



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

ANÁLISIS PARA LA INFILTRACIÓN ARTIFICIAL DE AGUA EN LA CUENCA DE SANTIAGO

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGA

BEGOÑA DEL PILAR URTUBIA VILLAGRÁN

PROFESOR GUIA:
CARLOS PARRAGUEZ DECKER

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
LINDA DANIELE
SERGIO KRAINZ RODRIGUEZ

SANTIAGO DE CHILE
2015

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TITULO DE: Geóloga
POR: Begoña del Pilar Urtubia Villagrán
FECHA: 20/07/2015
PROFESOR GUÍA: Carlos Parraguez Decker

ANÁLISIS PARA LA INFILTRACIÓN ARTIFICIAL DE AGUA EN LA CUENCA DE SANTIAGO

El presente trabajo resume el análisis de las características geológicas e hidrogeológicas de la cuenca de Santiago, tales como el tipo de relleno sedimentario, la profundidad del nivel estático, la permeabilidad del relleno y la red hidrográfica, con el fin de determinar los sectores idóneos para la infiltración artificial de agua en el acuífero, junto con el mejor método de infiltración según las características hidrogeológicas del sector elegido.

Los criterios usados para discriminar si un sector es apropiado para infiltrar son un nivel estático superior a 45m de profundidad y una permeabilidad del relleno superior a $7,5 \times 10^{-5}$ m/s. Estos valores garantizan una capacidad de almacenamiento suficiente del acuífero en el sector. Además de los criterios anteriores, también se incluye la factibilidad de transportar agua hasta el sector elegido por medio de la red de drenaje.

Una vez preseleccionados los terrenos, se revisa la estratigrafía en pozos y perfiles cercanos para determinar la presencia de capas impermeables en profundidad lo que, junto con la profundidad del nivel estático y la extensión del terreno disponible, son los criterios para seleccionar la obra de infiltración más adecuada.

Los terrenos más apropiados para realizar la infiltración artificial se ubican al norte del río Maipo, en la comuna de la Pintana. En este sector la permeabilidad es de 1×10^{-3} m/s y la profundidad del nivel estático es en promedio 120m. La presencia de canales de regadío en el sector hace posible el transporte de los excedentes de verano del río Maipo al lugar seleccionado. No es necesario un mayor tratamiento del agua a infiltrar dado que el origen del agua de los canales y de la napa es la misma, el río Maipo. Sin embargo, sí se requiere un filtrado previo para eliminar sólidos en suspensión.

Se propone la realización de 70 pozos de inyección de 130m de profundidad, que en total infiltrarían 26,1 millones de m^3 por año. La infiltración se realizaría durante el verano, cuando el caudal es mayor debido a los deshielos, cuando éste supere una probabilidad de excedencia del 20%, lo que sucedería con un periodo de retorno de 5 años. Se propone comenzar con un proyecto piloto, evaluar el comportamiento del agua en profundidad y luego seguir con proyectos de mayor envergadura.

Se estima un aumento del nivel freático de unos 20m por cada evento de infiltración, lo que da un margen de capacidad de almacenamiento para al menos 5 eventos de infiltración.

El cálculo del VAN del proyecto indica que éste es rentable a corto y mediano plazo.

A MI FAMILIA

AGRADECIMIENTOS

Para empezar, quiero agradecer al Departamento de Geología, de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile y a todos quienes son parte de él, por ser agentes activos en mi formación como geóloga.

En especial, quiero agradecer al profesor Carlos Parraguez y a la profesora Linda Daniele por los conocimientos y material compartido conmigo, su tiempo y disponibilidad para atender mis dudas cada vez que lo necesité y por guiarme, durante todo el desarrollo de este trabajo. También, al señor Fernando Krainz por su tiempo y ayuda.

También quiero agradecer a Mauricio “Guagua” Muñoz, haciendo extensivo el agradecimiento al CEGA y al Proyecto “Determinación de parámetros termales en el subsuelo de las cuencas de Santiago y Talca: implicancias para el uso directo de la energía geotérmica”, por el material que compartió y su tiempo para responder todas mis inquietudes.

Quiero agradecer de forma especial a Jorge Olmedo por su tiempo y ayuda en la tasación de terrenos que se hizo para este trabajo y por la figura del diseño del pozo de infiltración; y a Ian Wolde por su tiempo y ganas cuando no pude sacar fotos yo misma.

Un agradecimiento especial a Blanca “Blanquis” Baccola por aguantar las infinitas preguntas sobre el proceso de titulación que estuvo alegre de responderme (y a todos los demás memoristas).

Quiero darles las gracias a mis geoamiguis, los BerniLivers, por haber estado ahí durante estos cuatro años, las tallas e historias legendarias de terreno, las juntas a estudiar comiendo pizza en invierno y tomando helado en verano, las salidas a Bella, los torneos de MK, los preparativos para las geobienvenidas, las idas a comprar todo tipo de suministros de terreno, los almuerzos (y este último año también onces) diarias y toda su amistad y conversaciones de la vida. Junto con ellos, también quiero agradecer a todos mis compañeros de generación, porque estos cuatro años no habrían sido lo mismo sin ustedes. Aprovecho de agradecer, también, a mis amigos de plan común por su compañía y amistad durante mi periodo más oscuro en esta facultad.

No pueden faltar en esta página mis coristas hermosos (y mi querida Vero), tanto los antiguos como los que aún siguen yendo, porque la vida no es lo mismo sin la música, y nosotros compartimos el amor por ella. Pasamos de ser un grupo de gente, a compañeros de equipo y luego a ser amigos entrañables. No importa la carrera, la edad, el estilo o la personalidad. El coro nos unió de una manera que pocos entenderían. Y pocos entienden que no nos da vergüenza cantar en la calle; que nos encanta expresar nuestras emociones cantando. Gracias por ayudarme en mis momentos más difíciles, y compartir mis momentos más alegres. Los adoro.

Y a mi familia, Isa, Leo, Bea, Mari, Ale y Toñi, ya que hoy no sería quien soy de no ser por ellos.

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	FORMULACIÓN DEL ESTUDIO PROPUESTO	1
1.2.	UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO	3
1.3.	OBJETIVOS	5
1.3.1.	Objetivo General	5
1.3.2.	Objetivos Específicos	5
1.4.	HIPÓTESIS DE TRABAJO	5
1.5.	METODOLOGÍA.....	5
1.6.	PLAN DE TRABAJO	6
2.	ANTECEDENTES GENERALES.....	8
2.1.	OBJETIVOS, CONDICIONES Y VENTAJAS DE LA RECARGA ARTIFICIAL 8	
2.2.	ASPECTOS TÉCNICOS.....	9
2.3.	ESTUDIOS PREVIOS	9
2.3.1.	Estudios dentro de Chile.....	10
2.3.2.	Estudios fuera de Chile	16
3.	MARCO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO.....	20
3.1.	LITOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA DE LAS MORFOESTRUCTURAS EN LA ZONA CENTRAL DE CHILE.....	21
3.1.1.	Cordillera de la costa.....	21
3.1.2.	Depresión Intermedia	21
3.1.3.	Cordillera de Los Andes	22

3.2.	DEPOSITOS DE RELLENO DE LA CUENCA.....	24
3.2.1.	Depósitos de Remoción en Masa (Qrm).....	27
3.2.2.	Depósitos Coluviales (Qc).....	27
3.2.3.	Depósitos Aluviales.....	28
3.2.4.	Depósitos Fluviales (Qf, Qfs, Qfa).....	32
3.2.5.	Depósitos Lacustres (Ql).....	33
3.2.6.	Cenizas pumicíticas (Qcp) (V en FERNÁNDEZ Y MILOVIC, 2000).....	33
3.3.	ESTRATIGRAFIA EN PROFUNDIDAD.....	33
3.4.	MARCO HIDROGEOLÓGICO REGIONAL.....	37
3.4.1.	Descripción General de Acuíferos en Chile.....	37
3.4.2.	Zonación Hidrogeológica Región Metropolitana.....	37
3.4.3.	Clasificación y descripción general de la cuenca del río Maipo.....	37
4.	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DE LA CUENCA DE SANTIAGO	39
4.1.	ACUIFEROS.....	39
4.1.1.	Definición de Acuíferos.....	39
4.1.2.	Características de los acuíferos por zona.....	40
4.1.3.	Características de los acuíferos por tipo de relleno.....	46
4.2.	NIVEL ESTÁTICO.....	48
4.3.	DISTRIBUCIÓN DE PERMEABILIDADES.....	49
4.4.	CALIDAD DE AGUAS.....	51
5.	MECANISMOS DE INFILTRACIÓN.....	54
5.1.	INFILTRACIÓN SUPERFICIAL.....	55
5.1.1.	Sistemas de recarga dentro del canal.....	56

5.1.2.	Sistemas de recarga fuera del canal	57
5.2.	INFILTRACIÓN PROFUNDA	58
5.2.1.	Infiltración en la zona vadosa	58
5.2.2.	Dispositivos profundos	62
5.3.	SISTEMAS COMBINADOS	63
6.	FUENTES DE AGUA PARA LA INFILTRACIÓN	65
6.1.	INTRODUCCIÓN.....	65
6.2.	METODOLOGÍA DE RELLENO DE LAS ESTADÍSTICAS	67
6.2.1.	Homogeneidad de la Estadística.....	67
6.2.2.	Relleno y Extensión de la Estadística	68
6.2.3.	Estimación de Caudal de Río Mapocho	72
6.2.4.	Estimación de Caudal del Estero Macul	72
6.2.5.	Estado final de los datos estudiados	73
6.3.	RÉGIMEN ANUAL DE LOS CAUDALES ESTUDIADOS	74
6.4.	ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE LAS ESTADÍSTICAS	76
6.5.	CANALES URBANOS Y DE REGADÍO	76
7.	SELECCIÓN DE SECTORES PARA INFILTRACIÓN ARTIFICIAL	80
7.1.	ZONAS CON POTENCIAL DE RECARGA EN LA CUENCA DE SANTIAGO Y PRESELECCIÓN DE TERRENOS	80
7.1.1.	Sector Chacabuco-Polpaico.....	82
7.1.2.	Sector Colina- Chicureo	82
7.1.3.	Sector Oriente de Santiago.....	84
7.1.4.	Sector sur poniente de Santiago	85
7.1.5.	Sector sur oriente de Santiago	86

7.1.6.	Sector al sur del río Maipo	87
7.2.	ANÁLISIS ESTRATIGRÁFICO Y ACOTAMIENTO DE SECTORES SELECCIONADOS.....	89
7.2.1.	Sector Chacabuco-Polpaico.....	89
7.2.2.	Sector Colina-Chicureo	90
7.2.3.	Sector Oriente de Santiago.....	92
7.2.4.	Sector Sur de Santiago	93
7.2.5.	Sector al sur del río Maipo	94
8.	DESCRIPCIÓN Y ESTIMACIÓN DE COSTOS DEL PROYECTO PARA EL SECTOR SELECCIONADO	97
8.1.	CARACTERÍSTICAS DE LOS TERRENOS ELEGIDOS	97
8.1.1.	Fuente de agua para la infiltración	97
8.1.2.	Canales del sector	99
8.1.3.	Estimación del nivel estático promedio.....	100
8.1.4.	Permeabilidad	101
8.2.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	102
8.3.	ESTIMACIÓN DEL AUMENTO DEL NIVEL PIEZOMÉTRICO	104
8.4.	ESTIMACIÓN DE COSTOS, INGRESOS Y BENEFICIO ECONÓMICO DEL PROYECTO SELECCIONADO	106
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	112
	ANEXOS.....	121
	ANEXO A: MARCO GEOLÓGICO, LITOLÓGÍA EN DETALLE.....	122
	ANEXO B: CÁLCULOS PARA ANÁLISIS DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL.....	130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1: Cuadro que resume las características granulométricas de los rellenos de las cuencas del río Maipo. Extraído de MORALES, 2002.	44
Tabla 4.2: Cuadro Resumen de las Unidades Hidrogeológicas y Características Principales de las Sub-cuencas del río Maipo. Modificado de MORALES, 2002.	45
Tabla 4.3: Límites máximos permitidos para descargar residuos líquidos en condiciones de vulnerabilidad media y baja.	51
Tabla 5.1: Alternativas de disposición de aguas lluvias mediante infiltración.	55
Tabla 6.1: Cauces elegidos para ser estudiados junto con las estaciones de caudal asociadas.	65
Tabla 6.2: Probabilidad de excedencia mensual, en m ³ /s, para las estaciones Maipo en Los Manzanos, Mapocho en Los Almendros + Arrayán en La Montosa, Colina en Peldehue, Ramón en Recinto EMOS y Macul (Calculado).	77
Tabla 8.1: Caudales del río Maipo para una probabilidad de excedencia del 20% durante todos los meses del año en m ³ /s y en l/s.	98
Tabla 8.2: Cubicaciones y Estimación de Costos, Obra de Recarga Artificial del Sector Sur de Santiago, modificado del estudio de la DGA (2013).	107
Tabla 8.3: Valor actual neto en pesos chilenos del proyecto de infiltración de agua artificial con una tasa de rentabilidad del 5% para un periodos de 11 años. En este caso la venta de agua se produce durante el mismo año de infiltración de la misma.	108
Tabla 8.4: Valor actual neto en pesos chilenos del proyecto de infiltración de agua artificial con una tasa de rentabilidad del 5% para un periodos de 11 años. En este caso la venta de agua se subdivide de manera equitativa durante los cinco años que dura el periodo de retorno para una probabilidad de excedencia del 20%.	108
Tabla 8.5: Diferencia de valor actual neto en pesos chilenos entre las dos opciones del proyecto.	108
Tabla B.1: Transformación de los datos estudiados de caudal [m ³ /s] a escorrentía [m].	131
Tabla B.2: Cálculo de los datos rellenados. Se indica también el coeficiente de correlación de la curva de la estación base (R _A) y la estación problema (R _X) en cada caso.	141

Tabla B.3: Datos de caudal medio mensual definitivo para la estación Maipo en el Manzano.	143
Tabla B.4: Datos de caudal medio mensual definitivo para Mapocho, que corresponde a la suma de los caudales de las estaciones Mapocho en los Almendros y Arrayán en la Montosa.	146
Tabla B.5: Datos de caudal medio mensual definitivo para la estación Colina en Peldehue.	149
Tabla B.6: Datos de caudal medio mensual definitivo para la estación Ramón en Recinto EMOS.	150
Tabla B.7: Datos de caudal medio mensual definitivo para la Macul, calculada a partir de la estación Ramón en Recinto EMOS.	151

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 6.1: Curvas Doble Acumuladas de las estaciones estudiadas con respecto al promedio de las mismas. Se indica también la fórmula de la línea de tendencia y el coeficiente de correlación de cada una. 71

Gráfico 6.2: Curva de variación estacional promedio de las estaciones en estudio. Los datos de precipitaciones corresponden a la media mensual durante los años hidrológicos 1991/92 a 2013/14 en la estación Mapocho en los Almendros, por ser ésta la única estación completa durante ese periodo. 75

Gráfico 6.3: Curvas de variación estacional, señalando la probabilidad de excedencia mensual, de las estaciones en estudio..... 78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Zona de estudio, correspondiente a la cuenca de Santiago, Región Metropolitana, Chile.	4
Figura 3.1: Rasgos geomorfológicos principales en Chile Central. Modificado de FOCK (2005).....	20
Figura 3.2: Mapa geológico del área de estudio. Modificado del Proyecto “Determinación de parámetros termales en el subsuelo de las cuencas de Santiago y Talca: implicancias para el uso directo de la energía geotérmica” (CEGA, 2015).	24
Figura 3.3: Mapa geológico de la cuenca de Santiago, el cual muestra la distribución del relleno sedimentario de acuerdo al tipo de cobertura. Modificado de MUÑOZ <i>ET AL.</i> , 2015.	25
Figura 3.4: Mapa geológico de parte de la zona Metropolitana de Chile, el cual muestra principalmente la distribución del relleno sedimentario de acuerdo a su origen y en forma simplificada la distribución de las rocas fundamentales. Modificado de ARANEDA <i>ET AL.</i> , 2010. Leyenda en página siguiente.	26
Figura 3.5: Leyenda de la Figura 3.4. Mapa de relleno sedimentario de acuerdo a su origen. Modificado de ARANEDA <i>ET AL.</i> , 2010.	27
Figura 3.6: Ubicación de los perfiles geológicos mostrados a continuación. Los que se tienen son los perfiles CC’, DD’ y FF’. Gentileza de Proyecto “Determinación de parámetros termales en el subsuelo de las cuencas de Santiago y Talca: implicancias para el uso directo de la energía geotérmica” (CEGA, 2015).....	34
Figura 3.7: Perfil CC’, correspondiente al sector de Colina-Lampa. Modificado de Proyecto “Determinación de parámetros termales en el subsuelo de las cuencas de Santiago y Talca: implicancias para el uso directo de la energía geotérmica” (CEGA, 2015).	35
Figura 3.8: Perfil DD’, que cruza de suroeste a noreste el sector centro y norte de Santiago. Modificado del Proyecto “Determinación de parámetros termales en el subsuelo de las cuencas de Santiago y Talca: implicancias para el uso directo de la energía geotérmica” (CEGA, 2015).	36
Figura 3.9: Perfil FF’, correspondiente a las inmediaciones del río Maipo. Modificado de Proyecto “Determinación de parámetros termales en el subsuelo de las cuencas de Santiago y Talca: implicancias para el uso directo de la energía geotérmica” (CEGA, 2015).	36
Figura 4.1: Perfil hidrogeológico de Santiago sur (SS2). Modificado de MORALES (2002).....	39

Figura 4.2: Ubicación de los sectores en la cuenca del río Maipo según MORALES (2002). En la figura se observan también los sectores de Puangue, Desembocadura y Codegua, pero estos no entran dentro de la zona de estudio; además, del sector Río Maipo Inferior solo entra el área más oriental en la zona de estudio. Cabe mencionar que algunos de los límites entre los sectores señalados por el autor no son naturales, sino que se definen según un acercamiento significativo entre las rocas cajas de los sedimentos, no así los de la Figura 4.3 que sí son naturales.	41
Figura 4.3: Ubicación de las sub-cuencas del río Maipo, según el informe de la DGA (2013). Los límites de las cuencas son los naturales, es decir, la divisoria de aguas.	43
Figura 4.4: Mapa del relleno de la Cuenca de Santiago y su potencial acuífero según MORALES (2002).	47
Figura 4.5: Profundidad del nivel estático en la cuenca de Santiago. Modificado de MUÑOZ <i>ET AL.</i> , 2015.	48
Figura 4.6: Distribución de permeabilidades en profundidad del relleno de la cuenca del río Maipo. Modificado del estudio de la CNR (2013).	50
Figura 4.7: Mapa de vulnerabilidad de acuíferos en la Cuenca de Santiago. Simplificado de IRIARTE (2003).	53
Figura 5.1: Vistas en planta de sistemas de recarga dentro del canal, con diques en canales estrechos y de alta pendiente (arriba a la izquierda); presas más grandes en canales más anchos y pendiente menor (arriba a la derecha); y barreras en forma de T en canales anchos y planos (abajo). Modificado de BOUWER (2002).	57
Figura 5.2: sección que muestra una zanja de infiltración en la zona vadosa con relleno de grava o arena, sobre el relleno la tubería de suministro de agua y la cubierta. Las flechas representan el flujo hacia abajo en la zona saturada con conductividad hidráulica K. Modificado de BOUWER (2002).	59
Figura 5.3: Sección que muestra un pozo de infiltración en la zona vadosa con relleno de grava o arena y una tubería de suministro de agua perforada. Las flechas representan el flujo hacia abajo en la zona saturada con conductividad hidráulica K (Modificado de BOUWER, 2002).	60
Figura 5.4: Pozos de infiltración (arriba) y de inyección (abajo). 1. Pozo, 2. Agua subterránea, 3. Nivel estático. Modificado de MINVU (2006).	61
Figura 6.1: Mapa señalando la ubicación de las estaciones de caudal estudiadas.	66
Figura 6.2: Proceso de relleno por curva másica. Modificado de BERCIÁN Y PALOMO (2004).	69

Figura 6.3: Cuencas de las Quebradas San Ramón y Macul. Se muestra también la estación de medición de caudal Ramón en Reciento EMOS.....	73
Figura 6.4: Mapa de la red hidrográfica completa de la cuenca de Santiago, incluyendo los canales de regadío.....	79
Figura 7.1: Delimitación de áreas aptas para la infiltración en función de los parámetros profundidad del nivel estático, mayor a 45m; y permeabilidad, mayor a $7,5 \times 10^{-5} \text{m/s}$	81
Figura 7.2: Detalle sector con potencial para infiltración en el sector Chacabuco-Polpaico. Se muestra el valor comercial del sector en UF/m^2	82
Figura 7.3: Detalle sector con potencial para infiltración en el sector Colina. Se muestra el valor comercial de los sectores en UF/m^2	83
Figura 7.4: Detalle sector con potencial para infiltración en el sector oriente de Santiago.....	84
Figura 7.5: Detalle de los terrenos en el sector nororiente de Santiago y sus valores comerciales en UF/m^2	85
Figura 7.6: Detalle sector con potencial para infiltración en el sector sur poniente de Santiago.	86
Figura 7.7: Detalle sector con potencial para infiltración en el sector sur oriente de Santiago y los valores comerciales de los terrenos en UF/m^2	87
Figura 7.8: Detalle sector con potencial para infiltración en el sector al sur del río Maipo, junto con el valor comercial de los terrenos en UF/m^2	88
Figura 7.9: A la izquierda arriba: mapa ubicando la traza de los perfiles y los pozos en el sector; a la derecha: pozos mostrando la estratigrafía; a la izquierda abajo: perfil LL1 de MORALES (2002).	89
Figura 7.10: A la izquierda arriba: mapa ubicando la traza de los perfiles y los pozos en el sector; a la derecha arriba: perfil CC' del Proyecto "Determinación de parámetros termales en el subsuelo de las cuencas de Santiago y Talca: implicancias para el uso directo de la energía geotérmica", CEGA; a la izquierda abajo: perfil LL2 de MORALES (2002), a la derecha abajo: pozos mostrando la estratigrafía.	90
Figura 7.11: A la izquierda arriba: mapa ubicando la traza de los perfiles y los pozos en el sector; a la derecha arriba: pozos mostrando la estratigrafía; al centro: perfil DD' de Proyecto "Determinación de parámetros termales en el subsuelo de las cuencas de Santiago y Talca: implicancias para el uso directo de la energía geotérmica", CEGA; abajo: perfil LC1 de MORALES (2002).....	92

Figura 7.12: A la izquierda: mapa ubicando la traza de los perfiles y los pozos en el sector; a la derecha: perfil TSC6 de MORALES (2002).	93
Figura 7.13: Ala izquierda: mapa ubicando la traza de los perfiles y los pozos en el sector; a la derecha arriba: perfil FF' de Proyecto "Determinación de parámetros termales en el subsuelo de las cuencas de Santiago y Talca: implicancias para el uso directo de la energía geotérmica", CEGA; abajo al centro: perfil SS5 de MORALES (2002); abajo a la derecha: pozo mostrando la estratigrafía.	94
Figura 7.14: Arriba: perfil SS2 de MORALES (2002); abajo: pozos mostrando la estratigrafía.	95
Figura 8.1: Canales de Santiago Sur usados para la recarga artificial.	99
Figura 8.2: Profundidad del nivel estático dentro de los terrenos seleccionados, junto con los canales de Santiago Sur que serían usados para la recarga artificial.....	100
Figura 8.3: Permeabilidad en detalle dentro de los terrenos seleccionados.	101
Figura 8.4: Configuración de obras para recarga artificial mediante pozos, sector Santiago Sur. Modificado de CNR, 2013.....	104
Figura 8.5: Figura explicativa que muestra la primera aproximación para calcular la diferencia del nivel piezométrico una vez realizada la recarga artificial. Se considera que el volumen saturado tiene la forma de un dado de base igual al área de infiltración y alto igual a la diferencia de altura en el nivel piezométrico.	105

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 6.1: Regla de tres simple para estimar datos de caudal entre dos cuencas adyacentes.	72
Ecuación 8.1: Método de Lefranc para calcular el caudal a partir de la conductividad hidráulica, un factor de forma y la altura de la columna de agua.	102
Ecuación 8.2: Calculo del factor de forma para el caso en que el largo de la zona filtrante es considerablemente mayor que el diámetro.	103
Ecuación 8.3: Estimación del nivel piezométrico a partir del volumen saturado y el área de infiltración, considerando una forma geométrica de dado.....	105
Ecuación 8.4: Cálculo del volumen saturado a partir del volumen de agua infiltrado y un coeficiente de almacenamiento estimado.....	106
Ecuación 8.5: Estimación de los ingresos del proyecto a partir del volumen de agua infiltrado y la tarifa a la que se pretende vender el agua.	108

1. INTRODUCCIÓN

1.1. FORMULACIÓN DEL ESTUDIO PROPUESTO

Dada la sequía que afecta hace algunos años al país, junto con el aumento de la población y de las áreas residenciales e industriales, se ha producido, por una parte, un descenso en las recargas y, por otra, un aumento en las extracciones de aguas subterráneas en la Región Metropolitana. Esto hace necesaria la búsqueda de alternativas para contar con reservas de agua, que estén disponibles para ser usadas en épocas de escasas hídrica.

Dentro de las alternativas posibles existe la recarga artificial, que consiste en la introducción no natural de agua en el acuífero para aumentar la disponibilidad y mejorar la calidad del agua subterránea (INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA, 1995), lo que paliaría los descensos de niveles observados en el acuífero de la zona. Se dispone agua superficial en pozos, surcos, zanjas u otros métodos, desde donde se infiltra y alcanza el acuífero.

La recarga artificial experimenta, a nivel mundial, un uso creciente para almacenar agua a corto o largo plazo, ya que presenta varias ventajas con respecto al almacenamiento en superficie, así como para reutilización. Esta requiere suelos permeables, por los que se debe recurrir a zanjas en la zona no saturada, o bien inyectar el agua directamente en el acuífero por medio de pozos. Para diseñar un sistema de recarga artificial se debe determinar la tasa de infiltración del suelo y verificar que la zona no saturada entre la superficie del terreno y el acuífero tiene una permeabilidad adecuada, y que no existen zonas contaminadas. El acuífero debe ser suficientemente transmisivo para evitar un ascenso excesivo del nivel estático local. El conocimiento de estas condiciones requiere investigaciones de campo. Los aspectos de calidad del agua también deben ser evaluados, especialmente en lo que afecta a la formación de capas colmatantes en el fondo de las superficies de infiltración y a las reacciones geoquímicas en el acuífero. Las capas colmatantes se pueden evitar mediante el filtrado u otros pre-tratamientos del agua, así como mediante la restauración de la capacidad de infiltración del sistema. Los pozos de recarga deben ser bombeados periódicamente para desprender los materiales colmatantes (BOUWER, 2002; CNR, 2013; DGA, 2012; DGA, 2013).

Además, según el informe de la Comisión Nacional de Riego (CNR), Estudio Diagnóstico de Zonas Potenciales de Recarga de Acuíferos en las Regiones de Arica y Parinacota a la Región del Maule (CNR, 2013), existen factores que limitan la validez de un proyecto de recarga artificial en nuestro país, que serían los siguientes:

- Napas en cuencas de ríos cordilleranos que a causa de la alta pendiente longitudinal del cauce principal, presentan también pendientes fuertes a lo largo de su dirección de flujo principal.

- Aguas que provienen de los sobrantes de invierno en un río, y que por tener una napa de pendiente longitudinal alta, se arriesga a no poder aprovechar el agua de recarga cuando se necesite, situación que se daría en el caso de proyectos orientados a beneficiar la agricultura.
- Flujos permanentes en los cauces o en canales que propician una recarga natural permanente relevante, niveles de napa altos y una capacidad de almacenamiento limitada para las aguas de recarga.

El informe de la CNR, Estudio Diagnóstico de Zonas Potenciales de Recarga de Acuíferos en las Regiones de Arica y Parinacota a la Región del Maule (CNR, 2013), también dice que la recarga artificial se justificará sólo en acuíferos en que haya bajado el nivel de napa natural original, y donde existan recursos disponibles para infiltración. Si no se da la primera condición, la recarga no sería factible o sería inoperante, porque el agua volvería a la superficie en algún lugar aguas abajo de su infiltración. Si no se da la segunda, sólo sería posible recargar con los derechos superficiales existentes en la cuenca o utilizar agua disponible proveniente de otra cuenca.

Por otro lado, la recarga artificial puede ser completamente innecesaria cuando opera la recarga natural. Si hay espacio en los acuíferos, y hay aguas disponibles, en la mayoría de los acuíferos, especialmente los ligados a cauces, opera automáticamente la recarga natural. Es necesario evaluar bien que el esfuerzo de la recarga artificial no sea un esfuerzo perdido, frente al hecho de que los acuíferos tienden a recargarse solos, cuando están bajos y cuando les llega agua.

La cuenca de Santiago, mostrada en la Figura 1.1, se abastece de agua dulce principalmente con el río Maipo, pero cuando las precipitaciones son lo suficientemente intensas como para que la escorrentía sea importante, las quebradas que existen al este de la cuenca son alimentadas, como la Quebrada San Ramón o la Quebrada Macul. Este superávit en la escorrentía superficial, tanto de los ríos perennes como de las quebradas intermitentes, puede ser la fuente de agua que será infiltrada artificialmente al acuífero.

Dentro de los documentos que se estudiaran para realizar ese trabajo se encuentran los siguientes:

- Definición, objetivos, ventajas y condiciones de la infiltración artificial: BOUWER, 2002; DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS, 2012; INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA, 1995.
- Experiencias con infiltración artificial en el extranjero: ABU-ZREIG *ET AL.*, 2000; BOUWER *ET AL.*, 1999; DILLON Y PAVELIC, 1996; DILLON *ET AL.*, 1997; PULIDO-BOSCH, BEN SBIH, 1995; TODD, 1959.
- Cuenca de Santiago y su relleno sedimentario: ARANEDA *ET AL.*, 2000; ARANEDA *ET AL.*, 2010; BRANTT, C., 2011; FERNÁNDEZ Y MILOVIC, 2000; FOCK, 2005; THIELE, 1980; VARELA, 1991; VARELA, 1996.

- Características hidrogeológicas de la cuenca de Santiago: AYALA, CABRERA Y ASOCIADOS, 2000; COMISIÓN NACIONAL DE RIEGO, 2013; DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS, 2002; DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS, 1986; DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS, 2013; IRIARTE, 2003; MORALES, 2002.
- Aspectos legales de la infiltración artificial en Chile: MINISTERIO DE JUSTICIA, 2010; MINISTERIO DE SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA, 2002.
- Obras para infiltración artificial: MAERSK CONTAINER INDUSTRY, 2012; MINVU, 1996.
- Metodología para el relleno de datos de series históricas: ARUMÍ *ET AL.*, 2000; BERCIÁN Y PALOMO, 2004.
- Otros: DEPARTAMENTO DE PROTECCIÓN CIVIL, 1995.

1.2. UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

La cuenca de Santiago se ubica en la zona central de Chile, entre 33°10' y 34° latitud sur y 70° y 71° longitud oeste. Cubre una superficie aproximada de 2400km², incluyendo los cerros islas que contiene (Figura 1.1).

Es posible recorrer la zona por numerosos caminos pavimentados y en buen estado. Se accede, desde el norte y el sur por la carretera Panamericana (ruta 5), y desde el norte por la ruta 57 que conecta a Santiago con las ciudades de Los Andes y San Felipe. Desde la costa están la ruta 68 (Santiago- Valparaíso), y la ruta 78 (Santiago - San Antonio). Además de las autopistas mencionadas, existen numerosos caminos secundarios, muchos de ellos pavimentados, que conectan los abundantes poblados existentes al interior de la zona considerada (Figura 1.1).

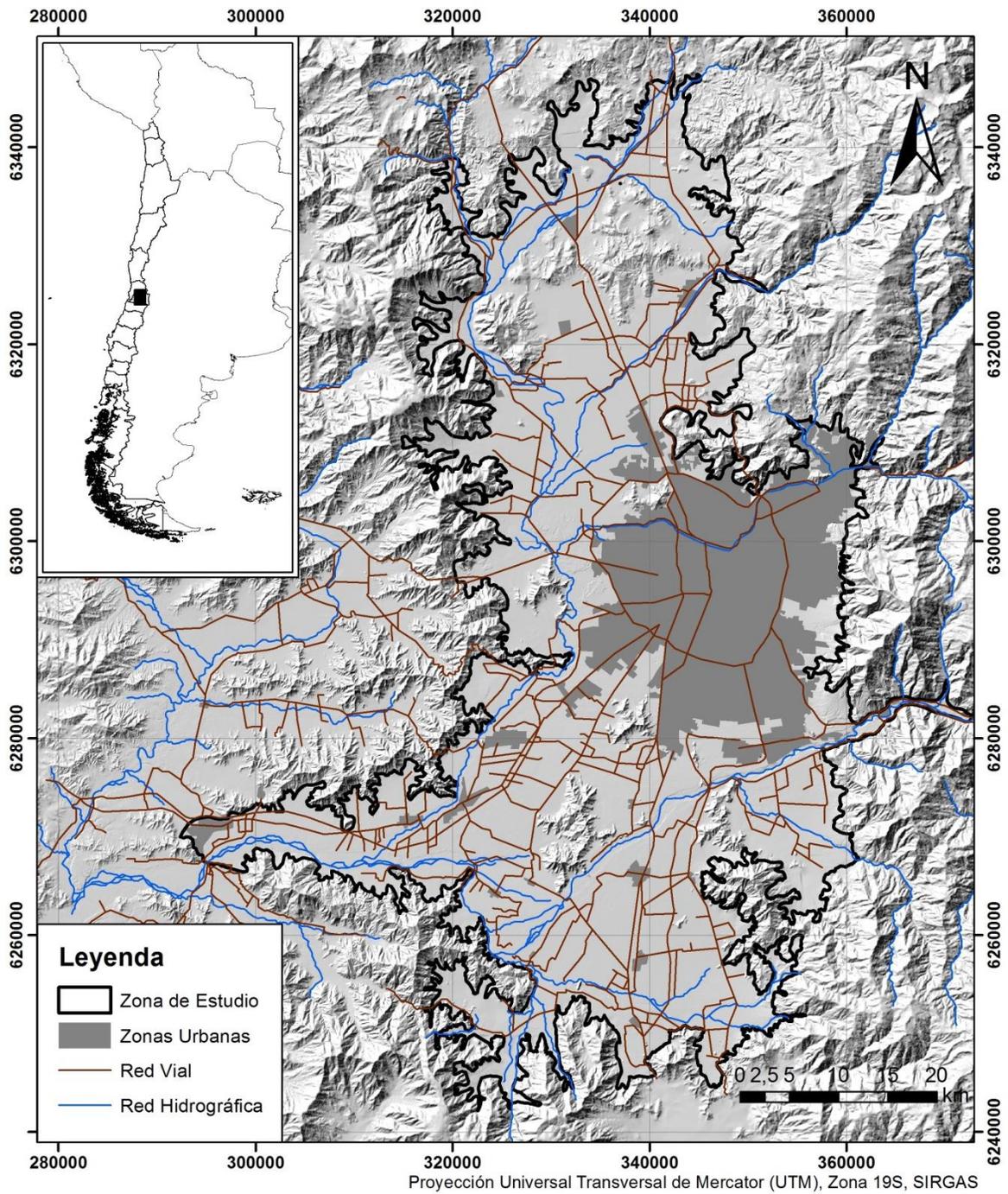


Figura 1.1: Zona de estudio, correspondiente a la cuenca de Santiago, Región Metropolitana, Chile.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. **Objetivo General**

Se tiene como objetivo general analizar la factibilidad hidrogeológica de infiltración artificial de agua en el acuífero de la cuenca de Santiago y seleccionar sectores idóneos para su realización.

