provisional sobre las aguas subterráneas derivadas de tales obras y mientras ellas se mantengan.

⁴ La DGA, mediante Resolución N°2455 Exenta, de fecha 10 de Agosto de 2011, reemplazó el punto 6.4.2 Áreas de Restricción (Expediente Tipo VAR), en su párrafo relativo al Procedimiento, del "Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos - 2008", por el siguiente: "Declarada un área de restricción, la DGA está facultada para constituir prudencialmente, derechos de aprovechamiento de aguas, en calidad de provisionales, los que podrán transformarse en definitivos, después de 5 años de ejercicio efectivo en los términos concedidos y sin que los titulares de derechos constituidos, hayan demostrado sufrir daños.

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 o 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 2° Transitorio del Código de Aguas, así como los derechos constituidos y susceptibles de ser constituidos conforme a los artículos 3°, 4° Y 6° 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.

Art. 67. Los derechos de aprovechamiento otorgados de acuerdo al artículo anterior, se podrán transformar en definitivos una vez transcurridos cinco años de ejercicio efectivo en los términos concedidos, y siempre que los titulares de derechos ya constituidos no demuestren haber sufrido daños. Lo anterior no será aplicable en el caso del inciso segundo del artículo Art. 66, situación en la cual subsistirán los derechos provisionales mientras persista la recarga artificial. La Dirección General de Aguas declarará la calidad de derechos definitivos a petición de los interesados y previa comprobación del cumplimiento de las condiciones establecidas en el inciso precedente. Cabe señalar además que, en el caso de proyectos de recarga artificial de acuíferos, para los cuales se contemple solicitar derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, asociados a los caudales de recarga, en calidad de provisionales, estos recursos corresponden a nuevos volúmenes de agua, que no serían homologables en una cuenca patrón de condiciones similares, pues se generan a través de un proceso no natural, como es utilizar en obras de recarga, por ejemplo aguas servidas tratadas o los caudales excedentes de invierno que se perderían en el mar e infiltrarlos al acuífero. Por lo tanto en este caso, de acuerdo a la Res. DGA N°2455, el procedimiento a aplicar para fijar los derechos provisionales sería el de considerar una magnitud equivalente al volumen sustentable en el sector, sujeto al monitoreo de la explotación y el seguimiento del comportamiento del acuífero⁵

2. Construcción de Obras de recarga

Dependiendo del tipo de solución que se desarrolle, particularmente en el caso de obras superficiales, puede ser necesaria la obtención de permisos o autorizaciones; los casos genéricos corresponden a:

- Cualquier modificación⁶ de cauce natural o artificial.

⁵ 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 otorgará 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. Para el otorgamiento de derechos provisionales no será requisito que la comunidad de aguas subterráneas se haya organizado, pero sí lo será al momento en que se desee la transformación de derechos provisionales a definitivos. La declaración de un sector acuífero como área de restricción, deberá publicarse en el Diario Oficial y sus efectos legales comenzarán a regir desde la fecha de su publicación.

⁶ Art. 41.- El proyecto y construcción de las modificaciones que fueren necesarias realizar en cauces naturales o artificiales, con motivo de la construcción de obras, urbanizaciones y edificaciones que puedan causar daño a la vida, salud o bienes de la población o que de alguna manera alteren el régimen de escurrimiento de las aguas, serán de responsabilidad del interesado y deberán ser aprobadas previamente por la Dirección General de Aguas de conformidad con el procedimiento establecido en el párrafo 1 del Título I del Libro Segundo del Código de Aguas. La Dirección General de Aguas determinará mediante resolución fundada cuáles son las obras y características que se encuentran en la situación anterior.

Se entenderá por modificaciones no solo el cambio de trazado de los cauces mismos, sino también la alteración o sustitución de cualquiera de sus obras de arte y la construcción de nuevas obras, como abovedamientos, pasos sobre o bajo nivel o cualesquiera otras de sustitución o complemento. La operación y la mantención de las nuevas obras seguirán siendo de cargo de las personas o entidades que operaban y mantenían el sistema primitivo. Si la modificación introducida al proyecto original implica un aumento de los gastos de operación y mantención, quien la encomendó deberá pagar el mayor costo.

Art. 171. Las personas naturales o jurídicas que desearan efectuar las modificaciones a que se refiere el artículo 41 de este Código, presentarán los proyectos correspondientes a la Dirección General de Aguas, para su aprobación previa, aplicándose a la presentación el procedimiento previsto en el párrafo 1° de este Título. Cuando se trate de obras de regularización o defensa de cauces naturales, los proyectos respectivos deberán contar, además, con la aprobación del Departamento de Obras Fluviales del Ministerio de Obras Públicas. Quedan exceptuados de los trámites y requisitos establecidos en los incisos precedentes, los Servicios dependientes del Ministerio de Obras Públicas, los

- Construcción de acueductos⁷ con capacidad de más de 2 m³/s, o aquellos próximos al límite urbano y con capacidad de más de 0,5 m³/s y a un nivel superior en 10 m por sobre el terreno del límite urbano.
- Cualquier cruce de cauce natural que se realice a través de sifón o canoa.
- Los embalses, obras de acopio de agua, cuyo volumen sea mayor a 50 mil m³ o cuyo muro tenga más de 5 m. de altura.

Quedan exceptuados de este trámite de aprobación los servicios dependientes del MOP.

En el caso de las obras consideradas en el art. 294, denominadas obras mayores, se establecen exigencias relacionadas con la supervisión durante la construcción de las obras⁸ y el establecimiento de garantías⁹; que es necesario tener presente si las obras a proyectar o construir quedan comprendidas dentro de estas especificaciones. A la fecha la reglamentación referida tanto en el art. 41 y en el 294, no ha sido oficializada; pero se encuentra en proceso avanzado por lo cual es esperable que sea publicada en un plazo relativamente breve.

Cabe agregar que también se establece la facultad de fiscalización de obras mayores (art. 307), que puedan encontrarse en una condición de deterioro y por este efecto afectar a terceros. Pudiendo establecer normas de operación transitorias y determinar multas de no efectuarse las reparaciones que corresponda.

cuales deberán remitir los proyectos de las obras a la Dirección General de Aguas, para su conocimiento, informe e inclusión en el Catastro Público de Aguas.

⁷ Art. 294. Requerirán la aprobación del Director General de Aguas, de acuerdo al procedimiento indicado en el Título I del Libro Segundo, la construcción de las siguientes obras: a) Los embalses de capacidad superior a cincuenta mil metros cúbicos o cuyo muro tenga más de 5m. de altura; b) Los acueductos que conduzcan más de dos metros cúbicos por segundo; c) Los acueductos que conduzcan más de medio metro cúbico por segundo, que se proyecten próximos a zonas urbanas, y cuya distancia al extremo más cercano del límite urbano sea inferior a un kilómetro y la cota de fondo sea superior a 10 metros sobre la cota de dicho límite, y d) Los sifones y canoas que crucen cauces naturales. Quedan exceptuadas de cumplir los trámites y requisitos a que se refiere este artículo, los Servicios dependientes del Ministerio de Obras Públicas, los cuales deberán remitir los proyectos de obras a la Dirección General de Aguas, para su conocimiento, informe e inclusión en el Catastro Público de Aguas.

Art. 295. La Dirección General de Aguas otorgará la autorización una vez aprobado el proyecto definitivo y siempre que haya comprobado que la obra no afectará la seguridad de terceros ni producirá la contaminación de las aguas. Un reglamento especial fijará las condiciones técnicas que deberán cumplirse en el proyecto, construcción y operación de dichas obras.

⁸ Art. 296. La Dirección General de Aguas supervisará la construcción de dichas obras, pudiendo en cualquier momento, adoptar las medidas tendientes a garantizar su fiel adaptación al proyecto autorizado. Las resoluciones que se dicten en conformidad a estas normas deberán ser fundadas y en contra de ellas procederán los recursos a que se refieren los artículos 136° y 137°, de este código, que en estos casos no suspenderán su cumplimiento

⁹Art. 297. Los que construyan las obras de qué trata este título deberán constituir las garantías suficientes para financiar el costo de su eventual modificación o demolición, para que no constituyan peligro, si fueren abandonadas durante su construcción. La garantía se constituirá a favor del Fisco y será devuelta una vez recibida la obra por la Dirección General de Aguas. En el caso de que sea abandonada durante su construcción, se restituirá el saldo de la garantía no aplicada a la ejecución de las obras de modificación o demolición. Para reiniciar las obras, deberá constituirse la garantía a que se refiere el inciso primero. El Director General de Aguas podrá eximir de la obligación de constituir las garantías a que se refiere este artículo, tratándose de obras que ejecuten los Servicios Públicos o las Empresas del Estado, siempre que en el proyecto respectivo se contemplen las medidas tendientes a asegurar que en el caso de una eventual paralización de las obras éstas no constituirán peligro

3. Requisitos para funcionamiento de una obra de recarga

Cualquier utilización del recurso hídrico asociada a este tipo de proyectos requiere contar con los derechos correspondientes¹⁰.

La obtención de los derechos puede hacerse por la vía administrativa, judicial en el caso de regularización o bien por la compra de ellos¹¹.

No obstante existen situaciones especiales en las cuales el uso es permitido bajo ciertas condiciones, como en el caso de las aguas pluviales¹²; situación que requiere una evaluación cuidadosa y detallada.

En el caso de disponer de derechos u obtenerlos en puntos distintos y en el mismo cauce, será necesario recurrir al traslado del ejercicio acorde al art. 163¹³.

En el evento de que las aguas disponibles se encuentren en una fuente distinta será necesario el cambio de la fuente de abastecimiento, según lo estipulan los artículos 158 y 159¹⁴.

Debe tenerse presente que en los casos mencionados adicionalmente debe contarse con la autorización para construcción de bocatoma que ordena el art. 151¹⁵.

B.1.2 Reglamento del Código de Aguas

En lo fundamental en lo referido al reglamento de aguas subterráneas, el análisis se centrará en lo referido a la recarga artificial.

¹⁰ Art. 5 Las aguas son bienes nacionales de uso público y se otorga a los particulares el derecho de aprovechamiento de ellas

¹¹ Art. 6 El derecho de aprovechamiento sobre las aguas es de dominio de su titular, quien podrá usar, gozar y disponer de él en conformidad a la ley.

¹² Son aguas pluviales las que proceden inmediatamente de las lluvias.

Art. 10 El uso de las aguas pluviales que caen o se recogen en un predio de propiedad particular corresponde al dueño de éste, mientras corran dentro de su predio o no caigan a cauces naturales de uso público. En consecuencia, el dueño puede almacenarlas dentro del predio por medios adecuados, siempre que no se perjudique derechos de terceros.

¹³ Art. 163. Todo traslado del ejercicio de los derechos de aprovechamiento en cauces naturales deberá efectuarse mediante una autorización del Director General de Aguas, la que se tramitará en conformidad al párrafo 1° de este Título.(Título I, Libro segundo). Si la solicitud fuera legalmente procedente, no se afectan derechos de terceros y existe disponibilidad del recurso en el nuevo punto de captación, la Dirección General de Aguas deberá autorizar el traslado

¹⁴ Art. 158. La Dirección General de Aguas estará facultada para cambiar la fuente de abastecimiento, el cauce y el lugar de entrega de las aguas de cualquier usuario, a petición de éste o de terceros interesados, cuando así lo aconseje el más adecuado empleo de ellas.

Art. 159. El cambio de fuente de abastecimiento sólo podrá efectuarse si las aguas de reemplazo son de igual cantidad, de variación semejante de caudal estacional, de calidad similar y siempre que la sustitución no cause perjuicio a los usuarios.

¹⁵ Art. 151. Toda solicitud de construcción, modificación, cambio y unificación de bocatomas, deberá expresar, además de la individualización del peticionario, la ubicación precisa de las obras de captación en relación a puntos de referencia conocidos, la manera de extraer el agua y los títulos que justifiquen el dominio de los derechos de aprovechamiento que se captarán con las obras que se pretende ejecutar. El interesado podrá ingresar a un predio ajeno en la forma prevista en el art. 107, para efectuar los estudios de terreno necesarios para la elaboración del proyecto de obras.

Específicamente el Reglamento de Aguas Subterráneas (Resolución DGA N° 425 del año 2007) establece respecto de la recarga artificial:

“Artículo 34°. Para los efectos de lo dispuesto en los artículos 66 inciso segundo y 67 inciso primero parte final, ambos del Código de Aguas, quienes deseen ejecutar obras de recarga artificial de acuíferos, deberán entregar una memoria técnica que contenga, a lo menos, lo siguiente”:

- a) Descripción del sistema de recarga artificial.
- b) Descripción de la naturaleza física y situación jurídica del agua a utilizar en la recarga artificial.
- c) Descripción del sitio de recarga.
- d) Características geológicas e hidrogeológicas del sector.
- e) Características de la zona no saturada.
- f) Características de acuífero.
- g) Velocidad y dirección del flujo.
- h) Comportamiento histórico de los niveles de agua en el sector.
- i) Calidad del agua.
- j) Impactos asociados a la obra de recarga artificial, área de influencia de la recarga artificial, impactos calculados, análisis de domos e impacto sobre la calidad del agua.
- k) Plan de monitoreo, que contemple al menos:
 1. Monitoreo del nivel de las aguas.
 2. Monitoreo de la calidad de las aguas.
 3. Control del caudal de recarga.
 4. Control de extracciones.
- l) Plan de contingencia, que contemple al menos:
 1. Medidas de protección del acuífero.
 2. Planes de alerta ante impactos no deseados

Cabe mencionar que los requerimientos establecidos en el art. indicado cubren en forma completa los elementos esenciales de un proyecto de recarga artificial.

En general en proyectos de esta naturaleza se puede agrupar las actividades de la siguiente forma:

Caracterización del sistema:

- Caracterización y descripción del medio físico existente
- Caracterización jurídica de las aguas de recarga}
- Descripción del sistema de recarga y sus obras anexas (incluye operación y mantenimiento)

Análisis predictivo de la respuesta del sistema:

- Análisis predictivo de efectos sobre el medio y sobre derechos existentes

Seguimiento y control:

- Plan de monitoreo del sistema
- Plan de operación y mantenimiento
- Plan de contingencia

- Plan de abandono

Se observa que no está explícitamente descrito un plan de abandono; en el evento que esto ocurra; en este sentido es necesario establecer las acciones necesarias para que la obra no represente efectos negativos al quedar abandonada. En los casos que ella quede comprendida dentro del art. 294; este punto queda cubierto.

B.1.3 Consideraciones relacionadas con el otorgamiento y el ejercicio

En este punto el análisis se centra en las condiciones o situaciones que pudieran presentarse en la operación de un sistema de recarga en lo referente al aprovechamiento de los derechos provisionales asociados.

- Establecimiento de un derecho de aprovechamiento asociado: Son derechos de carácter provisional que no requieren que exista una declaración de área de restricción previa.

La cuantía del derecho no queda condicionada al concepto de derechos provisionales que establece el art. 66; sino que se relaciona con los volúmenes que el sistema es capaz de infiltrar al acuífero; en forma similar a un derecho de aguas subterráneas el derecho se define en términos de caudal y volumen a extraer, el cual por lo general es variable año a año.

Tampoco podrán dejarse sin efecto en el sentido de lo establecido en la primera parte del artículo 66; estos derechos se mantienen en la medida que los volúmenes o cuantía de la recarga los sustenten. Por esta misma razón estos derechos no tienen la posibilidad de transformarse en definitivos.

Tampoco es posible otorgarlos en zona de prohibición, la ley no hace la distinción específica por lo que aplica a todo tipo de derechos¹⁶.

- Sujeción a condicionamientos: El art. 66 establece expresamente que los derechos provisionales otorgados a partir de una declaración de área de restricción pueden dejarse sin efecto.

Sin embargo en el caso de otorgarse este tipo de derechos dentro de un área de restricción, estos no quedan supeditados a quedar sin efecto por la no sostenibilidad del acuífero; por cuanto su sustento proviene de volúmenes adicionales producidos artificialmente.

¹⁶ Art. 63. La Dirección General de Aguas podrá declarar zonas de prohibición para nuevas explotaciones, mediante resolución fundada en la protección de acuífero, la cual se publicará en el Diario Oficial. La declaración de una zona de prohibición dará origen a una comunidad de aguas formada por todos Art. 1ºNº 6 los usuarios de aguas subterráneas comprendidos en ella.

Las zonas que correspondan a acuíferos que alimenten vegas y los llamados bofedales de las Regiones de Tarapacá y de Antofagasta se entenderán prohibidas para mayores extracciones que las autorizadas, así como para nuevas explotaciones, sin necesidad de declaración expresa. La Dirección General de Aguas deberá previamente identificar y delimitar dichas zonas. Sin perjuicio de lo dispuesto en el inciso anterior, la Dirección General de Aguas podrá alzar la prohibición de explotar, de acuerdo con el procedimiento indicado en el artículo siguiente.

No obstante lo anterior parece razonable que deba integrar la comunidad de aguas subterráneas. No se hace exclusión expresa al respecto¹⁷.

En otro orden de ideas, los derechos provisionales derivados de recarga artificial quedan sujetos a la aplicación de reducción temporal del ejercicio¹⁸. En primer lugar, por cuanto estos derechos pueden ser otorgados fuera de un área de restricción; es decir, no existe la condición previa de declaración de área de restricción.

Lo anterior parece lógico ya que, como se mencionó, el derecho está sustentado en el volumen adicional artificialmente infiltrado y no en las condiciones naturales y propias del acuífero. Al respecto puede ocurrir que haya efectos no deseados o imprevistos, por razones técnicas o de operación, que sin necesidad de dejar sin efecto el derecho lo limiten y ajusten a condiciones imperantes. Uno de los casos puede provenir de condicionantes sobre aguas superficiales; en efecto, a pesar de que los derechos subterráneos no están sujetos a la aplicación de las disposiciones establecidas en el art 314, referidas a redistribución de caudales cuando se declara escasez; si quedan afectados los caudales de recarga por lo que los volúmenes esperables cambian por esta razón y pueden inducir un efecto no previsto en el acuífero no imputable al diseño del sistema.

B.2 Disposiciones relativas al Medio Ambiente

B.2.1 Ley de bases de Medio Ambiente

La ley establece que todo proyecto o actividad comprendidos en el artículo 10 deberá presentar una Declaración de Impacto Ambiental o elaborar un Estudio de Impacto Ambiental, según corresponda. Aquéllos no comprendidos en dicho artículo podrán acogerse voluntariamente al sistema.

El artículo 10 referido no incluye en forma explícita proyectos de recarga artificial de acuíferos; por lo que como actividad no queda sujeto a ingreso obligatorio al sistema de evaluación.

Sin embargo, en los casos en que se ubique en zonas protegidas, que identifica la letra p, del citado art. 10; procede su ingreso a evaluación.

¹⁷ Art. 65. Serán áreas de restricción aquellos sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común en los que exista el riesgo de grave disminución de un determinado acuífero, con el consiguiente perjuicio de derechos de terceros ya establecidos en él.

Cuando los antecedentes sobre la explotación del acuífero demuestren la conveniencia de declarar área de restricción de conformidad con lo dispuesto en el inciso anterior, la Dirección General de Aguas deberá así decretarlo. Esta medida también podrá ser declarada a petición de cualquier usuario del respectivo sector, si concurren las circunstancias que lo ameriten.

Será aplicable al área de restricción lo dispuesto en el artículo precedente. La declaración de un área de restricción dará origen a una comunidad de aguas formada por todos los usuarios de aguas subterráneas comprendidas en ella

¹⁸ Art. 62. Si la explotación de aguas subterráneas por algunos usuarios ocasionare perjuicios a los otros titulares de derechos, la Dirección General de Aguas, a petición de uno o más afectados, podrá establecer la reducción temporal del ejercicio de los derechos de aprovechamiento, a prorrata de ellos.

Esta medida quedará sin efecto cuando los solicitantes reconsideren su petición o cuando a juicio de dicha Dirección hubieren cesado las causas que la originaron.

Asimismo requiere de ingreso a evaluación, de acuerdo con lo señalado en la letra a del mismo artículo, aquellas obras que quedan comprendidas dentro lo establecido por el art. 294 del Código de Aguas. También caben aquellas obras que impliquen alteración significativa de cuerpos o cursos naturales de aguas; esto último podría aplicar a aquellas alternativas que implican intervención en el cauce de un río o estero; tales como serpenteos, barreras, diques (superficiales, subsuperficiales o profundos) dependiendo de la magnitud de la obra en relación con el cauce.

La exigencia de elaborar un estudio de impacto ambiental, acorde a lo establecido en el art. 11, no es posible establecerlo a priori ya que depende de la magnitud de la obra en relación con los recursos o factores ambientales donde se emplaza. Por lo que es de importancia una evaluación adecuada al respecto.

B.2.2 Reglamento de la Ley de Bases de Medio Ambiente

El Reglamento precisa lo indicado en el art. 10, indicando para los casos identificados la cuantía o dimensiones de las obras o acciones que requieren de ingreso al sistema de evaluación.

Es el caso de las obras referidas a la letra a) del artículo 10; el Reglamento en la letra a.4¹⁹ precisa los volúmenes de material movilizado a partir de los cuales se requiere evaluación ambiental. Se indica además el alcance de defensa o alteración de un curso de agua.

Por otra parte, el reglamento precisa lo referido a la letra o “proyectos de saneamiento ambiental”; que en su definición genérica incluye “Proyectos de saneamiento ambiental, tales como sistemas de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamiento de agua o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, emisarios submarinos, sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos o sólidos”.

Pero al momento de detallar establece en literal O.7 sistemas de tratamiento o disposición cuyos efluentes tratados se usen para el riego o se infiltren²⁰; este caso aplica a la infiltración de aguas servidas tratadas u otros riles tratados.

B.2.3 Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas.

El Decreto Supremo N° 46 de 2003 (DS 46) determina las concentraciones máximas de contaminantes permitidas en los residuos líquidos que son descargados por una fuente

¹⁹ a.4. Defensa o alteración de un cuerpo o curso de aguas terrestres, tal que se movilice una cantidad igual o superior a cincuenta mil metros cúbicos de material (50.000 m³), tratándose de las regiones I a IV, o cien mil metros cúbicos (100.000 m³), tratándose de las regiones V a XII, incluida la Región Metropolitana. Se entenderá por defensa o alteración aquellas obras de regularización o protección de las riberas de éstos cuerpos o cursos, o actividades que impliquen un cambio de trazado de su cauce, o la modificación artificial de su sección transversal, todas de modo permanente.

²⁰ O.7 Sistemas de tratamiento y/o disposición de residuos industriales líquidos, que contemplen dentro de sus instalaciones lagunas de estabilización, o cuyos efluentes tratados se usen para el riego o se infiltren en el terreno, o que den servicio de tratamiento a residuos provenientes de terceros, o que traten efluentes con una carga contaminante media diaria igual o superior al equivalente a las aguas servidas de una población de cien (100) personas, en uno o más de los parámetros señalados en la respectiva norma de descargas líquidas

emisora (establecimiento industrial), a través del suelo, a las zonas saturadas de los acuíferos, mediante obras destinadas a infiltrarlo.

El decreto establece en su tabla los valores característicos para una fuente emisora²¹, aquellas con valores menores a esto quedan exentas de los requisitos que impone el DS 46.

²¹ Fuente emisora: Establecimiento que descarga sus residuos líquidos por medio de obras de infiltración tales como zanjas, drenes, lagunas, pozos de infiltración, u otra obra destinada a infiltrar dichos residuos a través de la zona no saturada del acuífero, como resultado de su proceso, actividad o servicio, con una carga.

Anexo C: Fluviometría

C.1 Análisis de Frecuencia de las estadísticas fluviométricas.

En la tabla C.1 se presenta el resultado de los caudales de acuerdo a las distintas probabilidades de excedencia para las 9 estaciones fluviométricas en estudio.

Tabla C.1 Resumen de los resultados del análisis de frecuencias para las 9 estaciones fluviométricas. Se presentan los caudales medios (m3/s) para 6 probabilidades de excedencia y además el ajuste estadístico con el cual se trabajó. Fuente: Elaboración propia.