1.3.2. **Objetivos Específicos**

Se tienen como objetivos específicos los que siguen:

- caracterizar en detalle el acuífero, determinando el tipo de acuífero, su geometría (potencia y extensión) y sus parámetros hidrogeológicos (permeabilidad y nivel estático);
- evaluar las crecidas de la escorrentía superficial para determinar si son fuentes de agua factibles para ser infiltradas;
- determinar una locación para una posible planta de infiltración y sus características;
- proponer un proyecto de infiltración;
- Evaluar el aumento del nivel freático producto de la infiltración artificial en el sector seleccionado; y,
- Estimar el valor actual neto del proyecto propuesto.

1.4. HIPÓTESIS DE TRABAJO

El acuífero de la cuenca de Santiago tiene las características adecuadas para ser receptor de agua infiltrada artificialmente en eventos de alta escorrentía, y cuenta con una capacidad suficiente de almacenamiento.

1.5. METODOLOGÍA

A continuación se detallan las metodologías utilizadas para el desarrollo de cada uno de los objetivos propuestos:

- recopilación y estudio bibliográfico;
- estudio histórico de precipitaciones y crecidas mediante análisis estadísticos;
- determinación de las áreas propicias para la infiltración mediante el cruce de las zonas con mejores características hidrológicas e hidrogeológicas en el software *ArcGIS* (versión 10.1, ESRI);
- tasación de zonas y terrenos seleccionados mediante avalúo fiscal; y propuesta de un método de infiltración según las características hidrológicas e hidrogeológicas del terreno seleccionado;
- Estimación del aumento del nivel freático; y,

- Cálculo del valor actual neto.

1.6. PLAN DE TRABAJO

A continuación se presentan las actividades que se realizarán para el desarrollo y alcance de los objetivos propuestos anteriormente.

- **Recopilación y estudio bibliográfico**
 - a. Estudio de la Carta Geológica de Chile, área Santiago.
 - b. Estudio bibliográfico de la zona de estudio y zonas adyacentes en base a publicaciones científicas y estudios previos.
 - c. Recopilación, procesamiento y análisis de datos de estratigrafía, transmisividad, permeabilidad y coeficiente de almacenamiento, en bibliografía pertinente.
 - d. Determinación de extensión, potencia, características de permeabilidad y características hidráulicas del acuífero.
- **Estudio histórico de precipitaciones y crecidas**
 - a. Recopilación y estudio de datos históricos de precipitaciones y caudales.
 - b. Análisis estadístico de datos de caudales, determinando las probabilidades de excedencia mensuales.
- **Determinación de las áreas propicias para la infiltración**
 - a. Determinación de sectores según profundidad del nivel estático.
 - b. Determinación de sectores según permeabilidad del relleno sedimentario.
 - c. Determinación de sectores según cercanía a red de drenaje.
 - d. Estudio de características hidrogeológicas y de permeabilidad (sedimentológicas) que indiquen permeabilidad en la zona de aireación.
 - e. Disponibilidad de terreno para plantas de infiltración.
 - f. Determinar los sectores que cumplan con las características más favorables para los puntos anteriores.
- **Estudio de terrenos y propuesta de método de infiltración**
 - a. Determinar valores comerciales de los terrenos seleccionados.
 - b. Determinar los mecanismos de infiltración propicios (sondajes, zanjas u otro), según características hidrológicas e hidrogeológicas del sector.
- **Estimación del volumen infiltrado**
 - a. Considerar una forma geométrica simple.

- b. Estimar del volumen de agua infiltrado y el área de infiltración.
- c. Considerar un coeficiente de almacenamiento prudente.
- d. Calcular el volumen saturado.
- e. Calcular el ascenso del nivel freático.

- **Cálculo del valor actual neto**

- a. Considerar una tasa de rentabilidad conservadora.
- b. Calcular el valor actual neto para dos casos de ingresos.

- **Integración y redacción**

- a. Integración de la información y análisis e interpretación global de resultados.
- b. Redacción de la tesis y conclusiones.

2. ANTECEDENTES GENERALES

2.1. OBJETIVOS, CONDICIONES Y VENTAJAS DE LA RECARGA ARTIFICIAL

Según el informe de la Dirección General de Aguas, Análisis y Síntesis Preliminar de Iniciativas Sobre Recargas Artificial en Chile (DGA, 2013), se considera como recarga artificial a 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 el nivel de sobreexplotación de largo plazo. Los principales objetivos de la recarga artificial son:

- Almacenar en acuíferos agua superficial excedente, evitando las pérdidas por evaporación, utilizando la función capacitiva del acuífero, e incrementando el volumen del recurso 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;
- Crear barreras para:
 - frenar el descenso regional del nivel de aguas subterráneas,
 - frenar el avance de la intrusión marina, o
 - limitar la extensión del cono de drenaje producido por un drenaje minero u excavación subterránea; y,
- Actuar frente a problemas de subsidencia.

El desarrollo de obras de recarga artificial requiere de ciertas condiciones que favorecen o facilitan el proceso de infiltración y almacenado de las aguas en el acuífero. Aunque no son totalmente limitantes pueden condicionar de forma importante el objetivo de una obra de recarga. Dichas condiciones tienen que ver con contar con suelos permeables que condicionan el método de recarga, un acuífero suficientemente permeable para asegurar un proceso de infiltración eficiente hasta la napa y agua de recarga de calidad adecuada tanto física (desprovista de sedimentos), como química (que no afecte la calidad natural del agua de la napa). Las principales ventajas de la implementación de proyectos de recarga artificial son:

- Reducir el descenso del nivel del agua producido por sobre-bombeo o sobreexplotación, que genera los consiguientes problemas y sobrecostos derivados de abandono de pozos o re-profundización de los mismos.
- Utilización del acuífero como embalse regulador natural, favoreciendo la reducción de pérdidas por evaporación, y por otro, facilitar a los usuarios la oportunidad de tener una cierta independencia de las intermitencias del ciclo hidrológico, y una favorable repartición temporal de los recursos, aumentando el rendimiento y la regulación de los recursos del agua.

2.2. ASPECTOS TÉCNICOS

Según el informe de la CNR, Estudio Diagnóstico de Zonas Potenciales de Recarga de Acuíferos en las Regiones de Arica y Parinacota a la Región del Maule (CNR, 2013), los dispositivos utilizados para recarga artificial de acuíferos se pueden clasificar en dos grupos que son superficiales y subterráneos o profundos. Los superficiales pueden ser dentro del cauce (serpenteos, barreras, diques, escarificación del cauce, zanjas) y fuera del cauce (balsas o piscinas de infiltración, sobre-riego de áreas agrícolas). A su vez los subterráneos o profundos pueden ser pozos de inyección, pozos o zanjas de infiltración, etc. Los métodos de infiltración se verán en detalle en el apartado 5: MECANISMOS DE INFILTRACIÓN.

El método a usar y su efectividad en la recarga, dependerá de varios factores:

- Disponibilidad de agua para recarga (en este caso, excedentes superficiales de invierno, que son variables y muchas veces escasos).
- Calidad relativa del agua de recarga respecto a la del acuífero (para no bajar la calidad de esta última).
- Relieve y topografía de la cuenca (ancho de los valles, pendientes de cauces y acuíferos).
- Características hidráulicas de la formación acuífera (capacidad de almacenamiento, etc.)

2.3. ESTUDIOS PREVIOS

Existen experiencias exitosas en recarga artificial de acuíferos que han sido aplicadas en otros países, donde en algunas de ellas se observan condiciones muy diferentes a las de nuestro país.

En Chile la experiencia es limitada. Sólo existen algunos estudios aislados, en áreas muy localizadas.

Actualmente, gracias a iniciativas de la CNR, la DGA y el Departamento de Administración de Recursos Hídricos, además de algunos privados, se está empezando a investigar de manera sistemática el tema, a través de estudios que están en ejecución o prontos a comenzar, algunos de los cuales son presentados a continuación, modificados de DGA (2013). También se revisan algunos proyectos de recarga artificial en sectores fuera de Chile, que se muestran en el apartado 2.3.2: Estudios fuera de Chile.

2.3.1. Estudios dentro de Chile

A. Investigación Recarga artificial Acuíferos Cuencas del Río Choapa y Quilimarí, región de Coquimbo (SIT N°292), AC Ingenieros.

El objetivo principal del trabajo es la identificación de zonas de infiltración relevantes de los acuíferos en las cuencas del Choapa y Quilimarí para la implementación de obras de recarga artificial en el cauce principal o en otros sectores que se proponga.

En términos generales, el estudio incluye los siguientes aspectos:

Recopilación y análisis de antecedentes geológicos e hidrogeológicos y algunos aspectos técnicos de la recarga artificial. Revisión de imágenes satelitales para determinar sectores geomorfológicamente favorables y visita para validar o rechazar dichos sectores.

Levantamiento de información complementaria como catastro de captaciones de aguas subterráneas para generar información de niveles estáticos. Realización de prospecciones geofísicas para definir la profundidad de la roca, los niveles de napa y las características de los rellenos, y análisis de la calidad de aguas superficiales y subterráneas con el fin de caracterizar la calidad de las aguas potencialmente infiltrables y de las aguas receptoras de la recarga.

Recopilación de antecedentes técnicos y legales respecto a la recarga artificial de acuíferos.

Caracterización hidrogeológica, considerando información geológica regional e información de terreno. Modelamiento de los flujos subterráneos en el área de estudio para determinar cómo varía el estado del sistema, incorporando entradas de flujo correspondientes a infiltraciones inducidas artificialmente. Cuantificación de la disponibilidad hídrica superficial, que permitiría abastecer a los proyectos de recarga artificial, con el fin de poder priorizar las zonas acuíferas de cada cuenca en estudio.

Se identifican sectores con potencial para recarga artificial, los que corresponden, en el caso de la cuenca del río Choapa, a CH-4, Río Choapa (Panguecillo); CH-3, Río Chalinga; y CH-5, Estero Camisas, y en el caso del río Quilimarí, son: Q-5, Guangualí, Q-6, Aguas abajo de Guangualí y Q-7, Quilimarí.

Se analizan y evalúan alternativas de recarga artificial, donde se concluye que los métodos más favorables para las características de la zona son los métodos de recarga superficial: balsas o piscinas de infiltración para el Sector CH-4 y Zanjadas de Infiltración para el sector CH-3; y, propuesta de un proyecto piloto, donde los resultados de las evaluaciones técnico-económicas efectuadas concluyen que los

proyectos no son rentables, ni privada ni socialmente. Sin embargo, no se tiene acceso a los parámetros que se evaluaron para determinar dicho resultado.

B. Mejoramiento del sistema de aguas subterráneas para su utilización en el riego de la cuenca del Río Copiapó; CNR, Jorquera y Asociados S.A.; Noviembre 2012.

Este estudio tiene como objetivo general analizar alternativas al nivel de pre-factibilidad, de obras de infiltración del agua subterránea para su uso en riego, proponiendo obras que permitían la utilización óptima de los recursos superficiales y subterráneos a través de recarga y embalsamiento natural o artificial en el acuífero.

Los principales resultados del estudio son los siguientes:

Se identifican los caudales y volúmenes de agua superficial que son susceptibles de infiltrar, estimándose en unos 430 millones de m³ disponibles cada 20 años. Volúmenes que actualmente descargan al mar en épocas de crecidas. En este caso no se considera un caudal ecológico pero si se realiza una evaluación ambiental de las alternativas escogidas más adelante.

Se establece los volúmenes no saturados de los acuíferos que hacen posible realizar esta recarga, y que alcanzan para los recursos disponibles para infiltrar. Asimismo, se establece que esta infiltración es posible en cuanto a las características hidrogeológicas de los acuíferos.

Se investiga los sitios posibles en que se podían construir obras para recargar y los métodos para realizar las recargas utilizando el modelo de simulación hidrogeológico preparado por SERNAGEOMIN (Modelación Hidrogeológica del Valle del Río Copiapó: evaluación y actualización modelo conceptual, elaboración, calibración, validación y operación modelo numérico, elaboración manual de uso del modelo numérico, 2011) y adaptado por el consultor. Se encuentran los lugares más apropiados en razón de las demandas, de los consumos, utilización actual del suelo, baja interferencia con obras existentes, y se elige la infiltración por lagunas en los sectores 4 y 5 como el método más conveniente.

También se investiga la viabilidad de estas obras en relación con posibles impactos ambientales negativos y medidas de mitigación de esos impactos, llegándose a la conclusión que ellos son mínimos en los sitios elegidos, existiendo impactos positivos por la recarga. Se define una línea base, investigando las variables físicas, biológicas, sociales y de patrimonio arqueológico y patrimonial, para el seguimiento futuro de las situaciones ambientales.

Se hacen diseños preliminares de obras para infiltrar y se establecen sus costos.

Se estudian los beneficios de la mayor disponibilidad del agua y se generan índices de beneficio /costos siguiendo las normas de MIDEPLAN, índices que, en la mayoría de los casos, resultan atractivos para la inversión. Se identifican las fórmulas posibles para el financiamiento de las obras y el marco legal para la construcción.

Los índices de inversión son mejores respecto de cualquier otro proyecto que pueda conocerse para aumentar los recursos de agua del valle de Copiapó. Cualquier otra opción para aumentar los recursos, como ser embalses superficiales, desalación, carretera del agua, está muy lejos de ser comparables con esta proposición, sin que estos últimos sean descartables. No se conoce el detalle de estas evaluaciones económicas.

C. Mejoramiento de Agua Subterránea para Riego Ligua y Petorca; CNR, GCF Ingenieros Ltda.; Enero 2013.

El objetivo general de este estudio es analizar alternativas y desarrollar, a nivel de pre-factibilidad, obras de recarga artificial, en las cuencas de Ligua y Petorca, para su uso en riego, proponiendo obras que permitan la utilización óptima del recurso superficial y subterráneo.

El informe final del estudio se estructura en base a toda la información recopilada y generada durante el desarrollo del trabajo, partiendo por la recopilación y análisis de información, hasta la evaluación económica de los proyectos seleccionados y desarrollados a nivel de pre-factibilidad, los que son resultado de un proyecto de ajuste y redefinición, tanto de los diseños como de las disponibilidades de agua para recarga.

La recopilación de información incluye antecedentes hidrológicos, hidrogeológicos, de demandas de agua y de calidad de aguas. Se predefinen sitios en los que podría implementar proyectos de recarga artificial con imágenes satelitales donde se observase espacio disponible para construir obras de recarga artificial, las que son verificadas con una campaña de terreno.

Se realiza un balance hídrico preliminar para los ríos Ligua y Petorca, además de una caracterización hidrogeológica para determinar capacidad de infiltración y volúmenes de almacenamiento por sector. También se caracteriza la demanda de agua y se recopiló la información de derechos de aguas subterráneas, enfocado a la implementación de un modelo de simulación hidrogeológica.

El estudio considera la determinación de sectores favorables para la recarga y su selección progresiva, en función de las disponibilidades de agua, y, en el caso de las obras de infiltración, de disponibilidad de aguas y superficie para instalarlas, las que finalmente consisten en piscinas de infiltración agrupadas en módulos de recarga.

Se realiza una modelación que permite establecer las magnitudes de los caudales que estarían disponibles para ser utilizados en las obras de recarga. Los proyectos seleccionados, se evalúan considerando que se dispondrá de los caudales de una probabilidad de excedencia del 50%, los que son:

- La Ligua: A4-L3 (Sector Pililén) y A3-L6 (Sector Cabildo)
- Petorca: A1-P5 (Sector Hierro Viejo) y A2-P9 (Sector La Canela)

Se determina que los proyectos no tienen ninguna limitación de tipo ambiental. También se realiza un estudio agronómico para definir la situación actual agropecuaria y la situación futura o con proyecto.

Se realiza el diseño a nivel pre-factibilidad de las obras de recarga, lo que incluye: dimensionamiento, cubicación y presupuesto de las obras asociadas a cada sector y proyecto seleccionado, determinando que el costo de implementarlos varía entre 635 y 845 millones de pesos.

Los proyectos de la cuenca del río Petorca no son económicamente rentables, pero si lo son socialmente. Los de la cuenca del río La Ligua, por otra parte, son económica y socialmente rentables. El proyecto que es más rentable es del cercano al sector de Cabildo, en el valle La Ligua.

Se esboza un programa para la instalación de equipos de medición de caudal en los pozos que se ubiquen cercanos a las obras de infiltración, para poder controlar adecuadamente los caudales de extracción atribuibles a la recarga.

Finalmente, los proyectos de recarga artificial evaluados son muy pequeños en el contexto de cada valle por lo que sus efectos, si bien tendrán una influencia en la vecindad inmediata, serán marginales a nivel de cuenca.

D. Estudio Básico “Análisis alternativas piloto recarga artificial Ligua-Petorca, V Región”; CNR, Aqualogy Medioambiente Chile S.A.; Agosto 2013.

A partir de los resultados del estudio anterior (“Mejoramiento de Agua Subterránea para Riego Ligua y Petorca”; CNR, GCF Ingenieros Ltda.; Enero 2013), la CNR desarrolla un estudio para ejecutar un plan piloto de recarga artificial, de manera de rescatar indicadores y resultados que sirvan para extrapolar la experiencia conseguida, tanto en futuros proyectos pilotos en otras zonas del país, como en proyectos a mayor escala.

El objetivo general del estudio es desarrollar un proyecto piloto para recargar artificialmente los acuíferos del valle de La Ligua y Petorca mediante un sistema de lagunas de infiltración. Los objetivos específicos planteados para este estudio son:

- Analizar la información hidrológica, hidrogeológica y topográfica existente para los cinco sitios identificados en el estudio “Mejoramiento de Agua Subterránea para Riego Ligua y Petorca”.
- Analizar los aspectos legales del aprovechamiento de excedentes superficiales recargados artificialmente.
- Seleccionar el sitio piloto entre los 5 sitios identificados en el estudio “Mejoramiento de agua Subterránea para Riego Ligua y Petorca”.
- Construir las obras necesarias para el desarrollo del piloto.
- Realizar pruebas de recarga.
- Determinar las tasas de infiltración del sistema.
- Evaluar el impacto en los niveles de los pozos cercanos al sistema.

Una de las conclusiones fundamentales de este proyecto, que puede ser presentada como una principal recomendación, es que, para garantizar el éxito en cuanto a logro de objetivos, se debe poder integrar a la comunidad potencialmente beneficiada por las obras de recarga.

Como la regulación de un acuífero es tema de balance, el efecto de una recarga artificial lo modificará, entonces se recomienda que para otras experiencias, el control piezométrico, se inicie con antelación a la operación de recarga. De esta forma se determina la regulación antes y durante la operación del proyecto, una variación en la regulación del sistema, implica un supuesto impacto de la recarga en los niveles piezométricos.

Como recomendaciones técnicas para futuros proyectos se mencionan las siguientes:

- Establecer una línea base con bastante antelación a la entrada en operación del proyecto.
- En el dimensionamiento de las balsas, se deberá privilegiar la profundidad por sobre el área, ya que queda establecido que la tasa de infiltración depende de la carga y son directamente proporcionales.
- Si no se dispone de fuentes de control, se debe contemplar la construcción de piezómetros.
- Como ya se mencionó, se debe privilegiar la profundidad sobre el área, con lo cual las unidades podrían construirse más pequeñas, y considerar una de ellas con carpetas impermeables que sirva de almacenamiento para las pruebas.
- Ya que interesa el caudal por sobre los volúmenes, es totalmente recomendable que la alimentación del piloto también posea un mecanismo de registro continuo de caudales.

E. Estudio Diagnóstico de las Zonas potenciales de Recarga de Acuíferos en las Regiones de Arica y Parinacota a la Región del Maule; CNR, GCF Ingenieros Ltda.; Marzo 2013.

La CNR está trabajando en estudios que apuntan a definir y desarrollar proyectos de recarga artificial de acuíferos, entre los cuales, este trabajo, que es el primero que abarca una amplia zona del territorio nacional, configura un panorama positivo respecto a lo que pueda obtenerse de estos proyectos de mejoramiento o aumento de la disponibilidad de agua subterránea a nivel nacional. Destaca en este caso el diseño de un índice de Recarga Compuesto, lo que constituye la primera aproximación a un método de selección de sectores aptos para la recarga artificial.

El objetivo general de este trabajo es la determinación de zonas potenciales para aplicar la recarga artificial en acuíferos en las principales cuencas ubicadas entre las regiones de Arica y Parinacota a Maule. Por su parte, los objetivos específicos son los siguientes:

- Caracterización de las cuencas.
- Determinación de las zonas potenciales de recarga.
- Validación en terreno de los resultados.
- Generación de perfiles de costos para proyectos de referencia.
- Implementación de una plataforma SIG.

Se realiza una identificación preliminar de las cuencas favorables para la recarga, las que deben cumplir con ciertas condiciones de tipo hidrogeológicas del área de estudio y contar con disponibilidad de agua para efectuar la recarga.

Dentro de la identificación preliminar, se realiza una caracterización conceptual general y un análisis de las cuencas involucradas en este estudio, para estimar la validez y utilidad que se obtendría con el desarrollo de proyectos de este tipo. En cada una de las cuencas estudiadas se generan coberturas de permeabilidades, basadas en estudios anteriores, para visualizar las zonas más permeables en todas las cuencas.

También se determina el volumen de almacenamiento disponible. Se procesan los datos de niveles estáticos disponibles en cada cuenca para identificar aquellos sectores del acuífero con niveles estáticos profundos, que posibiliten el almacenamiento de recarga artificial.

Tomando en consideración las características hidrogeológicas de las cuencas estudiadas, se subdividen en sectores acuíferos con el objetivo de priorizar sectores aptos para la recarga artificial. Para establecer la importancia relativa de cada sector, se determina un índice de recarga compuesto, que considera tres variables:

profundidad de la napa, coeficiente de permeabilidad y superficie del relleno o área de la sub-cuenca acuífera.

Una vez establecido el ranking de los sectores acuíferos, se eligen los 15 sectores mejor evaluados para identificar en cada uno de ellos las zonas con mayor potencial para la recarga de acuíferos, y se delimita para cada uno de ellos las áreas más aptas para admitir recarga artificial. El criterio de delimitación consiste en identificar las zonas más permeables y con niveles más profundos en cada sub-cuenca.

Se seleccionan tres sub-cuencas para desarrollar perfiles de costos, las cuales fueron:

- Mapocho y Sub-cuenca norte del Maipo (Región Metropolitana)
- Chacabuco-Polpaico (Región Metropolitana)
- Pan de Azúcar, aguas abajo de El Peñón (IV Región)

Estos tres sectores presentan un buen potencial para proyectos de recarga artificial, la cual consistiría en pozos profundos de infiltración, aprovechando que los niveles de la napa están bastante deprimidos y los acuíferos poseen valores de permeabilidad también bastante altos.

2.3.2. Estudios fuera de Chile

A. Effects of geology and human activity on the dynamics of salt-water intrusion in three coastal aquifers in southern Spain [Efectos de la geología y actividades humanas en las dinámicas de intrusiones salinas en tres acuíferos costeros de España] (CALVACHE, PULIDO-BOSCH, 1997).

El modelamiento matemático abstracto de los procesos de intrusión de agua salada en tres acuíferos en la costa sur de España (Río Verde, Río Vélez y Castell de Ferro) revela que, aunque los tres sistemas están sujetos al mismo clima y sobre-explotación estacional, los factores geológicos y humanos tienen efectos muy distintos sobre la dinámica de la contaminación.

En el acuífero Río Verde, la influencia más importante es el gran volumen de extracciones que se producen durante la estación seca; en Río Vélez, la intrusión es fuertemente controlada por la infiltración de agua del río al acuífero y en el sistema Castell de Ferro, un macizo carbonatado intensamente karstificado yaciendo en contacto tanto con agua de mar como con el acuífero detrítico, representa el principal punto de entrada de la afluencia de agua de mar y el subsecuente lavado del acuífero.

Se lleva a cabo una simulación matemática de diversas medidas posibles para contrarrestar la intrusión, de acuerdo a las características específicas del proceso en cada acuífero. Estas medidas incluyen la recarga artificial en el acuífero Río Verde, el uso de la recarga natural del río como una barrera hidráulica en el acuífero Río Vélez, y la construcción de una barrera de baja permeabilidad en el acuífero Castell de Ferro.

En particular, el acuífero río verde muestra la variación en la intrusión de agua salada de una estación a otra. La intrusión importante ocurre en la estación seca y se nota por la alta salinidad del agua subterránea, mientras que en periodos de recarga máxima, el acuífero es casi completamente lavado, a pesar de que, según el análisis de contenido de Cl⁻ y la conductividad eléctrica del agua subterránea, la cantidad de sal remanente después de cada episodio de intrusión está en constante aumento. Este sistema muestra una alta correlación entre volumen de la intrusión y bombeo.

Se considera simular un posible incremento de los recursos del acuífero durante el periodo de extracción más intensa. Esta medición se puede lograr, ya sea construyendo un embalse para regular los recursos hídricos superficiales, o por transferencia desde otra cuenca. Se simula una recarga artificial de 1hm³/mes por un periodo de 8 meses (diciembre a julio), teniendo en cuenta que esta es la temporada en que pueden existir excedentes en las cuencas cercanas.

El resultado muestra un efecto inmediato. La tabla de agua aumento 8m en el punto de recarga y varios cm en la zona del acuífero más distante a ese punto. Aún más importante, la intrusión de agua salada es eliminada, aunque solo mientras la recarga está teniendo lugar. Por lo tanto, debido a la gran transmisibilidad del acuífero, 3 meses después del cese de la recarga el grado de intrusión alcanzado será el mismo que antes de la recarga. Se concluye que este sería un buen medio para contrarrestar la intrusión en el acuífero, siempre y cuando se lleve a cabo durante la estación seca. Esta condición reduce su factibilidad considerablemente, ya que el uso directo del agua transferida sería más económico, los que lleva a la reducción del bombeo y al avance de la cuña de agua salada.

Se concluye que la actividad humana tiene una influencia significativa en la intrusión de agua salada y hay casos, como el del acuífero río Verde, donde algunas medidas, tales como la correcta administración de los recursos de agua superficiales y subterráneos, son esenciales para evitar un problema con consecuencias severas como en áreas que ya están en peligro de desertificación. Sin embargo, no se deben descuidar otros factores naturales, los que, en algunos casos, pueden amplificar el efector de la actividad humana, como en el caso del acuífero Castell de Ferro, donde la alta contaminación se debe principalmente a la distribución litológica de rocas y sedimentos más o menos transmisivos a lo largo de la línea de costa. Los resultados de la investigación llevan a concluir que cualquier intento de corregir un acuífero afectado por intrusión de agua salada requiere un conocimiento muy detallado de la dinámica específica del proceso de

contaminación en cada caso. En general, la mejor solución para un sistema no es necesariamente aplicable a otros acuíferos sólo porque sean cercanos y tengan condiciones climáticas similares.

B. Centuries of artificial recharge on the southern edge of the Sierra Nevada (Granada, Spain) [Siglos de recarga artificial en el borde sur de Sierra Nevada (Granada, España)] (PULIDO-BOSCH, BEN SBIH, 1995).

En la Alpujarra (al sur de España), todos los años entre marzo y junio, se realiza una práctica ancestral que consiste en desviar agua de los ríos a una extensa red de canales de irrigación hacia zonas altamente permeables bien definidas. Esta práctica, conocida como careos, constituye un ejemplo antiguo de recarga artificial. El objetivo es garantizar el suministro de agua potable durante los meses secos, así como mejorar las características fisicoquímicas del agua. Además, este sistema ayuda a mantener la humedad en el medio ambiente inmediato, y también tiene un efecto positivo en la vegetación local.

C. Predicting Infiltration and Ground-Water Mounds for Artificial Recharge [Predecir montículos de agua subterránea e infiltración para recarga artificial] (BOUWER *ET AL.*, 1999).

Planear sistemas de recarga artificial de agua subterránea a través de infiltración superficial requiere investigaciones de área para predecir tasas de infiltración y requerimientos superficiales. La capacidad de la zona vadosa de transmitir agua al acuífero subyacente y las condiciones del acuífero también deben ser evaluadas, para predecir el aumento del montículo de agua subterránea y para determinar dónde el agua subterránea debe ser eventualmente bombeada para prevenir que los montículos de agua subterránea bajo áreas de recarga se eleven muy alto. Se presenta una técnica simple para convertir datos de corta duración de infiltrómetros de cilindro simple a tasas de infiltración final para grandes áreas. También se desarrollan ecuaciones simples para estimar alturas de montículos de agua subterránea colgada sobre capas impermeables en la zona vadosa, para estimar que tan lejos del área de recarga debe ser bombeada el agua y a que profundidad crear un sistema de estado estacionario con una altura constante del montículo de agua subterránea en el área de recarga. Los procedimientos son útiles para estudios de factibilidad y el diseño preliminar de proyectos de recarga, incluyendo almacenamiento de agua subterránea a largo plazo o reserva de agua.

D. Annotated bibliography on artificial recharge of ground water through 1954 [Bibliografía escrita sobre la recarga artificial de las aguas subterráneas a través de 1954] (TODD, 1959).

Libro en el que se indican todos los estudios realizados sobre recarga artificial en el mundo, hasta el año 1954.

E. Otros Proyectos fuera de Chile

En áreas agrícolas de Jordania se han probado zanjas rellenas con arena para interceptar la escorrentía superficial para infiltración más profunda, en la zona vadosa (ABU-ZREIG *ET AL.*, 2000).

Por otra parte, en Australia, la escorrentía que se forma en una tormenta y el efluente del tratamiento de las aguas servidas municipales son inyectados en acuíferos salobres para producir agua para irrigación por bombeo de los mismos pozos. La obstrucción es disminuida gracias a una combinación de tratamiento de agua a bajo costo y la reconstrucción de pozos, y la calidad del agua subterránea es protegida por sus usos beneficiosos declarados. (DILLON Y PAVELIC, 1996; DILLON *ET AL.*, 1997). Estas operaciones de almacenamiento y recuperación de acuíferos han sido exitosas desde 1993 en el sur de Australia, y el número y tamaño de los proyectos se están expandiendo, usando acuíferos de caliza, roca fracturada y aluviales. En lugares donde el agua de lluvia ha sido estacionalmente inyectada al acuífero, la atenuación de la tasa de patógenos en los acuíferos es adecuada para usos de riego y usualmente también alcanza los requerimientos para uso potable del agua recuperada.

3. MARCO GEOLÓGICO E HIDROGEOLÓGICO

El marco geotectónico de Chile Central (32°-35°S) ha estado caracterizado por la subducción de corteza oceánica bajo corteza continental al menos desde el Jurásico Inferior hasta el presente, condicionando distintos procesos geológicos como: el magmatismo, ubicación del arco con respecto a la fosa, desarrollo de cuencas, orogenia y tectonismo (COIRA *ET AL.*, 1982; MPODOZIS Y RAMOS, 1989).

Esto conduce a que en Chile Central se observen tres rasgos morfo-estructurales principales, mostrados en la Figura 3.1, que caracterizan la vertiente occidental de Los Andes. Estos se disponen en franjas de orientación norte-sur correspondientes, de oeste a este, a:

- Cordillera de la Costa
- Depresión Central
- Cordillera Principal (parte occidental)

Entre las tres primeras unidades se encuentran los valles fluviales de los ríos Maipo y Mapocho, cuyos cursos de agua transportan la mayoría de los sedimentos que rellenan la depresión intermedia. Entre estos, el Maipo es el de mayor importancia por su envergadura. (DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS, 2002; MORALES, 2002; FOCK, 2005).

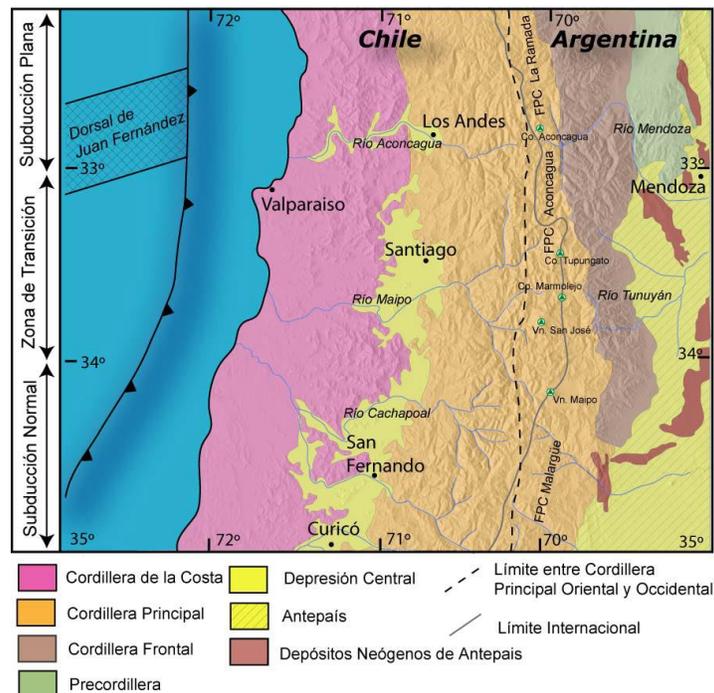


Figura 3.1: Rasgos geomorfológicos principales en Chile Central. Modificado de Fock (2005).

3.1. LITOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA DE LAS MORFOESTRUCTURAS EN LA ZONA CENTRAL DE CHILE

A continuación se describen en forma simplificada las litologías que se encuentran en cada una de las morfoestructuras mencionadas en el punto anterior, junto con una descripción breve de su morfología. La Figura 3.2 muestra un mapa litológico del sector. Para más detalles de litología ver el ANEXO A: MARCO GEOLÓGICO, LITOLOGÍA EN DETALLE.

3.1.1. Cordillera de la costa

En la cordillera de la costa afloran principalmente rocas intrusivas, cuya edad estimada fluctúa entre el Paleozoico y el Cretácico. Se observa una zonificación de las edades de estas rocas, ubicándose las más antiguas hacia el oeste y las más jóvenes hacia el este.

El cordón occidental se caracteriza por un relieve maduro, suave con alturas que alcanzan los 950m, mientras el cordón oriental es coincidente con el relieve abrupto y montañoso de la cordillera de la costa, alcanzando alturas de 2000m.

Los Depósitos Mesozoicos expuestos en la Cordillera de la Costa en la Región corresponden a:

- Formación Las Chilcas (THOMAS, 1958): Secuencia volcánica y sedimentaria continental principalmente, de aproximadamente 3.000m de espesor (FOCK, 2005); y
- Formación Lo Valle (THOMAS, 1958): secuencia de tobas de composición andesítica a riolítica (flujos piroclásticos ácidos y depósitos de caída de ceniza, principalmente) con intercalaciones de lavas y rocas sedimentarias continentales fluviales y lacustres con restos de troncos fósiles. El espesor de esta formación varía entre los 700 y 1.800m (FOCK, 2005).

Las planicies costeras son superficies planas y horizontales que se elevan a distintos niveles, alcanzando incluso las centenas de metros sobre el nivel del mar. En la zona de estudio esta unidad no tiene participación.

3.1.2. Depresión Intermedia

Constituye un plano suavemente inclinado hacia el oeste y hacia el sur, excepto en su extremo meridional donde escurre al estero Angostura. Está limitada hacia el norte por el Cordón de Chacabuco y hacia el sur por los cerros de Angostura de Paine. Esta depresión se encuentra topográficamente como el escalón más bajo de varias superficies sucesivamente más altas hacia el norte y que se reconocen por: Santiago, Polpaico, Rungue y Montenegro, siendo esta última la más alta por lo que

el drenaje entre estas superficies tiene también un sentido general de norte a sur. El relieve, por otro lado, va haciéndose más uniforme en sentido norte-sur.

Los depósitos sedimentarios no consolidados de esta unidad son numerosos y variados. Entre ellos destacan los depósitos de abanico aluvial, depósitos fluviales, depósitos coluviales y depósitos lacustres, los que serán explicados en detalle más adelante, en el punto 3.2.

Otra característica importante de esta unidad, es la presencia de numerosos cerros isla, los cuales representan en superficie la presencia de cordones topográficos parcialmente sepultados por el actual relleno (ARANEDA *ET AL*, 2000).

Dentro de las rocas que afloran en la depresión intermedia se tienen los estratos del Cerro Los Ratones (SELLÉS Y GANA, 2001), que corresponde a una unidad informal. Aflora principalmente en la Depresión Central, constituida por una secuencia volcánica y subvolcánica, formada por tobas de lapilli y brechas piroclásticas, además de escasas lavas andesíticas e intercalaciones sedimentarias continentales de aproximadamente 450m de espesor total, que aflora en el cordón de cerros del mismo nombre, al sur del río Maipo, y en pequeños cerros-isla al sur de esta localidad. Su base no aflora y se infiere una relación de discordancia angular con la suprayacente Formación Abanico, dada por la falta de continuidad de los pliegues y en las intrusiones ácidas que la afectan al pasar a la formación superior (SELLÉS Y GANA, 2001).

3.1.3. Cordillera de Los Andes

Es un imponente cordón montañoso joven, con volcanes extinguidos, activos e inactivos. Alcanza alturas sobre los 6000m y en ella se dispone la cabecera de la hoya del Maipo. Las rocas de la cordillera de los Andes corresponden a rocas estratificadas mesozoicas, volcánicas y sedimentarias, marinas y continentales, su potencia fluctúa entre los 10.000 y los 12.000m y su edad varía desde el Jurásico Superior al Cuaternario.

Las rocas mesozoicas y cenozoicas reconocidas en la Cordillera Principal corresponden a:

- Formación Nieves Negras (ÁLVAREZ *ET AL.*, 1997, 2000): Secuencia de areniscas finas a medias con intercalaciones de pelitas negras, limolitas (ÁLVAREZ *ET AL.*, 1997; CHARRIER *ET AL.*, 2002B);
- Formación Río Colina (GONZÁLEZ, 1963): secuencia de sedimentitas marinas compuesta principalmente por calizas y lutitas calcáreas oscuras, lutitas físciles finamente estratificadas, areniscas y conglomerados finos, con algunas intercalaciones de rocas volcánicas andesíticas;
- Formación Río Damas (KLOHN, 1960): secuencia continental de casi 3.000m de conglomerados y brechas conglomerádicas gruesas a medianas, con

intercalaciones de areniscas, limonitas, lavas andesíticas y pequeños niveles de yesos, expuestos en la parte oriental de la Cordillera Principal;

- Formación Lo Valdés (GONZÁLEZ, 1963): secuencia de lavas andesíticas con algunas intercalaciones de sedimentos marinos en su miembro inferior y calizas, calizas fosilíferas, calcilitas, lutitas y areniscas calcáreas en su miembro superior (HALLAM *ET AL.*, 1986), expuestos en la Cordillera Principal Oriental. El espesor estimado de esta formación es de 1.350m;
- Formación Colimapu (KLOHN, 1960): secuencia continental con una predominante coloración rojiza de areniscas y lutitas, conglomerados de matriz arenosa, con intercalaciones de tobas, lavas andesíticas y calizas, en capas lateralmente discontinuas. Su espesor alcanza, en los sectores que ha sido posible estimarlo, un valor aproximado de 2.000m (THIELE, 1980);
- Formación Abanico (AGUIRRE, 1960): unidad litoestratigráfica constituida por lavas básicas a intermedias, rocas piroclásticas ácidas, e intercalaciones sedimentarias continentales (fluviales, aluviales y lacustres), formando lentes de hasta 500m de espesor (CHARRIER *ET AL.*, 2002A; NYSTRÖM *ET AL.*, 2003). El espesor del conjunto se estima en ~ 3.000m, aun cuando se acepta que éste aparece aumentado por las numerosas intrusiones de filones-manto y lacolitos andesíticos (THIELE, 1980).

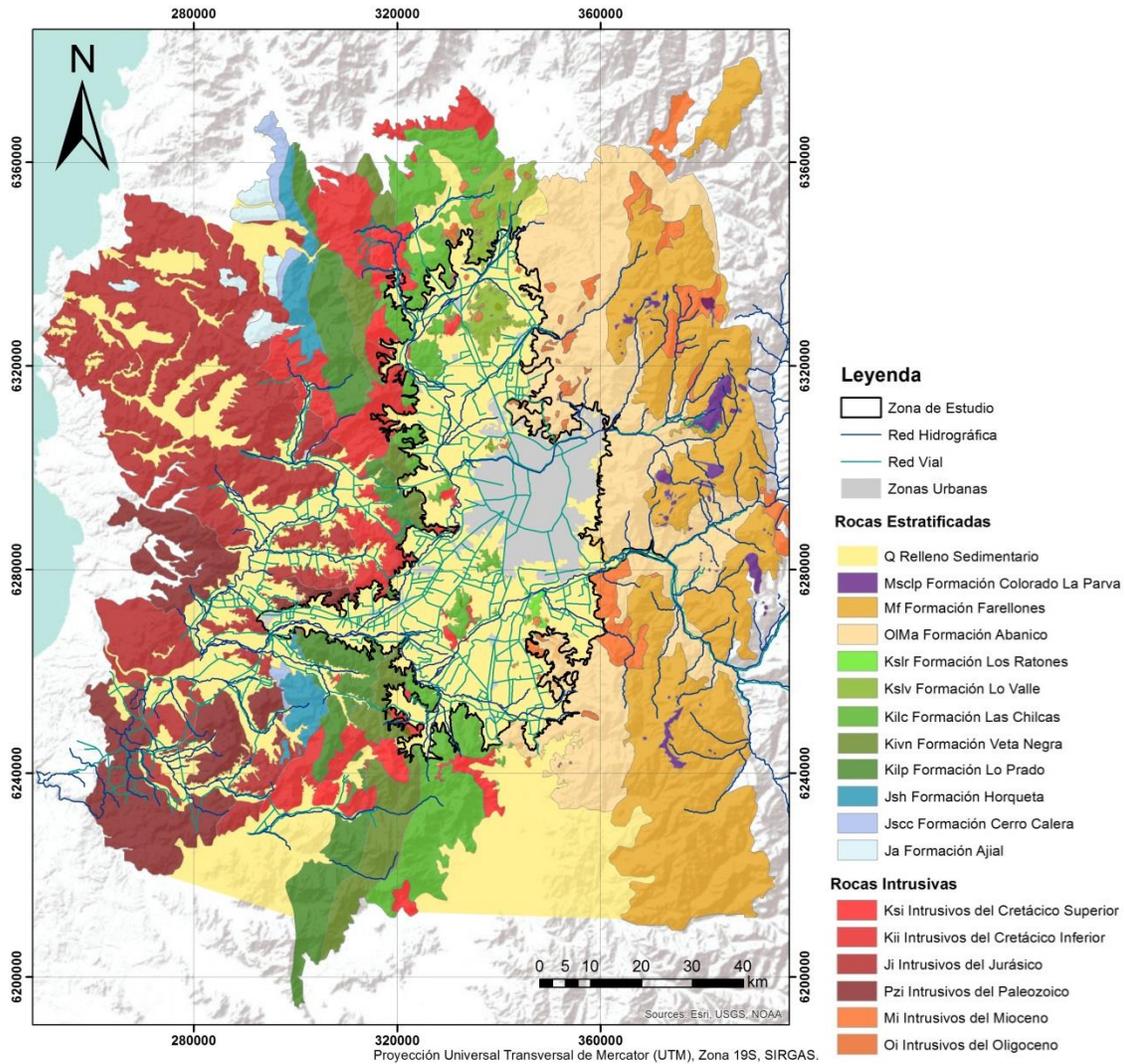


Figura 3.2: Mapa geológico del área de estudio. Modificado del Proyecto “Determinación de parámetros termales en el subsuelo de las cuencas de Santiago y Talca: implicancias para el uso directo de la energía geotérmica” (CEGA, 2015).

3.2. DEPOSITOS DE RELLENO DE LA CUENCA

Los sedimentos que existen en el área de estudio, son abundantes y de variado tipo. MORALES (2002), realiza un compilado de los distintos tipos de sedimentos a partir de los trabajos de VARELA (1991, 1996), GANA *ET AL* (1996) y WALL *ET AL* (1996), que en este estudio se complementa con la información de AYALA, CABRERA Y ASOCIADOS, 2000. En este compilado, dentro de la zona de estudio se distinguen: depósitos de remoción en masa; depósitos coluviales; depósitos aluviales; depósitos fluviales: actuales, sub-actuales y antiguos; y depósitos lacustres, además de depósitos de ceniza pumicítica.

A continuación se entrega una descripción modificada de estos sedimentos a partir de la compilación mencionada. La distribución espacial de estos depósitos puede verse en la Figura 3.3, mientras que en la Figura 3.4 se hace énfasis al origen del relleno. En la Figura 3.5 se muestra la leyenda en detalle de la Figura 3.4.

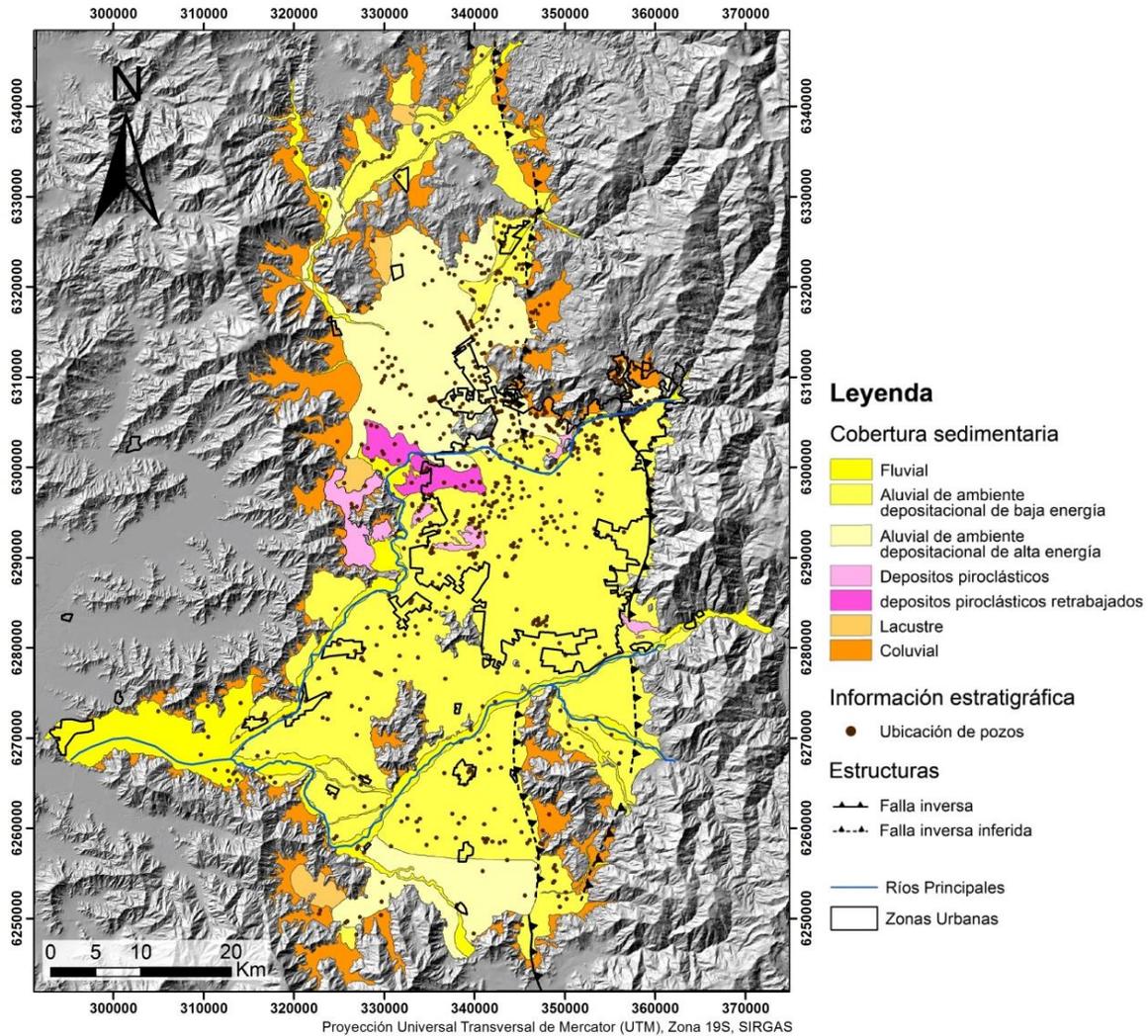


Figura 3.3: Mapa geológico de la cuenca de Santiago, el cual muestra la distribución del relleno sedimentario de acuerdo al tipo de cobertura. Modificado de MUÑOZ ET AL., 2015.

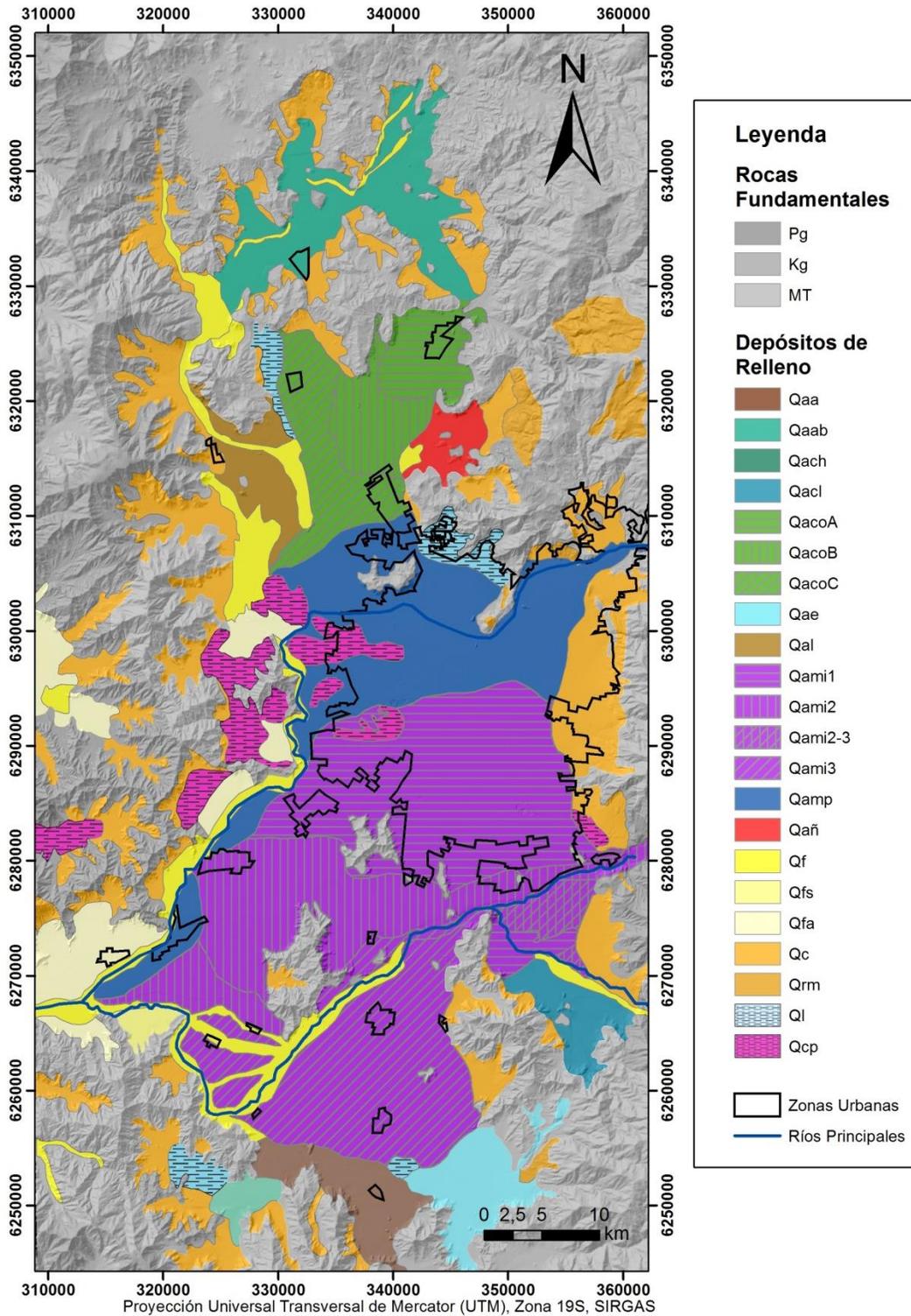


Figura 3.4: Mapa geológico de parte de la zona Metropolitana de Chile, el cual muestra principalmente la distribución del relleno sedimentario de acuerdo a su origen y en forma simplificada la distribución de las rocas fundamentales. Modificado de ARANEDA ET AL., 2010. Leyenda en página siguiente.

DEPÓSITOS DE RELLENO

Qc	DEPOSITOS COLUVIALES Y CONOS DE DEYECCIÓN. Gravass mal seleccionadas y diamictos.	Qañ	DEPOSITOS DEL ESTERO ALUVINAL DEL ESTERO ÑIPA. Gravass arenosas y arenas.
Qrm	DEPOSITOS DE REMOSIÓN EN MASA. Diamictos y bloques de rocas removidos.	Qamp	DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL RIO MAPOCHO. Gravass arenosas y arenas con intercalaciones de corrientes de barro.
Qt	DEPOSITOS FLUVIALES ACTUALES. Gravass arenosas y arenas de los cursos actuales de los ríos. En la zona litoral esta unidad incluye además depósitos fluviales subactuales (Qfs) y antiguos.	Qami 123	DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL RIO MAIPO. Sector 1: Gravass arenosas, avalanchas volcánicas y flujos piroclásticos. Sector 2: Gravass arenosas y arenas con flujos de barro y avalanchas volcánicas. Sector 3: Gravass arenosas con flujo de barro y avalanchas volcánicas.
Qts	DEPOSITOS FLUVIALES SUBACTUALES. Gravass arenosas y arenas de terrazas bajas laterales de los ríos.	Qacl	DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL RIO CLARILLO. Gravass arenosas-arcillosas y arenas.
Qta	DEPOSITOS FLUVIALES ANTIGUOS. Gravass arenosas y arenas de terrazas medias y altas de los ríos.	Qae	DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL ESTERO ESCORIAL. Gravass arenosas y coluvios.
Ql	DEPOSITOS LACUSTRES. Limos y arcillas laminados a masivos en cuencas mal drenadas.	Qaab	DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL ESTERO ABRANTES. Gravass arenosas y coluvios.
Qal	DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL ESTERO LAMPA. Arenas derivadas de maicillo graníticos lavados.	Qaa	DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL ESTERO ANGOSTURA. Gravass arenosas y arenas.
Qaco ABC	DEPOSITOS DEL ABANICO ALUVIONAL DEL ESTERO COLINA. Sector A: Gravass arenosas. Sector B: Arenas. Sector C: Limoarcillas.	Qcp	DEPOSITOS DE CENIZAS PUMICITICAS. Ceniza riolítica con piedras pómez producida por flujo piroclástico (450.000 años Ap.).

ROCAS FUNDAMENTALES

MT	ROCAS ESTRATIFICADAS VOLCANICAS Y SEDIMENTARIAS MESOZOICAS A TERCARIAS. Lavass, tobas y brechas andesíticas o riolíticas y lutitas, conglomerados, arenissas y calizas.	Pg	CUERPOS INTRUSIVOS PALEOZOICOS. Tonalitas, adamelitas, granodioritas.
Kg	CUERPOS INTRUSIVOS PLUTÓNICOS MESOZOICOS A TERCARIOS. Granodioritas, tonalitas y adamelitas, andesitas y piroxenos, anfibolitas y pórfidos andesíticos y dacíticos.		

Figura 3.5: Leyenda de la Figura 3.4. Mapa de relleno sedimentario de acuerdo a su origen. Modificado de ARANEDA ET AL., 2010.

3.2.1. Depósitos de Remoción en Masa (Qrm)

Corresponden a productos de movilización gravitacional del tipo flujos de detritos matriz-soportados, que están constituidos por bloques muy mal seleccionados y una matriz de granulometría heterogénea donde coexisten desde gravass hasta arcillas. Son consecuencia de derrumbes o deslizamiento de detritos y bloques. Se reconocen en los márgenes de la cuenca, en las faldas de los cerros. Los principales depósitos se ubican en La Dehesa; en las laderas de los cerros San Cristóbal, Blanco, Colorado y Renca; y en Rinconada Peñaflor, Alto Huechún, Santa María de los Hornos, Quebrada San Ramón y Macul Alto (Figura 3.3). La edad de estos depósitos varía de pleistocena superior a holocena (VARELA, 1991).

3.2.2. Depósitos Coluviales (Qc)

Se consideran como producto de la descomposición de las rocas in situ con escaso transporte. Son principalmente matriz-soportados, de muy mala selección granulométrica, que pueden incluir desde bloques hasta arcillas, interdigitados con

lentes de arenas y gravas generados por pequeños cursos de agua, permanentes o esporádicos. Prácticamente carecen de estratificación, y los clastos que los componen son angulosos y subangulosos. Corresponden a escombros de falda y conos de deyección, ubicados en las cabeceras de las quebradas, en los flancos de los valles y al pie de las unidades montañosas.

Este tipo de sedimento tiende a migrar pendiente abajo hasta el pie de las quebradas, donde tributan a los cauces mayores, para constituir fuente de materiales para otros tipos de depósitos. Los principales depósitos de este tipo se ubican en los faldeos y base de los cerros San Ramón y Punta de Damas, así como en Pirque, norte de la Dehesa y en Lipangue, El Noviciado, Lo Prado, Laguna de Aculeo, Aparición de Paine y Alto Jahuel (Figura 3.3). La edad de estos depósitos es pleistocena superior a holocena (VARELA, 1991).

Los conos de deyección, de pendiente relativamente fuerte, generalmente tienen forma cónica, con un vértice apical en las cabeceras de las quebradas, y con su extremo distal en el fondo de las mismas. En este mismo sentido también se observa una zonación de la granulometría, de más grueso a más fino, desde su extremo apical al distal. Se reconocen numerosas estructuras de este tipo en toda la cuenca, como por ejemplo en la vertiente oriental de la Cordillera de La Costa; en los sectores altos de las cuencas de los ríos Mapocho y Maipo y en las rinconadas de El Valle, Lipangue, Jardín Borquez y Lo Aguirre.

Las escombreras son aún de menor envergadura areal, y se emplazan en los faldeos inmediatos de cuerpos rocosos elevados. No tienen formas definidas, y más bien tienden a conformar superficies planas inclinadas entre 10° y 20°, adosadas al flanco más bajo de los altos topográficos. Por lo general constituyen superficies alargadas, de forma serpenteante, paralela a la forma del cuerpo rocoso que las origina, como es el caso de las reconocidas en el sector de los Cerros de Renca y de Lonquén.

Cuando se encuentran próximas varias quebradas de cierta importancia, sus aportes de sedimentos aluviales terminan por unirse, junto con los aportes de escombreras y algunos conos de deyección conformando un “piedemonte”, como el que puede reconocerse en la zona oriental de Santiago, en las comunas de Las Condes, La Reina, Peñalolén y La Florida (quebradas de Macul, Nido de Águilas y San Ramón).

3.2.3. Depósitos Aluviales

Están compuestos por sedimentos no consolidados originados por los desvíos o variaciones en los cursos de los ríos y esteros a través del tiempo. Estos abanicos aluviales se originan en la Cordillera Principal y exhiben una tendencia granodecreciente hacia el oeste (MUÑOZ *ET AL.*, 2015). Cuando se asocian a la migración natural de los ríos, tienden a contener sedimentos granulométricamente mejor seleccionados, y con una fracción clástica mayor predominante de gravas de

bolones y gravas, con matriz de arenas y limos subordinados (ríos Maipo y Mapocho).

En la parte sur y central de la cuenca hay abanicos aluviales que corresponden a ambientes de deposición de alta energía. En la parte norte y la parte suroeste de la cuenca hay abanicos aluviales de menor energía. Los abanicos de alta y baja energía se diferencian principalmente en el contenido de sedimentos finos en la matriz (MUÑOZ *ET AL.*, 2015).

También se incluyen los depósitos, originados por cursos de escurrimiento superficial intermitente, interdigitados con sedimentos gravitacionales tales como flujos de barro y flujos de detritos. Granulométricamente están compuestos por gravas, arenas, limos y arcillas, y presentan una fracción clástica mayor que suele ser subangulosa a subredondeada. Depósitos de este tipo se reconocen, principalmente, hacia el fondo de las quebradas, que tributan a los valles principales de la cuenca (Figura 3.3). La edad estimada de estos depósitos es pleistocena superior (VARELA, 1991).

Los abanicos aluviales son las principales unidades geomorfológicas que se distinguen actualmente en los rellenos de la cuenca del río Maipo, los cuales cubren la mayor parte de su superficie. Estas estructuras se caracterizan por ser extensas acumulaciones de sedimentos fluviales y torrenciales que tienen forma de abanico, asociados a los cauces de ríos y esteros actuales, originados en épocas de crecidas o de aluviones, y por la migración natural de los ríos a través del tiempo geológico.

Los cursos de aguas asociados, arrastran grandes volúmenes de sedimentos y depositan su carga de material en zonas de llanura al perder su capacidad de transporte, lo que en la zona de estudio es la depresión intermedia. Se caracterizan, además, por presentar una gradación en el tamaño de los sedimentos de más gruesos a más finos, desde los sectores apicales a los distales del respectivo abanico. Debido a que todos los ríos y esteros principales, que desembocan en la Depresión Intermedia, tienen asociados sus correspondientes abanicos aluviales, a continuación se describen por separado.

3.2.3.1. Abanico Aluvial del río Maipo (Qami: 1, 2, 3).

Es la estructura más grande e importante emplazada en la cuenca de la Depresión Intermedia, ocupando casi la totalidad de la mitad sur de ésta. Se le reconoce desde el Zanjón de la Aguada por el norte, hasta el estero Paine por el sur, y desde Las Vizcachas por el este hasta El Monte por el oeste (Figura 3.4).

Estos depósitos desarrollan una extensa acumulación en forma de abanico, a partir del sector de la desembocadura del río Maipo en la Depresión Intermedia (sector apical), en la localidad de Las Vizcachas, sector donde el río pierde parte de su capacidad de transporte de sedimentos y tiende a depositar su carga. El ápice del abanico tiene una cota de aproximadamente 750msnm, y en su parte distal en la

zona de Talagante, tiene una cota de 340msnm. Dentro de esta unidad sobresalen los cerros isla de Chena y de Lonquén. Se han reconocido tres subunidades separadas radialmente respecto de la zona apical y de diferente edad. Se depositaron de acuerdo al siguiente orden, a medida que el río fue migrando desde el norte hacia el sur.

El Abanico Antiguo **Qami1**, que es el más septentrional, está ubicado hacia el sector norte del río Maipo actual, y al oriente de los cerros de Chena y del Cordón de Los Ratones, hasta el Zanjón de La Aguada. El río depositaba su carga originalmente en este sector al no poder traspasar los cerros mencionados. Luego, una vez que pudo traspasar este obstáculo, el río se encauzó por el lado norte de los cerros de Lonquén. Así se originó el Abanico Intermedio (Qami2).

El Abanico Intermedio **Qami2**, se dispone al sur de los cerros de Chena, pero al norte de los cerros de Lonquén y al oeste del Cordón de los Ratones. Finalmente el río se encauza por el lado sur de los cerros de Lonquén, originándose el Abanico Nuevo (Qami3).

El Abanico Nuevo **Qami3**, que es el más meridional, ocupa la porción sur de la Depresión Intermedia, engranando hacia el sur con los abanicos del río Clarillo (Qacl) y de los esteros Escorial (Qae) y Angostura (Qaa) ; estos últimos adosados a la vertiente norte de ambas cordilleras.

Al este del cordón de Los Ratones existe una franja de Abanico Aluvial del río Maipo indeterminada (Qami2-3), debido a que en este sector, las unidades Qami2 y Qami3 comparten este segmento. En estos tres abanicos aluviales es posible distinguir una zonación de la granulometría, de sedimentos gruesos a más finos, desde la zona de Las Vizcachas (zona apical) a sus respectivos extremos distales.

3.2.3.2. Abanico Aluvial del río Mapocho (Qamp)

Son depósitos que cubren una extensión considerablemente menor que la cubierta por el abanico del río Maipo, desarrollándose en el sector urbano de Santiago (Figura 3.4). Se le reconoce subparalela al río Mapocho actual y se distinguen en él dos porciones. Una superior desde su desembocadura en la Depresión Intermedia, con la zona apical en el sector del Arrayán, hasta Peñafior-Pudahuel donde se desarrolla su tramo distal. La inferior, se ubica al sur de Peñafior y al este del río Mapocho, desarrollándose nuevamente de forma alongada, paralela al río. Su extremo distal alcanza hasta el sector de confluencia de los ríos Maipo y Mapocho, donde los sedimentos de esta estructura engranan con los del Maipo. El límite sur del abanico aluvial del Mapocho, en la ciudad de Santiago, es el Zanjón de la Aguada y hacia el norte se prolonga alcanzando a cubrir la comuna de Quilicura, sector en el cual engrana con el sector distal del abanico del río Colina (Qacoc).

3.2.3.3. Abanico Aluvial del Estero Colina (QacoA, B, C)

De dimensiones comparables al del río Mapocho, se origina a partir de la localidad de Esmeralda al noreste de Colina, sector en el que el río Colina ingresa a la Depresión Intermedia. De dirección general noreste a suroeste se reconoce hasta las cercanías del aeropuerto Comodoro Arturo Merino Benítez (Figura 3.4).

Es un abanico aluvial que desarrolla 3 subzonas concéntricas entre sí, perfectamente diferenciadas, con un eje central a través del cual corre el estero actual. **Qacoa**, zona apical con forma de cono, con gravas arenosas, es la de menor extensión areal. **Qacob**, zona intermedia, adquiere forma de medialuna y está constituida por arenas. **Qacoc**, zona distal con sedimentos finos, es la de mayor extensión areal, tomando una forma alargada norte sur, que en su extremo meridional tiende a incursionar hacia el oeste.

3.2.3.4. Abanico Aluvial del río Lampa (Qal)

Se desarrolla debido al ingreso del río Lampa a la Depresión Intermedia y está ubicado al Sur de la localidad homónima y al poniente del río. Su extensión hacia el sur queda limitada por depósitos de ceniza (Qip), en la localidad de Las Lomas de Pudahuel, y por los cerros de Lo Aguirre (Figura 3.4). En general, es una franja de dirección norte sur, adosada a la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa. Hacia el este engrana con depósitos fluviales del río Lampa (Qf, Qfs) y hacia el sureste con el sector distal del abanico del río Colina (Qacoc). Es el único curso importante que aporta sedimentos provenientes de la Cordillera de La Costa a la Depresión Intermedia.

3.2.3.5. Abanico Aluvial del Estero Chacabuco (Qach)

Se origina en la confluencia de los esteros Chacabuco, Santa Margarita y Quilapilún, en la Angostura de Huechún, sector a partir del cual se desarrolla una superficie plana, alargada de dirección general suroeste, más alta que la de Santiago. Presenta una suave pendiente de noreste a suroeste, que se extiende hasta la localidad de Polpaico, y sobre la cual, en su mitad norte, se emplaza el abanico del estero Chacabuco, de forma paralela a la dirección del valle.

3.2.3.6. Abanico Aluvial del río Clarillo (Qacl)

Se desarrolla a partir del ingreso del río Clarillo a la Depresión Intermedia, al sur de la localidad de Pirque. Su extensión queda limitada por los cerros del Cordón de los Ratones hacia el oeste, y por la influencia del abanico del río Maipo hacia el norte (Qami1, Qami2-3) (Figura 3.4).

3.2.3.7. Abanico Aluvial del Estero Las Ñipas (Qañ)

Forma un depósito subcircular al norte del cerro Pan de Azúcar y su extensión queda limitada hacia el oeste por la influencia del abanico del río Colina (Qacob). (Figura 3.4)

3.2.3.8. Abanico Aluvial del Estero Abrantes (Qaab)

De pequeña extensión, queda ubicado en el sector de la Laguna de Aculeo y su extensión hacia la Depresión Intermedia queda obstruida por la influencia del abanico del río Angostura (Qaa). (Figura 3.4)

3.2.3.9. Abanico Aluvial del Estero El Escorial (Qae)

Ubicado en el extremo sureste de la zona en estudio, es originado por los esteros Escorial y Ajial. Su extensión hacia el norte está limitada por el abanico del río Maipo (Qami3) y hacia el oeste por el abanico del estero Angostura (Qaa). (Figura 3.4).

3.2.3.10. Abanico Aluvial del Estero Angostura (Qaa)

Originado por el ingreso del río Angostura a la cuenca de Santiago. Su desarrollo hacia el norte queda limitado por el abanico del estero Escorial (Qae) y el abanico del río Maipo (Qami3) (Figura 3.4). Recoge los aportes del río Peuco y del estero Codegua, ambos ubicados al sur de la Angostura de Paine.