01 Río Teno bajo la Quebrada Infiernillo (m3/s)												
Pbex(%)	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
5	30,74	39,37	49,20	38,98	36,14	35,84	75,35	87,10	131,86	90,60	48,16	32,38
10	22,07	30,04	39,11	32,21	30,46	31,70	63,66	77,17	105,66	71,44	41,99	28,85
25	16,39	19,67	26,00	23,41	22,97	25,93	48,04	63,32	72,98	48,94	33,38	23,36
50	12,27	12,99	16,33	16,42	16,92	20,88	35,13	51,19	48,37	33,02	25,83	17,99
85	8,65	7,97	9,23	9,52	10,80	15,10	21,72	37,30	25,71	19,02	17,20	11,66
95	7,43	6,54	7,80	6,91	8,43	12,48	16,38	25,00	17,74	14,17	12,28	9,32
Ajuste	LN 3	LN3	W	LN	LN3	G	LN	G	LN	P3	G	W

02 Río Teno en los Queñes (m3/s)												
Pbex (%)	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
5	31,79	59,21	109,60	80,59	80,81	63,42	70,68	114,79	152,29	117,29	61,79	38,40
10	26,17	47,41	77,88	64,05	63,44	54,24	65,01	100,96	127,39	95,02	53,69	33,39
25	19,29	31,65	44,96	43,62	42,75	40,85	55,53	81,67	93,38	64,69	41,36	26,41
50	14,23	19,55	25,25	30,21	27,97	30,21	44,99	64,77	64,47	40,65	30,45	20,29
85	9,73	10,04	11,74	14,78	15,01	17,37	28,80	45,43	33,30	20,81	19,76	13,28
95	8,20	7,98	8,27	11,00	10,59	11,55	19,29	36,66	20,41	16,17	16,15	10,11
Ajuste	LN 3	W	LN3	LN	LP3	G	N	G	LN3	W	LN3	G

03 Río Claro en los Queñes (m3/s)												
Pbex (%)	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
5	16,00	43,11	61,41	49,97	48,91	36,45	35,81	39,81	44,34	34,36	17,67	9,41
10	12,40	26,89	43,75	43,50	39,75	33,06	32,32	35,96	37,46	27,11	15,21	8,42
25	8,20	14,05	25,94	32,69	28,10	27,41	26,89	30,03	28,25	18,91	11,65	7,03
50	5,43	8,17	15,22	21,82	19,12	21,13	21,38	24,10	20,65	13,29	8,54	5,81
85	3,25	4,71	7,04	9,60	10,58	11,47	13,86	16,13	12,76	8,38	5,53	4,41
95	2,60	3,81	4,45	5,25	7,48	5,81	9,93	12,01	9,61	6,65	4,65	3,78
Ajuste	LN3	P3	P3	LP3	LN	N	P3	P3	LN	P3	W	G

04 Río Teno después de la junta con el Río Claro (m3/s)												
Pbex (%)	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
5	40,67	110,87	163,74	132,30	134,13	117,87	109,11	154,66	184,05	139,70	71,39	45,00
10	34,45	74,84	116,84	110,49	101,88	94,63	96,62	135,81	157,90	111,10	61,65	40,11
25	26,10	40,88	67,47	78,59	67,25	67,69	79,19	109,51	118,56	76,40	48,32	32,70
50	19,11	23,41	37,92	50,30	44,85	48,11	63,94	86,48	82,28	51,26	36,95	25,39
85	11,93	13,51	17,65	22,02	26,47	30,51	46,47	60,12	42,37	29,23	24,65	16,70
95	9,03	11,45	12,44	13,69	20,30	24,07	38,64	46,12	27,01	21,86	19,54	13,34
Ajuste	LN	LN3	LN3	W	P3	P3	G	G	LP3	LN3	LN3	W

05 Estero El Manzano antes de la junta con el Río Teno (m3/s)												
Pbex (%)	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
5	1,07	7,54	18,73	25,36	19,00	12,08	6,80	4,99	1,32	1,40	1,30	1,30
10	0,83	4,73	14,74	20,49	14,04	9,94	5,34	3,74	1,09	0,63	0,63	0,49
25	0,55	2,08	9,06	13,12	8,84	6,84	3,48	2,14	0,78	0,49	0,42	0,36
50	0,34	0,79	4,59	6,92	5,16	4,10	2,04	1,00	0,53	0,42	0,41	0,33
85	0,14	0,16	1,18	1,85	2,03	1,40	0,66	0,20	0,26	0,25	0,12	0,11
95	0,07	0,06	0,44	0,70	1,02	0,60	0,16	0,06	0,14	0,04	0,04	0,04
Ajuste	P3	LP3	LP3	LP3	LN3	W	LN3	W	P3	DGA	DGA	DGA

06 Río Teno en el Puente Ferrocarril (m3/s)												
Pbex (%)	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
5	55,00	108,87	186,28	205,65	174,48	110,18	83,07	106,10	143,21	96,24	42,90	20,31
10	38,00	75,64	145,12	168,13	135,98	92,93	70,30	90,70	114,98	69,52	34,26	17,19
25	21,10	41,49	91,37	114,03	90,16	67,92	52,48	67,89	75,61	40,24	23,29	13,04
50	10,64	21,72	50,95	67,08	56,75	46,99	36,88	48,41	43,20	21,74	14,84	9,58
85	3,14	8,71	17,84	22,11	25,66	23,03	19,02	26,10	14,73	8,13	6,82	5,85
95	1,11	5,52	8,81	10,00	14,07	12,16	10,92	11,30	7,47	4,36	3,90	4,27
Ajuste	LN3	LN3	LP3	W	P3	G	G	G	P3	LN3	LN3	P3

07 Río Colorado en junta con el Río Palos (m3/s)												
Pbex (%)	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
5	35,73	79,90	95,41	68,19	70,55	57,97	71,29	113,70	181,93	143,89	62,86	37,79
10	30,18	53,80	70,60	58,82	57,13	50,59	64,92	105,86	150,31	107,01	53,48	32,00
25	22,70	31,72	43,93	44,77	40,79	40,78	56,03	92,96	109,26	68,49	40,39	24,83
50	16,87	20,82	27,51	31,80	28,88	32,62	48,24	78,90	76,66	44,37	28,92	19,21
85	12,18	13,94	15,84	18,04	18,37	23,84	39,33	57,84	44,47	25,20	15,80	13,68
95	11,13	12,06	12,72	13,48	14,83	20,12	35,29	45,77	32,30	18,93	9,84	11,53
Ajuste	W	P3	LN3	W	LN3	P3	G	LN3	LN	P3	G	LP3

08 Río palos en junta con el Río Colorado (m3/s)												
Pbex (%)	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
5	26,26	47,63	64,61	48,05	50,00	40,10	45,89	59,13	90,19	66,12	46,84	29,97
10	24,23	36,87	49,40	43,07	42,18	35,54	42,69	53,38	73,24	54,70	38,70	26,72
25	20,76	25,08	33,11	34,86	31,76	29,17	35,53	45,36	53,10	40,21	27,66	21,70
50	16,80	17,63	22,60	26,12	23,16	23,59	29,74	38,34	38,43	28,79	20,06	16,85
85	10,79	12,16	13,99	14,28	14,26	17,21	22,63	30,30	24,81	17,23	12,98	11,30
95	7,59	10,65	11,11	8,83	10,73	14,31	19,28	26,66	19,73	12,59	10,33	9,26
Ajuste	W	LN3	P3	W	LN	G	LN	G	P3	P3	P3	W

09 Estero Upeo en Upeo (m3/s)												
Pbex (%)	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
5	5,17	34,01	56,84	37,20	41,71	24,92	18,39	11,67	6,56	3,11	1,98	1,06
10	3,20	18,88	37,08	30,55	30,96	20,24	14,76	9,94	5,51	2,59	1,51	0,92
25	1,61	7,26	18,22	21,26	18,82	14,14	10,21	7,30	4,04	1,87	0,96	0,71
50	0,85	2,76	8,33	13,13	10,82	9,29	6,78	4,83	2,76	1,24	0,58	0,53
85	0,38	0,96	2,61	3,82	4,63	4,48	3,61	2,10	1,29	0,51	0,27	0,32
95	0,26	0,71	1,39	0,40	2,81	2,65	2,50	1,15	0,62	0,18	0,17	0,23
Ajuste	LN3	LN3	LN3	G	LN	LN3	LN	W	G	G	LN	G

N = Normal; G=Gumbel; P3 = Pearson III; LN= Log-normal; LP3= Log-Pearson III; LN3= Log-normal III; W= Weibull;
DGA = datos estimados por la Dirección General de aguas, para un periodo similar (DGA,2012)

C.2 Estadística fluviométricas Rellenas.

Tabla C.2. Estadística corregida, rellena y extendida de la estación fluviométrica: 01 Río Teno bajo Quebrada infernillo. Fuente: Elaboración propia

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m3/s)																											
AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	A-S	O-M	AÑO												
1964/65	12,90	r04	8,31	r04	9,99	r04	8,24	r04	10,88	r04	16,94	r04	26,78	r04	40,23	r03	37,14	r04	24,27	r04	18,81	r04	14,00	r04	11,21	26,87	19,04
1965/66	25,88	r04	16,71	r04	19,24	r04	20,10	r04	28,73	r04	20,47	r04	44,08	r04	66,56	r04	67,41	r04	59,85	r04	31,77	r04	24,86	r04	21,86	49,09	35,47
1966/67	19,43	r04	14,93	r04	25,91	r04	24,14	r04	15,98	r04	24,40	r04	52,37	r04	72,32	r04	79,54	r04	69,77	r04	42,32	r04	23,05	r04	20,80	56,56	38,68
1967/68	14,96	r04	11,18	r04	11,30	r04	8,41	r04	12,09	r04	16,76	r04	38,24	r04	47,56	r04	44,73	r04	23,81	r04	20,08	r04	16,31	r04	12,45	31,79	22,12
1968/69	11,57	r04	7,47	r04	8,34	r04	5,48	r04	8,70	r07	10,87	r04	5,62	r04	20,30	r04	11,52	r04	11,98	r04	10,87	r04	8,16	r04	8,74	11,41	10,07
1969/70	8,61	r04	12,35	r04	27,09	r04	16,05	r04	17,93	r04	18,13	r04	19,49	r04	43,72	r04	54,91	r04	33,05	r04	23,77	r04	14,74	r04	16,69	31,61	24,15
1970/71	9,23	r04	7,90	r04	9,84	r04	11,36	r04	13,76	r04	17,53	r04	27,43	r04	42,83	r04	33,81	r04	20,94	r04	14,66	r04	10,65	r04	11,60	25,05	18,33
1971/72	8,34	r04	9,20	r04	10,31	r04	18,22	r04	16,45	r04	16,97	r04	36,18	r04	50,25	r04	37,37	r04	23,82	r04	18,42	r04	16,52	r04	13,25	30,43	21,84
1972/73	10,18	r04	30,91	r04	40,02	r04	15,93	r04	32,50	r04	30,85	r04	49,12	r04	61,39	r04	114,45	r04	97,99	r04	53,64	r04	31,72	r04	26,73	68,05	47,39
1973/74	14,35	r04	27,45	r04	16,49	r04	20,30	r04	15,29	r04	21,00	r04	32,47	r04	53,09	r04	58,49	r04	32,96	r04	23,41	r04	15,77	r04	19,15	36,03	27,59
1974/75	9,90	r04	10,97	r07	13,70	r07	20,48	r04	15,55	r04	17,36	r04	34,91	r04	46,75	r04	51,50	r04	40,95	r04	21,53	r04	15,96	r04	14,66	35,27	24,96
1975/76	13,34	r04	11,20	r04	13,42	r04	18,80	r04	17,86	r04	21,51	r04	37,16	r04	54,56	r04	66,60	r04	34,44	r04	23,40	r04	18,94	r04	16,02	39,18	27,60
1976/77	13,24	r04	8,09	r04	15,35	r04	9,47	r04	11,21	r04	15,01	r04	33,45	r04	52,37	r04	44,37	r04	25,27	r04	18,50	r04	17,37	r04	12,06	31,89	21,97
1977/78	11,79	r04	15,40	r04	23,52	r04	33,68	r04	25,55	r04	27,15	r04	60,35	r04	85,79	r04	83,75	r04	51,01	r04	34,11	r04	24,63	r04	22,85	56,61	39,73
1978/79	14,09	r04	10,50	r04	10,99	r04	55,98	r04	18,36	r04	26,06	r04	72,81	r04	91,02	r04	110,12	r04	75,37	r04	39,73	r04	22,55	r04	22,66	68,60	45,63
1979/80	12,15	r04	13,31	r04	10,98	r04	19,54	r04	32,22	r04	31,43	r04	38,50	r04	52,82	r04	79,95	r04	57,38	r04	35,71	r04	21,14	r04	19,94	47,58	33,76
1980/81	40,73	r04	49,53	r04	38,54	r04	29,76	r04	19,27	r04	19,02	r04	31,06	r04	46,17	r04	66,39	r04	41,82	r04	27,52	r04	15,08	r04	32,81	38,01	35,41
1981/82	30,97	r07	47,20	r04	25,47	r04	13,93	r04	16,05	r04	16,68	r04	26,16	r04	42,73	r04	33,14	r04	25,62	r04	24,08	r04	17,94	r04	25,05	28,28	26,66
1982/83	9,34	r04	12,19	r04	30,17	r04	38,58	r04	22,42	r04	35,41	r04	57,32	r04	67,24	r04	111,99	r04	88,74	r04	57,81	r04	36,43	r04	24,69	69,92	47,30
1983/84	17,89	r04	11,28	r04	12,62	r04	12,78	r04	15,05	r04	18,14	r04	36,67	r04	54,69	r04	46,63	r04	30,34	r04	26,69	r04	18,00	r04	14,63	35,51	25,07
1984/85	10,57	r04	10,51	r04	13,32	r04	22,84	r04	15,31	r04	23,51	r04	65,95	r04	66,78	r04	95,38	r04	58,66		36,13		32,80		16,01	59,28	37,65
1985/86	19,11		16,48		14,50		18,36		12,39		13,32		26,06		42,28		34,63		27,44		21,90		19,53		15,69	28,64	22,17

1986/87	18,39		27,50		28,95		19,77	r04	24,59	r04	19,67	r04	48,25	r04	50,50	r04	69,76	r04	49,47	r03	35,48	r04	30,79	r04	23,14	47,37	35,26
1987/88	10,17	r04	18,80	r04	25,37	r04	27,88	r04	26,21	r04	22,91	r04	57,18	r04	72,21	r04	68,15	r04	43,98	r04	34,64	r04	24,22	r04	21,89	50,06	35,98
1988/89	14,74	r04	9,19	r04	11,00	r04	10,42	r04	17,00	r04	17,23	r04	28,63	r04	45,67	r04	32,75	r04	25,06	r04	21,75	r04	12,93	r04	13,26	27,80	20,53
1989/90	9,47	r04	9,09	r04	10,07	r04	7,78	r04	20,61	r04	19,39	r04	33,20	r04	49,09	r04	31,24	r04	21,32	r04	17,96	r04	11,66	r04	12,74	27,41	20,07
1990/91	12,71	r04	11,25	r04	10,68	r04	9,02	r04	13,02	r04	22,91	r04	32,80	r04	40,03	r04	25,74		22,77		19,10		12,01		13,26	25,41	19,34
1991/92	8,71		48,04		29,34		22,04		20,27		28,31		30,96		54,31		46,77		36,61		32,02		20,31		26,12	36,83	31,47
1992/93	11,76		24,88		27,39		14,40		14,75		31,42		56,30		70,74		91,65		49,57		49,92		19,77		20,77	56,33	38,55
1993/94	16,27		28,83	c04	40,70	r04	25,11	r04	28,60		19,86	r04	53,88		59,64		62,08		38,80	r04	30,07	r04	25,95		26,56	45,07	35,82
1994/95	19,77		15,55	r04	16,33		29,22		16,41	r04	20,02	r04	34,86	r04	59,85	c04	48,17		32,54		23,81		19,96		19,55	36,53	28,04
1995/96	19,21		13,17		55,63		18,36		17,32		30,62		35,71		68,12		59,24		33,41		29,46		17,37		25,72	40,55	33,14
1996/97	9,96		7,38		10,74		9,48		12,46		14,94		20,71		18,88		12,42		11,82		13,81		10,25		10,83	14,65	12,74
1997/98	17,84		16,01	c04	58,32		18,77		32,02		37,35		67,04	c04	58,40		92,07		81,79		43,05		27,80		30,05	61,69	45,87
1998/99	20,62		12,62		12,54		9,92		8,45		8,91		13,75		14,52		14,95		17,05		17,84		12,31		12,18	15,07	13,62
1999/00	6,35		5,44		7,40		8,16		11,65		20,33		41,66		70,13		54,17		32,68		26,11		15,73		9,89	40,08	24,98
2000/01	7,24		5,95		41,41		25,60		17,57		24,37		45,83		66,10		100,31		54,26		32,89		23,33		20,36	53,79	37,07
2001/02	12,85		21,03		25,26		34,82		35,86		34,87		53,38		77,02		108,24		49,25		31,64		22,07		27,45	56,93	42,19
2002/03	10,34		19,14		20,29		16,70		42,89		36,43		47,72		89,80		107,75		96,60		35,65	r04	28,59		24,30	67,68	45,99
2003/04	15,35		10,12		30,32		17,74		13,89		20,33		36,08		48,11		41,56		30,85		25,01		20,21		17,96	33,64	25,80
2004/05	26,63		11,56		16,85		16,40		18,33		39,50		40,69		51,99		48,55		29,26		28,82		25,68		21,55	37,50	29,52
2005/06	14,56		24,45		48,95		31,24		46,00		27,85		41,08		83,66		98,20		81,40		46,08		26,89		32,18	62,89	47,53
2006/07	17,69		22,13		44,20		54,73		29,99		30,88		52,40		80,69		83,04		61,35		43,48		32,93		33,27	58,98	46,13
2007/08	16,21		12,46		8,59		12,80		9,05		23,25		42,53		61,69		41,72		30,94		23,80		13,53		13,73	35,70	24,71
2008/09	7,32		45,63		25,45	r04	15,72		21,20	r07	19,53	r07	34,98	r07	57,08		44,00		29,51		23,83		15,48		22,48	34,15	28,31
2009/10	10,48		20,19		14,26		16,19		16,99		22,60		32,63		40,60		50,50		33,82		26,27		18,57		16,79	33,73	25,26
2010/11	8,73		7,54		8,47		8,09		7,80		10,41		31,66		30,46		13,27		14,35		14,70		8,55		8,51	18,83	13,67
2011/12	8,71		7,17		7,23		7,57		11,25		18,71		30,63		40,09		26,69		15,45		16,32		8,19		10,11	22,90	16,50
2012/13	7,57		6,83		18,44		11,15		6,74		8,12		10,10		27,87		18,06		10,59		12,16		13,90		9,81	15,45	12,63
2013/14	9,48		8,22		10,34		6,75		7,43		18,61		16,91		26,55		14,27		13,20		11,14		9,51		10,14	15,26	12,70
2014/15	8,48		14,73		13,78		15,22		21,09		18,92		32,25		43,49		28,17		19,54		17,99		7,99		15,37	24,91	20,14
ROMEDI	14,04		16,63		21,17		18,89		18,88		22,09		38,35		54,09		56,81		39,66		27,64		19,07		18,62	39,27	28,94
DES EST	6,50		11,10		13,02		10,84		8,81		7,37		14,34		17,69		29,56		22,55		11,00		7,12		6,74	15,84	10,66
COEF VAR	0,46		0,67		0,61		0,57		0,47		0,33		0,37		0,33		0,52		0,57		0,40		0,37		0,36	0,40	0,37
MÁXIMO	40,73		49,53		58,32		55,98		46,00		39,50		72,81		91,02		114,45		97,99		57,81		36,43		33,27	69,92	47,53
MÍNIMO	6,35		5,44		7,23		5,48		6,74		8,12		5,62		14,52		11,52		10,59		10,87		7,99		8,51	11,41	10,07

Fuente: DGA

ck: corregido por correlacion mensual con estacion k

A-S: Abril - Semptiembre

rk: rellenado por correlacion mensual con estacion k

O-M: Octubre - Marzo

Tabla C.3 Estadística corregida, rellenada y extendida de la estación fluviométrica: 02 Río Teno en Los Queñes. Fuente: Elaboración propia

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m3/s)																			
AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	A-S	O-M	AÑO				
1964/65	20,00	17,00	17,00	19,07	17,08	21,36	30,97	39,55	32,25	28,97	23,78	18,63	18,59	29,03	23,81				
1965/66	38,81	21,43	27,78	32,51	52,22	25,76	40,16	92,49	86,18	78,78	34,24	27,41	33,09	59,88	46,48				
1966/67	26,66	18,33	34,74	38,04	27,87	33,43	54,53	83,98	88,45	81,90	49,96	25,99	29,85	64,14	46,99				
1967/68	20,09	18,32	17,00	17,00	17,09	18,56	33,19	55,29	55,64	29,20	24,05	20,61	18,01	36,33	27,17				
1968/69	17,03	7,48	5,70	4,76	4,91	8,60	11,49	15,81	13,00	16,12	15,00	10,79	8,08	13,70	10,89				
1969/70	6,88	20,22	18,47	23,13	22,80	23,31	20,26	55,96	104,75	36,63	19,00	11,69	19,14	41,38	30,26				
1970/71	9,06	9,29	8,75	12,58	17,60	18,06	29,37	50,84	34,22	22,27	17,57	10,76	12,56	27,51	20,03				
1971/72	9,21	9,08	8,78	34,61	37,34	20,50	56,14	100,61	49,27	28,42	18,86	18,98	19,92	45,38	32,65				
1972/73	7,50	62,60	111,72	25,99	108,76	58,06	71,29	86,63	198,99	156,58	78,85	43,16	62,44	105,92	84,18				
1973/74	14,68	33,37	15,04	37,98	19,97	12,30	27,51	47,09	85,03	37,33	27,92	r04 18,86	22,22	40,62	31,42				
1974/75	10,88	12,58	c07 21,05	r07 37,68	r04 24,69	r04 20,68	r04 41,07	r04 58,40	r04 65,15	r04 55,51	27,04	19,69	21,26	44,48	32,87				
1975/76	16,48	17,14	19,30	47,89	27,26	30,75	47,32	64,21	86,94	46,49	30,52	22,49	26,47	49,66	38,07				
1976/77	14,09	6,99	29,82	11,08	12,27	16,37	40,57	62,55	53,47	35,79	25,23	19,39	15,10	39,50	27,30				
1977/78	14,51	21,65	40,00	65,99	44,39	45,20	66,43	112,68	108,81	65,46	47,24	33,56	38,62	72,36	55,49				
1978/79	15,90	11,95	20,84	109,68	33,28	45,03	87,68	126,27	136,07	104,48	51,06	21,85	39,45	87,90	63,67				
1979/80	14,78	19,39	r04 14,24	26,45	62,00	60,93	46,91	65,74	97,25	73,22	43,33	17,85	32,96	57,38	45,17				
1980/81	49,93	75,29	68,20	63,78	36,80	26,68	41,02	56,46	80,23	53,79	32,51	13,88	53,45	46,32	49,88				
1981/82	10,06	74,64	45,61	25,93	27,30	23,41	35,41	55,09	41,16	32,33	26,32	17,53	34,49	34,64	34,57				
1982/83	9,64	17,45	70,05	76,41	39,60	68,55	58,51	86,14	126,48	111,86	68,97	44,75	46,95	82,79	64,87				
1983/84	23,93	14,28	14,29	22,69	24,50	25,14	47,86	70,89	56,64	35,39	28,87	20,36	20,81	43,34	32,07				
1984/85	10,02	25,00	16,21	45,31	24,87	38,70	77,37	86,54	107,39	79,86	49,04	r04 40,76	r04 26,69	73,49	50,09				
1985/86	21,04	r04 23,32	r04 18,92	r04 27,67	r04 14,21	r04 11,71	r04 32,83	r04 50,90	r04 35,64	r04 26,49	r04 23,88	r04 20,28	r04 19,48	31,67	25,57				
1986/87	20,36	r04 37,17	r04 100,60	r04 36,19	r04 51,76	r04 26,60	r04 55,80	r04 63,81	r04 90,15	r04 55,86	r03 44,07	r04 37,18	r04 45,45	57,81	51,63				
1987/88	11,57	r04 28,34	r04 46,45	r04 53,03	r04 56,60	r04 34,93	r04 65,67	r04 95,16	r04 87,95	r04 56,74	r04 42,95	r04 28,53	r04 38,49	62,83	50,66				
1988/89	17,94	r04 12,68	r04 11,66	r04 16,78	r04 29,02	r04 20,34	r04 34,13	r04 56,85	r04 39,46	r04 29,56	r04 25,69	r04 13,66	r04 18,07	33,23	25,65				
1989/90	10,60	r04 12,52	r04 9,41	r04 11,29	r04 39,83	r04 25,90	r04 39,17	r04 61,78	r04 37,40	r04 24,20	r04 20,61	r04 12,00	r04 18,26	32,53	25,39				
1990/91	15,11	r04 16,04	r04 10,88	r04 13,87	r04 17,10	r04 34,93	r04 38,73	r04 48,69	r04 36,88	r04 28,36	r04 24,27	r04 13,07	r04 17,99	31,67	24,83				
1991/92	19,52	r04 66,06	r04 63,22	r04 54,82	r04 28,18	r04 33,29	r04 38,05	r04 71,44	r04 58,84	r04 43,51	r04 36,62	r04 24,26	r04 44,18	45,45	44,82				