3.2.4. Depósitos Fluviales (Qf, Qfs, Qfa)

Cerca de los lechos de los ríos Mapocho y Maipo hay depósitos fluviales cuya energía de deposición disminuye hacia el oeste (MUÑOZ *ET AL.* 2015). Están compuestos por sedimentos no consolidados de cursos fluviales activos, donde predominan facies de relleno con base erosiva, constituidas por arenas y gravas arenosas. Es común la presencia, en la fracción clástica mayor, de bolones redondeados a bien redondeados, de baja esfericidad. Se disponen en el curso actual y márgenes de los ríos principales existentes en la zona, en el cauce mismo y en las zonas laterales de inundación (Figura 3.3).

VARELA (1991) categorizó, en la cuenca del río Maipo, estos rellenos de acuerdo a su cronología depositacional. Es así como reconoció, además de los depósitos fluviales actuales recién descritos, sedimentos fluviales subactuales (Qfs) y antiguos (Qfa).

Los primeros corresponden a sedimentos de cursos fluviales abandonados, compuestos por gravas, arenas y limos, con desarrollo de cubierta vegetal, y reconocidos a un mismo nivel topográfico con respecto al curso fluvial activo, pero sin zonas de inundación. Son de forma alargada y paralelas al curso actual de agua.

Los depósitos fluviales antiguos, son sedimentos no consolidados que forman terrazas que han sido erosionadas y que se ubican a alturas entre 3 y 30m con respecto al curso fluvial actual. Entre estos destacan los niveles aterrizados del río Maipo ubicados al oriente de Puente Alto. Granulométricamente corresponden a gravas, arenas y limos, con abundancia de bolones de buen redondeamiento y baja esfericidad; la edad de estos depósitos fluviales (Qf, Qfs, Qfa) se estima entre pleistocena superior y holocena (VARELA, 1991).

3.2.5. Depósitos Lacustres (Ql)

Son sedimentos de grano fino, no consolidados, constituidos por limos, arcillas y arenas limosas. Se presentan finamente laminados o macizos y corresponden a depósitos formados en cuencas con circulación y drenaje de agua restringido.

Hay depósitos lacustres localizados en las zonas noroeste y suroeste de la cuenca. Se los ha reconocido en el sector de la Laguna de Batuco, la Laguna de Aculeo y en el sector de la Cooperativa Huertos Familiares de Polpaico (Figura 3.3). La edad de estos depósitos comprende desde el Pleistoceno Superior al Holoceno.

3.2.6. Cenizas pumicíticas (Qcp) (V en FERNÁNDEZ Y MILOVIC, 2000)

Depósitos de ceniza volcánica (Ignimbrita Pudahuel, 450.000 a AP, STERN *ET AL*, 1984), en parte erosionados y redepositados. Su permeabilidad es muy baja, pudiendo albergar acuíferos confinados. Incluye: Depósitos primarios y Cenizas redepositadas.

Los depósitos primarios son remanentes de los depósitos piroclásticos originales, presentes en el área de Pudahuel y Maipú. Forman relieves de zonas bajas, suavemente onduladas, con elevaciones de 5 a 15m sobre la llanura aluvial. Granulométricamente son muy homogéneos, y están compuestos por ceniza volcánica con fragmentos líticos y pómez subordinados.

Las cenizas redepositadas corresponden a acumulaciones producto del retrabajo y redepositación de los depósitos piroclásticos primarios, se encuentran principalmente en torno a la zona de Lo Aguirre y en la rinconada Lo Cerda. Forman planicies y suaves lomajes que se confunden con la planicie aluvial. Están compuestos por ceniza volcánica con abundante mezcla de arenas, limos y arcillas subordinadas. Alternan con horizontes de arenas y gravas. Su permeabilidad es variable dependiendo de la estructura y granulometría.

3.3. ESTRATIGRAFIA EN PROFUNDIDAD

MORALES (2002) realiza varios perfiles del relleno a lo largo y ancho de la cuenca de Santiago, con los que concluye que, en general, existen tres niveles de relleno. Sin embargo, actualmente y en el marco del Proyecto “Determinación de

parámetros termales en el subsuelo de las cuencas de Santiago y Talca: implicancias para el uso directo de la energía geotérmica” del Centro de Excelencia en Geotermia de Los Andes (CEGA), se están realizando nuevos perfiles que buscan mayor precisión de tipo sedimentológica, es decir, que el tipo de relleno que se observa y las relaciones de contacto entre ellos se condigan con procesos de transporte y deposición de material sedimentario. Los perfiles que se muestran a continuación están en revisión, por lo que no son el producto final. Su ubicación dentro de la cuenca de Santiago, puede observarse en la Figura 3.6.

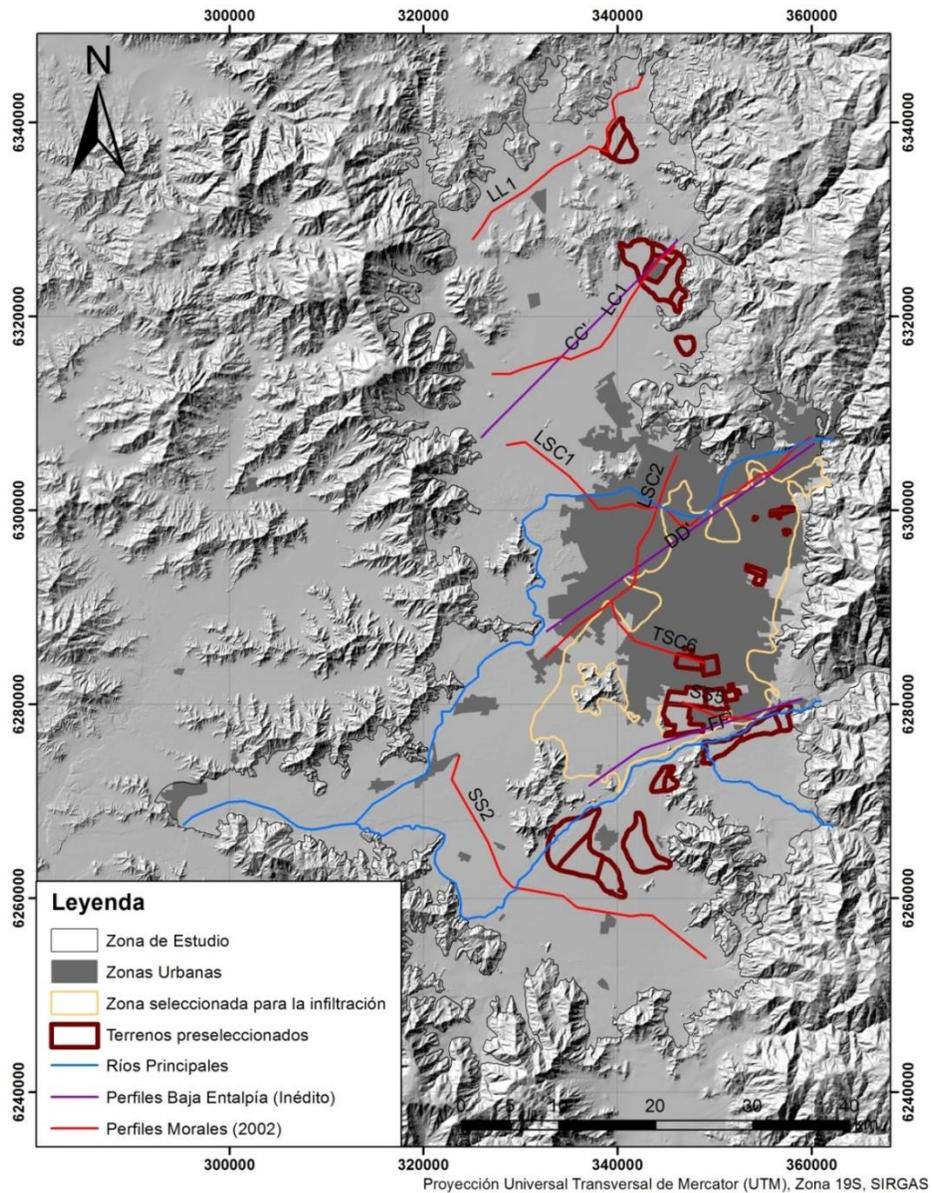


Figura 3.6: Ubicación de los perfiles geológicos mostrados a continuación. Los que se tienen son los perfiles CC', DD' y FF'. Gentileza de Proyecto “Determinación de parámetros termales en el subsuelo de las cuencas de Santiago y Talca: implicancias para el uso directo de la energía geotérmica” (CEGA, 2015).

El perfil CC' (Figura 3.7) está ubicado en el sector de Colina. En el pozo más profundo (Morales_LC1_7) se observa la existencia de un nivel de arena gravosa a unos 250m de profundidad desde la cota. Posteriormente, se observa un nivel de limo/arcilla arenosa, en contacto lateral hacia el este con grava arenosa. Además, dentro del nivel de limo/arcilla arenosa hay un lente de grava arenosa hacia el oeste del perfil.

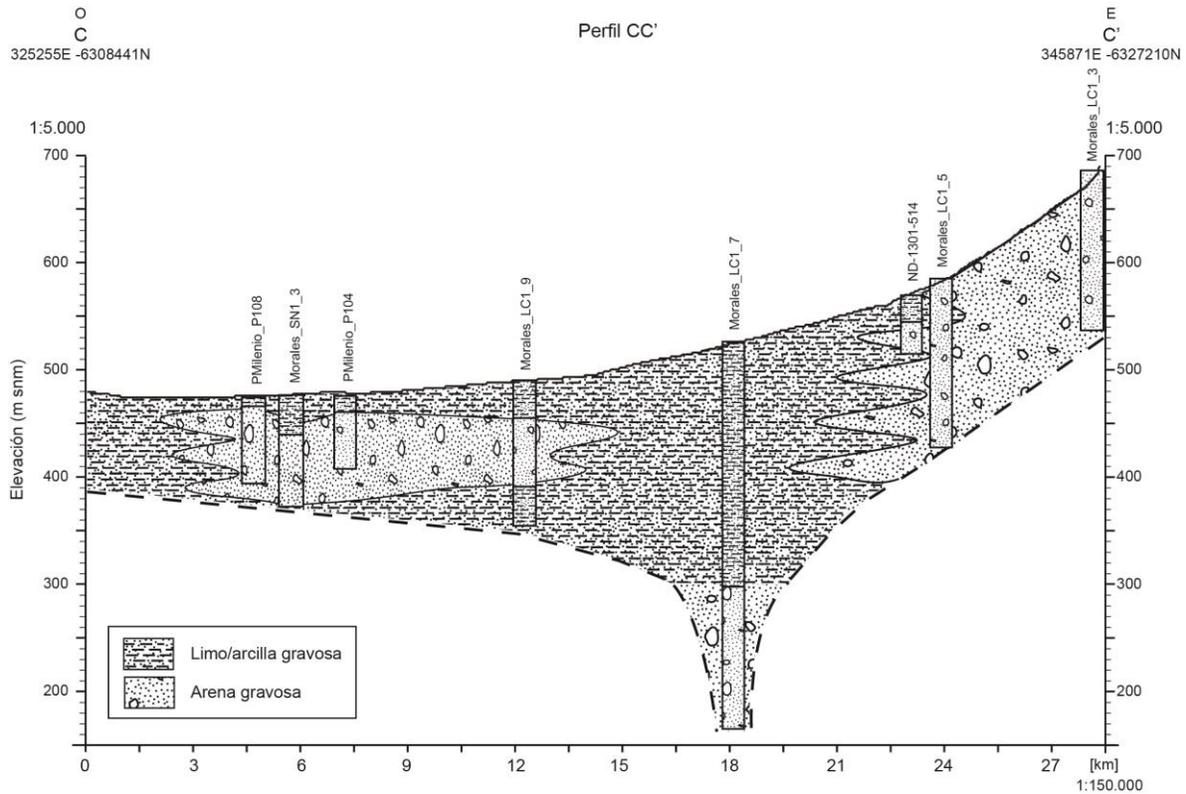


Figura 3.7: Perfil CC', correspondiente al sector de Colina-Lampa. Modificado de Proyecto “Determinación de parámetros termal en el subsuelo de las cuencas de Santiago y Talca: implicancias para el uso directo de la energía geotérmica” (CEGA, 2015).

El perfil DD' (Figura 3.8) cruza de suroeste a noreste el sector centro y norte de Santiago. Hacia el este se observa parte del basamento, que se pierde hacia el oeste dado que los pozos estudiados en ese sector no alcanzan tal profundidad. El sector central del perfil y en contacto lateral con el basamento observado existe un nivel de limo/arcilla arenosa, sobreyacido por un nivel de grava limosa a arcillosa. Subiendo en la secuencia sedimentaria se observa un lente de limo/arcilla arenosa sobreyacido también por un nivel de grava limosa a arcillosa. Hacia el oeste del perfil, la secuencia anterior está en contacto lateral de interdigitación con un nivel de grava arenosa. Sobre este nivel de grava arenosa se deposita ceniza volcánica.

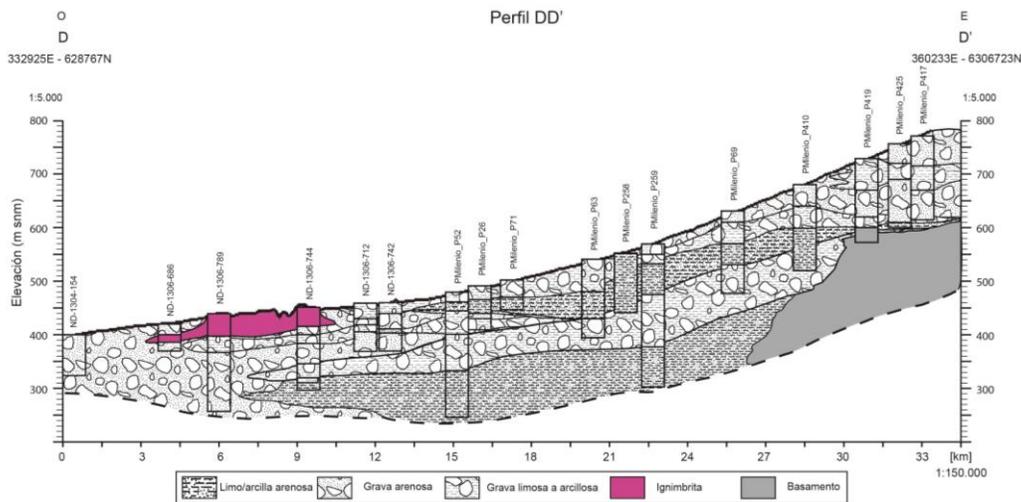


Figura 3.8: Perfil DD', que cruza de suroeste a noreste el sector centro y norte de Santiago. Modificado del Proyecto "Determinación de parámetros termales en el subsuelo de las cuencas de Santiago y Talca: implicancias para el uso directo de la energía geotérmica" (CEGA, 2015).

El perfil FF' (Figura 3.9) es uno de los menos completos hasta el momento. Se observa una pequeña fracción del basamento en el extremo oeste del perfil. Sobre este, un potente nivel de grava limosa o arcillosa en contacto lateral hacia el este con grava arenosa y más hacia el este nuevamente aparece grava limosa a arcillosa. En el sector central del perfil se observa un nivel de al menos 150m de grava arenosa que subyace a un nivel de grava limosa a arcillosa de unos 100m. El sector más oriental del perfil es similar al del centro, pero el nivel de grava limosa a arenosa se adelgaza alcanzando hasta unos 30m, y subyace a otro nivel de grava arenosa.

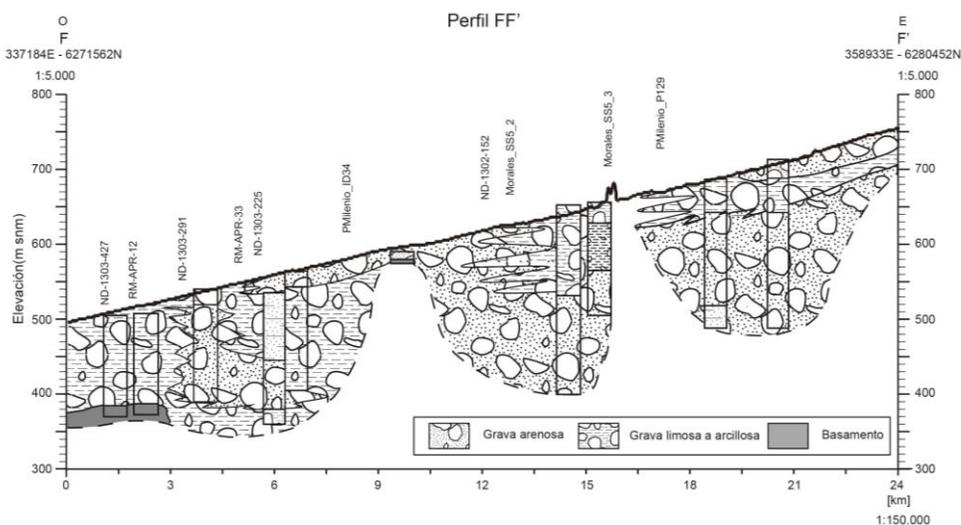


Figura 3.9: Perfil FF', correspondiente a las inmediaciones del río Maipo. Modificado de Proyecto "Determinación de parámetros termales en el subsuelo de las cuencas de Santiago y Talca: implicancias para el uso directo de la energía geotérmica" (CEGA, 2015).

3.4. MARCO HIDROGEOLÓGICO REGIONAL

3.4.1. Descripción General de Acuíferos en Chile

En Chile, los acuíferos conocidos se encuentran en los rellenos cuaternarios no consolidados (volcanoclásticos, sedimentarios fluviales, fluvio-glaciares aluviales, aluvionales, lacustres, eólicos, laháricos). Dada su naturaleza, estos son mucho más productivos que los acuíferos que muy localmente se conocen en formaciones no cuaternarias, terciarias volcánicas o terciarias sedimentarias consolidadas (DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS, 2002).

3.4.2. Zonación Hidrogeológica Región Metropolitana

La Región Metropolitana queda definida por la cuenca del río Maipo y sus afluentes hasta la confluencia del estero El Sauce. Comprende mayoritariamente las provincias de Chacabuco, Santiago, Cordillera, Maipo y Melipilla con una superficie de 16.000km². El régimen hidrogeológico es de carácter pluvio-nival con precipitaciones sobre los 470mm/año en la zona alta y de 370mm/año en la zona media baja. Sobre la cuenca se encuentra establecida la ciudad de Santiago, lo que conlleva una gran demanda para el uso industrial y agua potable, además de una amplia superficie agrícola de producción intensiva. La minería también constituye un importante sector desde el punto de vista de los requerimientos hídricos.

Actualmente la depresión Intermedia, desde el punto de vista de relleno relativamente reciente, es una cuenca aluvial. Está condicionada por la capacidad de transporte de los cursos de aguas que tienen asociados. Las subcuencas de más al norte son más irregulares, comparadas con las del sur que son considerablemente más simples. El nivel estático tiende a encontrarse más profundo hacia el sur y también hacia el oriente (MORALES, 2002).

Los cerros islas de Lonquén, Lo Aguirre, Chena, Renca, y Colorado controlaron gran parte de la dinámica de deposición en la Depresión Intermedia, con una importancia cada vez menor a medida que se fue rellenando la fosa (MORALES, 2002).

3.4.3. Clasificación y descripción general de la cuenca del río Maipo

Según el mapa hidrogeológico de Chile, escala 1:1.000.000 (DGA, 1986) la cuenca del río Maipo, se clasifica dentro de la provincia Andina Vertiente Pacífico, subprovincia central sur.

En esta zona, entre los 33 a 42°S, la ocurrencia de acuíferos está ligada al desarrollo de la unidad fisiográfica de la depresión intermedia. El acuífero, alimentado por los cauces superficiales, derretimiento e infiltración directa de lluvias, no está limitado a los cauces de los ríos, sino que ocupa amplios sectores

del relleno cuaternario no consolidado de la depresión. Dicho relleno es muy heterogéneo, y está constituido esencialmente por material de acarreo fluvial. El escurrimiento de estas napas se produce fundamentalmente en forma paralela al escurrimiento superficial, en dirección cordillera-mar. Es de naturaleza libre a semiconfinada, y localmente confinada debido a la existencia de importantes depósitos impermeables arcillosos y/o volcánicos (ORREGO, 2002; DGA, 1986; DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS, 2002). La Cordillera de Los Andes, muy alta en este sector, tiene gran importancia como acumulador de nieves, por lo que la alimentación de los ríos se debe primordialmente al derretimiento de primavera-verano (DGA, 1986).

Los rellenos presentan espesores variables, de pocos metros en los sectores precordilleranos hasta algunos cientos de metros en el centro de la depresión, y decrecientes hacia la Cordillera de la Costa, donde el agua subterránea tiende a aflorar. Las productividades de los pozos son en general muy elevadas ($>10\text{m}^3/\text{h}/\text{m}$), y la calidad del agua es excelente ($<500\text{mg}/\text{l}$ TSD) (ORREGO, 2002; DGA, 1986; DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS, 2002).

4. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DE LA CUENCA DE SANTIAGO

4.1. ACUIFEROS

4.1.1. Definición de Acuíferos

La configuración de los acuíferos responde principalmente a los factores de permeabilidad y drenabilidad que tengan las unidades geológicas. Estos factores son mucho más favorables en el relleno cuaternario que en zonas rocosas. Los acuíferos de la cuenca de Santiago están contenidos en zonas particulares del relleno sedimentario, y para identificarlos se genera una clasificación estratigráfica según las características granulométricas del relleno. MORALES (2002), de esta manera, definió 3 unidades hidrogeológicas en la zona de estudio, cuyas descripciones fueron detalladas por BRANT (2011): Unidad A, Unidad B y Unidad C (Figura 4.1).

4.1.1.1. Unidad A

La unidad inferior es la más potente y se le considera como un nivel de baja conductividad hidráulica (10^{-4} a 10^{-6} cm/s) (MORALES, 2002). Se compone principalmente de limos y arcillas, con proporciones variables de arenas, gravas, y en algunos casos gravas muy gruesas flotantes en una matriz limo-arcillosa. Sobreyace a la roca basal y subyace a los sedimentos correspondientes a la unidad B. Este conjunto de sedimentos es posible que correspondan, prioritariamente, a antiguos depósitos tipo corrientes de barro y aportes laterales provenientes de los altos topográficos. Este depósito es continuo lateralmente, reconociéndose en toda la cuenca.

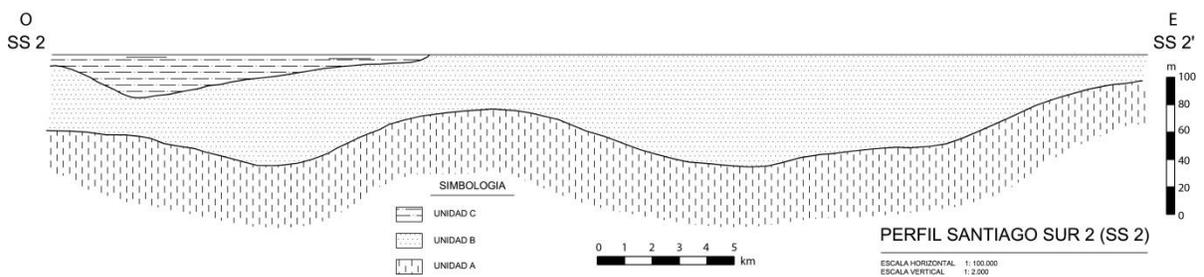


Figura 4.1: Perfil hidrogeológico de Santiago sur (SS2). Modificado de MORALES (2002).

4.1.1.2. Unidad B

La unidad intermedia sobreyace a la Unidad A y subyace a la unidad C. Está constituida por sedimentos gruesos y medios. La fracción clásica mayor es de gravas, arenas gruesas y ripios subordinados, y la matriz de arena media a fina, con menor proporción de limos y arcillas. Es de espesor variable, exhibiendo un aumento de espesores desde el norte hacia el sur, y presenta una gran continuidad

lateral. Se estima para esta unidad una permeabilidad media variable entre 10^{-2} y 10^{-4} cm/s (MORALES, 2002), lo que se considera buena, constituyendo el acuífero de esta zona.

4.1.1.3. Unidad C

La unidad superior sobreyace a la Unidad B y suele presentarse en forma discontinua. Está constituida por una fracción clástica mayor de arenas gruesas a medias, con gravas ocasionales y una matriz abundante de arenas finas, con altos porcentajes de arcillas. Se estima una permeabilidad de 10^{-3} a 10^{-5} cm/s (MORALES, 2002) y no constituye un medio propicio para anidar acuíferos. Se le considera originado por aportes laterales de los flancos de los valles, aunque en el valle del estero Pudahuel, Cerrillos, Lo Aguirre, está constituido por depósitos de ceniza pumicítica (Qcp), y también por depósitos lacustres al norte de la depresión intermedia.

4.1.2. Características de los acuíferos por zona

MORALES (2002) concluye que el área susceptible de contener acuíferos alcanza a cubrir una superficie de aproximadamente 2085km^2 en la Depresión Intermedia, que constituyen un volumen total estimado de acuífero saturado del orden de $90.88 \times 10^9 \text{ m}^3$. Morales subdivide el área de la cuenca del río Maipo en subsectores. Los límites entre ellos son propuestos en las zonas en que se producen acercamientos significativos de las rocas de cajas de los sedimentos, los cuales se distribuirían de la siguiente manera, (Figura 4.2):

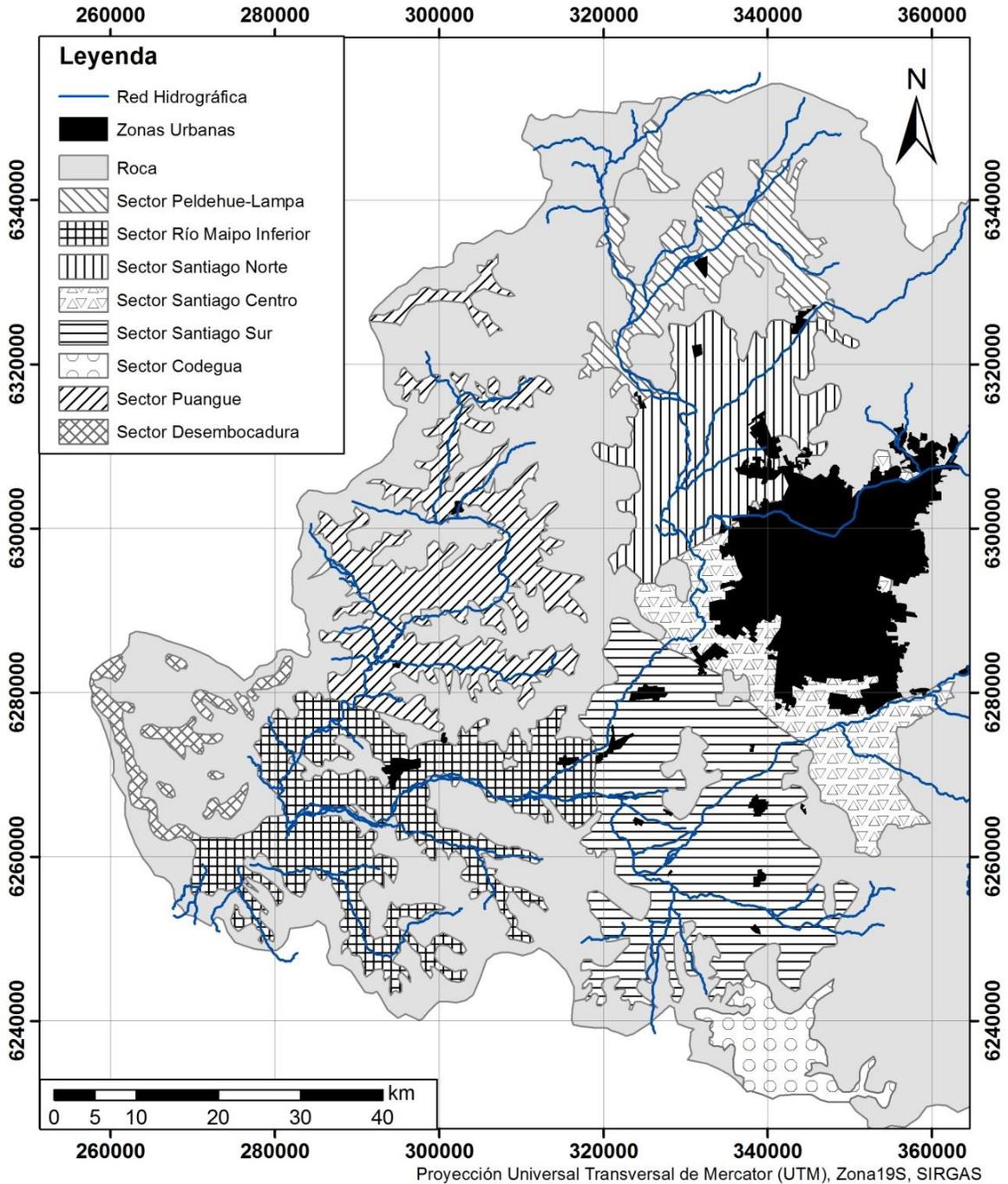


Figura 4.2: Ubicación de los sectores en la cuenca del río Maipo según MORALES (2002). En la figura se observan también los sectores de Puangue, Desembocadura y Codegua, pero estos no entran dentro de la zona de estudio; además, del sector Río Maipo Inferior solo entra el área más oriental en la zona de estudio. Cabe mencionar que algunos de los límites entre los sectores señalados por el autor no son naturales, sino que se definen según un acercamiento significativo entre las rocas cajas de los sedimentos, no así los de la Figura 4.3 que sí son naturales.

4.1.2.1. Sector Peldehue-Lampa

Cubre una superficie total de relleno de 340km² de los cuales los susceptibles de contener acuíferos (semiconfinados) son 130km² (Qfa, Qf, Qach). Estimando conservadoramente un espesor saturado promedio de 15m, el volumen del acuífero saturado sería del orden de 1.95x10⁹ m³.

4.1.2.2. Sector Santiago Norte

Cubre una superficie total del relleno de 590km², de los cuales 440km² son susceptibles de constituir acuíferos (Qacoa, b, c, Qañ, Qal, Qf, Qfs). Estimando un espesor de acuífero saturado promedio de 30m el volumen del acuífero semiconfinado, que se encuentra saturado sería del orden de 1.95x10⁹m³.

4.1.2.3. Sector Santiago Centro

Cubre una superficie total del relleno de 1670km², de los cuales 1275km² son susceptibles de constituir acuíferos (Qamp, Qami1, Qami2-3, Qacl, Qf, Qfa). Estimando un espesor de acuífero saturado de 45m el volumen del acuífero saturado sería de 57.38x10⁹m³.

4.1.2.4. Sector Santiago Sur

Cubre una superficie total del relleno de 1100km², de los cuales 900km² son susceptibles de constituir acuíferos (Qami3, Qami2, Qami1, Qae, Qamp, Qaab, Qf, Qfs, Qfa). Estimando un espesor saturado promedio de a lo menos 30m el volumen del acuífero freático saturado sería de 27x10⁹m³.

4.1.2.5. Sector Codegua (Angostura)

Cubre una superficie total de 197km², de los cuales se estima que un 75% son susceptibles de contener acuíferos (150km²). Si estimamos un espesor saturado del orden de 50m, el volumen del acuífero freático saturado sería de 7.5x10⁹m³.

4.1.2.6. Sector Maipo Inferior

La superficie que es susceptible de contener acuíferos cubre un área total de 185km² (Qfa, Qf, Qfs), y si asumimos un espesor saturado de 20m el volumen de acuífero semiconfinado saturado sería de 3.7x10⁹m³.

Sin embargo, se debe ser cuidadoso con la definición de los sub-sectores que propone Morales, dado que los límites de las mismas en algunos casos, donde se observan líneas perfectamente rectas, no son naturales. Los sub-sectores propuestos por el informe de la DGA (2013) tienen sus límites determinados según el flujo de las aguas.

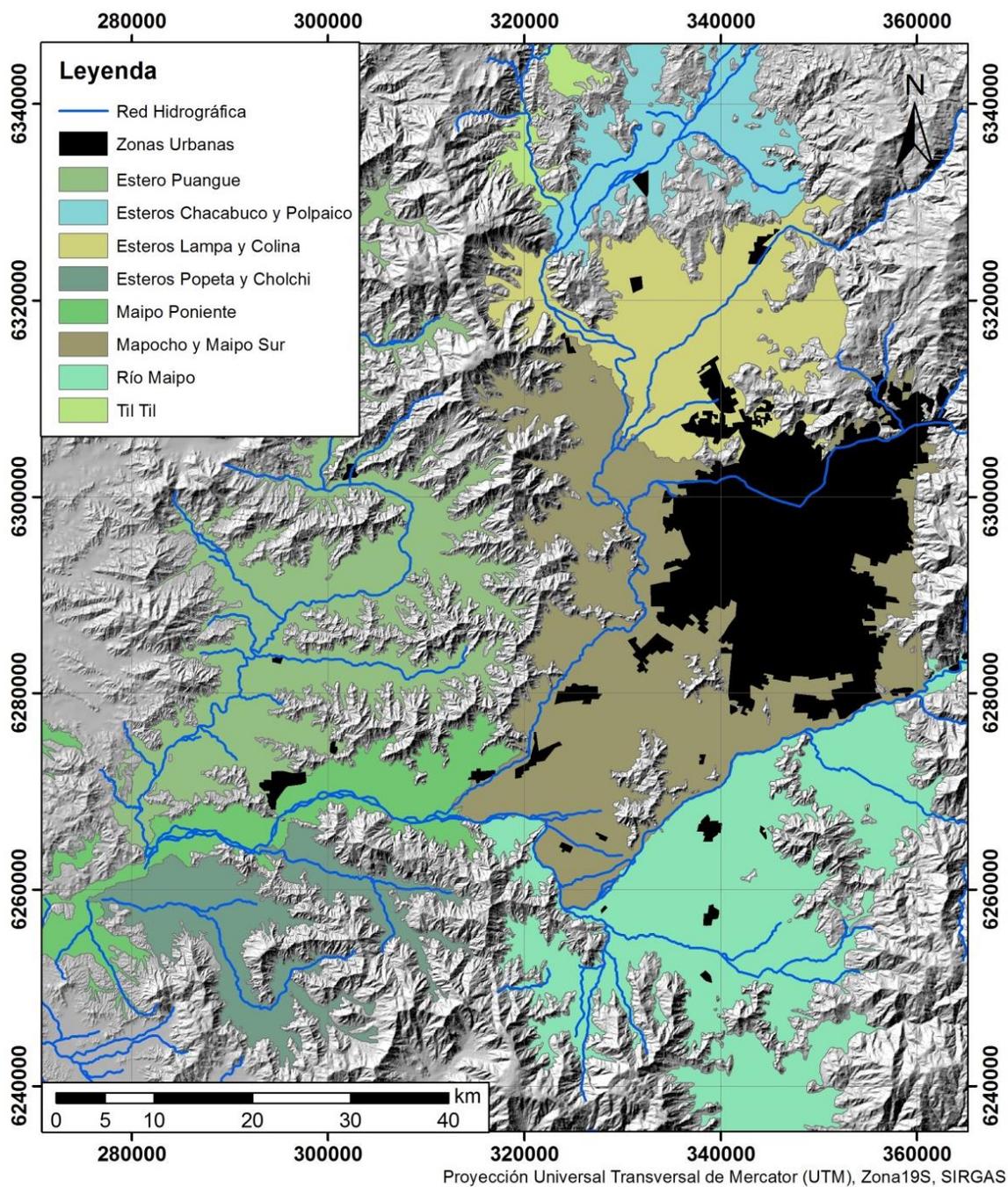


Figura 4.3: Ubicación de las sub-cuencas del río Maipo, según el informe de la DGA (2013). Los límites de las cuencas son los naturales, es decir, la divisoria de aguas.

En la Tabla 4.1 se resumen las características granulométricas de los rellenos de la cuenca de Santiago, y en la Tabla 4.2 se condensan las características principales de las subcuencas de Santiago.

Tabla 4.1: Cuadro que resume las características granulométricas de los rellenos de las cuencas del río Maipo. Extraído de MORALES, 2002.

SUBCUENCA	UNIDAD INFERIOR	UNIDAD INTERMEDIA	UNIDAD SUPERIOR
Santiago Norte	Limos arcillosos y arcillas limosas, algo arenosas, poco gravosas, Con intercalaciones delgadas de arenas poco gravosas. Colina 1: limos arcillosos y arcillas limosas, arenosas, frecuentemente gravosas. Frecuentes intercalaciones más o menos arenosas gravosas. Permeabilidad estimada: 10^{-5}-10^{-6} cm/s.	B: arenas y arenas gravosas, poco limo arcillosas. Colina 2: arenas gravosas y gravas arenosas, poco limosa arcillosa. Frecuentes alternancias con niveles más o menos limo-arcillosos, también como intercalaciones. Gravas hacia noreste, arenas hacia suroeste. Permeabilidad estimada: 10^{-2}-10^{-3} cm/s.	C: limos arcillosos, a veces arenosos, poco gravosos. Colina 3: limos arcillosos, arenosos poco gravosos. Intercalaciones más o menos arenosas gravosas. Permeabilidad estimada: 10^{-4}-10^{-5} cm/s.
Santiago Centro	A: limos arcillosos, a veces arcillas limosas, siempre arenosas y gravosas. Permeabilidad estimada: 10^{-5}-10^{-6} cm/s.	B: gravas arenosas y también arenas gravosas, poco limo-arcillosas. Permeabilidad estimada: 10^{-2}-10^{-3} cm/s.	C: limo arcilloso, algo arenoso. Permeabilidad estimada: 10^{-4} - 10^{-5} cm/s.
Santiago Sur	A: limo arcilloso, arenoso poco gravoso. Permeabilidad estimada: 10^{-4}-10^{-5} cm/s.	B: gravas más o menos arenosas, poco limo-arcillosas. Permeabilidad estimada: 10^{-2}-10^{-3} cm/s.	C: limos arcillosos, más o menos gravo-arenosos. Permeabilidad estimada: 10^{-4}-10^{-5} cm/s.
Maipo Inferior	A: limos arcillosos, característicamente gravoso arenoso. Permeabilidad estimada: 10^{-4}-10^{-5} cm/s.	B: gravas arenosas, más o menos limo-arcillosas. Permeabilidad estimada: 10^{-2}-10^{-4} cm/s.	C: limos arcillosos, más o menos arenosos gravosos. Permeabilidad estimada: 10^{-3}-10^{-5} cm/s.
Peldehue-Lampa	Lampa 1: limo arcilloso a arcilla limosa, arena poco gravosa. Permeabilidad estimada: 10^{-5}-10^{-6} cm/s.	Lampa 2: gravas arenosas y arenas gravosas, poco limo-arcillosas, frecuentes intercalaciones y alternancias más o menos limo-arcillosas. Permeabilidad estimada: 10^{-2}-10^{-4} cm/s.	Lampa 3: limos arcillosos y arcillas limosas, poco más o menos arenosos gravosos. Permeabilidad estimada: 10^{-4}-10^{-6} cm/s.
Codegua (Angostura)	Angostura 1: limos arcillosos, poco más o menos arenoso gravosos. Permeabilidad estimada: 10^{-4}-10^{-5} cm/s.	Angostura 2: arenas gravosas, poco limo-arcillosas. Permeabilidad estimada: 10^{-2}-10^{-4} cm/s.	

Tabla 4.2: Cuadro Resumen de las Unidades Hidrogeológicas y Características Principales de las Sub-cuencas del río Maipo. Modificado de MORALES, 2002.

Subcuenca	Unidad Inferior	Unidad Intermedia	Unidad Superior	Área Relleno	Área Acuífero	Permeabilidad Acuífero	Espesor Saturado	Volumen Saturado
				km ²	km ²	cm/s	m	x10 ⁹ m ³
Santiago Norte	A, Colina1	B, Colina2	C, Colina3	590	440	10 ⁻² -10 ⁻³	30	13.20
Santiago Centro	A	B	C	950	745	10 ⁻² -10 ⁻³	45	33.53
Santiago Sur	A	B	C	1100	900	10 ⁻² -10 ⁻³	30	27.00
Maipo Inferior	A	B	C		185	10 ⁻² -10 ⁻⁴	20	3.70
Peldehue- Lampa	Lampa1	Lampa2	Lampa3	340	130	10 ⁻² -10 ⁻⁴	15	1.95
Angostura	Angostura1	Angostura2		197	150	10 ⁻² -10 ⁻⁴	50	7.50
Depresión Intermedia	10⁻⁴ –10⁻⁶ cm/s	10⁻²-10⁻⁴ cm/s	10⁻³-10⁻⁵ cm/s		2085	10⁻²-10⁻³		
Total Cuenca					2550			86.88

4.1.3. Características de los acuíferos por tipo de relleno

Del estudio de las unidades geomorfológicas y del análisis de los tipos de depósitos que se encuentran en superficie, MORALES (2002) distingue cuál de ellas presentan mayor potencial de constituir acuíferos, que puede observarse en la Figura 4.4. Así, se consideran con buen potencial para contener acuíferos a todos los depósitos fluviales (Qf, Qfs, Qfa) por estar constituidos por material de granulometría generalmente gruesa y lavadas (escasos finos). A los depósitos de abanico aluviales (Qami: 1, 2, 3, Qamp, Qacl, Qal, Qaco: a, b, c, Qaa, Qañ, Qaab, Qach, Qae), por estar también constituidos principalmente por materiales relativamente gruesos, se les consideran adecuados para contener acuíferos.

Por el contrario, en los depósitos coluviales, (Qc), donde se observa una disminución progresiva del tamaño de los clastos desde la zona apical a la distal, desde gravas con arenas y limos con bloques hasta arenas, arcillas y limos respectivamente, lo cual también va acompañado de una disminución gradual de la permeabilidad, junto con espesores modestos, y distribución areal restringida, no se consideran contenedores de acuíferos significativos. Los depósitos de remoción en masa (Qrm), por estar constituidos por sedimentos matriz-soportantes, escaso desarrollo areal, y ubicación en altura en los faldeos de los cerros, también se les considera con escaso a nulo potencial hidrogeológico. Las cenizas pumicíticas (Qcp), por estar constituidas por materiales finos medianamente consolidados, y que fácilmente desarrollan costras de carbonato de calcio, se les considera de escaso a nulo interés. Los depósitos lacustres (Ql), por estar constituidos por materiales finos, se les considera poco aptos para contener acuíferos e importancia.

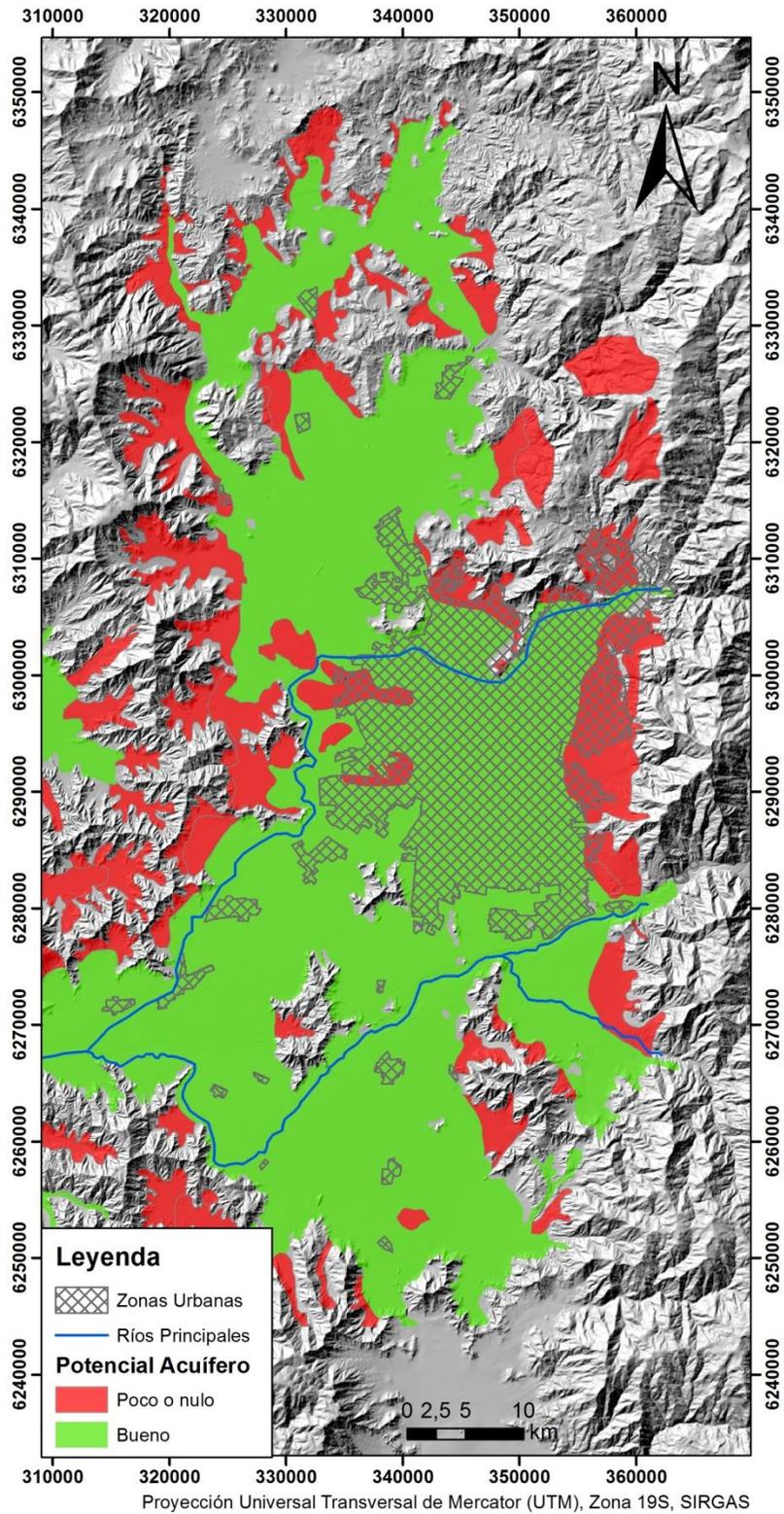


Figura 4.4: Mapa del relleno de la Cuenca de Santiago y su potencial acuífero según MORALES (2002).

4.2. NIVEL ESTÁTICO

En MUÑOZ *ET AL.* (2015) se determina el nivel estático de la cuenca interpolando más de 200 puntos de control con datos de las últimas cinco décadas, mediante un modelo circular con anisotropía, con la herramienta de interpolación *kriging ordinario de Geostatistical Analyst tool* de ArcMap.

Con el fin de considerar el efecto de una baja en la recarga y una máxima extracción de agua subterránea en el acuífero, es decir, el caso más pesimista, se considera la profundidad máxima del nivel estático en cada punto (Figura 4.5).

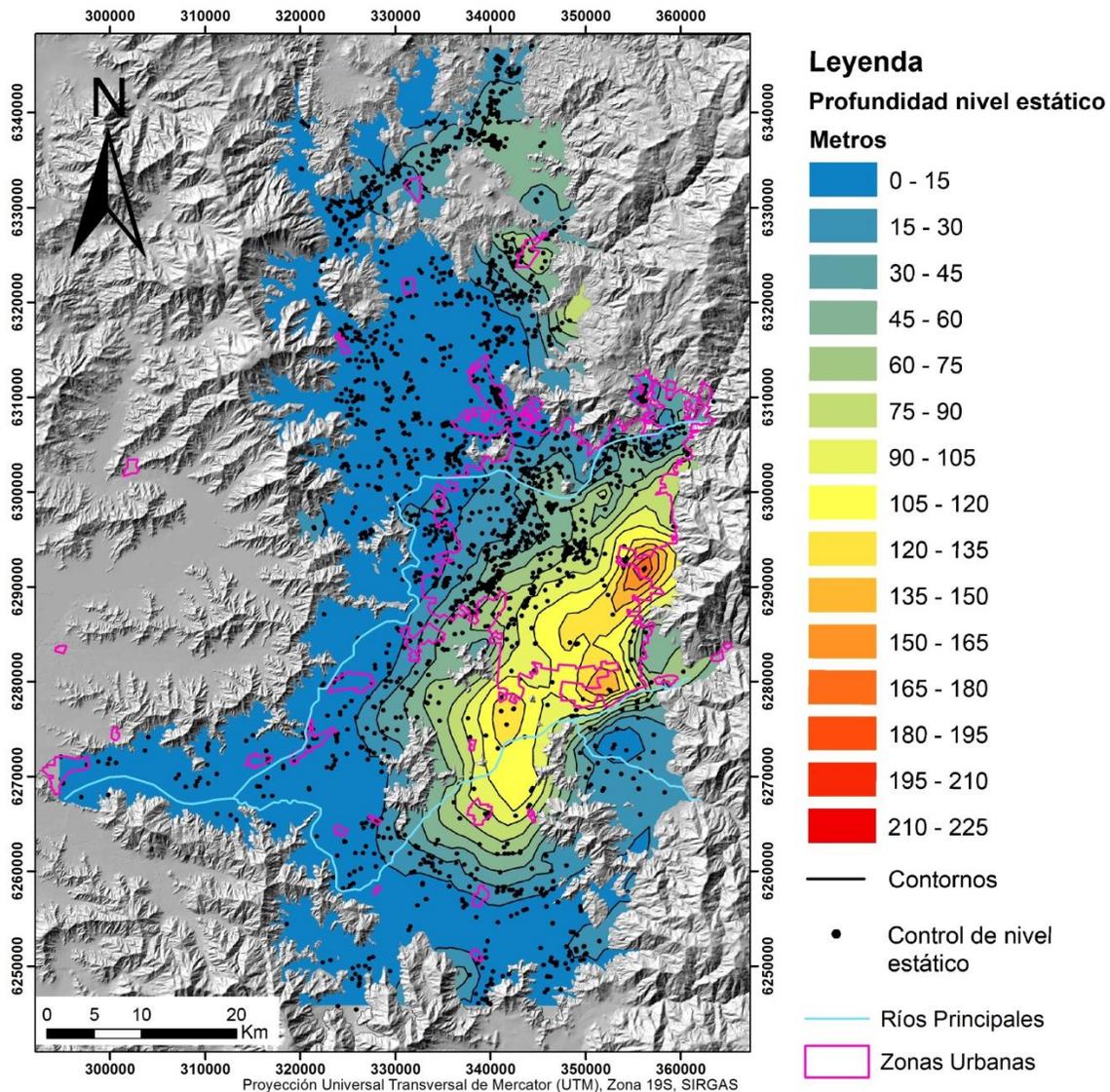


Figura 4.5: Profundidad del nivel estático en la cuenca de Santiago. Modificado de MUÑOZ *ET AL.*, 2015.

Se observa que, en general, el nivel estático es más profundo hacia el noreste. En la cuenca Peldehue-Lampa, las mayores profundidades se ubican al norte y al este de la localidad de Colina, llegando a una profundidad de entre 75 a 90m. En el sector de Santiago, las mayores profundidades alcanzan los casi 200m en el sector del Estero Macul. Una gran zona, de forma alargada en sentido noreste-suroeste, comprendida entre las comunas de La Reina y Buin, tiene profundidades del nivel estático iguales o mayores a 45m, mientras que todo el resto de la zona estudiada, con excepción del sector cercano a Colina ya mencionado, tiene profundidades que no superan los 45m.

4.3. DISTRIBUCIÓN DE PERMEABILIDADES

Los datos de distribución de permeabilidades son extraídos del estudio de la CNR (2013). Este estudio señala que, para la generación de coberturas de permeabilidad, se usan las distribuciones incluidas en modelos de flujo subterráneo (Visual Modflow) y modelos de balance (Magic), desarrollados como parte de estudios hidrogeológicos anteriores (AYALA, CABRERA Y ASOCIADOS, 2000). Se definen rangos de permeabilidad para homogenizar la información y poder analizar las diferencias a nivel global. De esa forma, es posible visualizar de manera directa, según los colores, las zonas más permeables en la cuenca analizada.

Algunos modelos Magic o Modflow, consultados en dicho estudio, fueron desarrollados procurando compatibilizar flujos de recarga estimados de forma independiente (a los modelos Magic o Modflow), usando modelos de flujo superficial. En esos casos se obtuvieron, tras las calibraciones de los modelos subterráneos, valores de permeabilidades muy altos, que exceden, incluso las permeabilidades de materiales muy gruesos, tales como ripios y arenas, sin presencia de arcilla. Así, las permeabilidades usadas en el estudio consultado (AYALA, CABRERA Y ASOCIADOS, 2000), para el caso de la cuenca de Santiago son sobreestimadas, por lo que, en dicho estudio, se corrigen estos valores.

Por otra parte, el estudio de AYALA, CABRERA Y ASOCIADOS (2000) utiliza un total de cerca de 1000 datos de pruebas de bombeo de los planos de construcción de sondajes para el análisis de permeabilidades de la zona de estudio. La información que se obtiene en cada pozo es parcial, dado que cada captación permite explorar solo la profundidad perforada. De acuerdo con lo anterior, se analiza la variación de las permeabilidades, como parámetro elástico independiente del espesor asociado, en vez de estudiar la variación de las transmisibilidades que lleva implícito un valor de espesor aportante. Además, en los modelos hidrogeológicos la permeabilidad corresponde al parámetro base que se utiliza para caracterizar las propiedades elásticas de los acuíferos. De cada estratigrafía y curva de agotamiento se determinaron los estratos efectivamente aportantes en función de la granulometría y la curva de agotamiento, además se calificó cualitativamente el tipo de napa para la estimación de la permeabilidad. En la Figura 4.6 se muestra la distribución de permeabilidades en la cuenca de Santiago.

4.4. CALIDAD DE AGUAS

En el informe de la CNR (2013) se resumen las exigencias de calidad para las aguas utilizadas en un proyecto de recarga artificial, según el Decreto Supremo 46 (DS46): Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Subterráneas (MINSEGPRES, 2002). Estas son diferentes de acuerdo a su origen, ya que pueden ser naturales o corresponder a residuos líquidos.

Si se trata de 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 ser igual o mejor que la de la napa.

Si se trata de aguas residuales y la vulnerabilidad del acuífero es alta, sólo se podrá infiltrar residuos líquidos cuando la emisión sea de igual o mejor calidad que la del agua del acuífero. Para el caso de aguas residuales con una vulnerabilidad del acuífero calificada como media, debe usarse la Tabla 1 del DS46 y si dicha vulnerabilidad es baja, debe usarse la Tabla 2 del mismo decreto (Tabla 4.3 en este documento). La Figura 4.7 muestra la distribución de vulnerabilidad en la Cuenca de Santiago.

Tabla 4.3: Límites máximos permitidos para descargar residuos líquidos en condiciones de vulnerabilidad media y baja.

Contaminante	Unidad	Límites máximos permitidos VULNERABILIDAD MEDIA	Límites máximos permitidos VULNERABILIDAD BAJA
Indicadores Físicos y Químicos			
pH	Unidad	6,0 - 8,5	6,0 - 8,5
Inorgánicos			
Cianuro	Mg/L	0,2	0,2
Cloruros	Mg/L	250	250
Fluoruro	Mg/L	1,5	5
N-Nitrato + N-Nitrito	Mg/L	10	15
Sulfatos	Mg/L	250	500
Sulfuros	Mg/L	1	5
Orgánicos			
Aceite y Grasas	Mg/L	10	10
Benceno	Mg/L	0,01	0,01
Pentaclorofenol	Mg/L	0,009	0,009
Tetracloroetano	Mg/L	0,04	0,04
Tolueno	Mg/L	0,7	0,7
Triclorometano	Mg/L	0,2	0,2
Xileno	Mg/L	0,5	0,5
Metales			
Aluminio	Mg/L	5	20
Arsénico	Mg/L	0,01	0,01
Boro	Mg/L	0,75	3
Cadmio	Mg/L	0,002	0,002
Cobre	Mg/L	1	3
Cromo Hexavalente	Mg/L	0,05	0,2

Hierro	Mg/L	5	10
Manganeso	Mg/L	0,3	2
Mercurio	Mg/L	0,001	0,001
Molibdeno	Mg/L	1	2,5
Níquel	Mg/L	0,2	0,5
Plomo	Mg/L	0,05	0,05
Selenio	Mg/L	0,01	0,02
Zinc	Mg/L	3	20
Nutrientes			
Nitrógeno total Kjeldahl	Mg/L	10	15

La vulnerabilidad de un acuífero es una propiedad intrínseca de este que depende de la sensibilidad que el sistema presenta ante impactos humanos y/o naturales. En el caso del estudio de IRIARTE (2003), se evalúa la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos considerando para ello el espesor que alcanza la zona no saturada y la composición de esta en relación con la facilidad de propagación de sustancias contaminantes a través de ella. En dicho estudio, se usa la vulnerabilidad simplificada según el método GOD de FOSTER (1987), que se presenta en cinco rangos: extrema, alta, moderada, baja y muy baja o nula. Los parámetros usados por el método son: el tipo de acuífero (acuíferos libres, cubiertos, semiconfinados y confinados) (parámetro G), las características litológicas de los sedimentos o roca (granulometría y/o grado de fracturamiento) de la zona no saturada (parámetro O) y el espesor de esta (parámetro D).

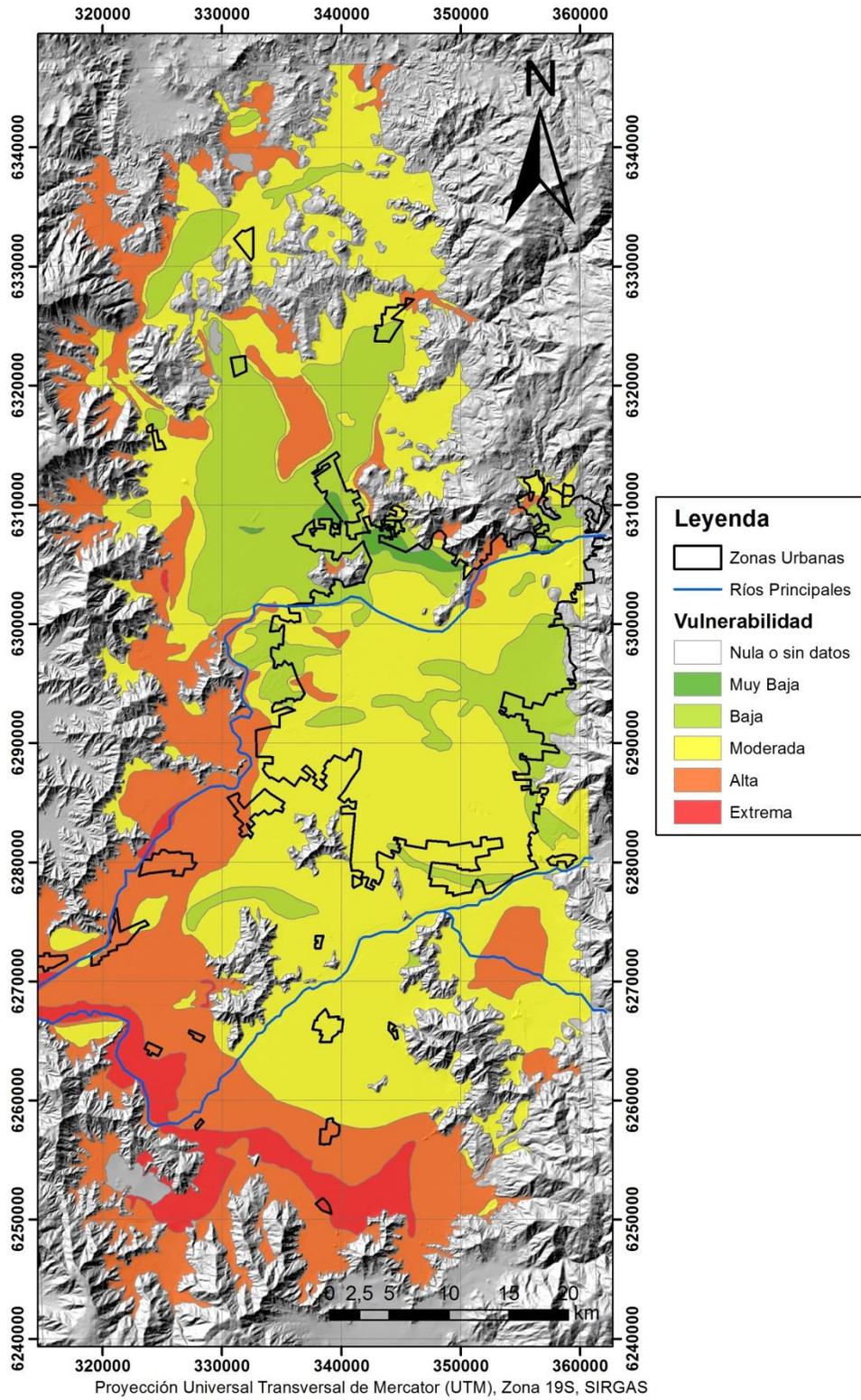


Figura 4.7: Mapa de vulnerabilidad de acuíferos en la Cuenca de Santiago. Simplificado de IRIARTE (2003).

5. MECANISMOS DE INFILTRACIÓN

Los sistemas y elementos de infiltración captan el flujo superficial y permiten o facilitan su infiltración en el suelo. Debe considerarse que la infiltración de agua en el suelo no provoque problemas estructurales en él por esponjamiento, arrastre de finos o exceso de humedad en general. También, es necesario verificar que la calidad del agua infiltrada sea tal que no contamine el acuífero o el agua subterránea del lugar.

Entre sus principales ventajas está el que ayudan a minimizar el desbalance del agua natural en el lugar, son fácilmente integrables en el paisaje de zonas densas o abiertas y, si son adecuadamente diseñadas y mantenidas, pueden servir para zonas extensas.

El mayor problema de todo sistema de recarga artificial es la colmatación del sistema de infiltración, resultando en la reducción de las tasas de infiltración. Es necesario un pretratamiento del agua para reducir las partículas problema y un secado del sistema para permitir la fractura y extracción de la capa colmatante. También se cuenta entre sus principales desventajas la alta tasa de fallas que presentan por problemas de mantención inadecuada.

BOUWER (2002) subdivide los métodos de infiltración por zonas acuíferas, siendo estas infiltración superficial, infiltración en la zona vadosa y recarga directa. La CNR (2013) las subdivide también en zonas acuíferas, siendo estas superficial y profunda. En la guía de diseño de Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos del Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU, 1996) se consideran los pavimentos porosos, los pavimentos celulares, los estanques, las zanjas y los pozos de infiltración; sin embargo, los pavimentos porosos, los pavimentos celulares y los estanques son más bien específicos para una infiltración urbana a pequeña escala, por lo que en este trabajo no son planteados como métodos a utilizar. En la Tabla 5.1 se presentan las distintas alternativas de infiltración de agua, ordenadas según el informe de CNR, (2013) y complementadas según la guía de MINVU (1996), el informe técnico de la DGA (2013) y el artículo de BOUWER (2002).

Tabla 5.1: Alternativas de disposición de aguas lluvias mediante infiltración.

Zona de Infiltración		Elemento
Superficial	Dentro del Canal	Serpenteos y barreras o diques
		Escarificación del lecho del cauce
		Zanjas filtrantes en cauce
		Barreras en cauce
	Fuera del Canal	Zanjas, acequias o canales
		Balsas, lagunas o piscinas de infiltración
		Superficies de recarga
		Filtración interdunar
Profunda	Vadosa	Zanjas
		Pozos secos
	Directa	Pozo de inyección
		Galerías infiltrantes
		Pozos con galerías
		Simas y dolinas
		Filtración en el lecho de los ríos
Sistemas Combinados		

5.1. INFILTRACIÓN SUPERFICIAL

Los sistemas de infiltración superficial requieren superficies permeables de suelo para conseguir altas tasas de infiltración y minimizar requerimientos de terreno. En lugares donde el suelo permeable esté a cierta profundidad, y la cubierta menos permeable es delgada, esta puede ser removida, dejando al descubierto la zona más permeable al fondo de la calicata. La zona vadosa debe estar libre de capas de arcilla u otras láminas de materiales finos impermeables, que restringen significativamente el flujo vertical y forman acuíferos colgados que impermeabilizan el área de recarga y disminuyen la tasa de infiltración. Los acuíferos deben ser no confinados y suficientemente transmisivos para evitar un ascenso excesivo del nivel piezométrico que interfiera con el proceso de infiltración. Además, el suelo, la zona vadosa y el acuífero deben estar libres de contaminantes que puedan ser transportados por el agua y lleguen al acuífero u otras áreas.

La fuente de agua para sistemas de infiltración dentro o fuera del canal debe ser de calidad suficiente como para prevenir colmataciones de la superficie infiltrante, las que pueden producirse por deposición y acumulación de sólidos suspendidos, por formación de biofilms o biomasa en y sobre el suelo, por precipitación de carbonato de calcio u otras sales, y por formación de gases que quedan atrapados en el suelo, donde bloquean los poros y reducen la conductividad hidráulica.

Los sistemas de infiltración superficial para recarga artificial se dividen en sistemas dentro del canal y fuera del canal.

5.1.1. Sistemas de recarga dentro del canal

Existen varios sistemas de recarga dentro del canal, que se destacan por ser económicos en su instalación. Estos son:

A. Serpenteos y barreras o diques

Se basan en aumentar el tiempo de permanencia y la superficie de contacto, entre el agua y el terreno, mediante la construcción de diques, espigones o barreras, transversales al cauce, que obligan a que el agua serpenteo incrementando la infiltración natural del río, como se muestra en la parte inferior de la Figura 5.1. Naturalmente, para estos efectos, el cauce natural (río, estero, quebrada) debe ser perdedor o curso influente (DGA, 2013).

B. Escarificación del lecho del cauce

Busca mejorar las condiciones de infiltración a través de la limpieza, rascado o arado del lecho del cauce; a objeto de remover el asentamiento o deposición de materiales finos. Es una alternativa sencilla y económica que aplica cuando el cauce infiltra.

C. Zanjas filtrantes en cauces

Consiste en zanjas excavadas dentro del lecho del cauce y perpendicularmente al sentido del flujo. Por lo general no son muy profundas; se rellenan con piedras de cantos rodados para facilitar la infiltración; puede considerarse relleno graduado en la parte superior para un mejor control de la colmatación. La incorporación de barreras inmediatamente aguas abajo favorece la infiltración. Es importante el análisis de la variabilidad de los flujos y la torrencialidad del cauce para los fines de la estabilidad de la obra; dependiendo de esta condición puede tratarse de obras que requieran rehacerse año a año. También es una alternativa sencilla y económica aplicable cuando el cauce infiltra.

D. Barreras en cauces

Corresponde a barreras de pequeña envergadura (parte superior de la Figura 5.1); el objeto es aumentar el tiempo de retención del flujo de agua, especialmente en épocas de lluvia. Puede haber de carácter permanente o de carácter provisorio; estas últimas resultan más económicas y sencillas. Dentro de este caso se pueden distinguir distintas opciones según las condiciones del cauce en términos de la variabilidad o asimetría de los caudales y torrencialidad del cauce. En general aplica a cauces ubicados en zonas áridas, semiáridas y de transición; en particular

son recomendables en cauces de menor orden ya que no implican tamaños importantes; como efecto adicional permiten amortiguamiento de las crecidas.

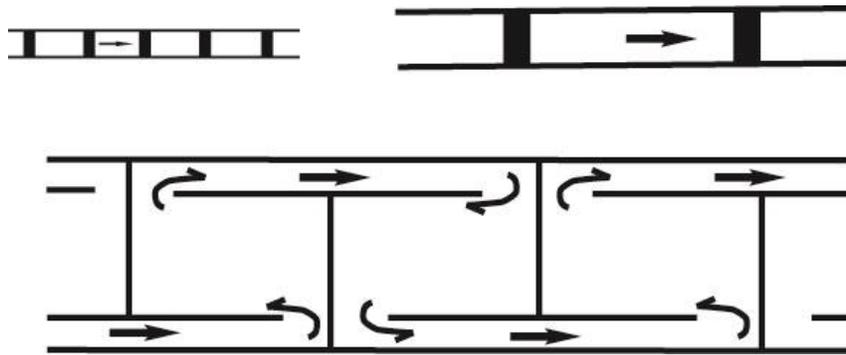


Figura 5.1: Vistas en planta de sistemas de recarga dentro del canal, con diques en canales estrechos y de alta pendiente (arriba a la izquierda); presas más grandes en canales más anchos y pendiente menor (arriba a la derecha); y barreras en forma de T en canales anchos y planos (abajo). Modificado de BOUWER (2002).

5.1.2. Sistemas de recarga fuera del canal

Los sistemas de recarga fuera del canal consisten en calicatas de infiltración, lagunas, pozos de grava, campos irrigados por flujo, tuberías perforadas o cualquier otra instalación, donde el agua es puesta o extendida en el suelo, especialmente construida para infiltración y percolación hasta el acuífero.

El fundamento de estos sistemas es ampliar el área de recarga buscando una superficie de terreno propicia para la infiltración al acuífero, que para estos efectos corresponde a un acuífero libre. Las principales obras de recarga desde superficie y fuera de cauces son:

A. Zanjas, acequias o canales

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.

B. Balsas, lagunas o piscinas 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.

C. Superficies de recarga

Se trata de extender agua por la superficie del terreno, normalmente mediante aspersión. De esta manera, se oxigena mucho el agua, creando un ambiente oxidante, lo que mejora la calidad bacteriológica del agua.

D. Filtración interdunar

En este método, los valles entre dunas costeras de arena son inundados con agua de ríos; el agua se infiltra 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. 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. Sin embargo, este método se descarta por requerir dunas, que no se encuentran en la cuenca de Santiago y por tener objetivos que no se acercan a los de este estudio.

5.2. INFILTRACIÓN PROFUNDA

5.2.1. Infiltración en la zona vadosa

Los sistemas de infiltración verticales, como zanjas y pozos de infiltración en la zona vadosa, permiten infiltrar en zonas donde no hay suficientes suelos permeables o terrenos disponibles.