1992/93	15,88	r04	58,87	r04	75,54	r04	45,72	r04	23,63	r04	38,77	r04	59,81	r04	96,03	r04	98,50	r04	71,45	r04	47,94	r04	30,18	r04	43,07	67,32	55,19
1993/94	22,82	r04	44,66	r04	83,61	r04	47,29	r04	27,60	r04	27,09	r04	40,00	r04	62,37	r04	71,28	r04	49,29	r04	36,83	r04	25,46	r04	42,18	47,54	44,86
1994/95	19,56	r04	23,04	r04	35,59	r04	59,82	r04	27,25	r04	27,52	r04	41,01	r04	77,33	r04	67,30	r04	33,07	r04	35,91	r04	21,40	r04	32,13	46,00	39,07
1995/96	18,93	r04	18,62	r04	49,23	r04	30,14	r04	30,94	r04	46,97	r04	48,96	r04	83,81	r04	83,06	r04	48,15	r04	35,73	r04	21,21	r04	32,47	53,49	42,98
1996/97	13,89	r04	12,04	r04	18,10	r04	15,88	r04	22,91	r04	21,24	r04	28,28	r04	31,15	r04	15,63	r04	14,07	r04	17,11	r04	13,51	r04	17,34	19,96	18,65
1997/98	20,68	r04	23,80	r04	78,70	r04	43,03	r04	69,31	r04	86,53	r04	76,56	r04	100,89	r04	150,67	r04	103,08	r04	61,29	r04	39,51	r04	53,67	88,67	71,17
1998/99	29,04	r04	19,92	r04	19,03	r04	14,65	r04	10,71	r04	9,83	r04	17,38	r04	23,11	r04	19,19	r04	21,19	r04	23,33	r04	14,41	r04	17,19	19,77	18,48
1999/00	10,01	r04	10,72	r04	13,89	r04	14,87	r04	21,67	r04	54,57	r04	51,84	r04	90,15	r04	69,81	r04	37,29	r04	39,13	r04	22,48	r04	20,96	51,78	36,37
2000/01	12,09	r04	11,04	r04	76,74	r04	51,99	r04	23,71	r04	46,18	r04	59,13	r04	99,48	r04	135,77	r04	79,01	r04	46,22	r04	26,84	r04	36,96	74,41	55,68
2001/02	10,84	r04	30,08	r04	47,24	r04	78,07	r04	73,83	r04	44,55	r04	48,76	r04	72,84	r04	107,00	r04	60,89	r04	42,10	r04	30,25	r04	47,43	60,30	53,87
2002/03	14,95	r04	32,77	r04	50,25	r04	34,98	r04	138,63	r04	61,52	r04	67,07	r04	120,05	r04	156,60	r04	137,07	r04	44,30	r04	32,99	r04	55,52	93,01	74,26
2003/04	16,58	r04	13,71	r04	56,80	r04	27,32	r04	17,11	r04	23,38	r04	37,48	r04	52,61	r04	43,09	r04	32,87	r04	26,78	r04	20,29	r04	25,82	35,52	30,67
2004/05	34,26	r04	14,40	r04	25,73	r04	26,63	r04	30,40	r04	49,58	r04	43,73	r04	59,55	r04	50,77	r04	29,10	r04	27,50	r04	22,29	r04	30,17	38,82	34,50
2005/06	12,96	r04	34,94	r04	110,59	r04	52,54	r04	92,36	r04	45,14	r04	50,59	r04	96,33	r04	118,12	r04	100,35	r04	57,78	r04	25,25	r04	58,09	74,74	66,41
2006/07	17,39	r04	26,36	r04	60,77	r04	67,45	r04	46,55	r04	35,07	r04	55,56	r04	81,16	r04	94,40	r04	71,16	r04	39,06	r04	24,37	r04	42,27	60,95	51,61
2007/08	13,60	r04	12,17	r04	10,67	r04	17,84	r04	13,99	r04	23,09	r04	41,48	r04	58,54	r04	41,52	r04	30,26	r04	24,25	r04	14,34	r04	15,23	35,07	25,15
2008/09	10,51	r04	62,64	r04	46,67	r04	30,68	r04	37,43	r07	29,36	r07	47,40	r07	102,13	r04	51,24	r04	30,00	r04	25,28	r04	18,01	r04	36,21	45,68	40,95
2009/10	8,49	r04	25,01	r04	21,47	r04	19,09	r04	34,71	r04	56,48	r04	40,82	r04	52,83	r04	68,60	r04	40,34	r04	29,44	r04	23,18	r04	27,54	42,54	35,04
2010/11	13,78	r04	12,33	r04	12,79	r04	13,09	r04	12,66	r04	16,29	r04	39,53	r04	37,69	r04	16,44	r04	14,65	r04	15,80	r04	9,85	r04	13,49	22,33	17,91
2011/12	13,74	r04	11,94	r04	9,04	r04	11,47	r04	22,56	r04	30,26	r04	34,22	r04	47,98	r04	31,68	r04	18,30	r04	18,05	r04	9,24	r04	16,50	26,58	21,54
2012/13	9,69	r04	30,09	r04	41,64	r04	28,66	r04	15,60	r04	20,05	r04	29,51	r04	44,70	r04	44,60	r04	31,90	r04	24,72	r04	15,47	r04	24,29	31,82	28,05
2013/14	10,62	r04	11,11	r04	10,05	r04	14,33	r04	15,11	r04	23,65	r04	26,92	r04	37,82	r04	22,55	r04	13,82	r04	15,74	r04	8,94	r04	14,14	20,96	17,55
2014/15	8,47	r04	11,68	r04	13,25	r04	15,17	r04	36,28	r04	31,64	r04	38,93	r04	59,44	r04	41,91	r04	26,02	r04	20,66	r04	11,99	r04	19,42	33,16	26,29
PROM	16,37		24,74		36,34		34,37		34,59		32,90		44,99		68,82		72,42		50,36		33,58		21,75		29,88	48,65	39,27
DESVES	8,12		17,63		28,43		21,37		25,21		16,36		15,62		24,64		40,60		32,16		14,29		8,92		13,60	20,91	16,51
COEF VAR	0,50		0,71		0,78		0,62		0,73		0,50		0,35		0,36		0,56		0,64		0,43		0,41		0,46	0,43	0,42
MAX	49,93		75,29		111,72		109,68		138,63		86,53		87,68		126,27		198,99		156,58		78,85		44,75		62,44	105,92	84,18
MIN	6,88		6,99		5,70		4,76		4,91		8,60		11,49		15,81		13,00		13,82		15,00		8,94		8,08	13,70	10,89
Fuente:	DGA																										
ck:	corregido por correlacion mensual con estacion k														A-S: Abril - Semptiembre												
rk:	rellenado por correlacion mensual con estacion k														O-M: Octubre - Marzo												

Tabla C.4 Estadística corregida, rellenada y extendida de la estación fluviométrica: 03 Río Claro en Los Queñes. Fuente: Elaboración propia

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m3/s)																								
AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	A-S	O-M	AÑO									
1964/65	7,33	5,76	7,37	7,26	8,23	15,10	15,96	17,27	15,69	10,67	7,28	5,11	8,51	12,00	10,25									
1965/66	26,35	15,17	21,78	24,40	37,39	22,49	29,97	36,40	30,72	24,03	10,77	7,23	24,60	23,19	23,89									
1966/67	9,76	10,70	29,73	32,76	18,16	25,56	30,37	44,81	33,23	25,51	16,21	8,54	21,11	26,45	23,78									
1967/68	5,11	5,96	6,25	6,57	9,95	13,51	19,09	22,54	19,65	10,89	7,83	5,66	7,89	14,28	11,08									
1968/69	3,30	3,25	2,36	1,50	2,61	4,26	3,70	7,82	5,57	7,06	5,12	2,84	2,88	5,35	4,12									
1969/70	2,19	10,99	25,31	20,45	15,05	13,74	11,72	15,15	17,01	8,92	6,54	4,11	14,62	10,58	12,60									
1970/71	3,36	5,54	5,86	13,17	16,38	14,81	17,27	20,32	16,98	10,10	5,54	3,73	9,85	12,32	11,09									
1971/72	2,99	6,76	6,16	32,60	24,10	12,50	19,36	19,73	16,92	13,92	7,08	5,87	14,19	13,81	14,00									
1972/73	4,31	27,40	c04	45,89	c04	19,87	c04	42,05	c04	32,29	c04	27,79	c04	28,27	c04	40,73	c04	37,51	18,43	r04	9,64	28,63	27,06	27,85
1973/74	3,20	%	12,13	8,64	24,12	13,20	6,63	12,68	24,30	c04	33,66	12,88	6,32	3,82	11,32	15,61	13,47							
1974/75	2,72	13,82	23,82	26,07	27,96	27,85	28,10	28,10	28,10	15,88	15,14	5,77	20,37	20,18	20,28									
1975/76	10,45	7,25	c04	10,32	c04	23,85	c04	20,86	c04	20,37	c04	21,27	c04	25,01	c04	25,81	c04	24,16	12,21	6,14	15,52	19,10	17,31	
1976/77	4,10	4,00	12,89	c04	21,91	27,27	29,96	%	19,24	c04	23,96	c04	18,87	c04	20,55	10,56	6,36	16,69	16,59	16,64				
1977/78	5,20	11,55	c04	23,82	c04	44,54	c04	32,00	c04	27,56	c04	33,92	c04	39,95	c04	31,16	c04	32,57	15,23	6,11	24,11	26,49	25,30	
1978/79	3,58	6,54	c04	7,07	c04	75,52	c04	21,58	c04	26,18	c04	40,72	c04	42,45	c04	39,38	c04	25,83	14,23	8,81	23,41	28,57	25,99	
1979/80	7,17	20,11	16,45	24,88	c04	41,65	c04	33,02	c04	21,99	c04	24,17	c04	29,97	c04	21,73	c04	12,28	c04	6,54	c04	23,88	19,45	21,66
1980/81	30,10	c04	46,44	c04	42,89	32,24	19,43	12,51	16,02	19,00	22,72	13,62	9,06	6,13	30,60	14,43	22,51							
1981/82	5,47	37,37	25,56	14,88	17,17	11,29	14,22	18,98	13,60	9,19	6,43	5,96	18,62	11,40	15,01									
1982/83	4,19	9,99	41,55	50,62	26,17	36,60	27,12	30,61	37,80	31,39	17,30	8,79	28,19	25,50	26,84									
1983/84	4,59	5,43	11,05	16,53	15,51	15,06	20,95	26,87	19,25	10,92	6,98	4,81	11,36	14,96	13,16									
1984/85	3,78	5,87	10,12	36,31	17,54	24,82	38,50	35,20	39,81	26,62	15,30	10,11	16,41	27,59	22,00									
1985/86	6,84	10,04	10,04	19,68	8,90	8,29	15,95	17,37	12,45	8,56	6,75	5,26	10,63	11,06	10,84									
1986/87	13,25	24,14	57,99	19,95	26,40	17,93	24,42	21,84	28,99	18,32	10,02	7,37	26,61	18,49	22,55									
1987/88	6,85	8,25	15,67	49,48	37,14	23,83	34,91	34,32	26,73	17,85	11,56	5,96	23,54	21,89	22,71									
1988/89	6,27	6,59	9,45	11,13	19,39	12,84	16,69	21,44	14,82	8,78	7,19	5,84	10,95	12,46	11,70									
1989/90	4,42	4,47	4,78	5,99	27,27	19,51	19,47	22,12	13,38	8,46	6,77	5,77	11,07	12,66	11,87									
1990/91	7,76	8,27	6,80	8,46	11,62	20,43	15,94	17,58	15,52	10,01	6,33	5,11	10,56	11,75	11,15									
1991/92	9,34	35,02	31,96	33,12	16,34	22,90	25,02	22,49	21,48	16,72	8,63	6,00	24,78	16,72	20,75									

1992/93	7,11		38,03		34,49		21,95		15,76		22,90		26,08		32,97		28,24		21,28		12,28		6,81		23,37	21,28	22,33
1993/94	8,41		24,81		41,39		29,13		16,98		14,54		17,23		20,70		25,95		15,96		9,03		7,06		22,54	15,99	19,27
1994/95	7,07		8,98		20,41		41,08		18,02		18,40		21,67		27,38		23,28		11,75		7,54		5,55		18,99	16,20	17,59
1995/96	10,40		7,78		31,45		23,08		23,30		32,49		26,61		33,11		27,42		12,18		7,60		5,87		21,42	18,80	20,11
1996/97	5,69		4,73		11,63		9,19		15,21		13,52		13,80		12,01		7,09		5,92		5,03		4,58		10,00	8,07	9,03
1997/98	12,40		10,38		56,16		28,67		43,07		50,27		39,87		39,03		40,00		32,00		18,39		7,84		33,49	29,52	31,51
1998/99	10,70		9,74	c04	11,15	c04	10,78	c04	10,77	c04	9,69	c04	8,34	c04	9,58	c04	10,63	c04	8,94	c04	6,88	c04	4,91	c04	10,47	8,21	9,34
1999/00	3,02	c04	3,97	c04	8,31	c04	20,60		16,50		42,44		31,88		34,67		21,99		11,12		8,35		4,43		15,81	18,74	17,27
2000/01	3,84		3,53		50,88		36,62		15,58		33,23		29,73		29,92		33,93		22,44		15,08		7,47		23,95	23,10	23,52
2001/02	6,35		15,95		18,01		48,78		41,54		18,99		16,03		26,05	c04	27,60		14,71		11,89		9,28		24,94	17,59	21,27
2002/03	7,36		18,47		23,53		18,52		65,77		28,56		28,33		34,83		34,27		29,29		14,98		8,91		27,04	25,10	26,07
2003/04	4,55		5,00		31,76		17,93		10,74		13,92		17,99		19,74		15,57		11,07		6,69		9,13		13,98	13,37	13,67
2004/05	20,17		5,61		14,04		16,94		18,00		27,22		17,66		23,16		18,20		9,02		5,30		4,22		17,00	12,93	14,96
2005/06	3,55		24,85		61,71	c04	43,10		56,21		26,84		22,98		35,92		33,82		25,87		17,83		9,02		36,04	24,24	30,14
2006/07	6,19		11,74		32,25		52,54		35,34		24,83		30,89		29,95		27,93		20,10		10,51		6,26		27,15	20,94	24,04
2007/08	4,31		3,74		4,96		12,88		10,62		15,94		19,87		21,16		14,48		8,12		5,31		4,29		8,74	12,21	10,47
2008/09	3,92		53,91		29,53		17,67		25,95	r07	18,42	r07	20,77	r07	23,70		17,43		11,04		7,26		5,78		24,90	14,33	19,62
2009/10	4,52		12,89		10,56		18,02		21,91		28,73		18,84		15,23		18,70		11,17		5,65		4,92		16,11	12,42	14,26
2010/11	4,27		4,29		6,97		7,30		9,08		13,31		21,73		16,08		7,29		5,32		4,67		4,45		7,54	9,92	8,73
2011/12	6,74		4,79		5,21		7,79		20,92		25,39		21,49		22,89		15,45		8,58		6,29		4,84		11,81	13,26	12,53
2012/13	4,80		5,49		25,86		20,12		8,26		9,38		12,38		14,33		16,13		10,13		5,54		4,67		12,32	10,53	11,42
2013/14	3,98		4,78		6,55		10,55		10,53		13,77		11,52		12,73		9,75		6,34		4,08		3,36		8,36	7,96	8,16
2014/15	2,08		7,48		9,22		11,94		23,37		22,78		20,32		19,80		15,21		9,54		5,55		4,10		12,81	12,42	12,62
PROM	6,97		12,94		20,93		23,98		22,25		21,13		21,93		24,76		22,75		15,78		9,51		6,10		18,03	16,80	17,42
DESVES	5,45		11,62		15,66		14,79		12,63		9,31		7,99		8,56		9,42		8,15		4,15		1,78		7,70	6,12	6,50
COEF VAR	0,78		0,90		0,75		0,62		0,57		0,44		0,36		0,35		0,41		0,52		0,44		0,29		0,43	0,36	0,37
MAX	30,10		53,91		61,71		75,52		65,77		50,27		40,72		44,81		40,73		37,51		18,43		10,11		36,04	29,52	31,51
MIN	2,08		3,25		2,36		1,50		2,61		4,26		3,70		7,82		5,57		5,32		4,08		2,84		2,88	5,35	4,12
Fuente:	DGA																										
ck:	corregido por correlacion mensual con estacion k													A-S: Abril - Semptiebre													
rk:	rellenado por correlacion mensual con estacion k													O-M: Octubre - Marzo													

Tabla C.5: Estadística corregida, rellenada y extendida de la estación fluviométrica: 04 Río Teno después de la Junta con Claro. Fuente: Elaboración propia

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m3/s)																	
AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	A-S	O-M	AÑO		
1964/65	19,79	12,53	14,38	18,41	18,58	34,94	48,51	66,20	r03 58,04	36,50	26,47	19,26	19,77	42,50	31,13		
1965/66	48,32	35,93	47,10	63,23	103,06	48,61	76,93	117,64	107,93	95,36	46,43	35,34	57,71	79,94	68,82		
1966/67	34,14	30,96	70,66	78,46	42,70	63,85	90,55	129,52	127,93	111,78	62,68	32,67	53,46	92,52	72,99		
1967/68	24,31	20,52	19,03	19,05	24,31	34,24	67,33	78,48	70,55	35,74	28,43	22,68	23,58	50,54	37,06		
1968/69	16,85	10,17	8,58	7,97	16,78	r07 11,41	13,74	22,29	15,83	16,17	14,24	10,61	11,96	15,48	13,72		
1969/70	10,34	23,78	74,81	47,91	51,94	39,53	36,53	70,56	87,33	51,03	34,10	20,35	41,39	49,98	45,68		
1970/71	11,71	11,38	13,86	30,17	32,22	37,21	49,58	68,73	52,56	30,99	20,08	14,30	22,76	39,37	31,07		
1971/72	9,76	14,99	15,54	56,10	44,94	35,04	63,95	84,02	58,43	35,76	25,86	23,00	29,40	48,50	38,95		
1972/73	13,80	75,47	120,50	47,46	120,91	88,85	85,21	106,98	185,45	158,45	80,11	45,50	77,83	110,28	94,06		
1973/74	22,96	65,84	37,37	63,98	39,43	50,67	57,86	89,87	93,23	50,87	33,56	21,89	46,71	57,88	52,29		
1974/75	13,19	20,03	c07 34,40	c07 64,66	40,69	36,56	61,87	76,80	81,72	64,10	30,65	22,16	34,92	56,22	45,57		
1975/76	20,74	20,56	26,53	58,30	51,60	52,64	65,57	92,91	106,60	53,32	33,54	26,58	38,40	63,09	50,74		
1976/77	20,53	11,91	33,32	23,03	20,13	27,44	59,46	88,39	69,97	38,16	25,99	24,25	22,73	51,04	36,88		
1977/78	17,35	32,27	62,20	114,54	88,03	74,50	103,66	157,29	134,87	80,73	50,03	35,01	64,82	93,60	79,21		
1978/79	22,39	18,61	17,94	198,78	53,96	70,30	124,13	168,07	178,32	121,03	58,69	31,93	63,66	113,70	88,68		
1979/80	18,14	26,44	17,91	61,08	119,60	91,09	67,76	89,32	128,60	91,28	52,50	29,84	55,71	76,55	66,13		
1980/81	80,96	127,36	115,30	99,71	58,27	42,98	55,54	75,61	106,26	65,53	39,89	20,86	87,43	60,62	74,02		
1981/82	20,74	r07 120,85	69,11	39,88	43,04	33,93	47,49	68,51	51,45	38,73	34,58	25,09	54,59	44,31	49,45		
1982/83	11,96	23,33	85,72	133,03	73,18	106,53	98,68	119,05	181,41	143,16	86,54	52,49	72,29	113,56	92,92		
1983/84	30,76	20,80	23,68	35,57	38,29	39,59	64,76	93,18	73,69	46,55	38,61	25,19	31,45	57,00	44,22		
1984/85	14,67	18,65	26,17	73,56	39,53	60,38	112,87	118,10	154,03	107,86	57,85	48,16	38,83	99,81	69,32		
1985/86	28,71	33,17	28,56	46,45	24,12	23,03	49,62	66,10	46,21	34,26	28,92	25,11	30,67	41,70	36,19		
1986/87	27,63	56,86	147,71	61,96	83,47	45,50	83,78	84,53	111,80	72,26	r03 52,14	44,13	70,52	74,77	72,65		
1987/88	13,77	41,75	68,73	92,60	91,12	58,06	98,46	129,28	109,15	69,11	50,85	34,40	61,01	81,88	71,44		
1988/89	23,82	14,96	17,98	26,65	47,54	36,05	51,55	74,59	50,81	37,80	31,00	17,67	27,83	43,90	35,87		
1989/90	12,25	14,69	14,69	16,65	64,62	44,44	59,05	81,63	48,33	31,62	25,16	15,80	27,89	43,60	35,74		
1990/91	19,36	20,71	16,83	21,35	28,70	58,07	58,40	62,95	47,71	36,41	29,37	17,00	27,50	41,97	34,74		
1991/92	26,32	106,29	93,18	95,85	46,21	55,59	57,39	95,42	74,13	53,87	43,57	29,59	70,57	59,00	64,78		

1992/93	20,57	93,99	111,15	79,29	39,02	63,86	89,74	130,52	121,84	86,06	56,59	36,25	67,98	86,83	77,41
1993/94	31,52	69,68	122,93	82,16	45,29	46,24	60,29	82,47	89,09	60,53	43,81	30,94	66,30	61,19	63,75
1994/95	26,38	32,69	52,88	104,96	44,73	46,89	61,79	103,82	84,31	41,84	42,75	26,38	51,42	60,15	55,79
1995/96	25,38	25,12	72,78	50,95	50,57	76,23	73,61	113,07	103,27	59,22	42,55	26,16	50,17	69,65	59,91
1996/97	17,44	13,87	27,37	25,00	37,88	37,41	42,85	37,91	22,14	19,95	21,13	17,50	26,50	26,91	26,70
1997/98	28,14	33,98	115,77	74,40	111,21	135,91	114,65	137,45	184,61	122,51	71,94	46,75	83,24	112,99	98,11
1998/99	41,33	27,34	28,72	22,76	18,60	20,19	26,65	26,43	26,42	28,15	28,29	18,51	26,49	25,74	26,12
1999/00	11,31	11,61	21,23	23,16	35,92	87,70	77,90	122,12	87,32	46,70	46,46	27,59	31,82	68,02	49,92
2000/01	14,59	12,16	112,90	90,70	39,14	75,03	88,74	135,44	166,68	94,77	54,61	32,49	57,42	95,46	76,44
2001/02	12,62	44,74	69,87	138,15	118,35	72,57	73,31	97,41	132,07	73,89	49,87	36,33	76,05	77,15	76,60
2002/03	19,11	49,33	74,26	59,76	220,76	98,18	100,54	164,81	191,74	161,67	52,40	39,41	86,90	118,43	102,66
2003/04	21,68	16,72	83,82	45,82	28,71	40,64	56,54	68,54	55,18	41,61	32,25	25,12	39,57	46,54	43,05
2004/05	49,56	17,91	38,50	44,56	49,72	80,17	65,83	78,44	64,42	37,27	33,08	27,38	46,74	51,07	48,90
2005/06	15,97	53,05	162,28	91,70	147,63	73,47	76,04	130,95	145,45	119,36	67,90	30,71	90,68	95,07	92,88
2006/07	22,96	38,36	89,61	118,84	75,24	58,28	83,43	109,30	116,91	85,73	46,37	29,72	67,22	78,58	72,90
2007/08	16,97	14,08	16,53	28,57	23,78	40,20	62,48	77,01	53,29	38,61	29,34	18,43	23,36	46,53	34,94
2008/09	12,10	100,45	69,04	51,93	64,48	r07 48,00	r07 65,54	r07 139,23	64,98	38,30	30,53	22,56	57,67	60,19	58,93
2009/10	8,91	36,05	32,28	30,84	56,52	90,58	61,51	68,86	85,87	50,22	35,31	28,38	42,53	55,03	48,78
2010/11	17,26	14,36	19,62	19,92	21,68	29,94	59,59	47,24	23,11	20,62	19,62	13,38	20,46	30,59	25,53
2011/12	17,20	13,70	14,16	16,98	37,33	51,01	51,69	61,93	41,45	24,83	22,21	12,69	25,06	35,80	30,43
2012/13	10,81	44,75	61,70	48,25	26,33	35,62	44,69	57,25	56,99	40,49	29,88	19,70	37,91	41,50	39,71
2013/14	12,27	12,28	15,62	22,18	25,55	41,04	40,83	47,43	30,46	19,66	19,56	12,36	21,49	28,38	24,94
2014/15	8,89	13,25	20,30	23,71	59,01	53,10	58,69	78,29	53,76	33,72	25,21	15,79	29,71	44,24	36,98