La ventaja principal de zanjas y pozos de infiltración en la zona vadosa es que son relativamente económicos. La desventaja es que, eventualmente, su superficie de infiltración se colmata por acumulación de sólidos suspendidos u otros agentes y no pueden ser bombeados para “retro lavar” la capa colmatante y tampoco pueden ser rehabilitados ni limpiados para recuperar las tasas de infiltración.

Para minimizar la colmatación, el agua debe ser pretratada, eliminando los sólidos en suspensión. En el caso de las zanjas, el pretratamiento se realiza en la zanja misma con un filtro de arena y un geotextil en la parte superior del relleno (BOUWER, 2002) o en el fondo de la zanja (MINVU, 2006). En caso de que esto reduzca mucho el flujo, la zanja puede ser construida con forma de T, donde el área de filtro sea mayor que el área de infiltración.

Económicamente, la disyuntiva está entre extender la vida útil de la zanja o el pozo de la zona vadosa con el pretratamiento o construir nuevos pozos y zanjas, abandonando los viejos y colmatados, o siendo aprovechados para posibles recargas residuales que aún pueden tener. En caso de que la colmatación sea mayormente orgánica, se puede recuperar la capacidad de infiltración con periodos de secado o “descanso” del sistema, del orden de un año.

A. Zanjas de Infiltración

Las zanjas de infiltración son obras longitudinales, con una profundidad recomendada del orden de 1 a 3m (Figura 5.2), que reciben el agua en toda su longitud, interceptando el flujo superficial de una tormenta y evacuándolo mediante infiltración al subsuelo. También es posible alimentarla desde uno de los extremos empleando para ello una tubería perforada a lo largo de la parte superior, para lo cual es conveniente disponer de cámaras a la entrada y a la salida. En este caso la zanja propiamente tal puede cubrirse de manera de emplear la superficie para otros fines, como veredas, paseos o estacionamientos. El funcionamiento hidráulico de estas obras puede resumirse en tres etapas. La primera es el ingreso del agua proveniente de la tormenta a la zanja, la que se puede efectuar a través de la superficie o desde redes de conductos. Una vez que ingresa a la zanja, el agua se almacena temporalmente en su interior, para posteriormente ser evacuada a través del suelo mediante infiltración.

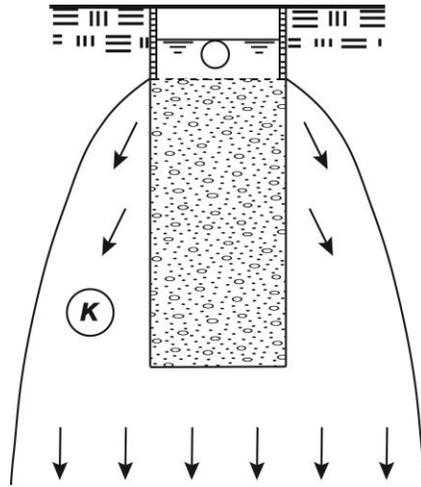


Figura 5.2: sección que muestra una zanja de infiltración en la zona vadosa con relleno de grava o arena, sobre el relleno la tubería de suministro de agua y la cubierta. Las flechas representan el flujo hacia abajo en la zona saturada con conductividad hidráulica K . Modificado de BOUWER (2002).

Se recomienda usar las zanjas de infiltración en áreas donde el agua tenga una baja concentración de sedimentos. A pesar de que son más susceptibles a la acumulación de sedimentos, las zanjas de infiltración son más fáciles de mantener que otras obras de infiltración debido a su accesibilidad.

Algunas de las principales ventajas son un bajo costo y una fácil puesta en marcha. Entre las desventajas se destacan los problemas de colmatación que se pueden presentar, en períodos menores a 5 años, al retener las partículas finas presentes en el agua. Una vez que se tapan, es necesario remover las piedras de relleno y reemplazarlas por otras limpias, y en algunos casos la fosa debe ser ampliada para extraer los suelos impermeabilizados adyacentes. Este

inconveniente puede ser reducido si el agua de la tormenta se filtra antes de ingresar a la zanja o se asegura que la zanja reciba agua limpia. Otro problema que se debe considerar es la migración de partículas finas hacia el relleno de piedras, lo que se puede prevenir usando un filtro entre el estrato de relleno y el suelo original. También se deben tomar precauciones durante la etapa de construcción, y será recomendable una mantención durante la vida útil de la obra.

B. Pozos de Infiltración

Los pozos de infiltración consisten en excavaciones normalmente cilíndricas de profundidad variable, que pueden estar rellenas o no de material, y permiten infiltrar el agua directamente al suelo en espacios reducidos. Esta técnica tiene la ventaja de poder ser aplicada en zonas en las cuales el estrato superior de suelo es poco permeable, como es el caso de zonas altamente urbanizadas, o de superficies del terreno impermeabilizadas, pero que tienen capacidades importantes de infiltración en las capas profundas del suelo.

Los pozos en la zona vadosa son de cerca de 1m de diámetro y no más de 60m de profundidad (Figura 5.3). El agua es suministrada a través de una tubería perforada o encribada. Si el agua entra en caída libre por la tubería al sistema, entra aire que se entrapa en el relleno y suelo cercanos, disminuyendo la conductividad hidráulica. Para evitar esto, el agua es suministrada por una pequeña tubería, dentro de la tubería perforada o encribada, que se extiende hasta una distancia segura bajo el nivel de agua dentro del pozo (BOUWER, 2002).

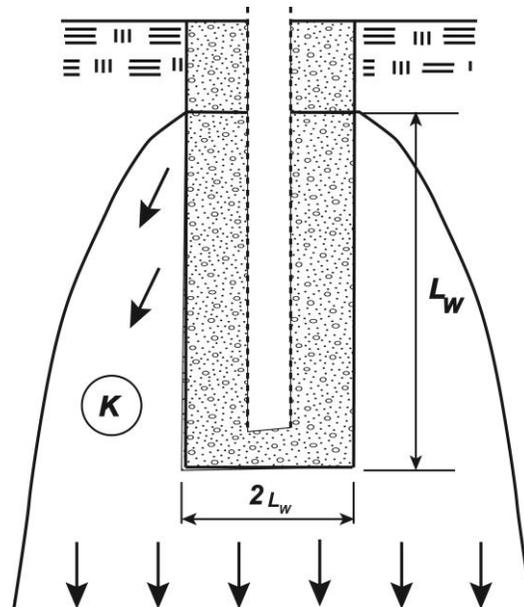


Figura 5.3: Sección que muestra un pozo de infiltración en la zona vadosa con relleno de grava o arena y una tubería de suministro de agua perforada. Las flechas representan el flujo hacia abajo en la zona saturada con conductividad hidráulica K (Modificado de BOUWER, 2002).

El funcionamiento hidráulico de estas obras puede resumirse en tres etapas: la primera es el ingreso del agua proveniente de la crecida al pozo de infiltración, la que se puede efectuar a través de la superficie o desde redes de conductos. Una vez que ingresa al pozo, el agua se almacena temporalmente, dependiendo de las características del suelo, para posteriormente ser evacuada mediante infiltración.

Es posible combinar los pozos de infiltración con otras alternativas, lo que permite obtener la capacidad de almacenamiento suficiente y aumentar la infiltración.

Desde el punto de vista de la forma en que evacúan el agua se denomina pozo de infiltración cuando el agua sale del pozo a través de estratos no saturados del suelo, es decir cuando la superficie del agua subterránea se ubica bajo la base del pozo, de manera que las aguas lluvias se filtran en el suelo antes de llegar al nivel del agua subterránea. Si la napa de agua subterránea se ubica sobre el nivel del fondo del pozo, de manera que la evacuación de las aguas lluvias se realiza directamente al agua subterránea, se denomina pozo de inyección (Figura 5.4). El pozo de inyección se verá más en detalle en el apartado 5.2.2. A.

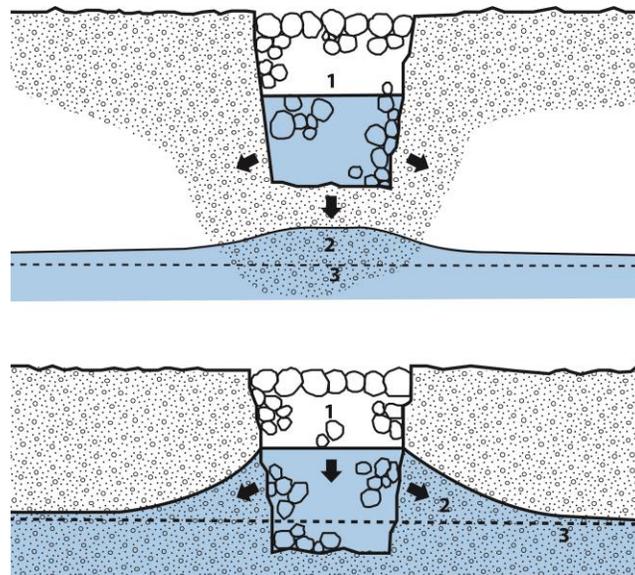


Figura 5.4: Pozos de infiltración (arriba) y de inyección (abajo). 1. Pozo, 2. Agua subterránea, 3. Nivel estático. Modificado de MINVU (2006).

Su principal ventaja es su integración a condiciones restringidas, ya que son poco visibles, no tienen restricciones topográficas para su instalación y comprometen sólo una pequeña parte del suelo, economizando terreno. Sin embargo, es recomendable su instalación sólo en lugares en los cuales no es posible ubicar otros sistemas, ya que tienen una capacidad de almacenamiento reducida en comparación con otras obras, dependiendo del nivel de la napa. Las napas poco

profundas pueden limitar el uso de los pozos, ya que disminuyen el volumen de almacenamiento y reducen sus capacidades hidráulicas.

Una de sus principales desventajas es que pueden presentar problemas de colmatación al retener las partículas finas presentes en el agua, para lo cual se requiere una mantención durante la vida útil de la obra. Una alternativa para reducir este problema previamente es instalar un filtro en la parte superior haciendo pasar el agua a través de él antes de que pase al pozo o instalar un decantador previamente. En casos extremos se puede recurrir a un filtro de arena similar a los empleados en las piscinas. Otra desventaja es el riesgo de contaminación de la napa, para lo cual es muy importante conocer las características de las aguas que se van a infiltrar.

5.2.2. Dispositivos profundos

El propósito es la introducción de agua de recarga en forma directa al acuífero; se realiza a través de pozos o sondajes profundos. Aplica a acuíferos libres con cierta profundidad y acuíferos confinados. Las principales obras de recarga profunda son:

A. Pozos de inyección

La recarga directa con pozos de inyección se usa donde no hay suelos permeables o suficiente terreno disponible, la zona vadosa no es adecuada para hacer pozos secos o zanjas de infiltración, o el acuífero es profundo o confinado (BOUWER, 2002). La inyección se realiza por gravedad o mediante presión. El agua se inyecta bajo el nivel estático. 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 (DGA, 2013)).

Aunque es posible reconstruir y rehabilitar pozos de inyección colmatados con técnicas convencionales, es mejor prevenir la colmatación severa bombeando el pozo con frecuencia, por ejemplo, unas tres veces al día por 15 minutos. Un bombeo frecuente puede incluso eliminar la necesidad de una membrana de filtración (BOUWER, 2002).

B. Galerías filtrantes

Corresponde a pozos horizontales, socavones, túneles filtrantes; existiendo una gran diversidad de denominaciones; la utilización de estas obras es ancestral para el aprovechamiento de aguas subterráneas. En este caso el principio es similar pero en sentido inverso. Puede aplicarse en zonas donde se dispone de escorrentía pero los suelos someros son poco permeables, esto en combinación con zanjas o fosos que concentran y conducen el flujo hacia el punto de infiltración.

C. Pozos con galerías

Considera dos componentes; una perforación vertical a partir de la cual desde el fondo se desarrollan galerías o pozos horizontales, lugar donde se produce el proceso de infiltración al acuífero. En diversos casos se entiende forma parte dentro del concepto galería filtrante.

D. Simas y dolinas

En acuíferos kársticos, en los que existen cavidades verticales que alcanzan a la superficie, se pueden aprovechar estas depresiones kársticas, a modo de sumideros, para la recarga artificial.

E. Filtración en el lecho de los ríos

Consiste en inducir la infiltración en el lecho del río induciendo un gradiente por bombeo desde un pozo cercano. Al igual que en la mayoría de los casos, el inconveniente principal es la génesis de procesos de colmatación y, además, la acumulación de metales y compuestos orgánicos en el lecho. La conductancia del lecho y la capacidad de depuración están condicionadas, entre otros factores, por la distribución de los granos del acuífero, la calidad del agua y la temperatura. Los procesos colmatantes reducen la capacidad de infiltración del lecho, pero también contribuyen a la biodegradación de contaminantes.

5.3. SISTEMAS COMBINADOS

Los sistemas de infiltración superficial son siempre preferidos porque se puede controlar mejor la colmatación y el mejoramiento de la calidad del agua. En el caso de que haya suelos impermeables relativamente someros, es posible excavar y poner el agua directamente en suelos más permeables. Sin embargo, cuando se tienen capas impermeables más profundas, se puede combinar la infiltración superficial con sistemas de infiltración vertical, que crucen la capa impermeable. Así, la parte superior del sistema funciona como sistema de drenaje del agua entrampada, mientras que la parte inferior funciona como sistema de infiltración y recarga del acuífero. Si la base de la capa impermeable no es muy profunda (menos de 3m por ejemplo) se pueden usar zanjas para drenar el agua entrampada y transportarla al acuífero. Para capas impermeables más profundas (más de 40m), se pueden usar pozos secos, mientras que los pozos de inyección se usan donde no es posible construir el pozo seco con taladro tipo balde. Los pozos de inyección deben encribarse sobre y bajo la capa impermeable.

La ventaja de estos sistemas es que el agua es prefiltrada por el suelo y la zona de agua entrampada, por lo que el potencial de colmatación es reducido. Aun así, conviene bombear regularmente el pozo si la parte inferior del sistema alcanza el nivel estático. La calidad del agua también debe considerarse, particularmente cuando el agua sobre la capa impermeable es de menor calidad que la del acuífero.

El principio de drenar agua atrapada para recargar los acuíferos subyacentes con sistemas como los anteriores no ha sido adecuadamente probado. Debido a esto, se deben hacer sistemas pilotos, en este y todos los tipos de sistema de infiltración, con el fin de evaluar su funcionalidad y las gestiones a realizar antes de hacer mayores inversiones y proyectos. La funcionalidad y las gestiones a realizar dependen mucho de las condiciones locales del suelo, la hidrogeología, el clima y la calidad del agua. El criterio principal en la recarga artificial es partir pequeño, aprender en la marcha y, finalmente, expandirse.

6. FUENTES DE AGUA PARA LA INFILTRACIÓN

6.1. INTRODUCCIÓN

El objetivo general de este capítulo es caracterizar las posibles fuentes de agua para ser infiltrada, determinando las probabilidades de excedencia para distintos eventos de precipitación.

La profundidad del nivel estático en la cuenca de Santiago es mayor en los sectores orientes de la misma. Además, la escorrentía superficial fluye de este a oeste, por lo que, mientras más al oriente esté el agua, contendrá menos contaminación proveniente de la ciudad.

De este modo, se eligen las estaciones de caudal que se encuentren a la entrada de la cuenca de Santiago, con el fin de conocer los datos de caudal que tendrían los cauces en sectores de la cuenca apegados a su flanco oriental. Las estaciones que cumplen estas características son señaladas en la Tabla 6.1 y en la Figura 6.1.

Tabla 6.1: Cauces elegidos para ser estudiados junto con las estaciones de caudal asociadas.

Cauce	Estación	Años usados en el estudio
Río Maipo	Maipo en el Manzano	1950/51 - 1997/98
Río Mapocho	Mapocho en los Almendros Arrayán en la Montosa	1950/51 - 1997/98
Estero San Ramón	Ramón en recinto EMOS	1991/92 - 2013/14
Estero Macul	Sin Estación	1991/92 - 2013/14
Estero Colina	Colina en Peldehue	1991/92 - 2013/14

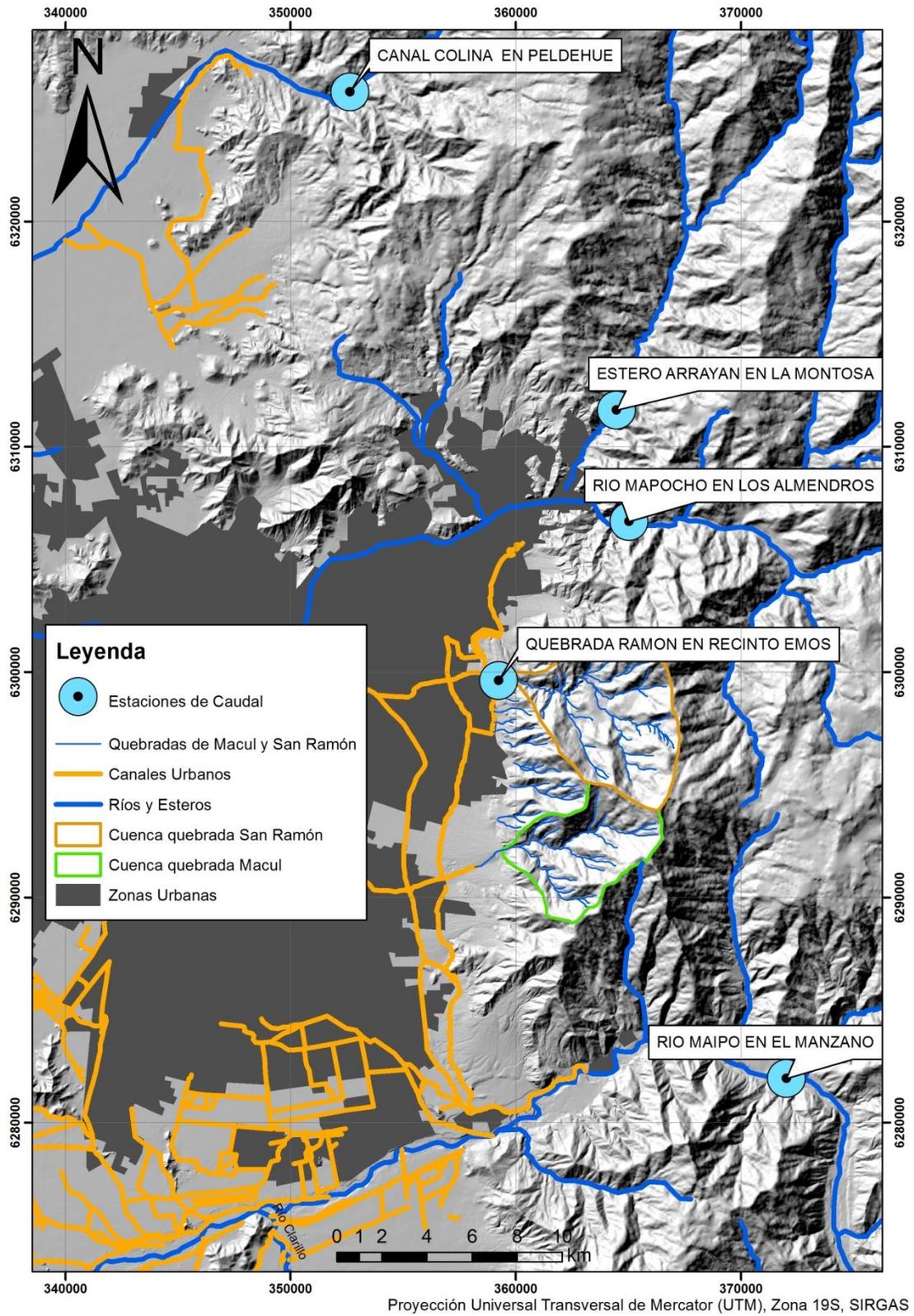


Figura 6.1: Mapa señalando la ubicación de las estaciones de caudal estudiadas.

Para estaciones Maipo en el Manzano, Mapocho en los Almendros y Arrayán en La Montosa, entre los años 1950/51 a 1997/98, se utilizan los datos de caudal medio mensual obtenidos en AYALA, CABRERA Y ASOCIADOS (2000), dado que están completos, corregidos y rellenados. Sin embargo, dicho informe no contiene datos para las estaciones Ramón en Recinto EMOS ni Colina en Peldehue. De este modo, para estas últimas estaciones los datos se obtienen de la página web del Ministerio de Obras Públicas (DGA, 2014), los que deben ser rellenados.

La estación Ramón en recinto EMOS tiene datos a partir del año hidrológico 1990/91 y la estación Colina en Peldehue inicia su registro a partir del año 1980/81, por lo que se rellenan los datos de las todas las estaciones, incluyendo aquellas cuyos datos ya están rellenos y corregidos, entre los años 1990/91 a 2013/14.

6.2. METODOLOGÍA DE RELLENO DE LAS ESTADÍSTICAS

Para realizar el relleno de las estadísticas se procede con los pasos sugeridos por BERCIÁN Y PALOMO (2004), indicados a continuación:

6.2.1. Homogeneidad de la Estadística

En primer lugar, se evalúa la homogeneidad de la estadística con las Curvas Místicas o Doble Acumulada de Caudales. Este método sirve para detectar los cambios de tendencia no ocasionados por causas meteorológicas, como un cambio en los métodos de recolección de la información, cambios en la ubicación del sitio de medición, almacenamiento artificial (embalses) o a cambios en el uso del agua de la cuenca (BERCIÁN Y PALOMO, 2004).

El método está basado en que, generalmente, los valores acumulados del promedio de los caudales mensuales de varias estaciones contiguas, llamado patrón, no se ve afectado por cambios en las estaciones individuales que lo forman, ya que existe una compensación entre ellas (ARUMÍ *ET AL.*, 2000). Esta compensación hace que el patrón sea confiable y no se vea afectado por inconsistencias en las estaciones que lo forman. Así, cualquier quiebre en una curva doble mística se deberá a la estación en estudio.

El procedimiento consiste, entonces, en ubicar en el eje de las abscisas la suma acumulada promedio de los caudales mensuales de al menos 3 estaciones, para que sea estable, y en el eje de las ordenadas, la suma acumulada de los caudales de la estación en estudio, para un período en que el patrón y la estación tengan datos completos (BERCIÁN Y PALOMO, 2004). En este caso, el patrón se realiza con el promedio de todas las estaciones estudiadas, es decir, Mapocho en los Almendros, Maipo en el Manzano, Arrayán en la Montosa, Colina en Peldehue y Ramón en recinto EMOS.

Para construir el patrón se convierten los caudales a variables que sean comparables entre sí, es decir, independientes del área de la cuenca y con el mismo orden de magnitud.

El procedimiento para convertir caudales a escorrentía es el siguiente: se multiplican los caudales de cada mes por la cantidad de segundos en un mes para obtener unidades de volumen. Luego, este se divide entre el área de la cuenca de drenaje del río para obtener valores en unidades de longitud, las que representan la escorrentía en el mes seleccionado. En este caso, los datos fueron convertidos de caudales mensuales en metros cúbicos por segundo [m^3/s] a escorrentía en metros [m]. Estos cálculos se encuentran en la Tabla B.1 del ANEXO B: CALCULOS PARA ANÁLISIS DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL.

6.2.2. Relleno y Extensión de la Estadística

Una vez realizado el proceso de consistencia se procede a rellenar las series incompletas con los datos del patrón o de la estación base.

Los métodos empleados para rellenar y/o extender dependen de la cantidad de registros de caudales que tenga la fuente cuyos datos se desean completar, por lo que se agrupan de acuerdo a sí se tiene, o no, control hidrométrico en la estación en estudio. En este caso, existen suficientes registros hidrométricos en la cuenca de Santiago, a la que pertenece las estaciones estudiadas, por lo que sí se tiene control hidrométrico.

El método elegido para el relleno de datos es el de Curva Másica o Dobles Acumulada (Adaptado de ARUMÍ *ET AL.*, 2002). Este método de relleno requiere que la correlación entre el patrón y estación base con la estación en estudio sea buena. El procedimiento para aplicar el método se detalla en la Figura 6.2:

Dónde:

Q_X = Caudal no medido en estación x durante mes n

Q_A = Caudal medido en estación A (patrón o estación base) durante el mes n

S_X = Pendiente de la curva másica para estación X

S_A = Pendiente de la curva másica para estación A

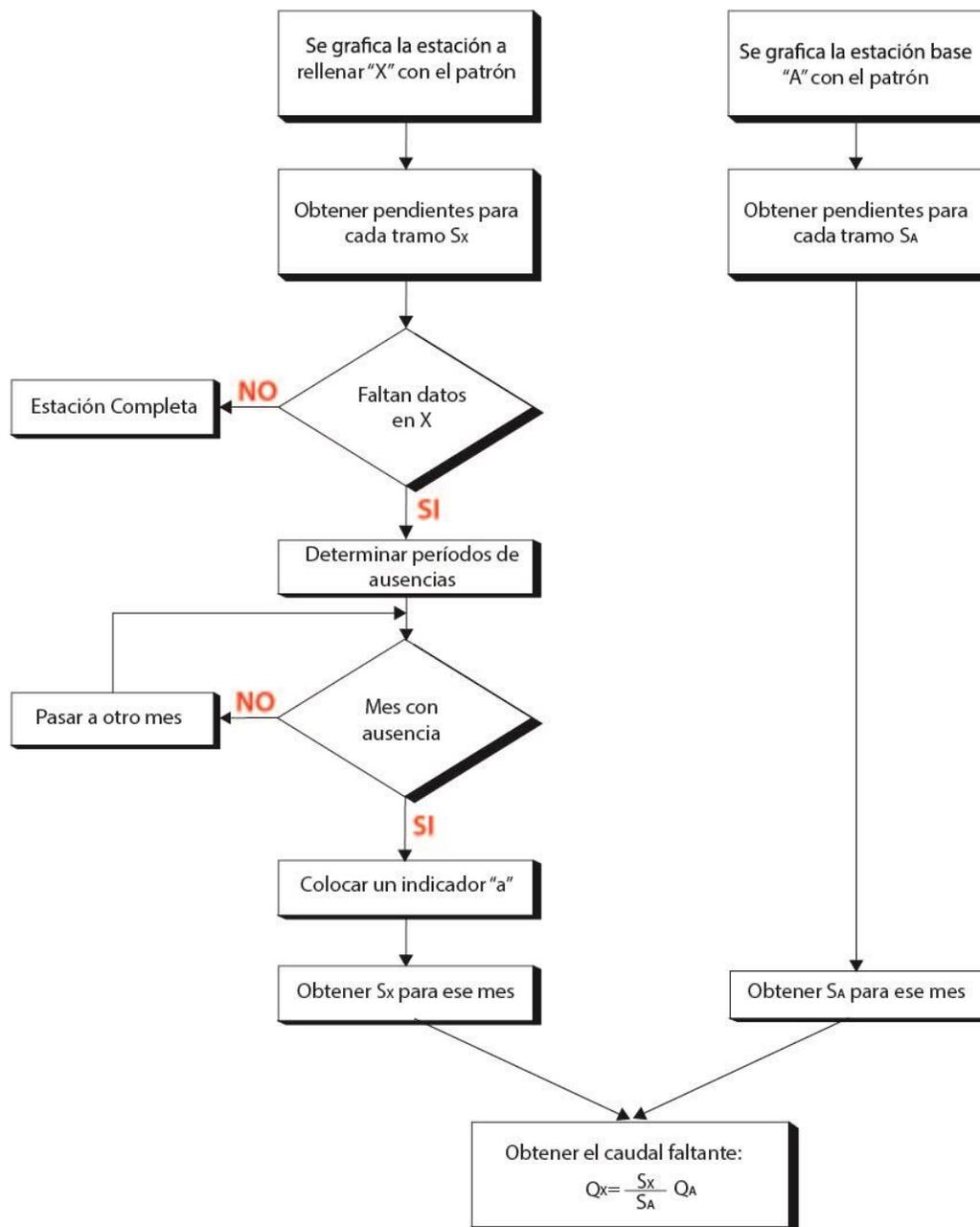


Figura 6.2: Proceso de relleno por curva másica. Modificado de BERCÍAN Y PALOMO (2004).

Entre los años hidrológicos de abril a marzo de 1950/51 a 1997/98 se usaron los datos de AYALA, CABRERA Y ASOCIADOS (2000) para las estaciones Mapocho en recinto EMOS, Arrayán en la Montosa y Maipo en el Manzano. Desde el año para las estaciones Ramón en Recinto EMOS y Colina en Peldehue, el estudio de caudal se realiza a partir del año 1991/92 y hasta el 2013/14, dado que antes de ese periodo la existencia de datos esa poca o nula. Para rellenar los datos faltantes se promedian las cinco estaciones para crear el patrón y la que se usa como estación

base es Arrayán en la Montosa por faltarle pocos datos en el periodo y aquellos datos que no pudieron ser rellenados con ésta estación se rellenan a partir de la estación Mapocho en los Almendros. La corrección de datos no se realiza.

Es posible ver el cálculo de los datos a rellenar en la Tabla B.2 en ANEXO B: CALCULOS PARA ANÁLISIS DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL, donde también se señalan las pendientes de las curvas utilizadas y los coeficientes de correlación de la estación base y la estación problema con respecto al patrón.

Para revisar la homogeneidad de las estadísticas definitivas de los caudales medios mensuales se revisan y grafican las curvas dobles acumuladas de cada estación, recordando que se utilizó como patrón el promedio entre las estaciones evaluadas. Las curvas obtenidas se presentan en el Gráfico 6.1.

De acuerdo a dichas curvas se observa una tendencia única en casi la totalidad de las series analizadas, con la excepción de la estación Ramón en Recinto EMOS, en la que la tendencia general del promedio anual de ésta estación desciende de manera más abrupta que las otras estaciones estudiadas. Esto puede deberse a varios motivos, entre ellos: determinación errónea de la curva de descarga, o algún otro tipo de error de traducción; modificación de la sección hidrométrica, errores en las lecturas limnimétricas y en el cálculo de los caudales medios diarios, mensuales o anuales; extracciones no consideradas aguas arriba de la sección de estudio debido a obras hidráulicas como captaciones; cambios en el uso de tierra cercano, como nuevas urbanizaciones, tala de bosques, nuevas zonas agrícolas, etc., o; traslado de la estación a otro lugar del río. Dentro de esas opciones se desconoce la razón exacta del comportamiento de la curva.

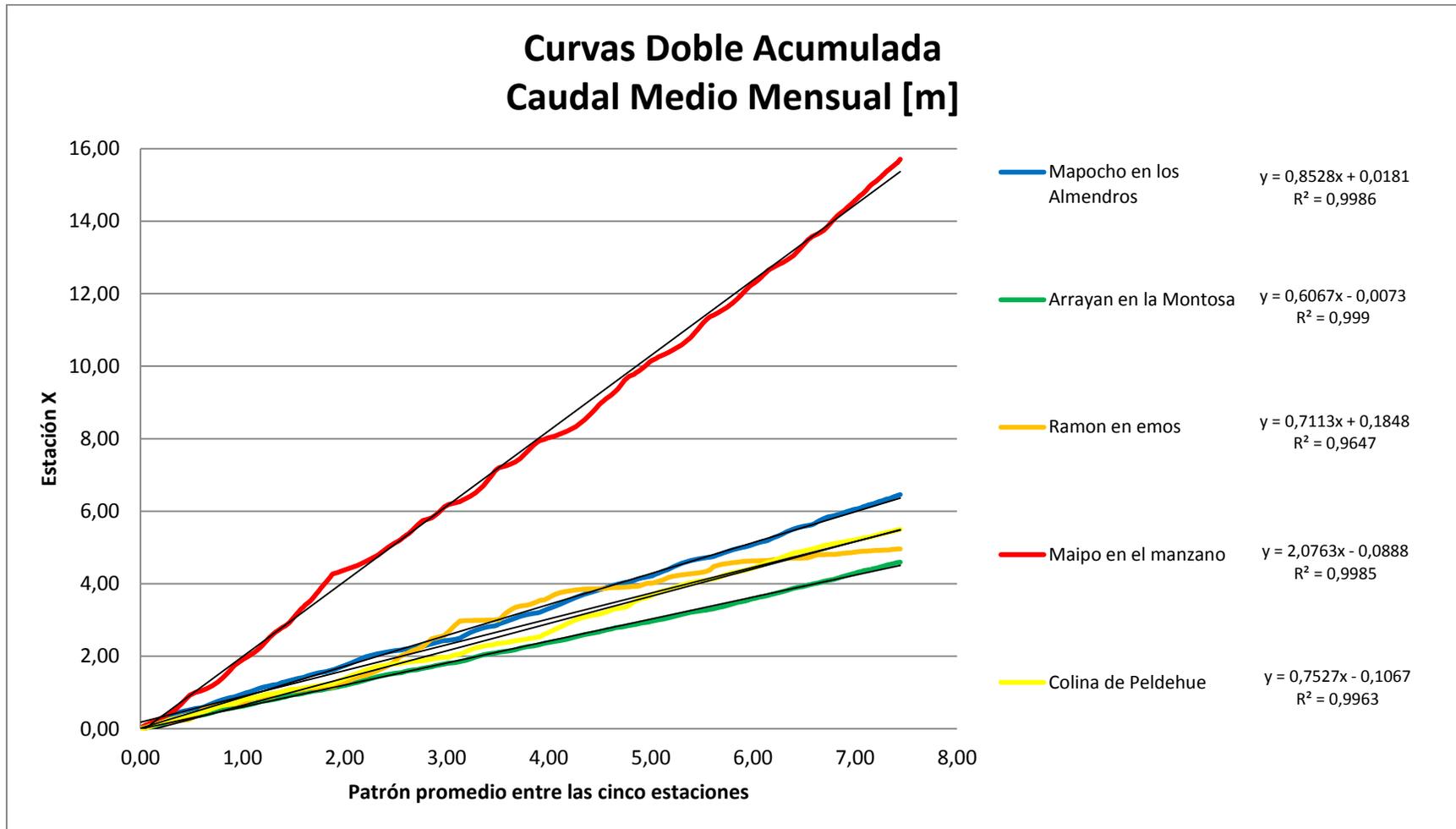


Gráfico 6.1: Curvas Doble Acumuladas de las estaciones estudiadas con respecto al promedio de las mismas. Se indica también la fórmula de la línea de tendencia y el coeficiente de correlación de cada una.

6.2.3. Estimación de Caudal de Río Mapocho

El río Mapocho llega a la depresión intermedia aguas abajo de la afluencia del Estero Arrayán, razón por la cual, el caudal total del Río Mapocho en la zona más oriental de la depresión intermedia es la suma de los caudales medidos por las estaciones Arrayán en la Montosa y Mapocho en los Almendros. Los datos entre los años 1950/51 y 1997/98 son los extraídos del informe de AYALA, CABRERA Y ASOCIADOS (2000), mientras que los del año 1998/99 en adelante son los entregados por la página web del Ministerio de Obras Públicas (DGA, 2014). Los datos calculados se adjuntan en la Tabla B.4 en el ANEXO B: CALCULOS PARA ANÁLISIS DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL.

6.2.4. Estimación de Caudal del Estero Macul

Para el caso de la Quebrada Macul, en la que no hay una estación de medición de caudal, se hace una estimación a partir de los datos de la Quebrada San Ramón. Dado que ambas quebradas poseen cuencas de carácter pluvial, las cuales son adyacentes entre sí (Figura 6.3), se puede asumir que la precipitación en ambas será similar y, por lo tanto, conociendo el área de ambas cuencas, es posible estimar el caudal de la cuenca con una regla de tres simple, como se muestra en la Ecuación 6.1. Las áreas fueron calculadas con el Software *ArcGIS* (ESRI, 2012).

Ecuación 6.1: Regla de tres simple para estimar datos de caudal entre dos cuencas adyacentes.

$$Q_X = Q_A * \frac{A_X}{A_A}$$

Dónde

Q_X = Caudal no medido x durante mes n

Q_A = Caudal medido en estación A (estación base) durante el mes n

A_X = Área de la cuenca de la que no se tienen datos

A_A = Área de la cuenca de la que se tienen datos (estación base)

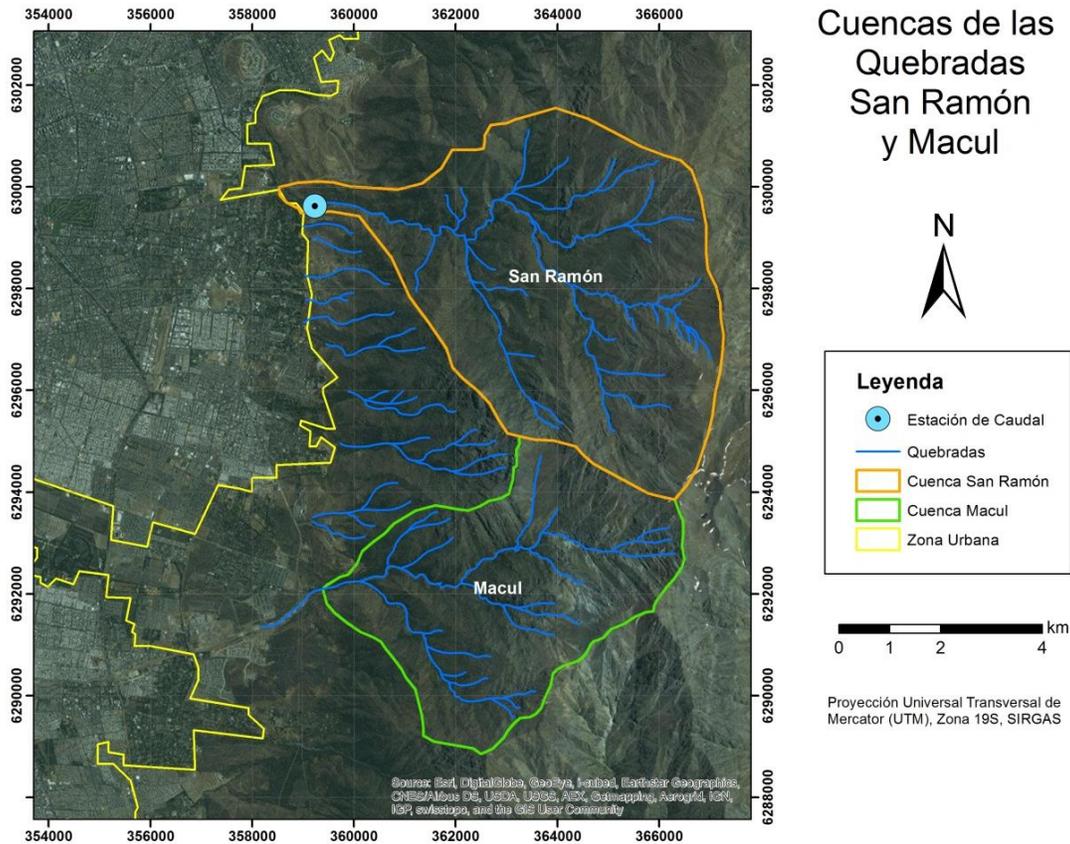


Figura 6.3: Cuencas de las Quebradas San Ramón y Macul. Se muestra también la estación de medición de caudal Ramón en Reciento EMOS.

En este caso, el área de la cuenca que alimenta al estero Macul es de 23.895.700m² y la que alimenta al Canal San Ramón es de 36.080.400m². Los datos calculados de la Quebrada Macul, así como los datos finales usados en este estudio para cada estación pueden encontrarse en la Tabla B.7 del ANEXO B: CALCULOS PARA ANÁLISIS DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL.

6.2.5. Estado final de los datos estudiados

Para las estaciones en las que se tenía datos del informe de AYALA, CABRERA Y ASOCIADOS (2000), se usan estos datos entre los años 1950/51 hasta 1997/98, y los de la página web del Ministerio de Obras Públicas para los años 1998/99 hasta 2013/14. Para las estaciones que no se tenían los datos de AYALA, CABRERA Y ASOCIADOS (2000) se usan los de la página web del Ministerio de Obras Públicas (DGA, 2014) entre los años 1991/92 al 2013/14.

6.3. RÉGIMEN ANUAL DE LOS CAUDALES ESTUDIADOS

Los regímenes anuales en las distintas estaciones estudiadas pueden observarse en el Gráfico 6.2.

Maipo tiene régimen nival, crecidas entre octubre y marzo que tiene su máximo en diciembre-enero, de unos $210\text{m}^3/\text{s}$.

Mapocho tiene régimen nival, con un mínimo en abril y un crecimiento constante hasta su máximo en noviembre de unos $13\text{m}^3/\text{s}$, con un leve cambio en la tendencia en junio-julio. Una vez pasado noviembre, vuelve a descender hasta encontrar su mínimo nuevamente en marzo-abril.

El régimen de Colina es nivo-pluvial, con un máximo local en junio-julio de $2.07\text{m}^3/\text{s}$ y un máximo total de $3.8\text{m}^3/\text{s}$ en noviembre.

San Ramón tiene un régimen pluvio-nival, con dos máximos en invierno; uno local en junio de $0.35\text{m}^3/\text{s}$ y otro total en agosto de $0.4\text{m}^3/\text{s}$. En diciembre existe otro máximo local más pequeño que puede deberse al derretimiento de las nieves que conserve durante los meses más fríos.

Macul, al tener estadísticas extraídas de la estación San Ramón, tiene un comportamiento idéntico a lo largo del año, pero con valores distintos. Tiene un régimen pluvio-nival, con dos máximos en invierno; uno local en junio de $0.22\text{m}^3/\text{s}$ y otro total en agosto de $0.27\text{m}^3/\text{s}$. En diciembre existe otro máximo local más pequeño que, al igual que en el caso de San Ramón, puede deberse al derretimiento de las nieves que conserve durante los meses más fríos.

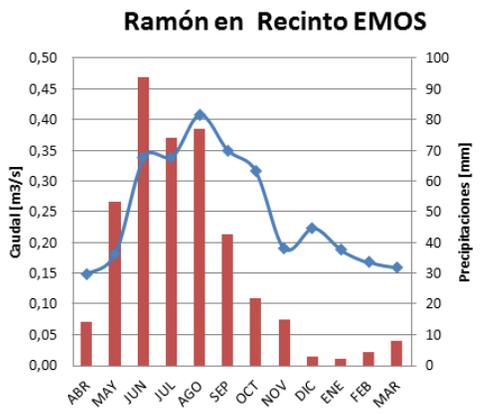
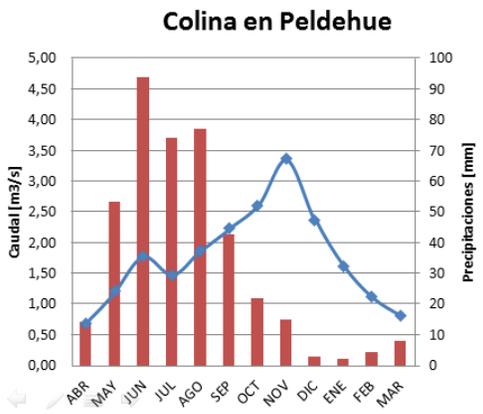
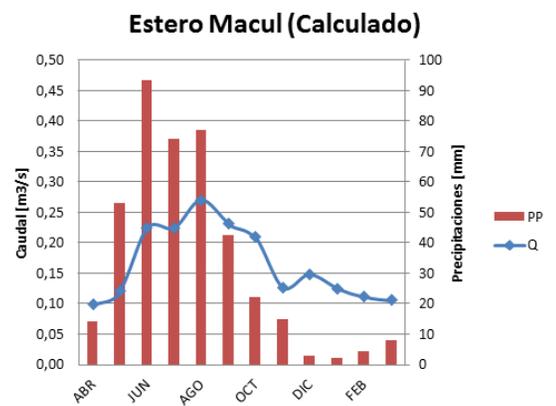
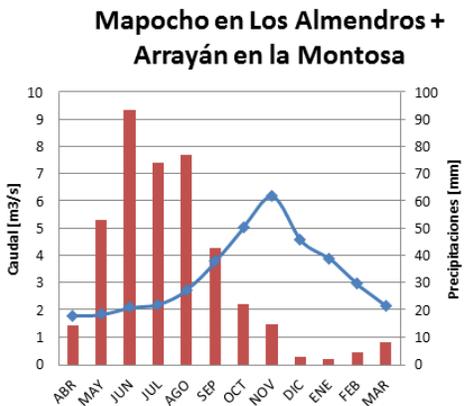
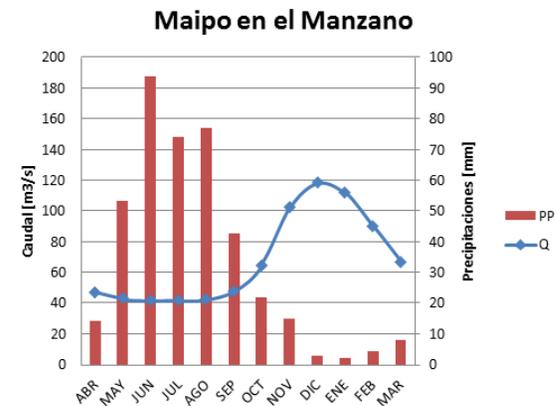


Gráfico 6.2: Curva de variación estacional promedio de las estaciones en estudio. Los datos de precipitaciones corresponden a la media mensual durante los años hidrológicos 1991/92 a 2013/14 en la estación Mapocho en los Almendros, por ser ésta la única estación completa durante ese periodo.

6.4. ANALISIS DE FRECUENCIA DE LAS ESTADÍSTICAS

Las estadísticas definitivas de caudales medios mensuales fueron sometidas a un análisis de frecuencia, con el fin de determinar para cada mes los caudales con probabilidad de excedencia cercanos al 5%, 20%, 50%, 85% y 95%. Se hace con probabilidades de excedencia cercanas a dichos valores y no los valores mismos porque al hacer la línea de tendencia los valores extremos, cercanos a 0 y 100% se alejan mucho de los datos reales. Por esto, se prefiere usar los datos cuya probabilidad de excedencia sea la más cercana a 5 y 95%.

En la Tabla 6.2 se muestran los resultados obtenidos para cada estación, explicitándose los valores de probabilidad de excedencia utilizados en cada caso. En el Gráfico 6.3 se entregan las respectivas curvas de variación estacional.

En la estación Colina en Peldehue se observa que, para la probabilidad de excedencia de 4%, mayo tiene un máximo anómalo respecto del comportamiento anual promedio. Esto se debe a que los primeros días de Mayo de 1993 se produjo una lluvia intensa concentrada principalmente en sectores precordilleranos y cordilleranos, por sobre la línea de nieves. La precipitación líquida, que generalmente cae por debajo de los 2800m en la cordillera frente a Santiago, ese día experimentó un ascenso hacia los 3800m debido al alza de la temperatura producto del frente cálido que en ese momento generaba precipitaciones entre la IV y VII regiones. El hecho de que la cordillera se encontrara con nieve acumulada y que la altura de la isoterma cero (límite entre la precipitación sólida y líquida) se elevara por sobre los 3700m produjo que el agua líquida provocara el derretimiento de la nieve acumulada y su posterior escurrimiento, elevando inusualmente el caudal en las cuencas nivales o nivopluviales. (DEPARTAMENTO DE PROTECCIÓN CIVIL, SECCIÓN ESTUDIOS, 1995). Este comportamiento no se observa en Mapocho o Maipo por que la densidad de datos de estas últimas estaciones es mayor. Así, este evento extremo tiene una probabilidad de excedencia menor a 0.05 en dichas estaciones.

6.5. CANALES URBANOS Y DE REGADÍO

Dentro de la ciudad de Santiago, existen canales que fueron construidos originalmente con el propósito de suministrar agua a sectores que no la obtenían naturalmente, por ejemplo, el canal San Carlos, que comienza y es alimentado por las aguas del río Maipo y desemboca en el río Mapocho, en la comuna de Providencia. Este canal abasteció de agua para regadío a toda la zona oriental comprendida entre ambos ríos.

Sin embargo, en la actualidad, estos canales ya no son usados para el riego de plantaciones y se inmergen en la ciudad tapados por concreto o a la vista, rodeados de viviendas y otras construcciones que, en caso de crecidas importantes, se ven anegadas e inundadas.

Tabla 6.2: Probabilidad de excedencia mensual, en m³/s, para las estaciones Maipo en Los Manzanos, Mapocho en Los Almendros + Arrayán en La Montosa, Colina en Peldehue, Ramón en Recinto EMOS y Macul (Calculado).

Estación	Pb (%)	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
Maipo en El Manzano	5	123,28	82,42	104	105,38	103,64	115,54	148,3	250,47	393,68	466,26	279,85	181,94
	25	81,54	66,23	70,48	70,64	72,18	81,69	120,17	193,76	305	262	186	122
	51	63,12	54,63	54,85	54,43	58	67,45	93,5	150,8	188,49	170,07	126,49	88,75
	85	47,1	43,58	42,1	37,76	40,3	46,99	62,79	101	119,65	115	92,6	65,6
	95	35,84	34,34	33,33	34,5	34,93	37,7	55,11	82,30	59,48	70,11	65,68	52,46
Mapocho en Los Almendros + Arrayán en La Montosa	5	5,41	6,03	12,87	10,13	17	20,32	28,82	34,71	37,23	28,9	11,85	7,54
	25	3,55	3,62	5,58	6,53	8,04	11,80	18,31	18,95	18,29	10	6,37	4,46
	51	2,66	2,95	3,26	4,34	4,69	7,61	11,22	13,72	10,05	6,65	4,38	3,25
	85	1,76	1,81	2,06	2,12	2,41	3,78	5,30	5,69	4,39	3,65	2,92	2,13
	95	1,08	1,23	1,21	1,32	1,51	1,49	2,25	2,20	2,25	2,37	1,78	1,3
Colina en Peldehue	4	1,47	9,37	6,19	3,90	8,06	6,49	7,75	9,40	8,37	3,98	2,94	2,24
	25	0,87	1,23	2,08	2,13	2,51	2,86	3,71	4,61	2,91	2,50	1,81	1,08
	50	0,57	0,74	0,92	1,14	1,40	1,63	2,11	2,33	1,65	1,41	1,07	0,6
	83	0,38	0,37	0,51	0,52	0,43	0,50	0,94	1,27	0,59	0,48	0,31	0,31
	96	0,30	0,22	0,24	0,24	0,32	0,33	0,32	0,26	0,20	0,16	0,19	
Ramón en Recinto EMOS	4	0,89	0,62	2,40	2,12	2,40	1,46	1,52	0,68	1,83	1,72	1,59	1,65
	25	0,21	0,32	0,38	0,44	0,70	0,43	0,56	0,32	0,31	0,22	0,19	0,14
	50	0,05	0,11	0,12	0,10	0,16	0,22	0,10	0,11	0,05	0,06	0,09	0,04
	83	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02
	96	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Macul (Calculado)	04	0,59	0,41	1,59	1,40	1,59	0,97	0,01	0,45	1,21	1,14	1,05	1,09
	25	0,14	0,21	0,25	0,29	0,46	0,28	0,37	0,21	0,21	0,15	0,13	0,09
	50	0,03	0,07	0,08	0,07	0,11	0,15	0,07	0,07	0,03	0,04	0,06	0,03
	83	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	96	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

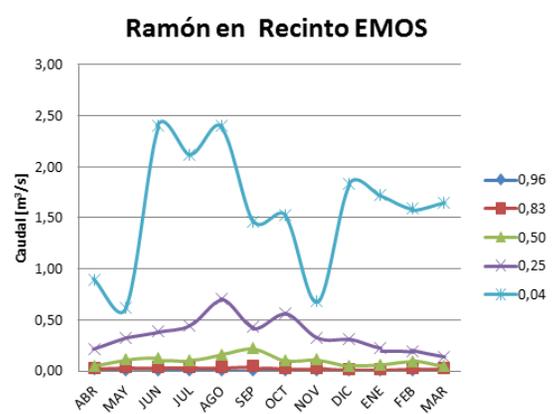
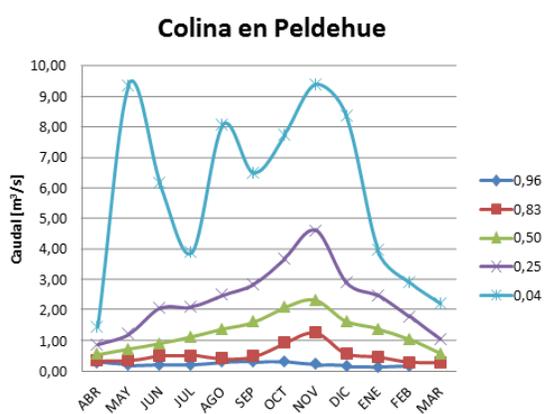
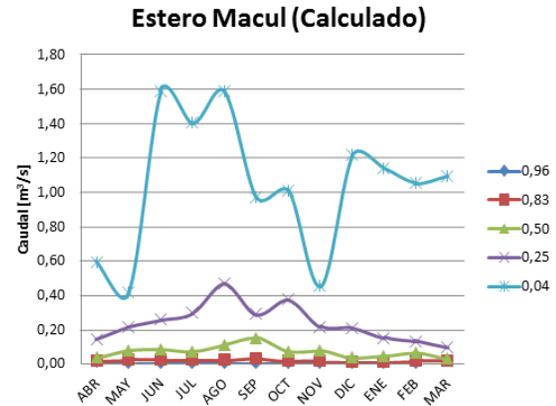
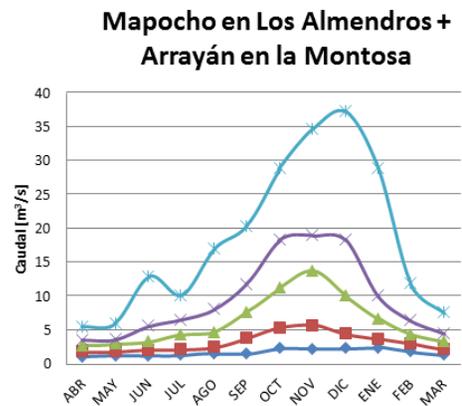
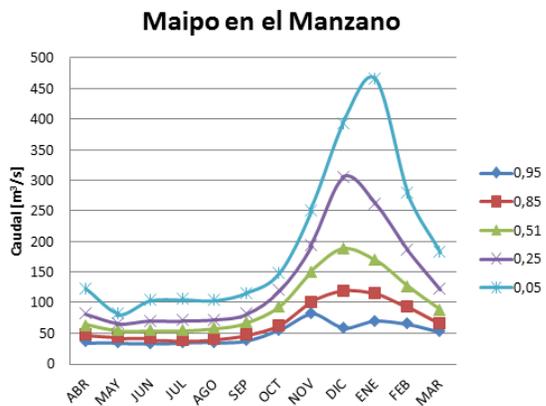


Gráfico 6.3: Curvas de variación estacional, señalando la probabilidad de excedencia mensual, de las estaciones en estudio.

En sectores periféricos de la ciudad, donde el principal uso de suelo es la agricultura, existe una gran cantidad de canales de regadío, lo que hace posible el transporte de agua a cualquier sector. La Figura 6.4 muestra la distribución de la red hidrográfica completa en la cuenca de Santiago, incluyendo los canales emplazados dentro de la ciudad tanto como los canales de regadío de sectores agrícolas.

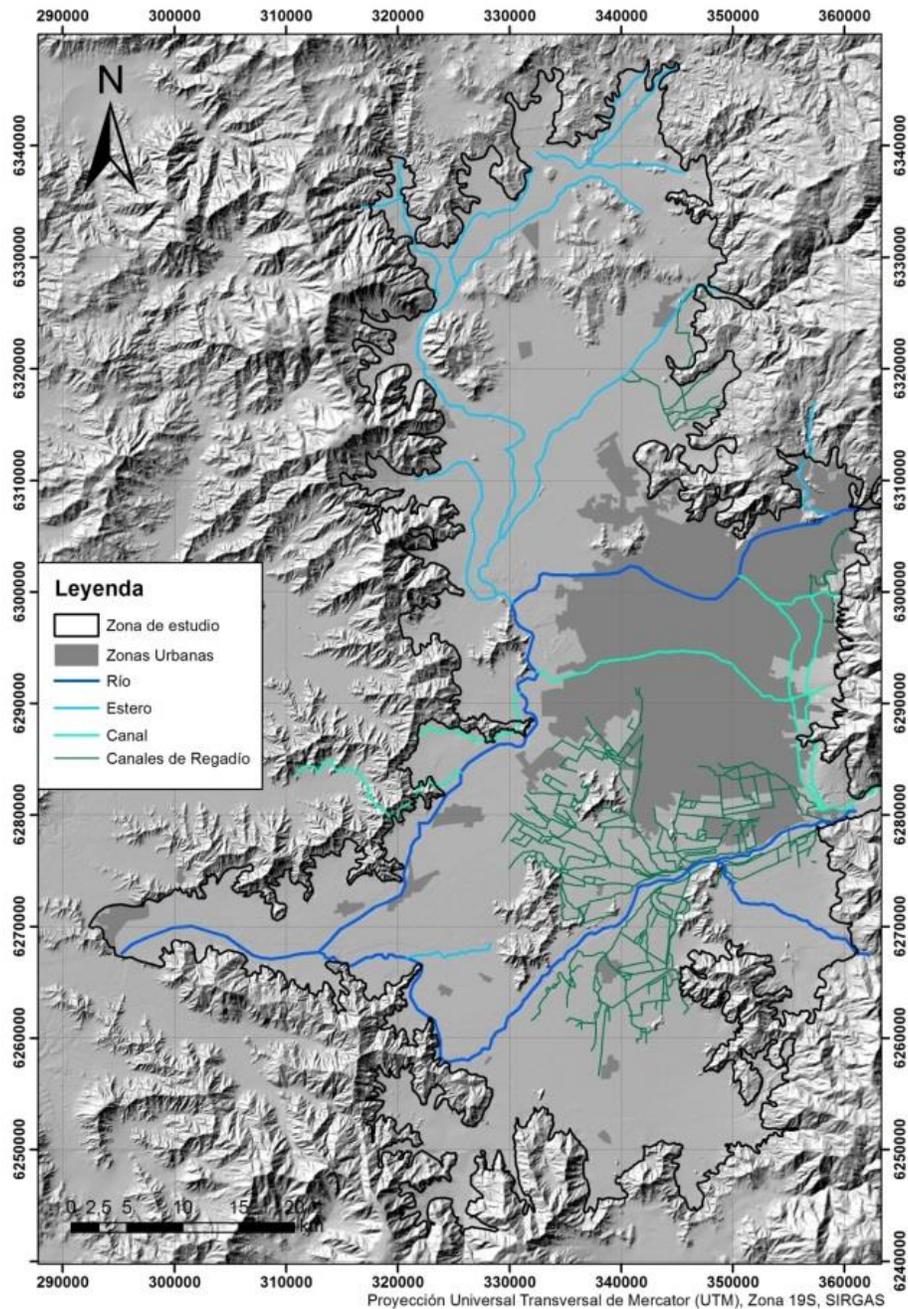


Figura 6.4: Mapa de la red hidrográfica completa de la cuenca de Santiago, incluyendo los canales de regadío.

7. SELECCIÓN DE SECTORES PARA INFILTRACIÓN ARTIFICIAL

7.1. ZONAS CON POTENCIAL DE RECARGA EN LA CUENCA DE SANTIAGO Y PRESELECCIÓN DE TERRENOS

Teniendo la caracterización de profundidad del nivel estático en el apartado 4.2: NIVEL ESTÁTICO y la distribución de permeabilidades en el apartado 4.3: DISTRIBUCIÓN DE PERMEABILIDADES se procede a seleccionar los sectores más favorables para la infiltración artificial, utilizando el método usado en el informe de la DGA (2013). Los criterios utilizados para esta selección fueron los siguientes: que la profundidad del nivel estático sea mayor a 45m, para garantizar que el proceso de infiltración tenga la capacidad de almacenamiento suficiente, y que la permeabilidad del relleno sedimentario sea mayor a $7,5 \times 10^{-5} \text{m/s}$, para asegurar de que el agua se infiltre a una velocidad tal que no genere problemas en el proceso de infiltración. En la Figura 7.1 se observan dichos sectores seleccionados.

Los sectores que cumplen con las características mencionadas se ubican principalmente en el sector oriente de la gran cuenca de Santiago, particularmente en el sector de Chacabuco, Colina, Chicureo, el sector oriente de la ciudad de Santiago y al sur del río Maipo.

A continuación, se describen en detalle los sectores preseleccionados, considerando que estos deben ubicarse relativamente cerca de alguna red de drenaje con el fin de disminuir costos de transporte del agua para infiltrar. La zona oriente de la ciudad de Santiago tiene una superficie total de 444km², por lo que, para ser descrita en detalle, se subdivide en tres zonas: nororiente, suroriente y sur poniente.

Una vez determinados los sectores más propicios para realizar una recarga artificial del acuífero, se procede a seleccionar los terrenos en los que se pueda efectivamente construir una obra de infiltración y se tasan utilizando la metodología denominada "Comparación de Mercado".

Este método se basa en medir o estimar el valor de un terreno como resultado de un análisis del mercado de terrenos similares. El valor de mercado se estima en base a información específica de bienes comparables o sustitutivos, tal como lo haría un comprador y vendedor bien informado. Se consideran ofertas conocidas de inmuebles similares que estén disponibles y compitiendo por los mismos compradores a los que la propiedad que se está tasando. El análisis comparativo se centra en las similitudes y diferencias entre los terrenos y en todas aquellas variables que afectan el bien, como por ejemplo su ubicación, grado de urbanización (existencia de infraestructura vial, sanitaria, eléctrica, de telecomunicaciones, etc.). Estas diferencias podrán ser favorables y en tal caso, harán que el valor se incremente; o, podrán ser desfavorables y harán que el valor

baje. Lo anterior, se analiza normalmente utilizando un matriz de "homogenización" que pondere los aspectos favorables y los desfavorables de un terreno respecto del terreno que se está tasando; luego, se aplican matemáticas financieras para llegar a lo que se denomina el "valor justo" del bien.

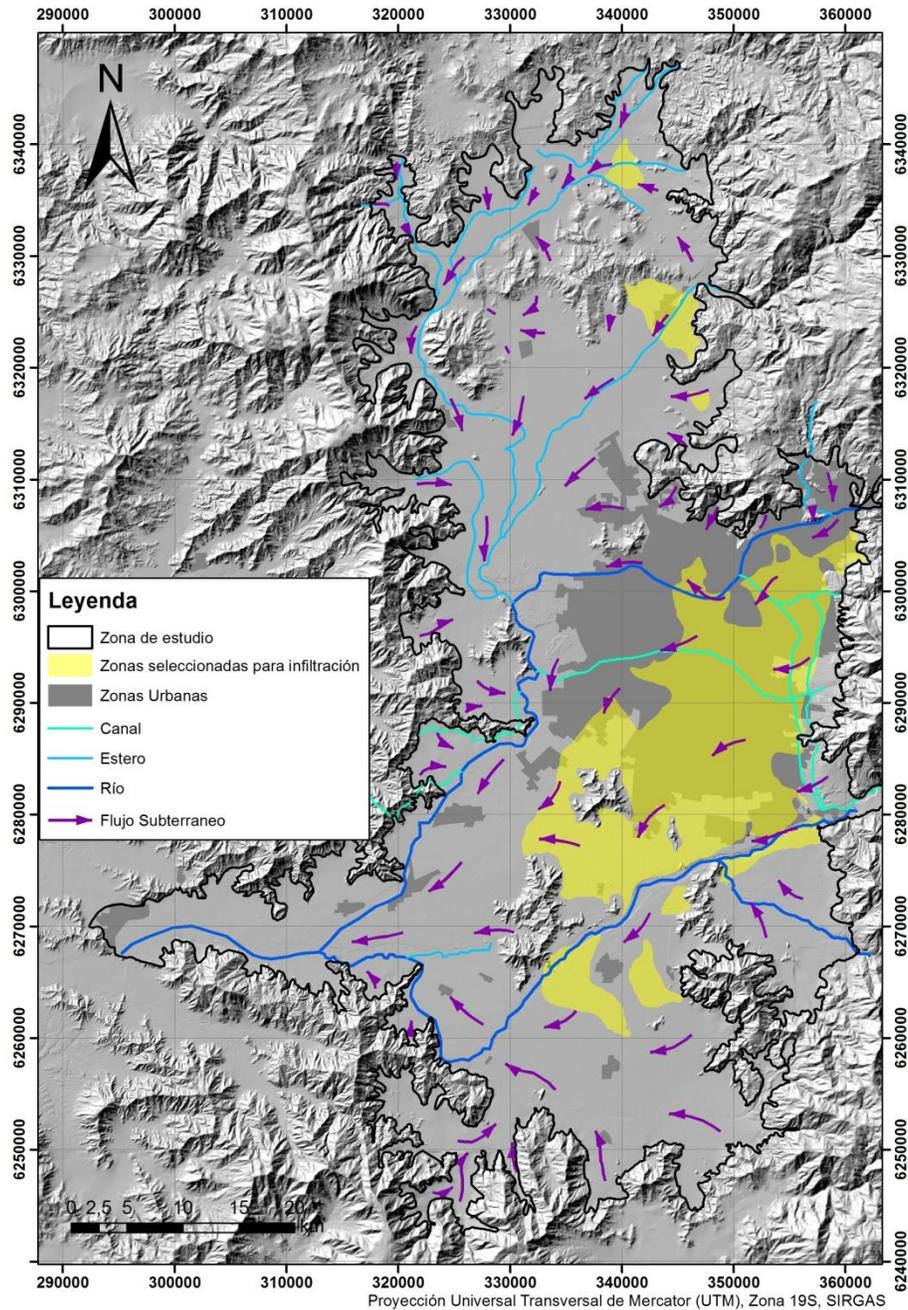


Figura 7.1: Delimitación de áreas aptas para la infiltración en función de los parámetros profundidad del nivel estático, mayor a 45m; y permeabilidad, mayor a $7,5 \times 10^{-5} \text{m/s}$.

Los sectores de Chacabuco, Colina, Chicureo, y el sur del río Maipo son principalmente agrícolas, por lo que casi la totalidad de las áreas se consideran terrenos preseleccionados. En cambio, en el sector de la ciudad de Santiago, donde la mayor parte de la superficie ya fue construida, se seleccionan terrenos específicos en los que podría construirse una obra de infiltración.

7.1.1. Sector Chacabuco-Polpaico

La zona que tiene potencial para infiltración artificial en el sector de Chacabuco tiene una superficie de unos 9km² y comprende mayormente sectores con plantaciones agrícolas (Figura 7.2). En sus inmediaciones pasan los esteros El Cobre, Peldehue y es cruzado por el estero Quilapilún. La zona esta tasada entre 1 a 1,2 UF/m².

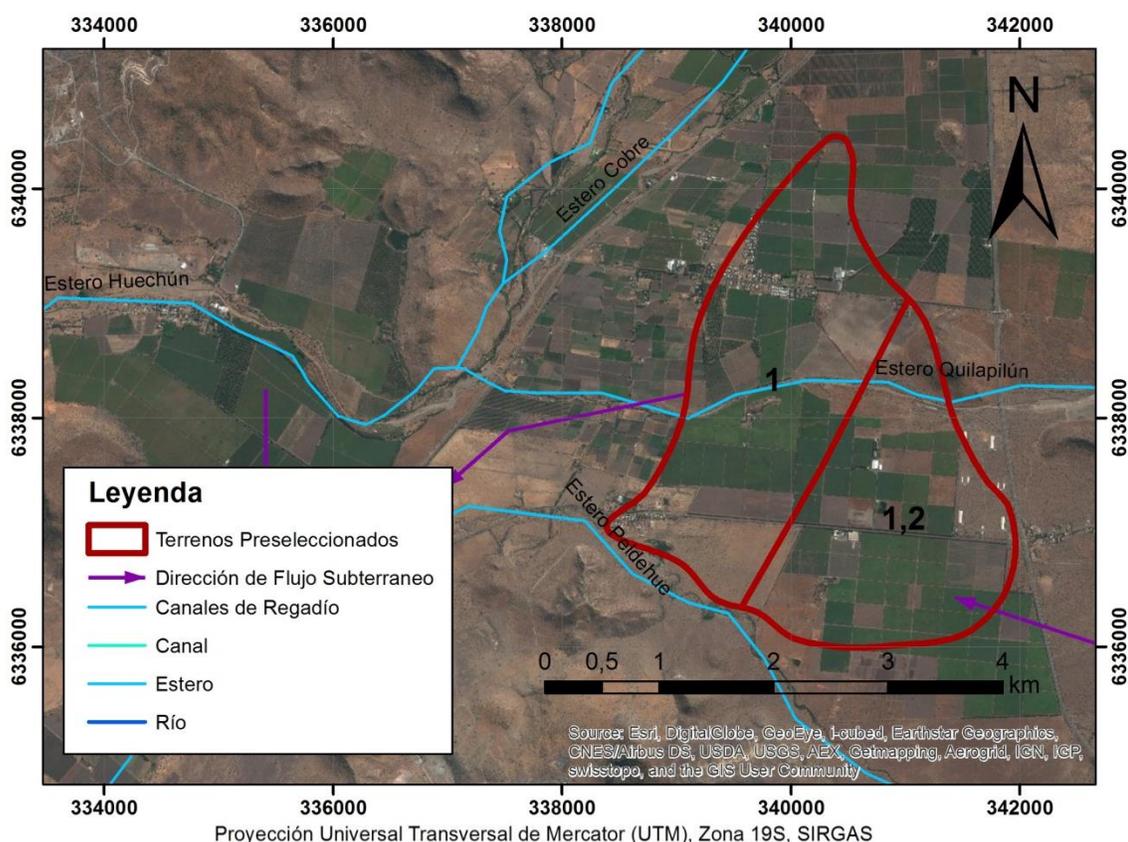


Figura 7.2: Detalle sector con potencial para infiltración en el sector Chacabuco-Polpaico. Se muestra el valor comercial del sector en UF/m².