PROM	21,53	35,69	54,02	58,65	56,56	54,97	67,59	92,00	90,46	61,85	40,07	26,77	46,90	63,12	55,01
DESV ES	12,47	29,58	40,03	38,39	38,53	24,26	22,25	33,58	47,34	36,73	16,14	9,80	21,17	25,89	22,28
COEF VAR	0,58	0,83	0,74	0,65	0,68	0,44	0,33	0,37	0,52	0,59	0,40	0,37	0,45	0,41	0,40
MAX	80,96	127,36	162,28	198,78	220,76	135,91	124,13	168,07	191,74	161,67	86,54	52,49	90,68	118,43	102,66
MIN	8,89	10,17	8,58	7,97	16,78	11,41	13,74	22,29	15,83	16,17	14,24	10,61	11,96	15,48	13,72

Fuente: DGA

ck: corregido por correlacion mensual con estacion k	A-S: Abril - Semptiebre
rk: rellenado por correlacion mensual con estacion k	O-M: Octubre - Marzo

Tabla C.6: Estadística corregida, rellena y extendida de la estación fluviométrica: 05 Estero El Manzano antes de la Junta con el Río Teno

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m3/s)																											
AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	A-S	O-M	AÑO												
1964/65	0,24	0,09	0,30	1,53	3,10	2,83	0,24	0,32	0,36	0,19	0,14	0,24	1,35	0,25	0,80												
1965/66	2,16	2,03	1,95	9,96	15,37	2,63	1,98	1,66	1,82	1,85	1,49	1,52	5,68	1,72	3,70												
1966/67	2,19	1,56	18,92	13,74	6,46	5,86	2,76	1,53	2,10	1,13	0,76	0,48	8,12	1,46	4,79												
1967/68	0,43	0,48	1,21	1,66	1,91	3,36	2,65	1,57	0,77	0,45	0,36	0,30	1,51	1,02	1,26												
1968/69	0,32	0,09	0,09	0,10	0,13	0,07	0,07	0,08	0,06	0,08	0,04	0,03	0,13	0,06	0,10												
1969/70	0,05	0,80	9,20	6,11	6,56	0,98	0,14	0,23	0,18	0,11	0,10	0,08	3,95	0,14	2,05												
1970/71	0,05	0,09	0,36	4,93	3,10	0,50	0,13	0,28	0,61	0,74	0,74	0,75	1,51	0,54	1,02												
1971/72	0,59	0,09	2,92	6,11	5,38	1,02	0,57	0,22	0,25	0,16	0,10	0,08	2,69	0,23	1,46												
1972/73	0,05	2,71	15,46	6,27	21,60	9,14	5,17	3,21	0,44	0,31	0,39	0,11	9,21	1,61	5,41												
1973/74	0,11	3,70	r04	1,87	7,95	3,20	4,17	r04	1,95	r04	0,04	0,11	0,22	0,31	0,28	3,50	0,48	1,99									
1974/75	0,38	3,10	10,45	2,83	2,71	2,27	0,31	0,39	0,60	0,65	0,63	0,56	3,62	0,52	2,07												
1975/76	0,53	0,75	1,88	16,21	7,50	1,31	0,41	0,88	0,46	0,66	0,43	0,44	4,70	0,55	2,62												
1976/77	0,37	0,05	r04	6,23	1,00	0,62	1,52	7,13	2,52	1,20	1,03	1,33	0,49	1,63	2,28	1,96											
1977/78	0,38	0,57	6,33	23,59	5,95	5,72	3,71	3,46	1,81	0,55	0,51	0,51	7,09	1,76	4,42												
1978/79	0,26	0,20	1,97	36,77	4,56	6,69	3,05	7,95	0,81	0,48	0,49	0,44	8,41	2,20	5,31												
1979/80	0,34	0,54	0,50	7,66	14,99	11,91	8,45	0,41	0,56	0,17	0,12	0,11	5,99	1,64	3,81												
1980/81	0,76	7,99	9,54	8,60	7,82	3,00	r04	0,26	0,07	0,05	0,05	0,05	0,04	6,28	0,09	3,19											
1981/82	0,04	8,29	@	5,35	2,02	2,14	0,65	0,11	0,14	0,14	0,10	0,04	0,06	3,08	0,10	1,59											
1982/83	0,07	1,26	10,14	c04	25,49	9,55	14,98	9,86	3,43	0,21	0,08	0,04	0,05	10,25	2,28	6,26											
1983/84	0,04	0,20	2,56	9,26	4,86	4,74	0,98	0,32	0,18	0,17	0,11	0,08	3,61	0,31	1,96												
1984/85	0,06	2,34	4,13	20,29	6,59	6,77	5,61	2,59	r04	0,84	r04	0,53	r04	0,40	r04	0,39	r04	6,70	1,73	4,21							
1985/86	0,58	r04	1,49	r04	2,99	r04	6,75	r04	1,85	r04	2,22	r04	1,43	r04	0,17	r04	0,45	r04	0,40	r04	0,41	r04	0,33	r04	2,65	0,53	1,59
1986/87	0,56	r04	3,10	r04	17,90	r04	9,78	r04	11,10	r04	3,38	r04	3,55	r04	1,03	r04	0,68	r04	0,48	r03	0,40	r04	0,38	r04	7,64	1,09	4,36
1987/88	0,29	r04	2,07	r04	8,02	r04	15,78	r04	12,30	r04	5,30	r04	4,46	r04	3,11	r04	0,67	r04	0,46	r04	0,41	r04	0,35	r04	7,29	1,58	4,44
1988/89	0,48	r04	0,26	r04	1,67	r04	2,88	r04	5,50	r04	1,94	r04	1,55	r04	0,56	r04	0,46	r04	0,40	r04	0,41	r04	0,31	r04	2,12	0,62	1,37
1989/90	0,26	r04	0,24	r04	1,26	r04	0,92	r04	8,16	r04	3,22	r04	2,02	r04	0,89	r04	0,45	r04	0,39	r04	0,42	r04	0,30	r04	2,34	0,75	1,54
1990/91	0,40	r04	0,65	r04	1,52	r04	1,84	r04	2,56	r04	5,30	r04	1,98	r04	0,02	r04	0,45	r04	0,40	r04	0,41	r04	0,30	r04	2,05	0,59	1,32
1991/92	0,53	r04	6,44	r04	11,08	r04	16,42	r04	5,29	r04	4,92	r04	1,92	r04	1,53	r04	0,55	r04	0,43	r04	0,41	r04	0,34	r04	7,45	0,86	4,16

1992/93	0,42	r04	5,61	r04	13,32	r04	13,18	r04	4,17	r04	6,19	r04	3,92	r04	3,17	r04	0,72	r04	0,49	r04	0,40	r04	0,36	r04	7,15	1,51	4,33
1993/94	0,63	r04	3,96	r04	14,80	r04	13,74	r04	5,15	r04	3,50	r04	2,10	r04	0,93	r04	0,60	r04	0,44	r04	0,41	r04	0,34	r04	6,96	0,80	3,88
1994/95	0,53	r04	1,46	r04	6,03	r04	18,20	r04	5,06	r04	3,60	r04	2,19	r04	1,92	r04	0,58	r04	0,41	r04	0,41	r04	0,33	r04	5,81	0,97	3,39
1995/96	0,51	r04	0,95	r04	8,52	r04	7,63	r04	5,97	r04	8,08	r04	2,92	r04	2,36	r04	0,65	r04	0,44	r04	0,41	r04	0,33	r04	5,28	1,19	3,23
1996/97	0,36	r04	0,19	r04	2,84	r04	2,55	r04	3,99	r04	2,15	r04	1,02	r04	0,72	r04	0,36	r04	0,37	r04	0,42	r04	0,31	r04	2,01	0,53	1,27
1997/98	0,57	r04	1,55	r04	13,90	r04	12,22	r04	15,43	r04	17,19	r04	5,46	r04	3,49	r04	0,95	r04	0,56	r04	0,40	r04	0,39	r04	10,14	1,88	6,01
1998/99	0,82	r04	1,10	r04	3,01	r04	2,12	r04	0,99	r04	1,95	r04	0,01	r04	0,50	r04	0,38	r04	0,38	r04	0,41	r04	0,31	r04	1,66	0,33	1,00
1999/00	0,24	r04	0,03	r04	2,07	r04	2,19	r04	3,69	r04	9,83	r04	3,19	r04	2,78	r04	0,60	r04	0,42	r04	0,41	r04	0,33	r04	3,01	1,29	2,15
2000/01	0,30	r04	0,07	r04	13,54	r04	15,41	r04	4,19	r04	7,89	r04	3,86	r04	3,40	r04	0,88	r04	0,51	r04	0,40	r04	0,35	r04	6,90	1,57	4,23
2001/02	0,27	r04	2,28	r04	8,16	r04	24,69	r04	16,54	r04	7,52	r04	2,90	r04	1,63	r04	0,76	r04	0,47	r04	0,41	r04	0,36	r04	9,91	1,09	5,50
2002/03	0,39	r04	2,59	r04	8,71	r04	9,35	r04	32,52	r04	11,43	r04	4,59	r04	4,77	r04	0,97	r04	0,63	r04	0,40	r04	0,37	r04	10,83	1,96	6,39
2003/04	0,44	r04	0,38	r04	9,90	r04	6,63	r04	2,56	r04	2,64	r04	1,86	r04	0,28	r04	0,48	r04	0,41	r04	0,41	r04	0,33	r04	3,76	0,63	2,19
2004/05	0,98	r04	0,46	r04	4,23	r04	6,38	r04	5,84	r04	8,68	r04	2,44	r04	0,74	r04	0,51	r04	0,40	r04	0,41	r04	0,33	r04	4,43	0,81	2,62
2005/06	0,33	r04	2,84	r04	19,72	r04	15,60	r04	21,11	r04	7,65	r04	3,07	r04	3,19	r04	0,81	r04	0,55	r04	0,40	r04	0,34	r04	11,21	1,39	6,30
2006/07	0,47	r04	1,84	r04	10,63	r04	20,91	r04	9,82	r04	5,34	r04	3,53	r04	2,18	r04	0,70	r04	0,49	r04	0,41	r04	0,34	r04	8,17	1,28	4,72
2007/08	0,35	r04	0,20	r04	1,49	r04	3,25	r04	1,80	r04	2,58	r04	2,23	r04	0,67	r04	0,47	r04	0,40	r04	0,41	r04	0,31	r04	1,61	0,75	1,18
2008/09	0,26	r04	6,05	r04	8,06	r04	7,82	r04	7,19	r07	3,82	r07	2,79	r07	3,58	r04	0,51	r04	0,40	r04	0,41	r04	0,32	r04	5,53	1,34	3,43
2009/10	0,19	r04	1,69	r04	3,46	r04	3,70	r04	6,90	r04	10,27	r04	2,17	r04	0,29	r04	0,59	r04	0,43	r04	0,41	r04	0,34	r04	4,37	0,71	2,54
2010/11	0,36	r04	0,22	r04	1,87	r04	1,56	r04	1,47	r04	1,01	r04	2,05	r04	0,90	r04	0,36	r04	0,37	r04	0,42	r04	0,29	r04	1,08	0,73	0,91
2011/12	0,35	r04	0,17	r04	1,19	r04	0,98	r04	3,91	r04	4,23	r04	1,56	r04	1,18	r04	0,43	r04	0,38	r04	0,42	r04	0,29	r04	1,81	0,71	1,26
2012/13	0,23	r04	2,28	r04	7,14	r04	7,10	r04	2,19	r04	1,88	r04	1,13	r04	1,09	r04	0,49	r04	0,41	r04	0,41	r04	0,31	r04	3,47	0,64	2,05
2013/14	0,26	r04	0,08	r04	1,37	r04	2,00	r04	2,07	r04	2,70	r04	0,89	r04	0,90	r04	0,39	r04	0,37	r04	0,42	r04	0,29	r04	1,41	0,54	0,98
2014/15	0,19	r04	0,14	r04	1,96	r04	2,30	r04	7,29	r04	4,54	r04	2,00	r04	0,73	r04	0,47	r04	0,40	r04	0,42	r04	0,30	r04	2,74	0,72	1,73

ROMEDI	0,43		1,71		6,31		9,14		6,88		4,92		2,56		1,57		0,61		0,45		0,41		0,33		4,90	0,99	2,94
DES EST	0,41		2,05		5,36		7,92		6,17		3,73		2,10		1,55		0,41		0,29		0,26		0,22		2,98	0,61	1,70
COEF VAR	0,95		1,20		0,85		0,87		0,90		0,76		0,82		0,99		0,67		0,64		0,63		0,66		0,61	0,62	0,58
MÁXIMO	2,19		8,29		19,72		36,77		32,52		17,19		9,86		7,95		2,10		1,85		1,49		1,52		11,21	2,28	6,39
MÍNIMO	0,04		0,03		0,09		0,10		0,13		0,07		0,01		0,02		0,05		0,05		0,04		0,03		0,13	0,06	0,10

Fuente: DGA

ck: corregido por correlacion mensual con estacion k

A-S: Abril - Semptiembre

rk: rellenado por correlacion mensual con estacion k

O-M: Octubre - Marzo

Tabla C.7: Estadística corregida, rellenada y extendida de la estación fluviométrica: 06 Río Teno en puente ferrocarril. Fuente: Elaboración propia

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m3/s)																		
AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	A-S	O-M	AÑO			
1964/65	8,40	5,90	11,50	23,80	26,90	40,80	16,20	23,00	25,20	15,40	9,60	7,50	19,55	16,15	17,85			
1965/66	73,60	51,40	77,20	128,00	180,00	59,50	46,00	87,50	88,70	67,80	24,70	12,60	94,95	54,55	74,75			
1966/67	28,20	27,90	85,20	102,00	59,10	60,30	56,10	79,90	80,70	62,80	28,40	9,10	60,45	52,83	56,64			
1967/68	14,00	13,70	19,90	21,90	26,40	23,30	42,30	47,60	34,60	10,20	8,70	6,80	19,87	25,03	22,45			
1968/69	5,20	4,70	2,50	2,30	3,40	2,80	3,80	4,40	3,40	3,30	3,00	5,10	3,48	3,83	3,66			
1969/70	3,50	18,80	92,38	r04 65,79	r04 65,70	35,20	12,40	42,50	61,30	17,60	10,30	7,80	46,90	25,32	36,11			
1970/71	4,90	6,20	13,80	43,70	41,20	25,00	24,40	38,70	23,60	9,20	3,80	4,00	22,47	17,28	19,88			
1971/72	2,50	9,50	14,80	53,90	37,70	29,60	32,40	34,50	26,50	11,00	8,80	8,10	24,67	20,22	22,44			
1972/73	6,60	86,50	147,00	64,50	135,00	105,00	98,30	100,00	166,00	116,00	51,10	25,10	90,77	92,75	91,76			
1973/74	14,50	44,80	34,80	80,80	49,30	31,50	26,30	54,10	44,90	19,30	16,40	9,80	42,62	28,47	35,54			
1974/75	4,70	52,40	103,00	75,70	46,30	44,40	44,50	55,60	48,40	29,30	14,60	11,20	54,42	33,93	44,18			
1975/76	15,10	23,90	41,70	112,80	62,70	20,80	14,20	18,30	19,70	19,00	7,10	6,50	46,17	14,13	30,15			
1976/77	4,60	3,30	34,90	10,30	3,40	8,10	13,70	14,50	12,60	7,30	3,60	9,33	r04 10,77	10,17	10,47			
1977/78	9,04	r04 29,48	r04 76,23	r04 171,19	r04 117,74	r04 76,02	r04 75,23	r04 105,01	r04 94,77	r04 46,87	r04 25,03	r04 14,65	r04 79,95	60,26	70,10			
1978/79	17,45	r04 14,81	r04 19,54	r04 304,44	r04 68,07	r04 70,84	r04 94,87	r04 113,55	r04 135,40	r04 79,71	r04 31,25	r04 13,12	r04 82,53	77,98	80,25			
1979/80	10,36	r04 23,22	r04 19,50	r04 86,62	r04 163,76	r04 96,45	r04 40,78	r04 51,15	r04 88,90	r04 55,46	r04 26,80	r04 12,09	r04 66,65	45,86	56,26			
1980/81	#####	r04 131,55	r04 144,25	r04 147,73	r04 74,35	r04 37,19	r04 29,06	r04 40,28	r04 68,01	r04 34,48	r04 17,74	r04 7,65	r04 108,37	32,87	70,62			
1981/82	10,44	r07 124,57	r04 85,08	r04 53,09	r04 52,15	r04 26,05	r04 21,33	r04 34,66	r04 16,76	r04 12,64	r04 13,93	r04 9,74	r04 58,56	18,18	38,37			
1982/83	0,05	r04 19,88	r04 106,36	r04 200,44	r04 96,09	r04 115,47	r04 70,45	r04 74,71	r04 138,29	r04 97,74	r04 51,25	r04 23,28	r04 89,71	75,95	82,83			
1983/84	31,42	r04 17,16	r04 26,89	r04 46,27	r04 45,22	r04 33,02	r04 37,90	r04 54,21	r04 37,56	r04 19,01	r04 16,82	r04 9,79	r04 33,33	29,22	31,27			
1984/85	4,57	r04 14,85	r04 30,08	r04 106,36	r04 47,03	r04 58,63	r04 84,07	r04 73,95	r04 112,68	r04 68,97	r04 30,64	r04 21,14	r04 43,59	65,24	54,42			
1985/86	28,00	r04 30,44	r04 33,14	r04 63,48	r04 24,57	r04 12,62	r04 23,38	r04 32,75	r04 11,86	r04 9,00	r04 9,86	r04 9,75	r04 32,04	16,10	24,07			
1986/87	26,20	r04 55,87	r04 185,76	r04 88,01	r04 111,09	r04 40,30	r04 56,15	r04 47,35	r04 73,19	r04 21,73	r09 26,54	r04 19,15	r04 84,54	40,69	62,61			
1987/88	3,07	r04 39,65	r04 84,59	r04 136,48	r04 122,24	r04 55,77	r04 70,24	r04 82,81	r04 70,72	r04 37,40	r04 25,61	r04 14,34	r04 73,63	50,19	61,91			
1988/89	19,84	r04 10,89	r04 19,59	r04 32,16	r04 58,71	r04 28,66	r04 25,23	r04 39,48	r04 16,16	r04 11,88	r04 11,36	r04 6,08	r04 28,31	18,36	23,34			
1989/90	0,54	r04 10,60	r04 15,37	r04 16,34	r04 83,61	r04 38,99	r04 32,43	r04 45,05	r04 13,84	r04 6,84	r04 7,16	r04 5,15	r04 27,58	18,41	22,99			
1990/91	12,40	r04 17,07	r04 18,12	r04 23,77	r04 31,24	r04 55,78	r04 31,80	r04 30,25	r04 13,26	r04 10,75	r04 10,18	r04 5,75	r04 26,40	17,00	21,70			
1991/92	24,01	r04 108,94	r04 115,91	r04 141,62	r04 56,77	r04 52,73	r04 30,83	r04 55,98	r04 37,97	r04 24,98	r04 20,38	r04 11,97	r04 83,33	30,35	56,84			

1992/93	14,42	r04	95,73	r04	138,93	r04	115,43	r04	46,29	r04	62,91	r04	61,87	r04	83,79	r04	82,58	r04	51,21	r04	29,74	r04	15,26	r04	78,95	54,08	66,51
1993/94	32,69	r04	69,64	r04	154,02	r04	119,97	r04	55,43	r04	41,21	r04	33,62	r04	45,72	r04	51,96	r04	30,40	r04	20,56	r04	12,63	r04	78,82	32,48	55,65
1994/95	24,11	r04	29,93	r04	64,29	r04	156,03	r04	54,61	r04	42,01	r04	35,06	r04	62,64	r04	47,49	r04	15,17	r04	19,80	r04	10,38	r04	61,83	31,76	46,79
1995/96	22,44	r04	21,80	r04	89,78	r04	70,60	r04	63,13	r04	78,15	r04	46,40	r04	69,97	r04	65,22	r04	29,34	r04	19,65	r04	10,27	r04	57,65	40,14	48,89
1996/97	9,19	r04	9,72	r04	31,62	r04	29,55	r04	44,63	r04	30,33	r04	16,88	r04	10,41	r04	14,05	r04	11,77	r04	4,27	r04	5,99	r04	25,84	10,56	18,20
1997/98	27,05	r04	31,31	r04	144,85	r04	107,69	r04	151,53	r04	151,65	r04	85,77	r04	89,28	r04	141,28	r04	80,91	r04	40,76	r04	20,45	r04	102,35	76,41	89,38
1998/99	49,05	r04	24,18	r04	33,35	r04	26,00	r04	16,52	r04	9,12	r04	1,34	r04	1,31	r04	16,77	r04	4,02	r04	9,41	r04	6,49	r04	26,37	6,56	16,46
1999/00	10,68	r04	7,30	r04	23,75	r04	26,64	r04	41,77	r04	92,27	r04	50,51	r04	77,14	r04	50,30	r04	19,13	r04	22,46	r04	10,98	r04	33,74	38,42	36,08
2000/01	4,44	r04	7,89	r04	141,17	r04	133,48	r04	46,46	r04	76,67	r04	60,91	r04	87,69	r04	124,51	r04	58,31	r04	28,32	r04	13,40	r04	68,35	62,19	65,27
2001/02	1,15	r04	42,86	r04	86,05	r04	208,54	r04	161,94	r04	73,64	r04	46,11	r04	57,56	r04	92,15	r04	41,29	r04	24,91	r04	15,30	r04	95,70	46,22	70,96
2002/03	11,98	r04	47,79	r04	91,68	r04	84,53	r04	311,23	r04	105,18	r04	72,24	r04	110,96	r04	147,95	r04	112,83	r04	26,73	r04	16,82	r04	108,73	81,25	94,99
2003/04	16,27	r04	12,78	r04	103,92	r04	62,48	r04	31,26	r04	34,31	r04	30,02	r04	34,68	r04	20,25	r04	14,99	r04	12,25	r04	9,76	r04	43,50	20,32	31,91
2004/05	62,78	r04	14,06	r04	45,87	r04	60,49	r04	61,89	r04	83,00	r04	38,93	r04	42,53	r04	28,89	r04	11,45	r04	12,85	r04	10,88	r04	54,68	24,25	39,47
2005/06	6,74	r04	51,78	r04	204,42	r04	135,06	r04	204,62	r04	74,75	r04	48,73	r04	84,13	r04	104,66	r04	78,35	r04	37,86	r04	12,52	r04	112,90	61,04	86,97
2006/07	18,40	r04	36,01	r04	111,34	r04	177,99	r04	99,09	r04	56,04	r04	55,82	r04	66,98	r04	77,97	r04	50,94	r04	22,40	r04	12,03	r04	83,15	47,69	65,42
2007/08	8,41	r04	9,95	r04	17,73	r04	35,20	r04	24,07	r04	33,77	r04	35,72	r04	41,39	r04	18,48	r04	12,54	r04	10,16	r04	6,45	r04	21,52	20,79	21,16
2008/09	0,29	r04	102,67	r04	84,99	r04	72,15	r04	56,71	r07	45,96	r07	38,56	r07	90,70	r04	29,41	r04	12,29	r04	11,02	r04	8,49	r04	60,46	31,74	46,10
2009/10	8,41	r04	33,53	r04	37,91	r04	38,79	r04	71,80	r04	95,82	r04	34,79	r04	34,94	r04	48,95	r04	22,00	r04	14,45	r04	11,37	r04	47,71	27,75	37,73
2010/11	8,89	r04	10,25	r04	21,69	r04	21,51	r04	21,01	r04	21,13	r04	32,94	r04	17,80	r04	14,67	r04	12,16	r04	3,18	r04	3,96	r04	17,41	14,12	15,77
2011/12	8,79	r04	9,54	r04	14,70	r04	16,86	r04	43,82	r04	47,08	r04	25,36	r04	29,44	r04	7,41	r04	1,31	r04	5,04	r04	3,62	r04	23,47	12,03	17,75
2012/13	10,21	r04	42,87	r04	75,59	r04	66,33	r04	27,79	r04	28,13	r04	18,65	r04	25,74	r04	21,94	r04	14,07	r04	10,55	r04	7,08	r04	41,82	16,34	29,08
2013/14	0,57	r04	8,02	r04	16,57	r04	25,09	r04	26,65	r04	34,81	r04	14,94	r04	17,95	r04	19,33	r04	11,59	r04	3,14	r04	3,45	r04	18,62	11,74	15,18
2014/15	8,40	r04	9,06	r04	22,56	r04	27,51	r04	75,43	r04	49,66	r04	32,08	r04	42,41	r04	18,92	r04	8,56	r04	7,20	r04	5,15	r04	32,10	19,05	25,58

ROMEDI	16,94		33,86		66,98		82,77		71,13		52,01		40,62		53,08		55,10		31,97		17,87		10,58		53,95	34,87	44,41
DES EST	20,42		32,08		51,55		61,36		57,00		30,52		22,75		28,42		43,14		29,29		11,73		5,03		29,47	22,05	24,42
COEF VAR	1,21		0,95		0,77		0,74		0,80		0,59		0,56		0,54		0,78		0,92		0,66		0,48		0,55	0,63	0,55
MÁXIMO	#####		131,55		204,42		304,44		311,23		151,65		98,30		113,55		166,00		116,00		51,25		25,10		112,90	92,75	94,99
MÍNIMO	0,05		3,30		2,50		2,30		3,40		2,80		1,34		1,31		3,40		1,31		3,00		3,45		3,48	3,83	3,66

Fuente: DGA

ck: corregido por correlacion mensual con estacion k

A-S: Abril - Semptiembre

rk: rellenado por correlacion mensual con estacion k

O-M: Octubre - Marzo

Tabla C.8: Estadística corregida, rellenada y extendida de la estación fluviométrica: 07 Río Colorado en junta con el Palos. Fuente: Elaboración propia

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m3/s)																											
AÑO	ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC		ENE		FEB		MAR		A-S	O-M	AÑO
1964/65	18,27	r04	14,70	r04	14,94	r04	18,86	r04	14,87	r04	25,91	r04	41,72	r04	64,45	r03	60,64	r04	33,11	r04	18,72	r04	15,50	r04	17,92	39,02	28,47
1965/66	35,05	r04	29,21	r04	32,53	r04	37,02	r04	58,22	r04	32,03	r04	54,22	r04	92,54	r04	100,17	r04	87,78	r04	37,73	r04	27,73	r04	37,34	66,70	52,02
1966/67	26,71	r04	26,13	r04	45,19	r04	43,18	r04	27,25	r04	38,86	r04	60,22	r04	98,76	r04	116,02	r04	103,03	r04	53,20	r04	25,63		34,55	76,14	55,35
1967/68	19,10		18,63		16,36		15,29		16,43		21,32		50,36		75,22		79,73		34,29		24,64		15,41		17,86	46,61	32,23
1968/69	12,73		11,84		10,79		10,17		11,10		13,22		15,78		25,48		16,52		15,31		12,91		11,23		11,64	16,21	13,92
1969/70	10,83		19,46		29,88		33,41		28,71		28,42		27,70		66,28		97,53		78,40		22,21		16,39		25,12	51,42	38,27
1970/71	12,55		13,01		15,71		21,04		20,18		23,45		57,80		67,17		60,51		27,14		17,84		13,76		17,66	40,70	29,18
1971/72	11,35		17,61		15,33		34,57		31,90		27,20		50,58		84,93		62,84		35,40		22,08		18,87		22,99	45,78	34,39
1972/73	15,37		53,25		94,60		41,37		109,46		48,55		55,54		76,93		139,95		128,94		77,10		43,25		60,43	86,95	73,69
1973/74	25,33		40,43		23,69		36,45		25,82		27,47		45,83	r04	92,02		83,33		48,93		29,97		17,50	r04	29,87	52,93	41,40
1974/75	14,39	r04	16,34		24,33		19,13		22,81		27,33		50,49		79,59		84,37		67,17		34,10		20,22		20,72	55,99	38,36
1975/76	21,15		24,03		26,96		41,62		26,39		28,66		42,17		77,36		106,06		38,07		29,52		20,46		28,14	52,27	40,20
1976/77	16,34		14,54		19,23		18,50		16,72		23,40		43,04		77,18		72,56		38,81		22,32		17,36		18,12	45,21	31,67
1977/78	13,78		22,88		37,54		58,66		37,75		47,15		67,06		105,43		127,48		85,99		48,00		27,89		36,29	76,98	56,63
1978/79	17,68		18,57		24,69		65,19		29,83		38,11		71,37		100,92		137,10		110,85		54,73		32,01		32,35	84,50	58,42
1979/80	23,91		28,28		21,97		48,49		72,71		54,86		48,53		71,58		114,03		94,10		49,45		29,88		41,70	67,93	54,82
1980/81	51,61		72,91		61,99		50,01		31,87		28,12		39,78		65,50		100,31		54,14		33,75		22,41		49,42	52,65	51,03
1981/82	18,79		70,07		42,97		27,50		30,70		25,06		38,76		67,79		56,03		32,39		21,21		16,73		35,85	38,82	37,33
1982/83	13,32		20,97		58,25		69,07		40,09		62,04		59,99		74,70		158,40	r04	132,18	r04	76,63		51,08		43,96	92,16	68,06
1983/84	28,71		22,35		23,12		27,49		29,70		28,13		51,30		92,18		78,82		39,76		24,68		17,81		26,58	50,76	38,67
1984/85	13,35		16,31		19,74		43,19		26,58		40,07		73,59		86,37		135,52		113,17		58,80		35,25		26,54	83,78	55,16
1985/86	25,77		34,43		29,36		41,14		22,50		24,67		48,45		78,70		57,14		29,64		23,91		18,06		29,65	42,65	36,15
1986/87	25,08		22,59		86,62	r04	36,50	r04	48,17	r04	30,64	r04	57,24	r04	75,19	r04	103,24	r04	65,23	r03	35,94		25,02		41,60	60,31	50,95
1987/88	17,37		17,07		24,87		66,11		47,25		37,17		72,12		110,73		108,92		69,31		39,66		23,51		34,97	70,71	52,84
1988/89	17,59		15,87		17,14		21,48		30,87		25,17		43,31		88,18		60,34		28,26		20,75		15,94		21,35	42,80	32,08
1989/90	11,40		10,85		11,17		13,05		32,54		29,91		48,17		82,87		47,16		24,80		19,65		14,48		18,15	39,52	28,84
1990/91	21,88		21,20		15,03		15,74		21,05		34,10		40,00		57,91		49,67		29,13		18,40		15,26		21,50	35,06	28,28
1991/92	18,14		69,94		53,46		46,25		27,03		41,66		49,97		82,74		77,74		52,94		29,02		19,88		42,75	52,05	47,40

1992/93	19,56		63,72		58,89		33,17		21,15		36,34		60,48		110,84		131,58		49,78		37,43		17,77		38,81		67,98		53,39
1993/94	16,39		74,28		73,30	c04	52,61		30,53		31,41		50,38		83,00		99,86		67,28		30,65		23,71		46,42		59,15		52,78
1994/95	18,61		12,25		31,80		54,40		25,53		32,41		51,45		98,62		73,83		44,76		28,62		21,71		29,17		53,17		41,17
1995/96	28,50		55,20		62,63		34,42		30,46		47,71		51,62		103,59		93,13		37,59		30,29		24,38		43,15		56,77		49,96
1996/97	22,17		19,42		28,52		20,06		25,23		27,39		42,36		36,78		23,13		18,35		17,10		14,80		23,80		25,42		24,61
1997/98	13,75		26,04		73,77		42,27		60,90		71,14	c04	49,08		84,97		142,10		119,34		47,38		32,56		47,98		79,24		63,61
1998/99	25,87		21,92		22,24		15,90		15,25		17,49		26,02		22,51		19,77		17,84		16,13		13,04		19,78		19,22		19,50
1999/00	11,69		11,61		17,05		17,73		26,78		43,75		58,85		102,79		86,98		39,97		25,96		17,82		21,44		55,40		38,42
2000/01	15,42		14,59		63,07		58,53		29,05		49,00		66,58		96,25		150,87		89,34		46,60		23,86		38,28		78,92		58,60
2001/02	19,88		39,58		38,34		74,93		59,27		39,20		52,27		86,39		134,29		63,53		33,51		29,21		45,20		66,53		55,87
2002/03	20,23		45,24		45,52		35,40		109,24		56,64		67,07		117,29		168,07		140,44		64,83		35,77		52,05		98,91		75,48
2003/04	21,31		19,34		58,00		26,19		18,07		24,54		45,28		71,18		54,93		30,61		19,17		16,39		27,91		39,59		33,75
2004/05	45,89		15,42		26,42		27,57		27,82		45,44		43,89		66,39		62,98		31,47		20,66	%	15,54		31,43		40,16		35,79
2005/06	13,02		34,69		88,87		52,66		82,13		45,41		54,04		106,42		137,76		126,07		67,77		32,48		52,80		87,42		70,11
2006/07	25,80		31,36		58,12		70,26		43,22		39,74		60,81		92,57		116,15		86,89		39,57		24,33		44,75		70,05		57,40
2007/08	16,47		13,57		13,98		18,78		15,86		25,65		53,47		72,60		47,92		24,61		17,45		13,27		17,39		38,22		27,80
2008/09	12,22		108,60		69,33		30,91		38,97		31,42		48,92		89,55		60,14		29,61		16,64		12,06		48,58		42,82		45,70
2009/10	12,04		23,64		19,80		26,47		28,47		39,96		43,37		55,22		84,05		45,86	r04	27,14	r04	22,43	r04	25,06		46,34		35,70
2010/11	16,79	r04	14,45		16,20		16,17		20,65		29,56		46,59	c04	60,83		32,96	r04	18,00		15,11		12,67		18,97		31,03		25,00
2011/12	15,92		13,76		13,05		14,88		29,95		38,89		55,33		80,26		51,26		22,64		14,52		12,47		21,08		39,41		30,24
2012/13	11,30		28,26		40,02		29,27		19,59		28,51		37,04		52,08		49,66		36,82		9,74		11,49		26,16		32,80		29,48
2013/14	13,20		12,20		13,85		21,42		19,59		30,54		36,73		53,33		34,36		18,95		14,29		11,96		18,47		28,27		23,37
2014/15	10,61		16,80		17,09		18,61		33,71		33,61		48,83		71,12		55,15		30,27		17,59		13,49		21,74		39,41		30,57

PROM	19,30		29,01		36,22		35,16		34,31		34,87		50,11		79,08		86,33		56,63		31,67		21,21		31,48		54,17		42,83
DESVES	8,22		20,85		22,78		17,09		21,05		11,38		11,35		20,30		38,47		35,31		16,72		8,50		11,77		19,56		14,59
COEF VAR	0,43		0,72		0,63		0,49		0,61		0,33		0,23		0,26		0,45		0,62		0,53		0,40		0,37		0,36		0,34
MAX	51,61		108,60		94,60		74,93		109,46		71,14		73,59		117,29		168,07		140,44		77,10		51,08		60,43		98,91		75,48
MIN	10,61		10,85		10,79		10,17		11,10		13,22		15,78		22,51		16,52		15,31		9,74		11,23		11,64		16,21		13,92

Fuente: DGA

ck: corregido por correlacion mensual con estacion k

A-S: Abril - Semptiembre

rk: rellenado por correlacion mensual con estacion k

O-M: Octubre - Marzo

Tabla C.9: Estadística corregida, rellenada y extendida de la estación fluviométrica: 08 Río palos en junta con el Colorado. Fuente: Elaboración propia

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m3/s)																											
AÑO	ABR		MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT		NOV		DIC		ENE		FEB		MAR		A-S	O-M	AÑO
1964/65	16,54	r04	12,78	r04	13,54	r04	14,38	r04	10,71	r04	18,65	r04	24,50	r04	31,66	r03	32,16	r04	21,73	r04	14,24	r04	13,43	r04	14,43	22,95	18,69
1965/66	33,81	r04	21,81	r04	24,56	r04	29,25	r04	45,37	r04	22,97	r04	33,74	r04	46,90	r04	49,20	r04	46,74	r04	27,01	r04	22,95	r04	29,63	37,76	33,69
1966/67	25,23	r04	19,89	r04	32,50	r04	34,30	r04	20,60	r04	27,79	r04	38,17	r04	50,11	r04	56,03	r04	53,72	r04	37,41	r04	24,46		26,72	43,32	35,02
1967/68	18,62		17,07		14,56		12,52		12,84		18,47		29,73		36,61		32,11		13,88		10,33		10,93		15,68	22,27	18,97
1968/69	12,15		10,74		9,45		8,49		9,58		12,20		11,93		16,84		13,33		9,63		7,94		7,56		10,44	11,21	10,82
1969/70	8,24		15,37		36,85		22,28		18,45		18,94		17,83		32,05		43,92		26,98		18,37		14,82		20,02	25,66	22,84
1970/71	12,07		11,30		12,42		15,36		14,61		16,11		30,54		33,88		34,74		22,68		14,64		11,91		13,65	24,73	19,19
1971/72	10,37		15,99		14,28		26,99		23,19		16,33		31,01	r07	42,75	r07	33,40	r07	23,37	r07	17,05	r07	16,16	r07	17,86	27,29	22,57
1972/73	14,04	r07	35,53	r07	65,60	r07	27,50		56,93		33,90		33,47		37,27		80,90		66,48		45,84		30,94		38,92	49,15	44,03
1973/74	20,78		30,16		18,69		23,90		17,66		20,09	r07	27,54	r04	37,43		37,59		28,96		20,06		15,43		21,88	27,84	24,86
1974/75	12,74		25,30		25,22		21,08		17,54		18,51		27,14		39,47		41,75		33,47		25,19		17,10		20,07	30,69	25,38
1975/76	18,35		19,52		22,83		35,98		22,75		22,71		29,64		44,09		56,84		38,68		23,28		17,06		23,69	34,93	29,31
1976/77	14,38		12,69		26,04		14,24		12,24		17,50	r07	24,17		36,76		36,47		24,79		16,41		15,07	r07	16,18	25,61	20,90
1977/78	12,72	r07	18,41	r07	27,10		47,11		31,58		29,54		38,10		56,10		59,87		44,95		31,99		22,10		27,74	42,19	34,96
1978/79	17,14		17,44		19,82		64,00		24,10		28,30		48,48		55,54		66,62		53,16		37,13		25,61		28,47	47,76	38,11
1979/80	18,85		20,86		15,88		43,97		55,69		39,17		31,96		38,33		57,88		41,54		29,42		23,09		32,40	37,04	34,72
1980/81	44,18	c07	46,36		52,97		38,79		27,44		23,08		26,12		32,65		42,57		32,75		25,72		20,35		38,80	30,03	34,41
1981/82	17,53		49,33		30,88		22,31		23,29		19,64		22,96		32,03		28,37		21,74		17,61		15,62		27,16	23,06	25,11
1982/83	13,36		15,82		38,72		49,96		29,04		41,76		38,42		44,69		63,47		66,37		54,28		36,60		31,44	50,64	41,04
1983/84	25,93		19,65		19,78		20,76		18,00		20,79		29,00		45,27		41,91		28,47		20,80		15,57		20,82	30,17	25,49
1984/85	13,03		14,40		15,42		31,22		18,11		25,99		44,44		48,53		65,64		51,11		38,70		27,96		19,70	46,06	32,88
1985/86	22,25		26,35		20,74		28,04		17,84		17,76		28,61		37,81		31,33		20,97		16,79		13,44		22,16	24,83	23,49
1986/87	18,19		15,34		58,45	r04	28,83	r04	37,33	r04	21,98	r04	35,97	r04	37,93	r04	50,52	r04	37,39	r03	28,05		22,42		30,02	35,38	32,70
1987/88	16,92		15,40		18,76		48,20		36,93		29,97		47,95		58,19		55,58		42,54		28,02		19,46		27,70	41,96	34,83
1988/89	15,75		15,23		16,31		18,52		24,10		20,13		27,44		43,11		38,67		18,04		15,52		12,91		18,34	25,95	22,14
1989/90	11,33		10,86		11,14		11,95		24,25		22,32		29,42		43,67		30,47		18,69		14,87		12,78		15,31	24,98	20,15
1990/91	17,44		16,03		13,62		14,21		16,53		24,31		24,32		29,61		26,20		18,73		14,60		12,51		17,02	21,00	19,01
1991/92	14,28		60,86		36,47		33,77		19,86		24,88		26,83		39,39		41,52		34,98		24,65		19,66		31,69	31,17	31,43

1992/93	18,10		37,74	38,71	28,32	22,62	26,75	37,16	53,90	59,53	48,03	31,31	22,37	28,71	42,05	35,38
1993/94	20,84		35,85	45,68	28,27	24,24	24,30	28,28	37,73	46,19	33,01	23,63	19,12	29,86	31,33	30,60
1994/95	17,92		18,60	24,80	44,39	25,40	26,37	31,10	41,28	44,07	31,78	22,25	18,59	26,25	31,51	28,88
1995/96	23,12		20,20	38,12	30,57	26,00	34,69	35,25	53,20	51,87	31,99	22,28	19,53	28,78	35,69	32,24
1996/97	18,45		15,86	23,40	18,41	20,52	20,92	27,07	26,29	17,46	14,77	11,94	10,95	19,59	18,08	18,84
1997/98	18,35		18,16	41,47	25,14	36,29	54,84	45,72	53,16	68,24	58,91	39,77	27,93	32,38	48,96	40,67
1998/99	25,89		19,52	19,44	15,39	13,17	13,97	17,47	14,76	12,45	10,97	9,83	10,04	17,90	12,59	15,24
1999/00	9,57		9,52	13,62	14,08	20,09	31,06	35,56	51,03	42,08	25,03	20,30	15,16	16,32	31,53	23,93
2000/01	13,60		12,59	56,73	48,22	23,60	34,85	41,14	50,11	72,27	50,95	35,69	22,23	31,60	45,40	38,50
2001/02	18,13		31,51	32,76	55,05	45,48	32,58	32,25	42,43	58,22	37,66	25,69	29,28	35,92	37,59	36,75
2002/03	21,98		36,95	36,32	28,62	103,58	37,87	38,12	55,46	73,12	67,55	37,45	22,90	44,22	49,10	46,66
2003/04	15,61		12,99	40,13	25,76	18,70	20,94	29,52	38,53	31,30	21,89	16,58	14,70	22,36	25,42	23,89
2004/05	40,29		13,98	19,53	20,20	20,05	28,25	24,90	36,39	34,72	20,19	13,73	11,28	23,72	23,54	23,63
2005/06	9,72		22,40	62,19	44,97	65,36	36,90	37,08	59,56	67,71	65,68	46,15	29,91	40,26	51,02	45,64
2006/07	24,94		33,63	49,67	62,74	32,68	r07 31,36	42,57	49,51	57,28	48,85	31,78	22,06	39,17	42,01	40,59
2007/08	16,64		13,48	13,13	17,10	13,92	18,08	28,19	37,92	30,09	17,99	13,57	10,64	15,39	23,07	19,23
2008/09	8,80		67,46	49,26	r07 21,70	29,60	r07 22,60	r07 30,00	r07 34,84	28,01	17,08	12,96	11,67	33,24	22,43	27,83
2009/10	10,35		21,32	18,94	23,95	25,07	26,86	24,50	29,24	40,08	27,56	r04 19,90	r04 18,83	r04 21,08	26,68	23,88
2010/11	15,01	r04	11,78	12,87	12,38	13,52	15,25	28,17	29,22	18,19	12,11	10,20	9,66	13,47	17,93	15,70
2011/12	11,12		10,07	10,30	11,33	18,59	20,19	26,30	35,44	30,65	17,63	12,94	11,24	13,60	22,37	17,98
2012/13	10,53		14,52	24,60	19,99	15,16	17,17	20,35	25,01	25,38	23,43	r04 13,13	12,06	17,00	19,89	18,44
2013/14	11,22		11,36	12,26	15,29	14,38	19,47	20,75	25,62	19,90	13,71	11,57	10,82	14,00	17,06	15,53
2014/15	10,95		13,55	13,57	14,33	24,50	22,30	26,56	31,93	28,22	20,64	14,66	12,16	16,53	22,36	19,45

PROM	17,40		21,83	27,65	27,73	26,26	24,93	30,73	40,02	43,26	32,55	23,00	17,86	24,30	31,24	27,77
DESVES	7,29		12,70	15,05	13,77	16,21	8,13	7,72	10,24	16,76	16,09	10,77	6,53	8,36	10,59	8,87
COEF VAR	0,42		0,58	0,54	0,50	0,62	0,33	0,25	0,26	0,39	0,49	0,47	0,37	0,34	0,34	0,32
MAX	44,18		67,46	65,60	64,00	103,58	54,84	48,48	59,56	80,90	67,55	54,28	36,60	44,22	51,02	46,66
MIN	8,24		9,52	9,45	8,49	9,58	12,20	11,93	14,76	12,45	9,63	7,94	7,56	10,44	11,21	10,82

Fuente: DGA

ck: corregido por correlacion mensual con estacion k

A-S: Abril - Semptiembre

rk: rellenado por correlacion mensual con estacion k

O-M: Octubre - Marzo

Tabla C.10: Estadística corregida, rellenada y extendida de la estación fluviométrica: 09 Estero Upeo en Upeo. Fuente: Elaboración propia

CAUDALES MEDIOS MENSUALES (m3/s)																											
AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	A-S	O-M	AÑO												
1964/65	0,81	0,70	2,67	5,77	9,91	16,96	6,33	3,69	5,76	1,46	0,77	0,47	6,14	3,08	4,61												
1965/66	8,49	11,59	13,22	16,55	27,24	12,03	16,75	12,06	7,37	2,60	1,55	1,24	14,85	6,93	10,89												
1966/67	3,31	3,16	27,83	21,51	11,84	13,00	11,83	12,13	4,14	c04	2,53	c04	2,01	1,31	13,44	5,66	9,55										
1967/68	0,85	2,79	1,48	4,59	5,47	7,84	10,43	5,43	2,46	1,20	0,60	0,75	3,84	3,48	3,66												
1968/69	0,90	0,71	0,62	0,62	1,24	1,44	1,31	0,65	0,68	0,36	0,09	0,10	0,92	0,53	0,73												
1969/70	0,71	4,99	19,66	10,84	10,69	5,34	3,46	3,36	2,40	1,31	0,69	0,45	r04	8,71	1,95	5,33											
1970/71	0,29	1,66	3,75	11,77	10,13	7,39	7,64	4,87	2,13	0,84	0,34	0,27	5,83	2,68	4,26												
1971/72	0,31	1,76	4,96	14,34	13,38	4,86	6,53	2,78	1,26	0,52	0,30	0,61	6,60	2,00	4,30												
1972/73	0,51	17,03	r04	38,11	r04	11,90	r04	31,25	r04	19,66	r04	11,16	r04	6,55	r04	5,78	r04	3,59	r04	1,82	r04	0,91	r04	19,74	4,97	12,36	
1973/74	1,83	r04	14,51	r04	9,14	r04	16,59	r04	9,74	r04	9,83	r04	6,41	r04	5,24	r04	3,14	r04	1,15	r04	0,58	r04	0,48	r04	10,27	2,83	6,55
1974/75	0,20	r04	2,38	r07	7,63	r07	16,78	r04	10,08	r04	6,20	r04	7,11	r04	4,23	r04	2,82	r04	1,45	r04	0,50	r04	0,36		7,21	2,74	4,98
1975/76	1,39	5,20	13,97	14,98	c04	12,96	c04	1,89	2,65	3,01	5,12	1,20	c04	0,62	0,51	8,40	2,19	5,29									
1976/77	0,55	0,69	5,95	3,54	3,44	4,75	11,85	9,53	2,92	0,93	0,41	0,30	3,15	4,32	3,74												
1977/78	0,38	3,44	11,54	38,04	18,82	12,12	14,05	13,49	7,28	2,77	0,92	0,54	14,06	6,51	10,28												
1978/79	0,44	1,32	6,71	51,30	7,61	12,58	11,02	15,86	6,92	2,60	1,29	0,86	13,33	6,43	9,88												
1979/80	0,79	3,69	1,61	17,73	38,09	23,70	9,09	7,60	4,15	c04	2,48	2,19	0,63	c04	14,27	4,36	9,31										
1980/81	14,01	36,78	46,85	22,71	13,84	4,81	5,86	3,61	2,84	1,39	0,55	0,34	23,17	2,43	12,80												
1981/82	0,92	24,52	18,71	10,11	12,61	5,58	3,69	2,37	0,96	0,83	0,58	0,77	12,08	1,53	6,80												
1982/83	1,08	7,32	52,35	47,72	18,15	29,70	21,74	9,94	6,79	3,81	2,07	1,15	26,05	7,58	16,82												
1983/84	1,02	2,02	6,35	13,46	10,25	8,36	6,81	4,42	2,18	1,26	0,55	0,52	6,91	2,62	4,77												
1984/85	0,76	3,43	6,73	35,45	11,06	14,68	16,85	12,72	2,72	3,16	1,53	1,15	12,02	6,36	9,19												
1985/86	1,71	7,36	5,73	12,02	4,03	3,04	6,65	3,60	1,68	1,13	0,27	0,39	5,65	2,29	3,97												
1986/87	3,27	11,45	53,51	7,59	19,91	7,10	6,16	5,83	4,24	1,30	0,65	0,65	17,14	3,14	10,14												
1987/88	0,91	2,37	4,69	14,74	37,62	11,20	15,38	5,44	2,42	1,38	0,93	0,66	11,92	4,37	8,15												
1988/89	0,44	0,85	2,86	4,99	12,42	5,95	5,13	3,80	1,81	0,68	0,41	0,48	4,59	2,05	3,32												
1989/90	0,65	1,18	1,42	3,67	16,34	8,39	5,07	2,78	1,40	0,42	0,33	0,56	5,28	1,76	3,52												
1990/91	1,36	2,55	1,72	2,57	4,03	8,99	3,97	2,45	0,86	0,36	0,26	0,37	3,54	1,38	2,46												
1991/92	1,99	23,34	26,15	20,79	7,03	8,54	8,40	4,46	3,04	1,36	0,66	0,62	14,64	3,09	8,87												

1992/93	2,10	26,37	35,06	15,16	7,59	13,67	10,54	7,30	3,47	1,94	0,95	0,76	16,66	4,16	10,41	
1993/94	1,57	18,49	31,80	22,36	9,07	5,67	4,03	2,91	4,01	1,07	0,40	0,40	14,83	2,14	8,48	
1994/95	2,01	4,53	12,38	39,97	7,37	7,70	6,17	4,18	2,56	1,00	1,26	0,57	12,33	2,62	7,48	
1995/96	3,36	1,93	17,74	16,70	18,05	15,50	8,39	5,75	2,66	0,74	0,48	0,56	12,21	3,10	7,66	
1996/97	1,40	1,16	6,85	4,76	9,79	5,88	3,49	2,00	0,59	0,19	0,14	0,09	4,97	1,08	3,03	
1997/98	2,87	6,61	46,68	16,13	24,75	31,78	c04 24,86	9,61	6,14	2,10	1,51	0,79	21,47	7,50	14,49	
1998/99	2,69	1,48	1,85	0,35	0,78	1,73	1,12	0,43	0,18	0,12	0,12	0,12	1,48	0,35	0,91	
1999/00	0,16	0,70	6,21	5,95	14,55	28,31	9,89	r04 5,92	2,88	0,97	1,36	0,50	9,31	3,59	6,45	
2000/01	0,50	0,72	45,62	26,06	7,33	22,99	11,47	6,63	4,14	1,92	0,94	0,55	17,20	4,28	10,74	
2001/02	0,81	7,67	8,16	32,91	24,05	10,19	4,92	3,29	2,24	0,69	0,41	0,74	c04 13,97	2,05	8,01	
2002/03	1,33	10,35	18,69	13,36	54,52	16,96	11,83	7,12	4,06	3,23	0,68	0,41	19,20	4,56	11,88	
2003/04	0,24	1,80	18,28	6,21	3,30	4,68	5,36	3,83	2,07	1,27	0,56	0,82	5,75	2,32	4,04	
2004/05	5,33	1,01	6,22	8,05	8,39	12,92	4,67	4,53	1,92	0,66	0,45	0,45	6,99	2,11	4,55	
2005/06	0,48	13,51	46,47	22,61	40,37	15,77	7,27	8,40	r04 4,21	2,55	1,11	0,50	23,20	4,01	13,60	
2006/07	1,19	4,19	18,56	30,38	23,71	11,71	11,41	5,62	3,22	1,84	1,02	0,56	14,96	3,95	9,45	
2007/08	0,57	0,60	2,38	7,23	7,37	7,97	6,60	3,65	1,37	0,38	0,19	0,19	4,35	2,06	3,21	
2008/09	0,38	20,25	13,72	7,95	26,27	8,90	4,84	3,12	0,78	0,15	0,13	0,51	12,91	1,59	7,25	
2009/10	0,33	4,23	4,93	10,41	13,73	18,34	6,69	4,52	2,92	1,41	0,66	0,69	8,66	2,82	5,74	
2010/11	0,64	0,91	4,30	5,07	6,73	5,85	4,64	3,51	1,43	0,69	0,49	0,62	3,92	1,90	2,91	
2011/12	0,73	0,91	1,98	4,62	15,03	12,70	6,02	3,44	1,52	0,59	0,35	0,34	6,00	2,04	4,02	
2012/13	0,47	6,90	12,90	7,52	3,30	2,61	4,64	2,44	5,98	1,88	0,79	0,55	5,62	2,71	4,17	
2013/14	0,49	1,24	2,63	7,49	4,47	6,75	3,45	r04 1,20	0,69	0,33	0,27	0,45	3,85	1,06	2,45	
2014/15	0,96	3,32	2,45	*	4,91	15,20	13,07	4,55	4,34	r04 2,02	r04 1,07	0,52	0,46	6,65	2,16	4,41

PROM	1,58	6,62	14,94	15,08	14,41	10,93	8,04	5,40	3,07	1,39	0,75	0,57	10,59	3,20	6,90
DESVES	2,29	8,06	15,34	11,86	10,99	7,09	4,85	3,38	1,87	0,92	0,53	0,26	6,11	1,76	3,69
COEF VAR	1,45	1,22	1,03	0,79	0,76	0,65	0,60	0,63	0,61	0,66	0,71	0,46	0,58	0,55	0,53
MAX	14,01	36,78	53,51	51,30	54,52	31,78	24,86	15,86	7,37	3,81	2,19	1,31	26,05	7,58	16,82
MIN	0,16	0,60	0,62	0,35	0,78	1,44	1,12	0,43	0,18	0,12	0,09	0,09	0,92	0,35	0,73

Fuente: DGA

ck: corregido por correlacion mensual con estacion k

A-S: Abril - Semptiembre

rk: rellenado por correlacion mensual con estacion k

O-M: Octubre - Marzo

C.3 Curvas dobles másicas

A continuación se presentan las curvas dobles másicas anuales y estacionales de las estaciones fluviométricas analizadas en este estudio, respecto a la estación base: 04 Río Teno después de la Junta con Claro.

La denominación de E01, 02...09, en las siguientes figuras (C1 hasta la C3) corresponde a las estaciones fluviométricas y su respectivo número asociado de acuerdo a la tabla 3 en la sección 4.2 de este estudio.

Se observa en las 3 curvas una línea recta bien definida, por lo que los datos de las estadísticas rellenadas constan de buena confiabilidad, Homogeneidad y consistencia.

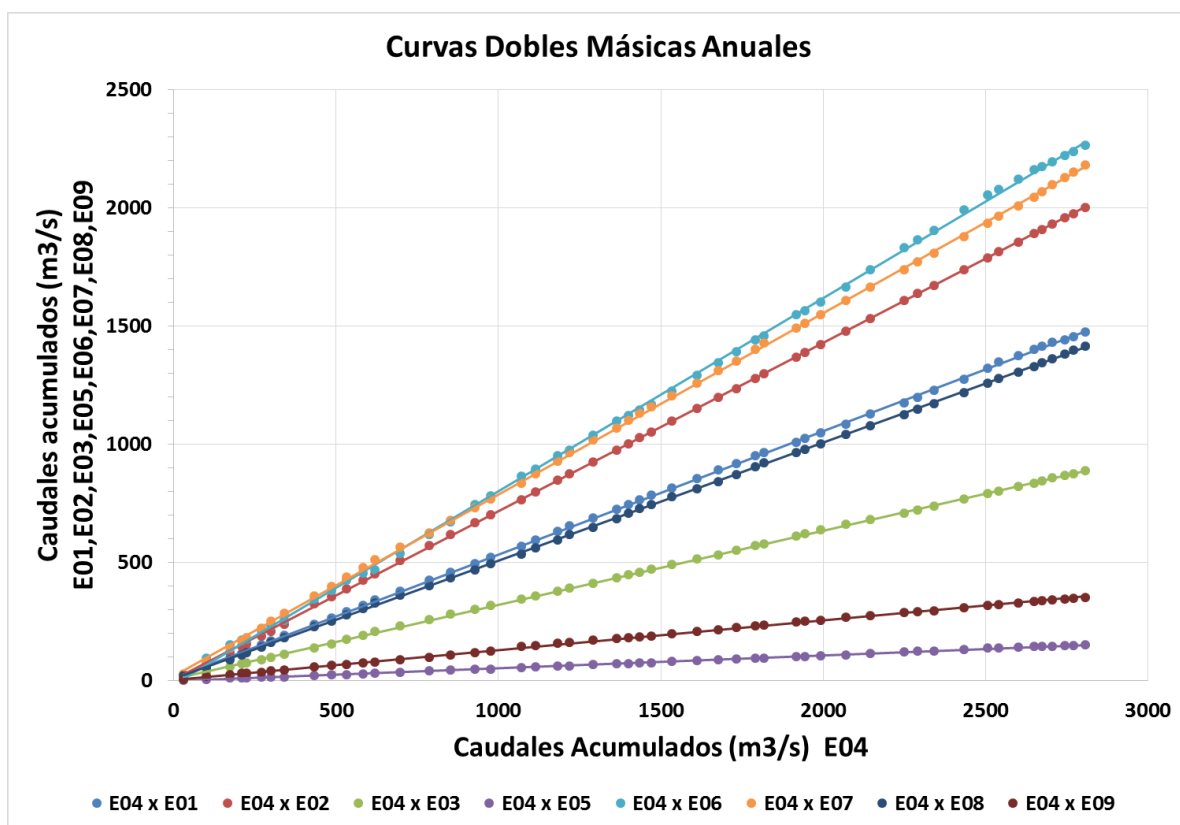


Figura C.1 Curvas dobles másicas anuales. Fuente: Elaboración propia

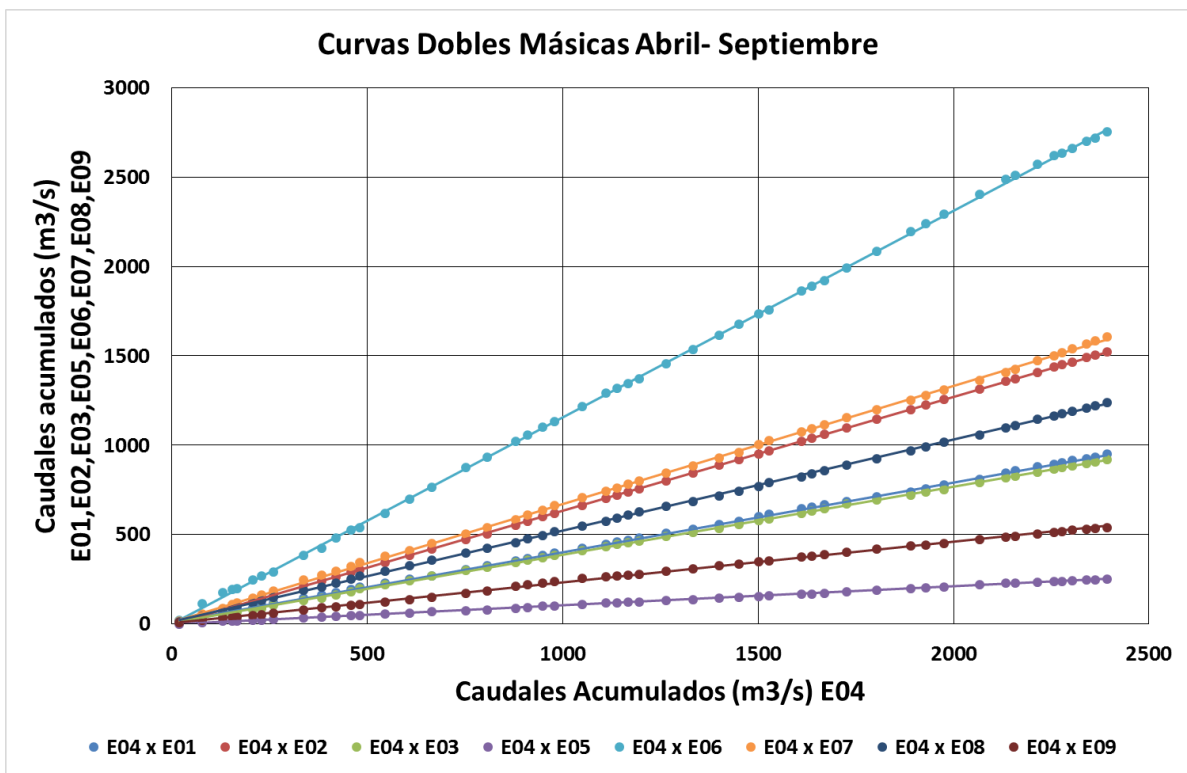


Figura C.2 Curvas dobles másicas estacionales: Abril – Setiembre. Fuente: Elaboración propia

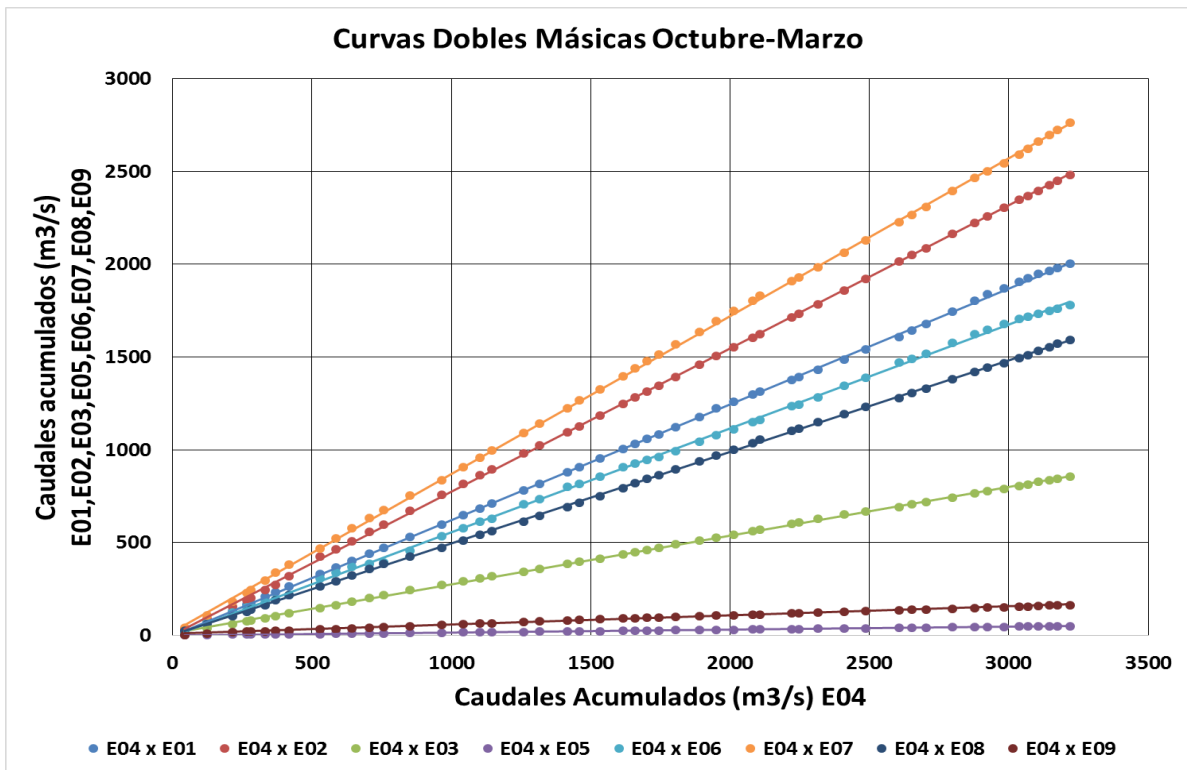


Figura C.3 Curvas dobles másicas estacionales: Octubre – Marzo. Fuente: Elaboración propia

Anexo D: Catastro de pozos

D.1 Catastro de pozos sección 5.3

A continuación se presenta el catastro de pozos utilizado para la realización y análisis de los 6 perfiles generados por la DGA, (2012), los cuales se observan en las Figuras 10 y 11.

Tabla D.1 Catastro de pozos utilizados por la DGA para el análisis de la estratigrafía de la cuenca de los ríos Tenó y Lontué. Fuente: DGA, 2012.

PERFIL	ID Pozo	Expediente DGA	Este	Norte	Datum	Huso
A-A'	68	ND-0701-1395	308872,32	6135019,61	WGS84	19
A-A'	69	ND-0701-1395	308757,33	6134835,62	WGS84	19
A-A'	16	ND-0701-969	307485,37	6134270,64	WGS84	19
A-A'	20	ND-0701-981	306718,41	6131360,74	WGS84	19
A-A'	19	ND-0701-976	309148,33	6128765,83	WGS84	19
A-A'	21	ND-0701-983	308552,35	6128405,85	WGS84	19
A-A'	4	ND-0701-758	303151,56	6117237,23	WGS84	19
A-A'	55	ND-0701-1309	303158,56	6113847,35	WGS84	19
B-B'	1	ND-0701-747	304296,48	6139871,43	WGS84	19
B-B'	76	ND-0701-1428	302230,55	6137873,50	WGS84	19
B-B'	5	ND-0701-761	302295,56	6134028,63	WGS84	19
B-B'	70	ND-0701-1397	300491,62	6133735,64	WGS84	19
B-B'	6	ND-0701-764	300361,63	6132560,68	WGS84	19
B-B'	9	ND-0701-850	300396,63	6131249,73	WGS84	19
B-B'	89	ND-0701-1514	300059,65	6129486,79	WGS84	19
B-B'	78	ND-0701-1445	299678,66	6128150,84	WGS84	19
B-B'	13	ND-0701-916	299470,67	6126873,88	WGS84	19
B-B'	90	ND-0701-1550	295123,83	6123271,00	WGS84	19
B-B'	12	ND-0701-884	293350,90	6118244,18	WGS84	19
B-B'	18	ND-0701-975	296470,80	6112706,38	WGS84	19
B-B'	53	ND-0701-1306	294435,88	6110284,46	WGS84	19
B-B'	37	ND-0701-1158	294736,87	6109133,50	WGS84	19
B-B'	40	ND-0701-1235	295520,85	6107874,55	WGS84	19
C-C'	36	ND-0701-1134	294760,82	6137003,51	WGS84	19
C-C'	38	ND-0701-1160	294641,82	6135395,57	WGS84	19
C-C'	50	ND-0701-1301	287714,08	6131643,69	WGS84	19
C-C'	58	ND-0701-1315	287621,08	6130393,73	WGS84	19
C-C'	51	ND-0701-1302	286206,13	6130606,72	WGS84	19
C-C'	57	ND-0701-1314	285974,15	6123689,97	WGS84	19
C-C'	64	ND-0701-1380	280894,33	6123821,95	WGS84	19
D-D'	51	ND-0701-1302	286206,13	6130606,72	WGS84	19
D-D'	58	ND-0701-1315	287621,08	6130393,73	WGS84	19

D-D'	50	ND-0701-1301	287714,08	6131643,69	WGS84	19
D-D'	59	ND-0701-1318	297024,74	6134023,62	WGS84	19
D-D'	8	ND-0701-849	297652,72	6133213,65	WGS84	19
D-D'	39	ND-0701-1162	299544,66	6133741,64	WGS84	19
D-D'	6	ND-0701-764	300361,63	6132560,68	WGS84	19
D-D'	70	ND-0701-1397	300491,62	6133735,64	WGS84	19
D-D'	81	ND-0701-1458	301630,58	6132628,68	WGS84	19
D-D'	3	ND-0701-750	302102,57	6132719,68	WGS84	19
D-D'	5	ND-0701-761	302295,56	6134028,63	WGS84	19
D-D'	16	ND-0701-969	307485,37	6134270,64	WGS84	19
D-D'	69	ND-0701-1395	308757,33	6134835,62	WGS84	19
D-D'	68	ND-0701-1395	308872,32	6135019,61	WGS84	19
E-E'	64	ND-0701-1380	280894,33	6123821,95	WGS84	19
E-E'	57	ND-0701-1314	285974,15	6123689,97	WGS84	19
E-E'	60	ND-0701-1324	292811,91	6127225,86	WGS84	19
E-E'	90	ND-0701-1550	295123,83	6123271,00	WGS84	19
E-E'	27	ND-0701-1052	296312,78	6127664,85	WGS84	19
E-E'	17	ND-0701-974	298044,72	6129112,80	WGS84	19
E-E'	13	ND-0701-916	299470,67	6126873,88	WGS84	19
E-E'	78	ND-0701-1445	299678,66	6128150,84	WGS84	19
E-E'	89	ND-0701-1514	300059,65	6129486,79	WGS84	19
E-E'	54	ND-0701-1307	300928,61	6129206,80	WGS84	19
E-E'	11	ND-0701-875	301539,60	6127685,86	WGS84	19
E-E'	21	ND-0701-983	308552,35	6128405,85	WGS84	19
F-F'	50	ND-0701-1301	287714,08	6131643,69	WGS84	19
F-F'	58	ND-0701-1315	287621,08	6130393,73	WGS84	19
F-F'	12	ND-0701-884	293350,90	6118244,18	WGS84	19
F-F'	18	ND-0701-975	296470,80	6112706,38	WGS84	19
F-F'	53	ND-0701-1306	294435,88	6110284,46	WGS84	19
F-F'	41	ND-0701-1261	296001,83	6110451,46	WGS84	19
F-F'	14	ND-0701-939	296140,82	6110042,47	WGS84	19
F-F'	37	ND-0701-1158	294736,87	6109133,50	WGS84	19
F-F'	40	ND-0701-1235	295520,85	6107874,55	WGS84	19
F-F'	66	ND-0701-1385	298920,73	6108434,54	WGS84	19

D.2 Catastro de pozos sección 6.1.1.2

A continuación se muestra en la tabla D.2 las principales características hidráulicas e hidrogeológicas de los 32 pozos ubicados dentro del sector 1. Las Figuras D.2 a D.5 muestran la descripción en detalle de éstos.

Tabla D.2. Detalle Columnas estratigráficas del sector 1. Q= Caudal otorgado; Prof= profundidad del sondaje; NE= Nivel estático; ND=Nivel dinámico; Qe= caudal específico. Proyección UTM, Datúm WGS84, huso 19 Sur. Fuente: Elaboración propia con datos públicos de la Dirección General de Aguas.

Id Pozo	UTM Norte	UTM Este	Comuna	Expediente	Q (l/s)	Prof (m)	NE (m)	ND (m)	Qe(l/s/m)
1	6126874	299471	Curicó	ND-0701-916	77	-	-	-	
2	6128256	299709	Romeral	ND-0701-1445	30	49	25,34	34,5	3,24
3	6128795	300376	Romeral	ND-0701-977	45	80	27	46	2,37
4	6129424	302077	Romeral	ND-0701-1289	36	60	41	-	-
5	6136927	302111	Teno	ND-0701-992	70	70	4,49	14	7,36
6	6131202	300909	Curicó	ND-0701-1387	94	44	14,63	-	-
7	6132719	302102	Curicó	ND-0701-750	-	50	-	-	
8	6129207	300929	Romeral	ND-0701-1307	27	-	-	-	-
9	6134029	302296	Curicó	ND-0701-761	18	50	16	16,6	29,70
10	6132561	300362	Curicó	ND-0701-764	65	60	12,68	13,3	104,84
11	6132628	301630	Curicó	ND-0701-1458	-	50	-	-	-
12	6131764	307110	Romeral	ND-0701-1523	33	120	61	64,63	9,09
13	6138450	304324	Teno	ND-0701-1459	90	83	47	59	7,50
14	6133742	299545	Curicó	ND-0701-1162	106	60	7,04	24,45	6,09
15	6129113	298045	Curicó	ND-0701-974	63	50	13,85	21,33	8,42
16	6138573	304220	Teno	ND-0701-369	58	70	43	-	-
17	6131096	304364	Romeral	ND-0701-980	30	80	30,9	35,2	6,98
18	6130700	303600	Romeral	ND-0701-212	90	85	25	40,55	5,79
19	6130074	300321	Curicó	ND-0701-972	43	55	-	-	-
20	6129487	300060	Curicó	ND-0701-1514	50	62	27	33	8,33
21	6133544	311825	Teno	ND-0701-1206	6	80	3,5	16,75	0,45
22	6141246	306687	Teno	ND-0701-2613	17	60	36	48	1,42
23	6140670	308110	Teno	ND-0701-33	45	71	74	84	4,50
24	6136538	310681	Teno	ND-0701-2878	50	139	92	-	-
25	6139887	300152	Teno	ND-0701-2748	1	27	1	23	0,05
26	6130683	309821	Romeral	ND-0701-1498	31	100	56,64	70,5	2,21
27	6136553	307048	Teno	ND-0701-1249	11	92	67	-	-
28	6128918	309509	Romeral	ND-0701-978	37	80	41,65	49	5,00
29	6128406	308552	Romeral	ND-0701-983	54	67	31	46	3,60
30	6135144	313220	Teno	ND-0701-1373	9	130	120	-	-
31	6135020	308872	Teno	ND-0701-1395	-	117	72,4	75,45	-
32	6134271	307485	Romeral	ND-0701-969	62	78	71,39	73,65	27,43

Cabe mencionar que la descripción estratigráfica de las columnas geológicas fue efectuada por diverso personal, muchas veces no capacitado, de diferentes empresas contratistas, por lo tanto, no hay una homologación de criterios descriptivos.

En la Figura D.1, se presenta la simbología a utilizar en la descripción de pozos.

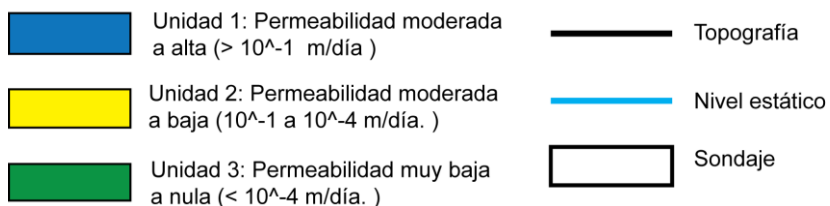


Figura D.1 Simbología de descripción de pozos. Fuente: elaboración propia.

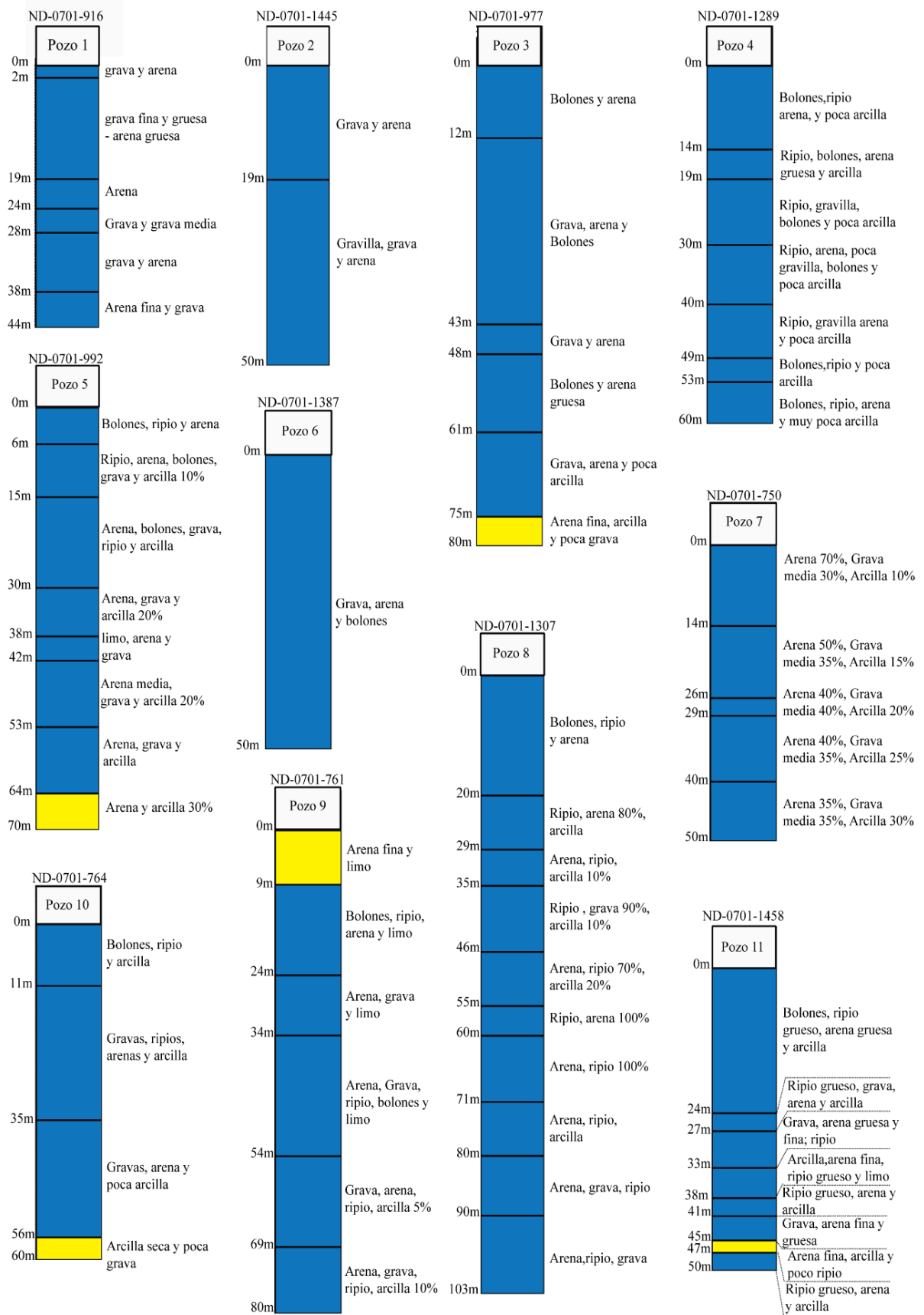


Figura D.1. Columnas estratigráficas sector 1. Pozos del 1 al 11. Fuente: Elaboración propia.

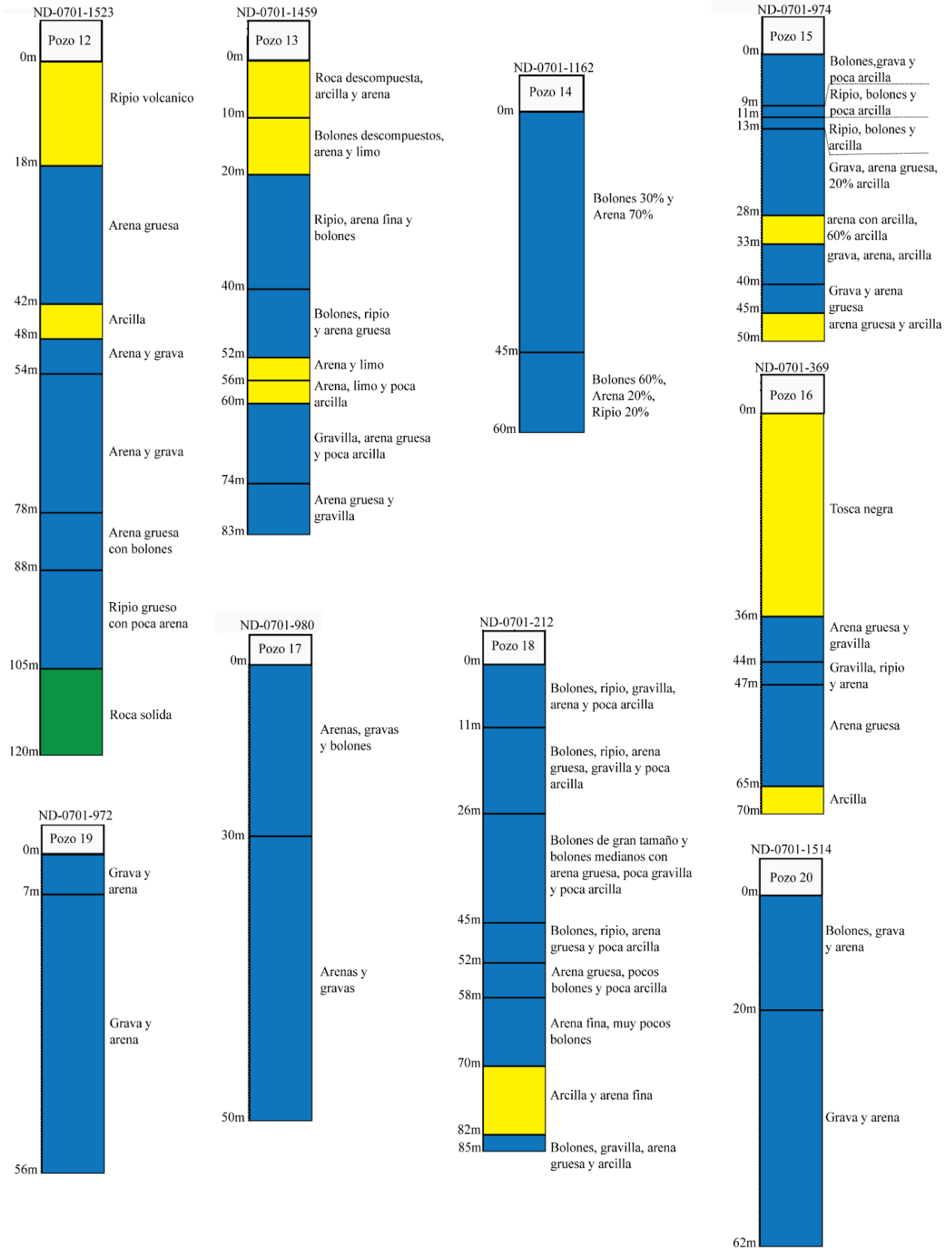


Figura D.2. Columnas estratigráficas sector 1. Pozos del 12 al 20. Fuente: Elaboración propia.

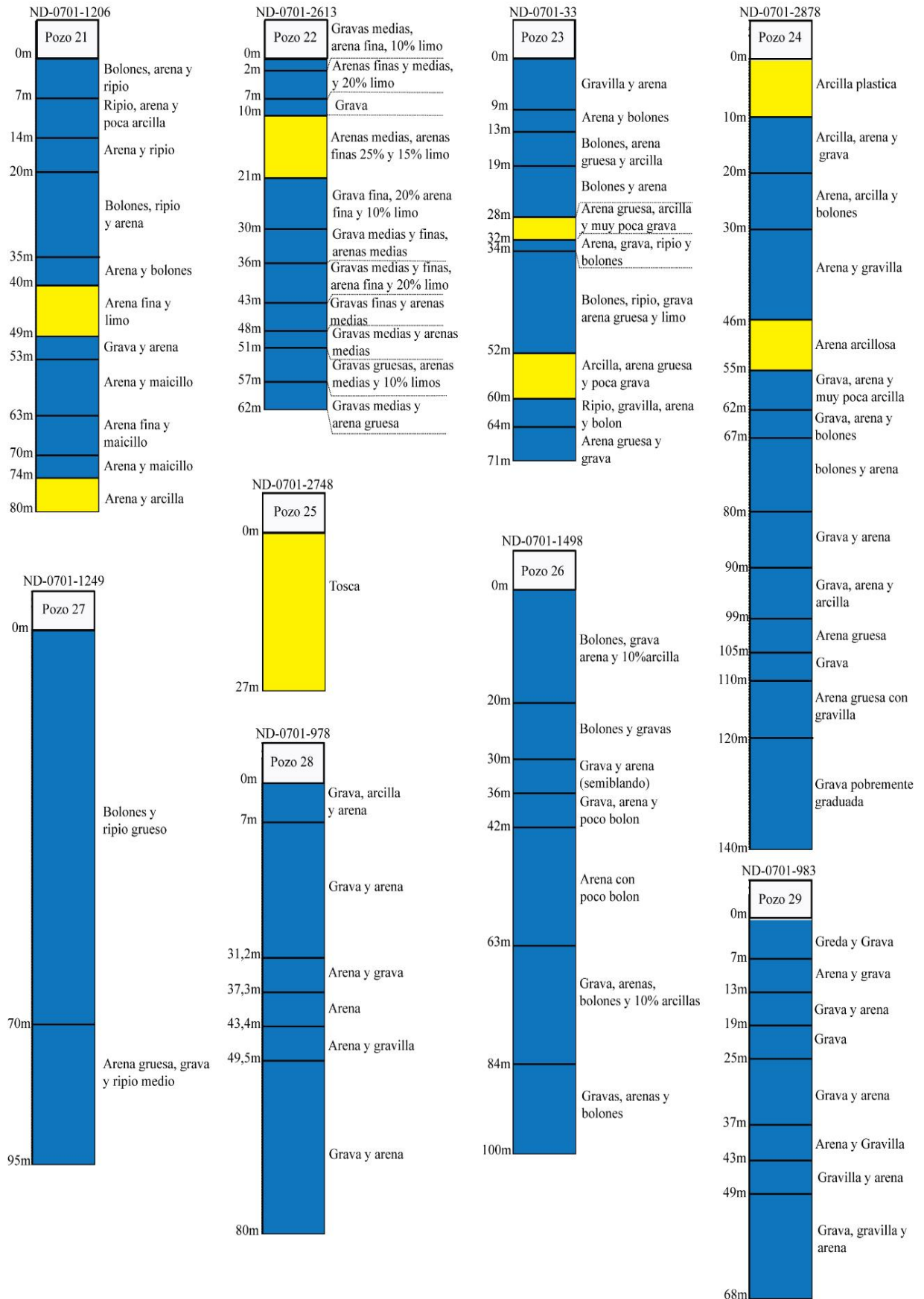


Figura D.3. Columnas estratigráficas sector 1. Pozos del 21 al 29. Fuente: Elaboración propia.

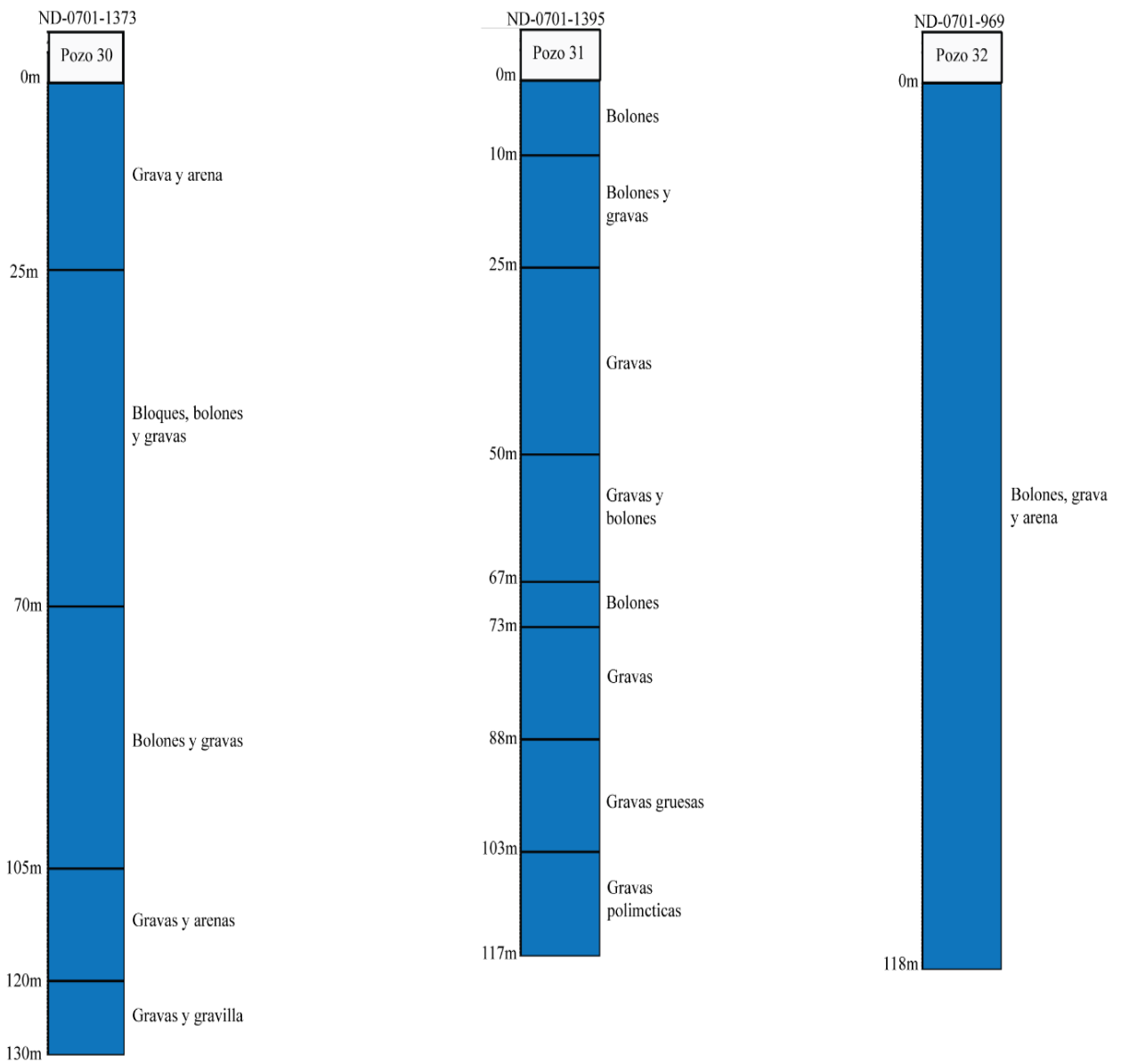


Figura D.4. Columnas estratigráficas sector 1. Pozos del 30 al 32. Fuente: Elaboración propia.

Anexo E: Normas de calidad de aguas.

E.1 Nc1333. Of 78 Requisitos del agua para riego

E.1.1 Requisitos químicos

E.1.1.1 pH

El agua para riego debe tener un pH comprendido entre 5,5 y 9,0.

E.1.1.2 Elementos químicos

En la tabla E.1 se dan los valores máximos permisibles de algunos elementos químicos en agua de riego.

Tabla E.1 Valores máximos permisibles de algunos elementos químicos en agua de riego. Fuente: Nch 1333 Of.87

Elemento	Unidad	Límite máximo
Aluminio (Al)	mg/l	5,00
Arsénico (As)	mg/l	0,10
Bario (Ba)	mg/l	4,00
Berilio (Be)	mg/l	0,10
Boro (B)	mg/l	0,75
Cadmio (Cd)	mg/l	0,010
Cianuro (CN)	mg/l	0,20
Cloruro (Cl)	mg/l	200,00
Cobalto (Co)	mg/l	0,050
Cobre (Cu)	mg/l	0,20
Cromo (Cr)	mg/l	0,10
Fluoruro (F)	mg/l	1,00
Hierro (Fe)	mg/l	5,00
Litio (Li)	mg/l	2,50
Litio (cítricos) (Li)	mg/l	0,075
Manganeso (Mn)	mg/l	0,20
Mercurio (Hg)	mg/l	0,001
Molibdeno (Mo)	mg/l	0,010
Níquel (Ni)	mg/l	0,20
Plata (Ag)	mg/l	0,20
Plomo (Pb)	mg/l	5,00
Selenio (Se)	mg/l	0,020
Sodio porcentual (Na)	%	35,00
Sulfato (So ₄ =)	mg/l	250,00
Vanadio (V)	mg/l	0,10
Zinc (Zn)	mg/l	2,00

E.1.1.3 Razón de adsorción de sodio (RAS)

La Autoridad Competente debe establecerla en cada caso específico.

E.1.1.4 Conductividad específica y sólidos disueltos totales

En la tabla E.2 se da una clasificación de aguas para riego de acuerdo a sus condiciones de salinidad, en base a las características de conductividad específica y concentración de sólidos disueltos totales.

Tabla E.2 Clasificación de aguas para riego según su salinidad. Fuente: Nch 1333 Of.87

Clasificación	Conductividad específica, c , μ mhos/cm a 25°C	Sólidos disueltos totales, s , mg/l a 105°C
Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales	$c \leq 750$	$s \leq 500$
Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles	$750 < c \leq 1\ 500$	$500 < s \leq 1\ 000$
Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos	$1\ 500 < c \leq 3\ 000$	$1\ 000 < s \leq 2\ 000$
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos	$3\ 000 < c \leq 7\ 500$	$2\ 000 < s \leq 5\ 000$

Los valores de conductividad específica de un curso o masa de agua en particular no deben ser incrementados más allá de los límites que la Autoridad Competente determine, de acuerdo con el tipo de cultivo, manejo del agua y calidad excepcional del suelo.

E.1.1.4 Pesticidas

E.1.1.4.1 Herbicidas

La Autoridad Competente se debe pronunciar en cada caso específico.

E.1.1.4.2 Insecticidas

No se considera que tengan efectos perniciosos en agua para riego.

E.1.1.5 Requisitos bacteriológicos

El contenido de coliformes fecales en aguas de riego destinadas al cultivo de verduras y frutas que se desarrollen a ras de suelo y que habitualmente se consumen en estado crudo, debe ser menor o igual a 1000 coliformes fecales / 100 ml.

E.2 Guía CONAMA para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales superficiales y marinas.

Para efectos de la dictación de las normas secundarias de calidad ambiental para las aguas aptas para la protección y conservación de las comunidades acuáticas y los usos prioritarios, los valores máximos y mínimos a considerar serán los siguientes (Tabla E.3):

Tabla E.3 Valores máximos y mínimos de elementos o compuestos sugeridos por CONAMA, (2003).

	Grupo compuesto o Elementos	Unidad	Clase de Excepción	Clase 1	Clase 2	Clase 3
INDICADORES Y QUÍMICOS						
1.	Conductividad Eléctrica	µg/c	<600	750	1.500	2.250
2.	DBO5	mg/L	<2	5	10	20
3.	Color aparente	Pt*Co	<16	20	100	>100
4.	Oxígeno disuelto ¹	mg/L	>7,5	7,5	5,5	5
5.	pH ²	Unidad	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
6.	RAS ³	-	<2,4	3	6	9
7.	Sólidos disueltos	mg/L	<400	500	1.000	1.500
8.	Sólidos suspendidos	mg/L	<24	30	50	80
9.	Temperatura ⁴	ΔT°C	<0,5	1,5	1,5	3
INORGÁNICOS						
10.	Amonio	mg/L	<0,5	1	1,5	2,5
11.	Cianuro	µg/L	<4	5	10	50
12.	Cloruro	mg/L	<80	100	150	200
13.	Fluoruro	mg/L	<0,8	1	1,5	2
14.	Nitrito	mg/L	<0,05	0,06	>0,06	>0,06
15.	Sulfato	mg/L	<120	150	500	1.000
16.	Sulfuro	mg/L	<0,04	0,05	0,05	0,05
ORGÁNICO						
17.	Aceites Y grasas	mg/L	<4	5	5	10
18.	Bifenilos policlorados (PCB ₅)	µg/L	*	0,04	0,045	<0,045
19.	Detergentes (SAAM) ⁵	mg/L	<0,16	0,2	0,5	0,5
20.	Índice de fenol	µg/L	<1,6	2	2	10
21.	Hidrocarburos Arom. Policíclicos	µg/L	<0,16	0,2	1	1
22.	Hidrocarburos	mg/L	<0,04	0,05	0,2	1
23.	Tetracloroetano	mg/L	*	0,26	0,26	<0,26
24.	Tolueno	mg/L	*	0,3	0,3	<0,3
ORGÁNICOS PLAGUICIDAS						
25.	Acido 2,4 diclofenoxiático (2,4-D)	µg/L	*	4	4	100
26.	Aldicarb	µg/L	*	1	11	11
27.	Aldrín ⁶	µg/L	*	0,004	0,004	0,7
28.	Atrazina + N-dealkyl metabolitos ⁷	µg/L	*	1	1	1
29.	Captán	µg/L	*	3	10	10

30.	Carbofurano	µg/L	*	1,65	45	45
31.	Clordano ⁶	µg/L	*	0,006	0,006	7
32.	Clorotalonil	µg/L	*	0,2	6	6
33.	Cyanazina ⁷	µg/L	*	0,5	0,5	10
34.	Demetón ⁷	µg/L	*	0,1	0,1	0,1
35.	DDT ⁶	µg/L	*	0,001	0,001	30
36.	Diclofop-metil	µg/L	*	0,2	0,2	9
37.	Dieldrín ⁶	µg/L	*	0,5	0,5	0,5
38.	Dimetoato	µg/L	*	6,2	6,2	6,2
39.	Heptaclor ⁶	µg/L	*	0,01	0,01	3
40.	Lindano ⁶	µg/L	*	44	4	
41.	Paration ⁶	µg/L	*	35	35	35
42.	Pentaclorofenol ⁶	µg/L	*	0,5	0,5	0,7
43.	Simazina	µg/L	*	0,005	0,01	0,01
44.	Trifluralina	µg/L	*	0,1	45	45
METALES ESENCIALES (disueltos)						
45.	Boro	mg/L	<0,4	0,5	0,75	0,75
46.	Cobre ⁸	µg/L	<7,2	9	200	1.000
47.	Cromo total	µg/L	<8	10	100	100
48.	Hierro	mg/L	<0,8	1	5	5
49.	Manganeso	mg/L	<0,04	0,05	0,2	0,2
50.	Molibdeno	mg/L	<0,008	0,01	0,15	0,5
51.	Níquel ⁸	µg/L	<42	52	200	200
52.	Selenio	µg/L	<4	5	20	50
53.	Zinc ⁸	Mg/L	<0,096	0,12	1	5
METALES NO ESENCIALES (disueltos)						
54.	Aluminio	mg/L	<0,07	0,09	0,1	5
55.	Arsénico	mg/L	<0,04	0,05	0,1	0,1
56.	Cadmio ⁸	µg/L	<1,8	2	10	10
57.	Escaño	µg/L	<4	5	25	50
58.	Mercurio	µg/L	<0,04	0,05	0m05	1
59.	Plomo ⁸	mg/L	<0,02	0,0025	0,2	5
INDICADORES MICROBIOLÓGICOS						
60.	Coniformes fecales (NMP)	Gérmenes /100ml	<10	1.000	2.000	5.000
61.	Coniformes totales (NMP)	Gérmenes /100ml	<200	2.000	5.000	10.000

1= Expresado en términos de valor mínimo.

2= Expresado en términos de valor máximo y mínimo.

3= Razón de adsorción de sodio (RAS). Relación utilizada para expresar la actividad relativa de los iones sodio en las reacciones de intercambio con el suelo. Cuantitativamente como mili equivalente:

$$RAS = \frac{Na}{\left[\frac{Ca+Mg}{2}\right]^{1/2}}$$

En que, Na; Ca y Mg = Son respectivamente las concentraciones, en mili equivalentes por litro, de iones sodio, calcio y magnesio,

4= Diferencia de temperatura entre la zona analizada y la temperatura natural del agua.

5= Sustancias activas al azul de metileno (SAAM).

6= Con prohibición de uso agrícola establecida por el Servicio Agrícola y Ganadero.

7= No cuenta con autorización del Servicio Agrícola y Ganadero (el producto y la mezcla de Atrazina +N-dealkyl).

8= Las concentraciones de estos compuestos o elementos para las Clases de excepción y la Clase 1, son calculados para una dureza de 100 mg/L de CaCO₃. Para otras durezas, la concentración máxima del elemento o compuesto, para la Clase 1, expresada en µg/L, se determinará de acuerdo a las fórmulas siguientes. Para la Clase de Excepción el cálculo se obtendrá a partir del 80% del valor obtenido en la Clase 1.

Anexo F: Derechos de aguas río Teno

F.1 Resumen normativa de derechos de agua

Derechos Consuntivos y No consuntivos: Consuntivos son aquellos derechos que facultan a su titular para consumir totalmente las aguas en cualquier actividad. Por su parte, son DAA (Derechos de aguas) no consuntivos aquellos que permiten emplear el agua sin consumirla y obligan a restituirla en la forma que lo determine el acto de adquisición o de constitución del DAA. Derechos de Ejercicio

Derechos de ejercicio permanente y de ejercicio eventual: De ejercicio permanente, son aquellos que facultan a su titular para usar el agua en la dotación que corresponda, salvo que la fuente de abastecimiento no contenga la cantidad suficiente para satisfacer íntegramente todos los DAA de ejercicio permanente que existan en dicha fuente, en cuyo caso la captación de dichos DAA debe reducirse a prorrata. Los demás son de ejercicio eventual, entendiendo por aquellos los que sólo facultan para usar el agua en las épocas en que el caudal matriz tenga un sobrante después de abastecidos los DAA de ejercicio permanente y los DAA de ejercicio eventual constituidos con anterioridad.

Derechos de Ejercicio Continuo, de Ejercicio Discontinuo o Alternado: Los DAA de ejercicio continuo permiten usar el agua en forma ininterrumpida durante las 24 horas del día, los 365 días del año; los de ejercicio discontinuo sólo permiten usar el agua durante determinados períodos; y los derechos de ejercicio alternado son aquellos en que el uso del agua se distribuye entre dos o más personas que se turnan sucesivamente

F.2 Derechos consuntivos otorgados en el río Teno

Tabla F.1. Estadística de los derechos de aguas consuntivos otorgados en el río Teno. Q otor. Prom = Caudal medio anual; Tipo ejer. Otor = Tipo de ejercicio otorgado; año aprob. = año de aprobación del derecho. Fuente: Elaboración propia con datos online. DGA

Expediente Final	Propietario	Año aprob.	Comuna	Tipo ejer. Otor.	ENE (l/s)	FEB (l/s)	MAR (l/s)	ABR (l/s)	MAY (l/s)	JUN (l/s)	JUL (l/s)	AGO (l/s)	SEP (l/s)	OCT (l/s)	NOV (l/s)	DIC (l/s)	Q otor. Prom. (l/s)	Uso
M-10-45	SENDOS VII REGIÓN OSVALDO ERBETTA	1984	Curicó	PC	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	Bebida/Uso domestico
M-VII-10-196	VACARO FISCO - DIRECCIÓN DE OBRAS	1987	Curicó	EC	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	Riego
ND-0701-458	HIDRÁULICAS FISCO - DIRECCIÓN DE OBRAS	1997	Teno	ED	14.110,0	-	-	-	-	-	-	-	-	1.070,0	36.690,0	69.140,0	10084,2	Riego
ND-0701-834	HIDRÁULICAS TANCREDO HUMBERTO PINOCHET ASTORGA Y	2001	Teno	ED	-	-	-	19.016,4	19.016,4	19.016,4	19.016,4	19.016,4	19.016,4	19.016,4	19.016,4	-	12677,6	Riego
NR-0701-1184	OTRA JAIME ANTONIO GONZALEZ	2002	Curicó	PC	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	21,0	Riego
NR-0701-1211	GONZALEZ MARÍA EVANGELISTA URZÚA	2003	Teno	PC	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3	Riego
NR-0701-1276	CORRAL FELISA XIMENA URZÚA	2008	Teno	PC	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0	Riego
NR-0701-1277	CORRAL CLAUDIO TANCREDO PINOCHET	2008	Curicó	PC	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	Riego
NR-0701-1281	TONELLI	2008	Romeral	PC	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	11,4	Riego

NR-0701-1299	LUIS ARMANDO VALENZUELA HERNÁNDEZ	2009	Curicó	PC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	70,0	Riego
NR-0701-1318	AUGUSTO R. ÁLVAREZ - SALAMANCA TRONCOSO	2010	Teno	PC	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	Riego
NR-0701-1339	JORGE ARNALDO ASTROSA ACEVEDO	2012	Curicó	PC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,0	Riego
NR-0701-1330	JUAN GONZALO SANTA MARÍA TORREALBA	2012	Curicó	PA	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	Riego
NR-0701-1363	ALFONSO ENRIQUE NAVARRO URBINA	2013	Curicó	PC	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	Riego
NR-0701-1371	CAUSINA DEL CARMEN PÉREZ ANTÚNEZ	2014	Teno	PA	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	Riego
NR-0701-1385	JORGE ARNALDO ASTROSA ACEVEDO	2015	Romeral	PC	51,4	51,4	51,4	51,4	51,4	51,4	51,4	51,4	51,4	51,4	51,4	51,4	51,4	Riego
NR-0701-1415	JUAN FRANCISCO URZÚA CORRAL	2016	Teno	PC	49,6	49,6	49,6	49,6	49,6	49,6	49,6	49,6	49,6	49,6	49,6	49,6	49,6	Riego

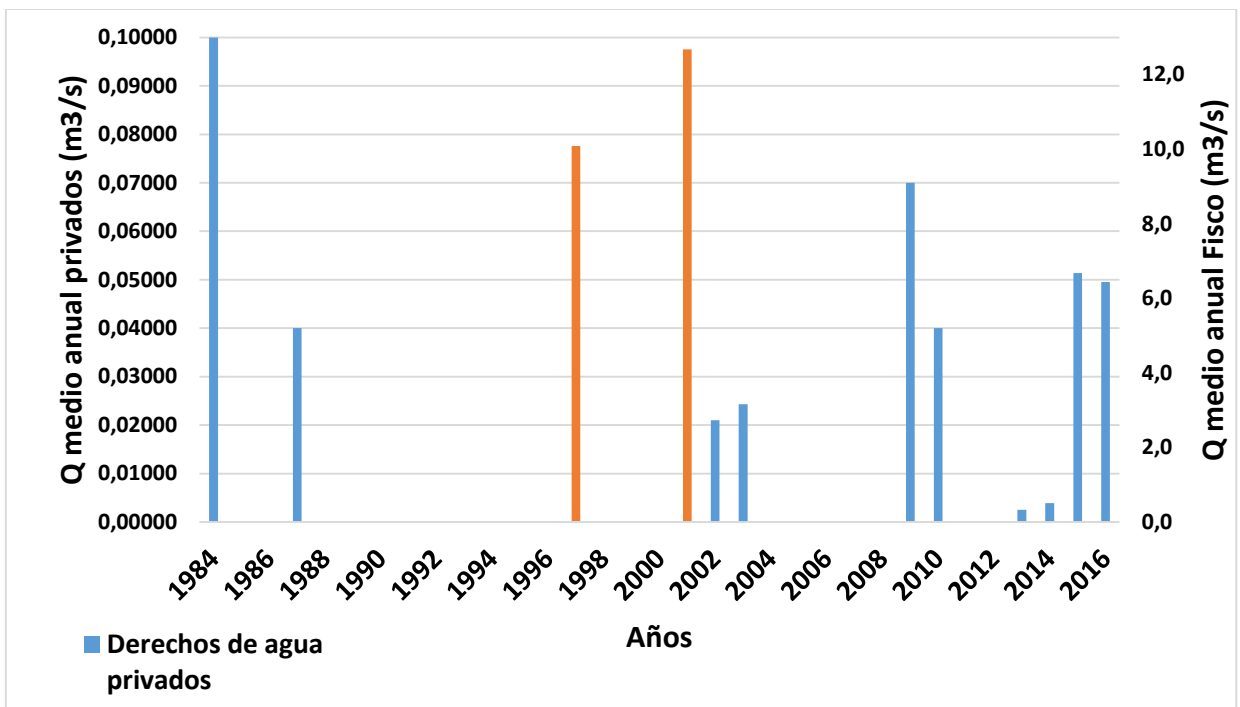


Figura F.1 Otorgación de derechos de aguas consuntivos en el río Teno. Diferenciación entre derechos públicos y privados. Fuente: Elaboración propia.

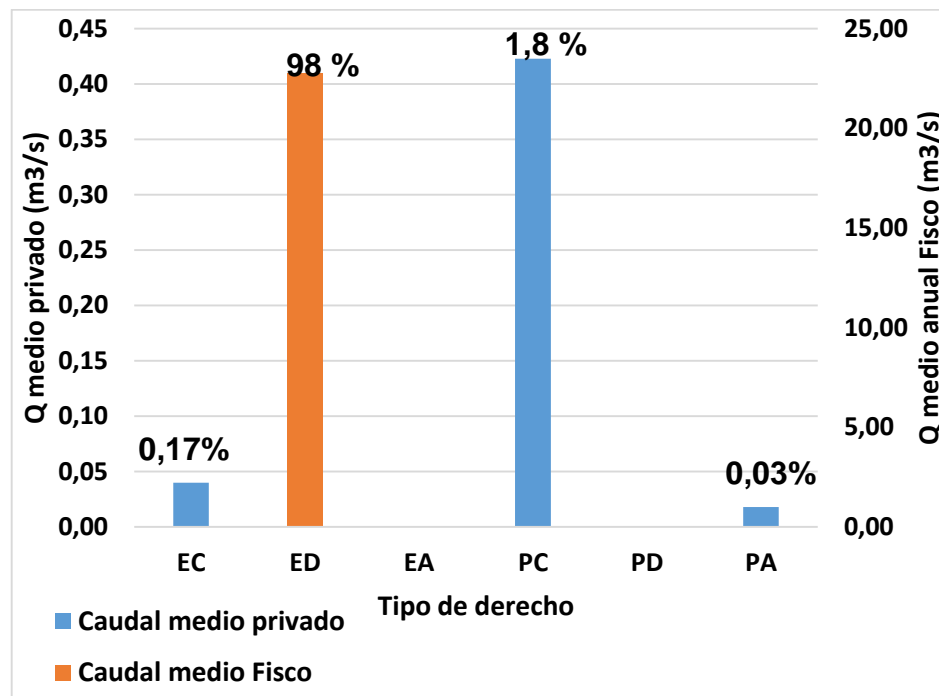


Figura F.2 Tipos de ejercicios de derechos consuntivos en el río Teno. Diferenciación entre derechos públicos y privados. Fuente: Elaboración propia.

F.3 Derechos no consuntivos otorgados en el río Teno

Tabla F.2. Estadística de los derechos de aguas no consuntivos otorgados en el río Teno. Q otor. Prom = Caudal medio anual; Tipo ejer. Otor. = Tipo de ejercicio otorgado; año aprob. = año de aprobación del derecho. Fuente: Elaboración propia con datos online. DGA

Expediente Final	Propietario	Año aprob.	Comuna	Tipo ejer. Otor.	ENE (l/s)	FEB (l/s)	MAR (l/s)	ABR (l/s)	MAY (l/s)	JUN (l/s)	JUL (l/s)	AGO (l/s)	SEP (l/s)	OCT (l/s)	NOV (l/s)	DIC (l/s)	Q otor. Prom. (l/s)	Uso
UA-0701-25	EMPRESA NACIONAL DE ELECTRICIDAD S.A., ENDESA	1995	Teno	EC	11600	11600	11600	11600	11600	11600	11600	11600	11600	11600	11600	11600	11600	Energía Hidroeléctrica
ND-0701-83	AES GENER S.A.	2007	ROMERAL	ED	3200	7380	9750	8400	12830	12180	11520	11310	7530	770	0	0	7073	Energía Hidroeléctrica
ND-0701-83	AES GENER S.A.	2007	ROMERAL	ED	3200	7380	9750	8400	12830	12180	11520	11310	7530	770	0	0	7073	Energía Hidroeléctrica
ND-0701-83	AES GENER S.A.	2007	ROMERAL	PC	12300	8120	5580	2210	2670	3320	3980	4190	7970	14730	15500	15500	8006	Energía Hidroeléctrica
ND-0701-83	AES GENER S.A.	2007	ROMERAL	PC	12300	8120	5580	2210	2670	3320	3980	4190	7970	14730	15500	15500	8006	Energía Hidroeléctrica
ND-0701-83	AES GENER S.A.	2007	ROMERAL	PC	17230	11360	7820	3110	4170	5170	6130	6460	11170	20620	26600	26600	12203	Energía Hidroeléctrica
ND-0701-83	AES GENER S.A.	2007	ROMERAL	PC	17230	11360	7820	3110	4170	5170	6130	6460	11170	20620	26600	26600	12203	Energía Hidroeléctrica
ND-0701-83	AES GENER S.A.	2007	ROMERAL	ED	9370	15240	13650	11760	20740	21430	20470	20140	15430	5980	0	0	12851	Energía Hidroeléctrica
ND-0701-83	AES GENER S.A.	2007	ROMERAL	ED	9370	15240	13650	11760	20740	21430	20470	20140	15430	5980	0	0	12851	Energía Hidroeléctrica
ND-0701-83	AES GENER S.A.	2007	ROMERAL	PC	21500	14150	9710	3810	5520	6800	8070	8480	13910	25740	36880	37990	16047	Energía Hidroeléctrica
ND-0701-83	AES GENER S.A.	2007	ROMERAL	PC	21500	14150	9710	3810	5520	6800	8070	8480	13910	25740	36880	37990	16047	Energía Hidroeléctrica
ND-0701-83	AES GENER S.A.	2007	ROMERAL	EC	16500	23850	17100	14720	24070	31200	29930	29520	24090	12260	1120	10	18698	Energía Hidroeléctrica

ND-0701-83	AES GENER S.A.	2007	ROMERAL	EC	16500	23850	17100	14720	24070	31200	29930	29520	24090	12260	1120	10	18698	Energía Hidroeléctrica
ND-0701-2753	MAX SPIESS HENRÍQUEZ	2010	TENO	ED	23072	0	0	0	0	0	0	0	0	9857	39877	57116	10827	Energía Hidroeléctrica
ND-0701-2753	MAX SPIESS HENRÍQUEZ	2010	TENO	ED	23072	0	0	0	0	0	0	0	0	9857	39877	57116	10827	Energía Hidroeléctrica
UA-0701-1	COMPañÍA GENERAL DE ELECTRICIDAD S.A.	2011		ED	3290	8940	11770	15350	14450	11650	10440	10190	8480	0	0	0	7880	Energía Hidroeléctrica
UA-0701-1	COMPañÍA GENERAL DE ELECTRICIDAD S.A.	2011		ED	3290	8940	11770	15350	14450	11650	10440	10190	8480	0	0	0	7880	Energía Hidroeléctrica
UA-0701-1	COMPañÍA GENERAL DE ELECTRICIDAD S.A.	2011		PC	16710	11060	8230	4650	5550	8350	9560	9810	11520	20000	20000	20000	12120	Energía Hidroeléctrica
UA-0701-1	COMPañÍA GENERAL DE ELECTRICIDAD S.A.	2011		PC	16710	11060	8230	4650	5550	8350	9560	9810	11520	20000	20000	20000	12120	Energía Hidroeléctrica
UA-0701-1	COMPañÍA GENERAL DE ELECTRICIDAD S.A.	2011		PC	16710	11060	8230	4650	5550	8350	9560	9810	11520	20000	20000	20000	12120	Energía Hidroeléctrica
UA-0701-1	COMPañÍA GENERAL DE ELECTRICIDAD S.A.	2011		PC	16710	11060	8230	4650	5550	8350	9560	9810	11520	20000	20000	20000	12120	Energía Hidroeléctrica
ND-0701-3109	JORGE ANDRÉS CANDÍA VARELA	2011	ROMERAL	PC	7442	4926	3667	2802	3214	3719	4259	4369	5132	9951	17947	14094	6794	Energía Hidroeléctrica
ND-0701-3109	JORGE ANDRÉS CANDÍA VARELA	2011	ROMERAL	PC	7442	4926	3667	2802	3214	3719	4259	4369	5132	9951	17947	14094	6794	Energía Hidroeléctrica
ND-0701-3109	JORGE ANDRÉS CANDÍA VARELA	2011	ROMERAL	ED	6266	14073	7628	7297	14664	16547	18189	16592	13979	9014	0	0	10354	Energía Hidroeléctrica
ND-0701-3109	JORGE ANDRÉS CANDÍA VARELA	2011	ROMERAL	ED	6266	14073	7628	7297	14664	16547	18189	16592	13979	9014	0	0	10354	Energía Hidroeléctrica

ND-0701-2721	MANUEL MADRID ARIS	2012	ROMERAL	ED	14152	0	0	0	0	0	0	0	0	5334	25366	36870	6810	Energía Hidroeléctrica
ND-0701-2721	MANUEL MADRID ARIS	2012	ROMERAL	ED	14152	0	0	0	0	0	0	0	0	5334	25366	36870	6810	Energía Hidroeléctrica
ND-0701-3051	TIERRA ARIDA S.A. S/N S/N	2012	TENO	PC	17061	8726	4657	2926	7459	17614	20094	22163	26803	38797	47649	34478	20702	Energía Hidroeléctrica
ND-0701-3051	TIERRA ARIDA S.A. S/N S/N	2012	TENO	PC	17061	8726	4657	2926	7459	17614	20094	22163	26803	38797	47649	34478	20702	Energía Hidroeléctrica
ND-0701-3051	TIERRA ARIDA S.A. S/N S/N	2012	TENO	EC	81692	58681	36229	48544	112541	102386	99906	97837	93197	81203	72351	75634	80017	Energía Hidroeléctrica
ND-0701-3051	TIERRA ARIDA S.A. S/N S/N	2012	TENO	EC	81692	58681	36229	48544	112541	102386	99906	97837	93197	81203	72351	75634	80017	Energía Hidroeléctrica

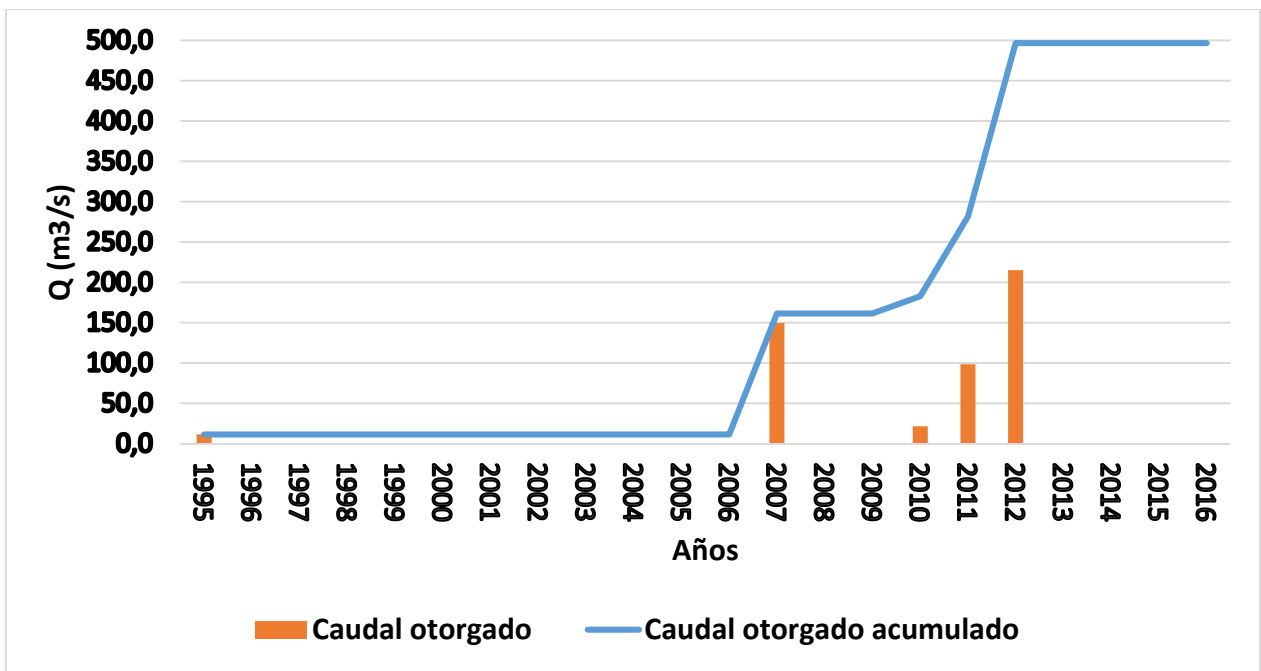


Figura F.3. Otorgación de derechos de aguas no consuntivos en el río Tenó. Fuente: Elaboración propia.

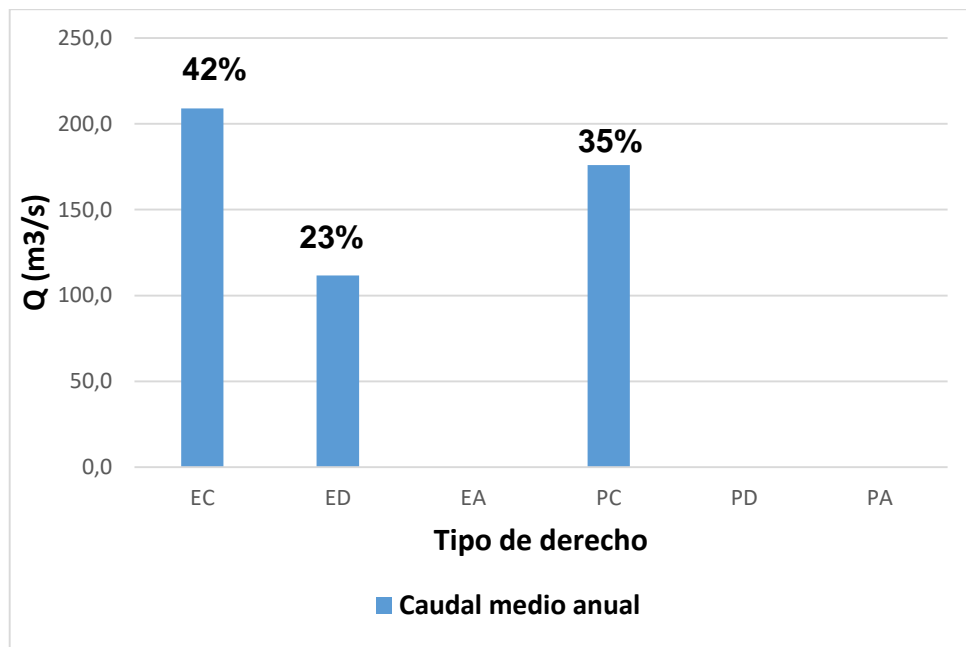


Figura F.4. Tipos de ejercicios de derechos no consuntivos en el río Tenó. Diferenciación entre derechos públicos y privados. Fuente: Elaboración propia.