7.1.2. Sector Colina- Chicureo

En el sector de Colina-Chicureo se encontraron dos sectores con potencial para infiltración artificial de agua (Figura 7.3). El de mayor área tiene una superficie de unos 27km², comprende la localidad de Colina y sitios aledaños de plantaciones

agrícolas, es cruzado por el estero Colina y algunos canales de regadío y se avalúa entre 1 a 2,5UF/m², con un máximo de 9UF/m² en el centro de Colina. El de menor área cubre una superficie de 2,5km² y se ubica en el sector oriente de Chicureo, es cruzado por varios canales de regadío cuya fuente de agua son las quebradas que desembocan en el sector y está avaluado en 3,5UF/m².

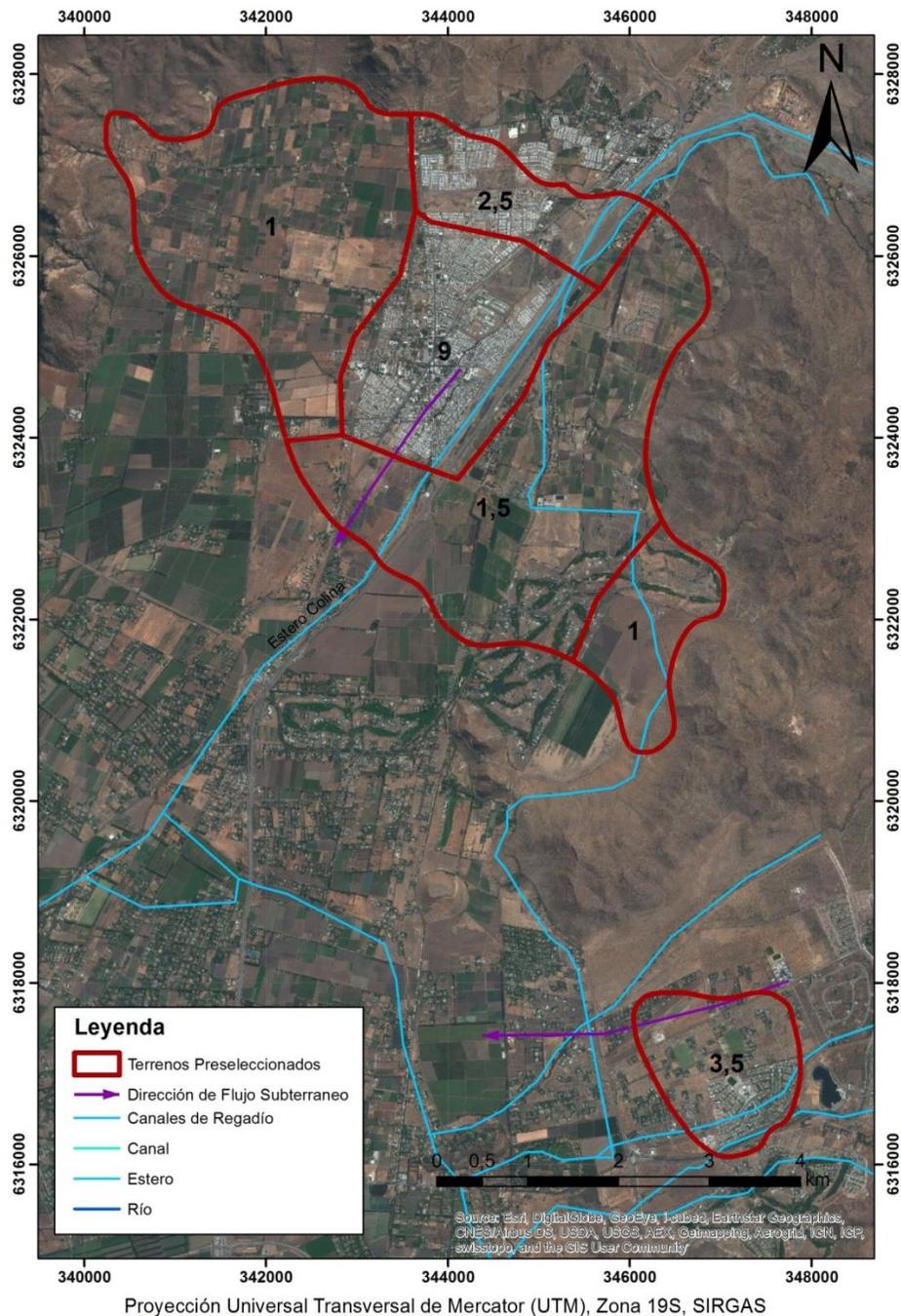


Figura 7.3: Detalle sector con potencial para infiltración en el sector Colina. Se muestra el valor comercial de los sectores en UF/m².

7.1.3. Sector Oriente de Santiago

El sector oriente de Santiago (Figura 7.4) tiene las mayores profundidades del nivel estático, y cuenta con el suministro del río Mapocho por el norte, los canales San Carlos y Las Perdices, que llevan agua proveniente del río Maipo, y el Canal San Ramón, que transporta las aguas recolectadas en la cuenca de la quebrada San Ramón. Es un sector netamente urbano, por lo que los terrenos posibles, es decir, baldíos o con construcciones menores, para realizar la infiltración no son abundantes.

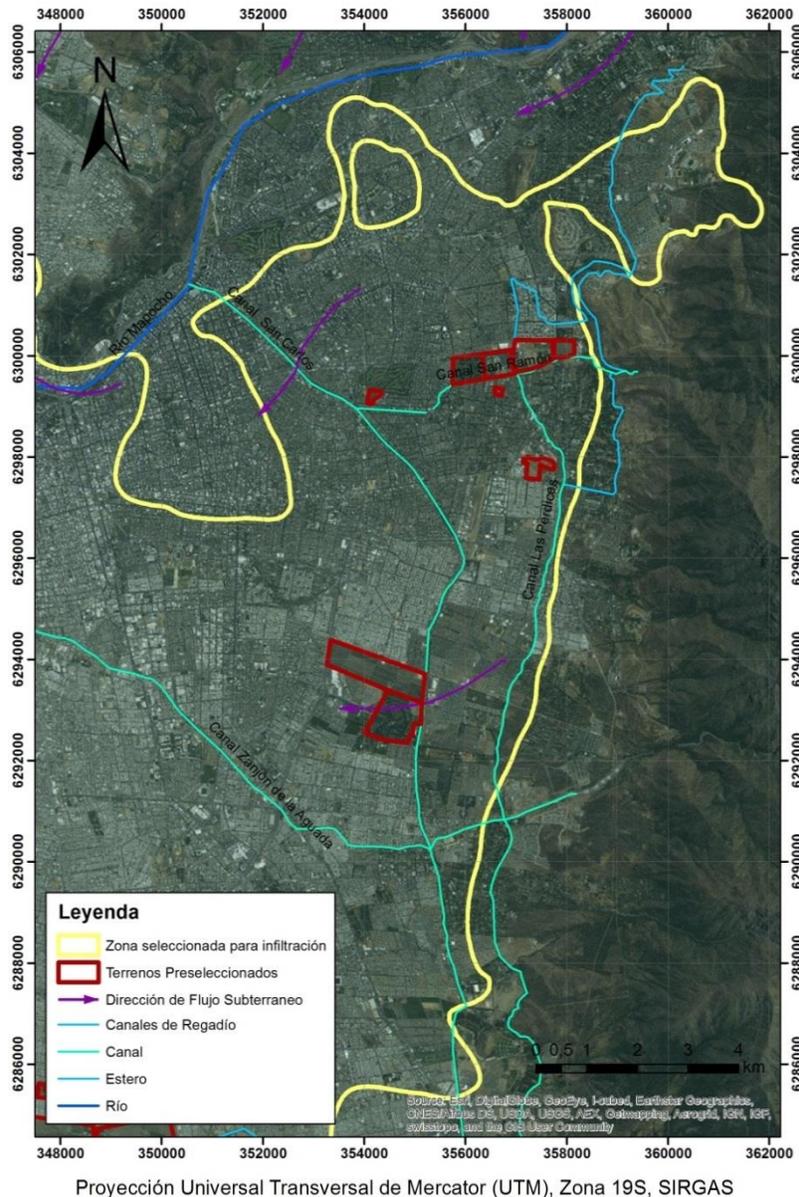


Figura 7.4: Detalle sector con potencial para infiltración en el sector oriente de Santiago.

En la Figura 7.5 se muestran los terrenos específicos que fueron seleccionados como posibles ubicaciones de una obra de infiltración y su valor en UF/m².

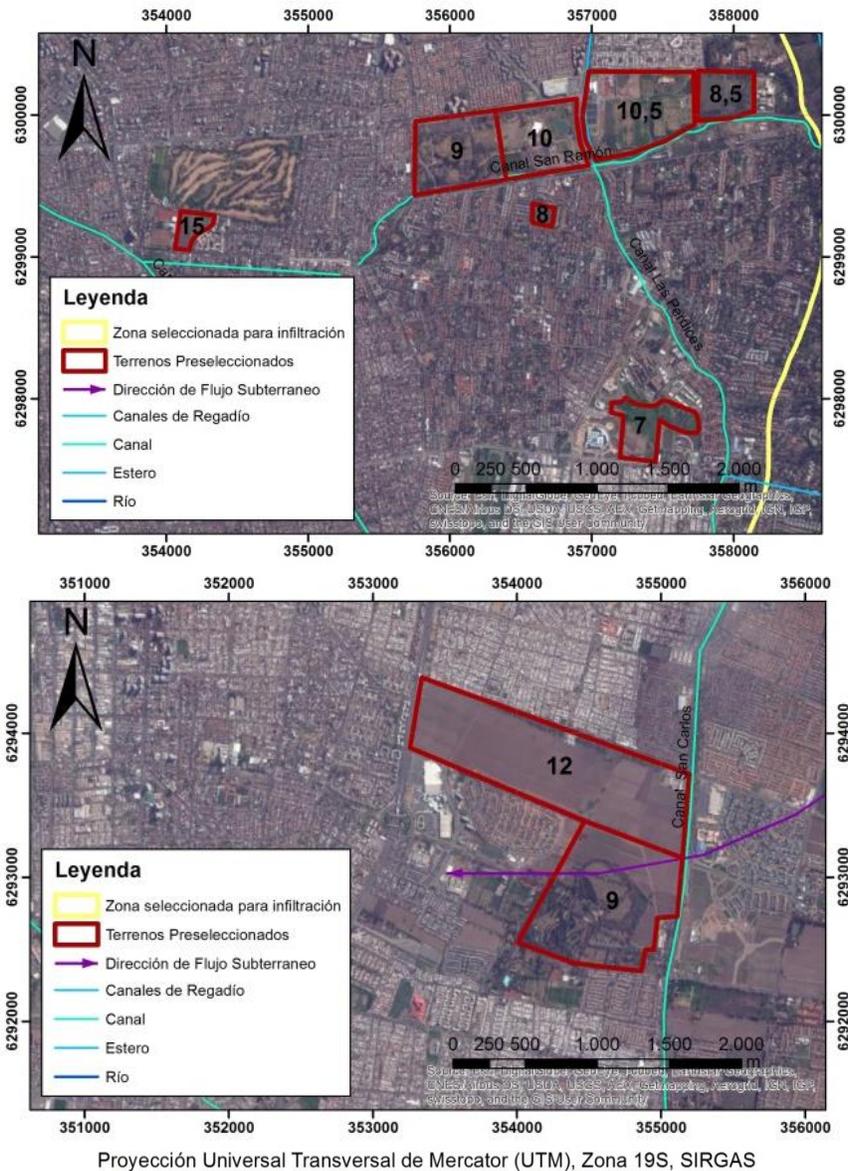


Figura 7.5: Detalle de los terrenos en el sector nororiente de Santiago y sus valores comerciales en UF/m².

7.1.4. Sector sur poniente de Santiago

El sector sur poniente de Santiago (Figura 7.6) comienza a predominar el uso agrícola del suelo, aumentando también la densidad de canales de regadío y por lo tanto, las posibilidades de transporte del agua para infiltrar. La dirección del flujo subterráneo es preponderantemente noreste suroeste.

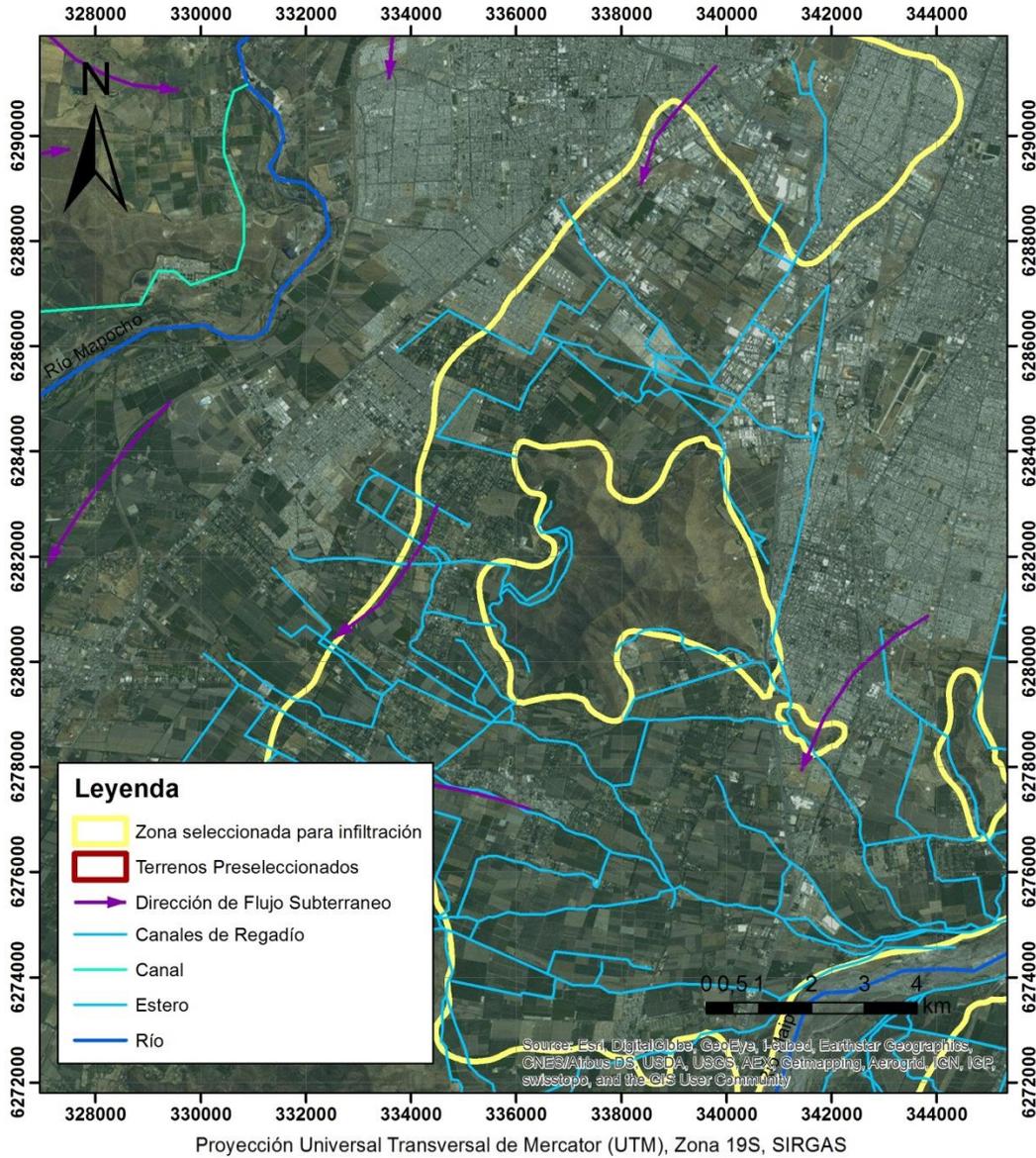


Figura 7.6: Detalle sector con potencial para infiltración en el sector sur poniente de Santiago.

7.1.5. Sector sur oriente de Santiago

El sector sur oriente de Santiago (Figura 7.7) predomina el uso urbano del suelo, pero existen algunos terrenos que podrían albergar una obra de infiltración artificial. La densidad de canales de regadío es alta, con lo que aumentan las posibilidades para transportar el agua a infiltrar. El área alargada, que abarca el sector que se encuentra al sur del río Maipo en la Figura 7.7, es de 14km².

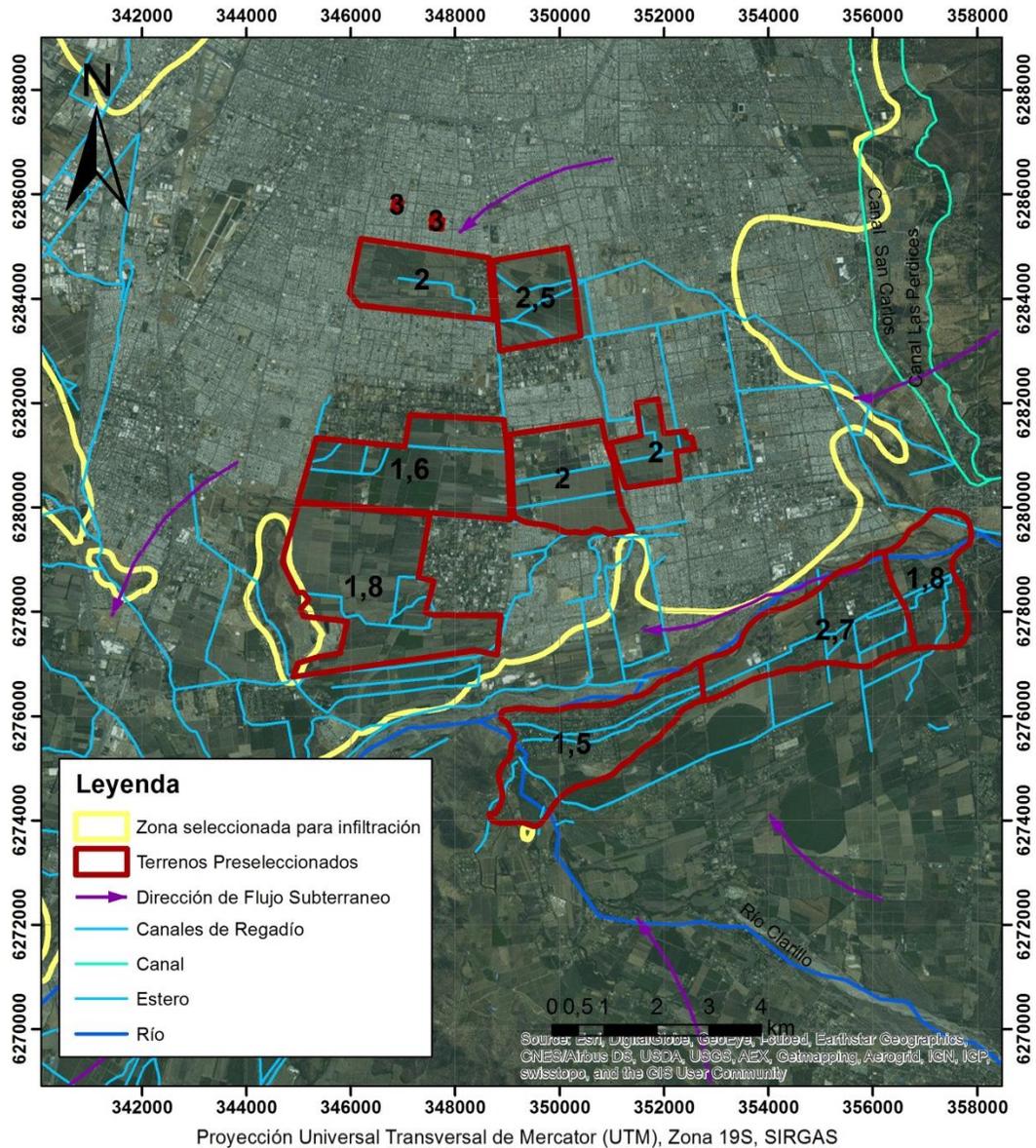


Figura 7.7: Detalle sector con potencial para infiltración en el sector sur oriente de Santiago y los valores comerciales de los terrenos en UF/m².

7.1.6. Sector al sur del río Maipo

En el sector sur del río Maipo se ubican tres zonas donde es factible infiltrar. Una zona pequeña, al nororiente de la Figura 7.8, cuya superficie alcanza los 4km², y dos sectores en la misma latitud. El que se encuentra más al oriente tiene un área de 13,5km², mientras que la más occidental cubre un área de unos 32 km². La densidad de canales de regadío también es alta, dado el carácter principalmente agrícola del uso de suelo en estas zonas. La dirección del flujo subterráneo en este sector es de noreste a suroeste, variando luego de este-noreste a oeste-suroeste.

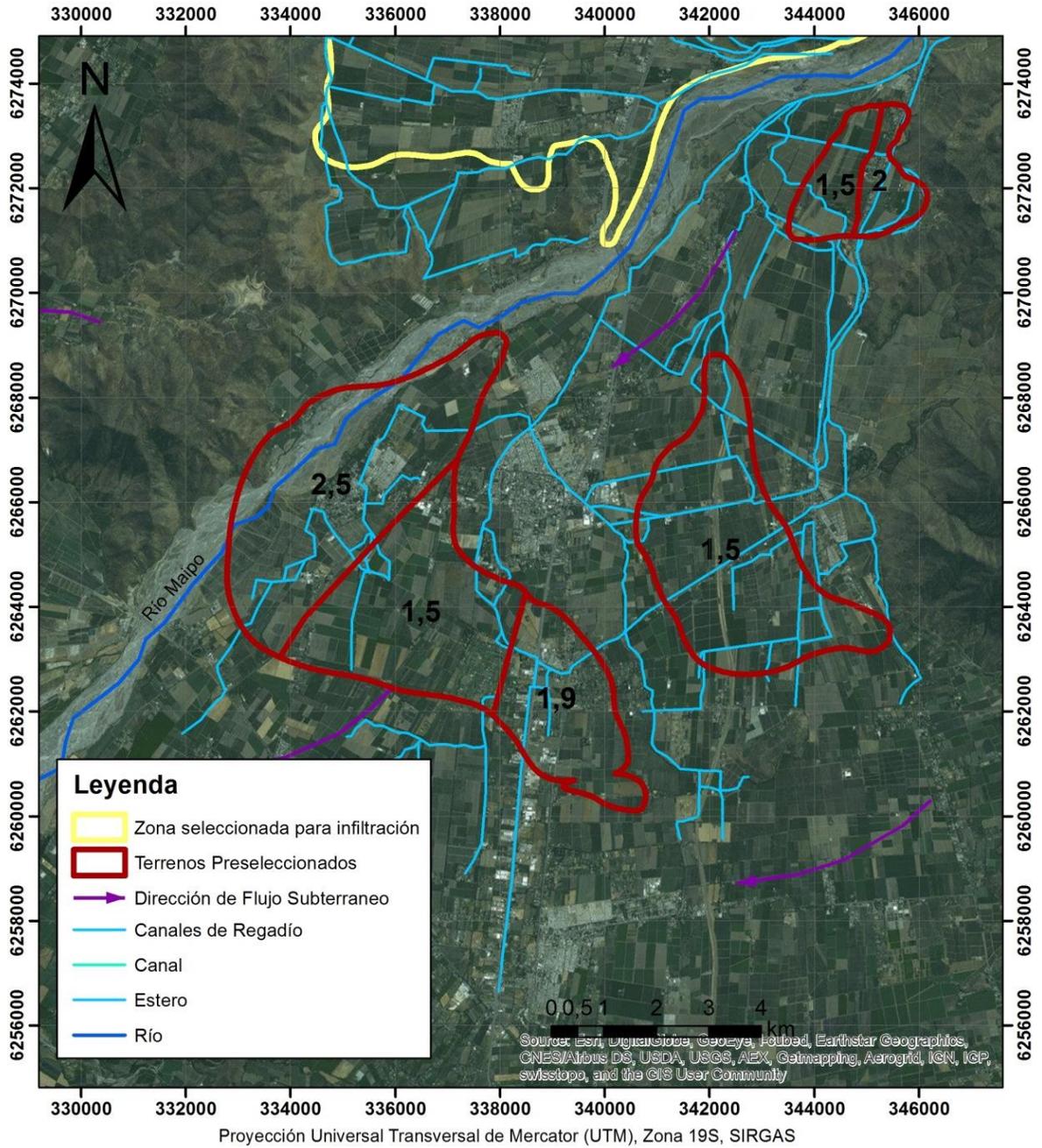


Figura 7.8: Detalle sector con potencial para infiltración en el sector al sur del río Maipo, junto con el valor comercial de los terrenos en UF/m².

7.2. ANALISIS ESTRATIGRAFICO Y ACOTAMIENTO DE SECTORES SELECCIONADOS

7.2.1. Sector Chacabuco-Polpaico

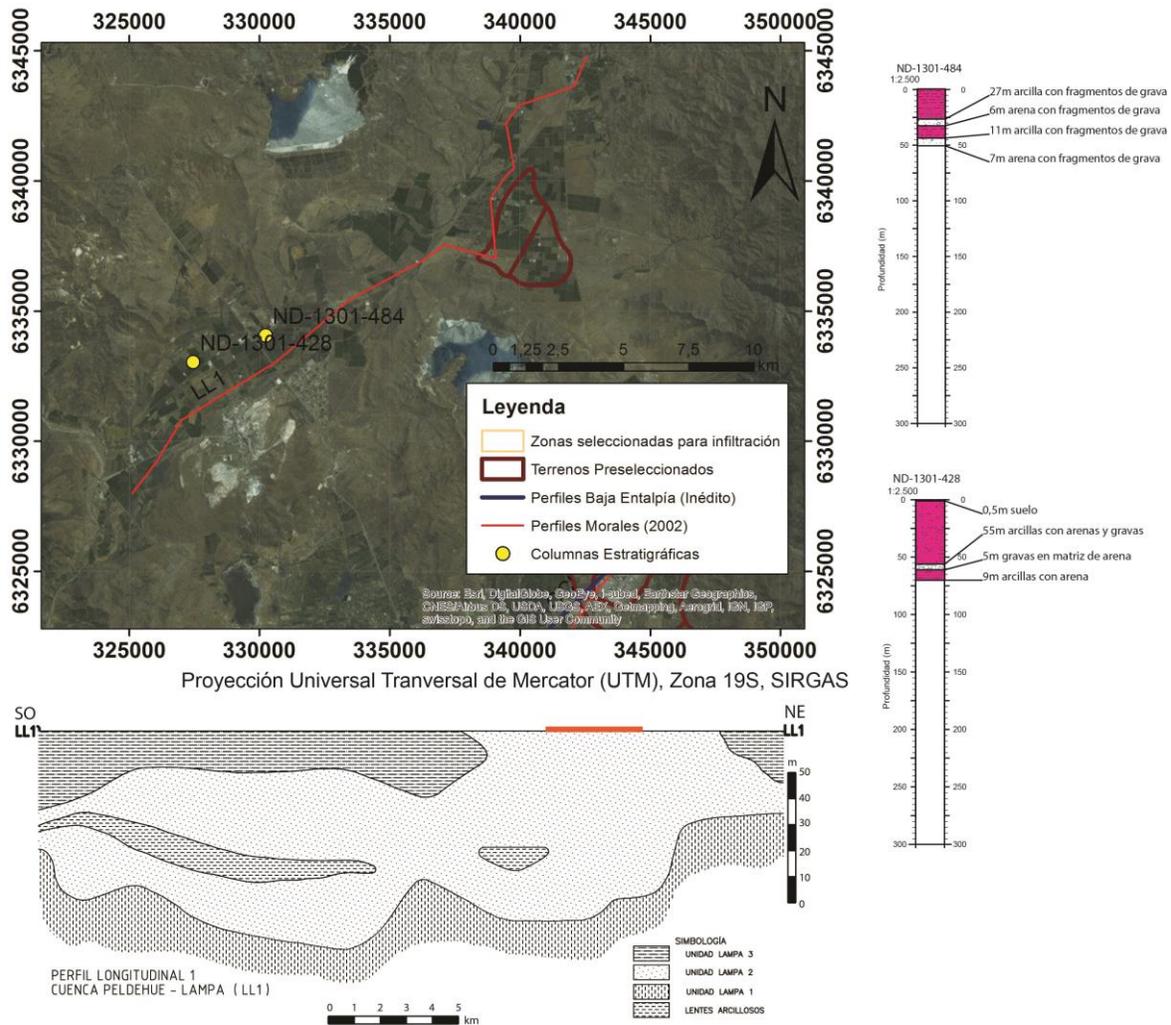


Figura 7.9: A la izquierda arriba: mapa ubicando la traza de los perfiles y los pozos en el sector; a la derecha: pozos mostrando la estratigrafía; a la izquierda abajo: perfil LL1 de MORALES (2002).

Los pozos no se encuentran en la zona propuesta para infiltrar, sino en el valle por el cual el agua fluye subterráneamente. En la Figura 7.9, en el perfil de MORALES (2002) (LL1), el sector donde se ubica la zona propuesta para infiltrar se marca con color naranja. Este se encuentra en lo que MORALES (2002) considera el acuífero (Unidad 2). Según el perfil LL1 existen lentes de material arcilloso en la zona que se desea infiltrar, pero no hay capas impermeables en profundidad, que si se encuentran aguas abajo. Estas capas impermeables se observan tanto en el perfil LL1 como en los pozos.

7.2.2. Sector Colina-Chicureo

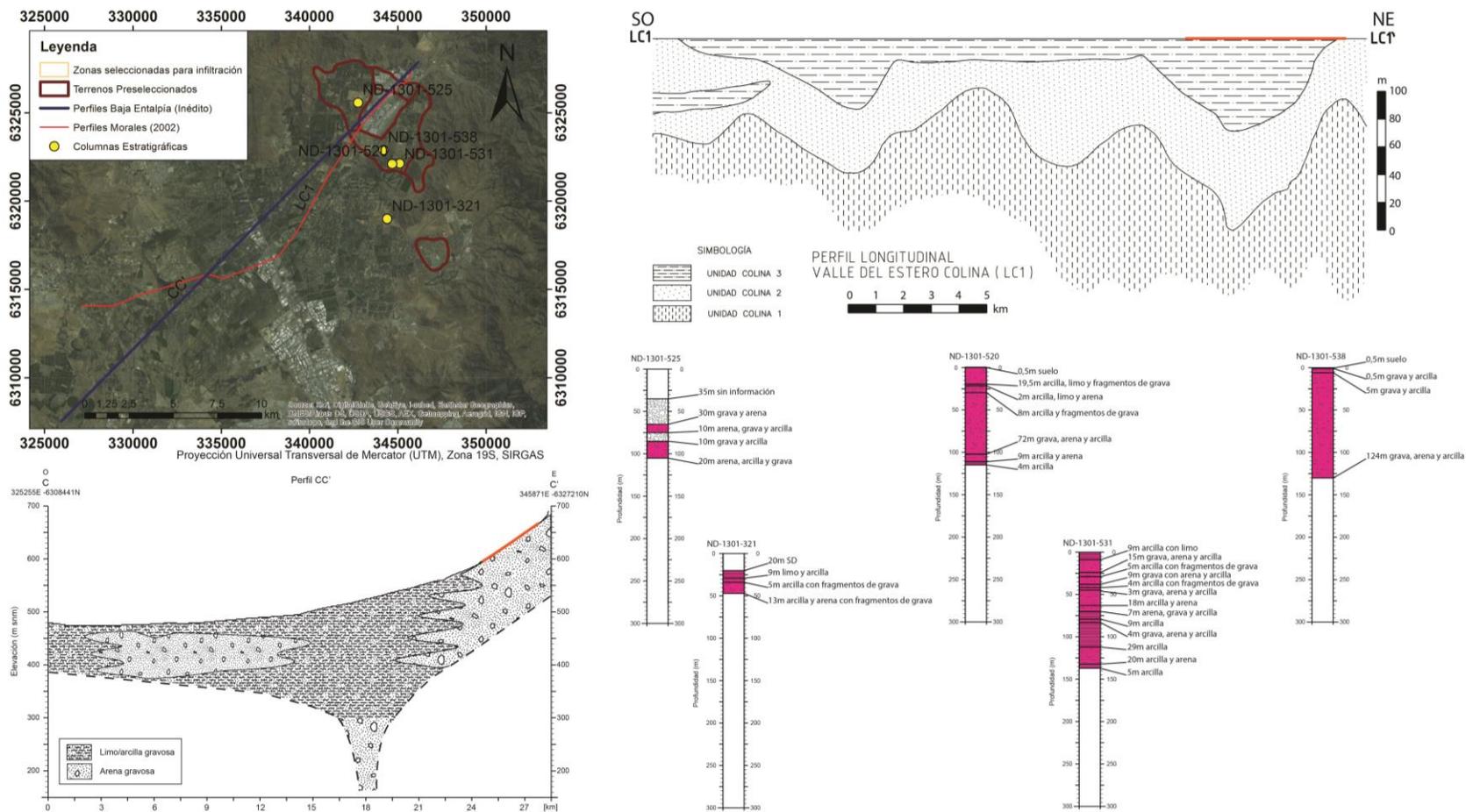


Figura 7.10: A la izquierda arriba: mapa ubicando la traza de los perfiles y los pozos en el sector; a la derecha arriba: perfil CC' del Proyecto "Determinación de parámetros termales en el subsuelo de las cuencas de Santiago y Talca: implicancias para el uso directo de la energía geotérmica", CEGA; a la izquierda abajo: perfil LL2 de MORALES (2002), a la derecha abajo: pozos mostrando la estratigrafía.

En la Figura 7.10 se observa que el pozo ND-1301-252, el único que contiene un nivel no arcilloso, está ubicado por el lado norte del estero Colina. Los pozos ND-1301-520, ND-1301-530 y ND-1301-531 contienen arcillas en distintas proporciones y se ubican al sur del estero Colina; todos los anteriores están dentro de la zona de infiltración preseleccionada. El pozo ND-1301-321 es el que se encuentra más cerca de la zona seleccionada en Chicureo, pero también tiene una gran proporción de arcilla. Además, el perfil de Morales (LC1) muestra que el sector preseleccionado para infiltrar se encuentra en la Unidad Colina 3, lo que corresponde a la Unidad 3 de los acuíferos definidos por Morales, la que no constituye el acuífero ni tiene una buena permeabilidad. Por otro lado, el perfil CC' de el Proyecto "Determinación de parámetros termales en el subsuelo de las cuencas de Santiago y Talca: implicancias para el uso directo de la energía geotérmica" del CEGA, muestra que el sector seleccionado para infiltrar es en relleno de arena gravosa, que se encuentra en un sector de alta pendiente y que el relleno que se encuentra en contacto con este es mayor en contenido de limo y arcilla. Dado que se encuentran sectores con mejores permeabilidades, mayores caudales y con menores capas impermeables en profundidad, el sector Colina-Chicureo se descarta.

7.2.3. Sector Oriente de Santiago

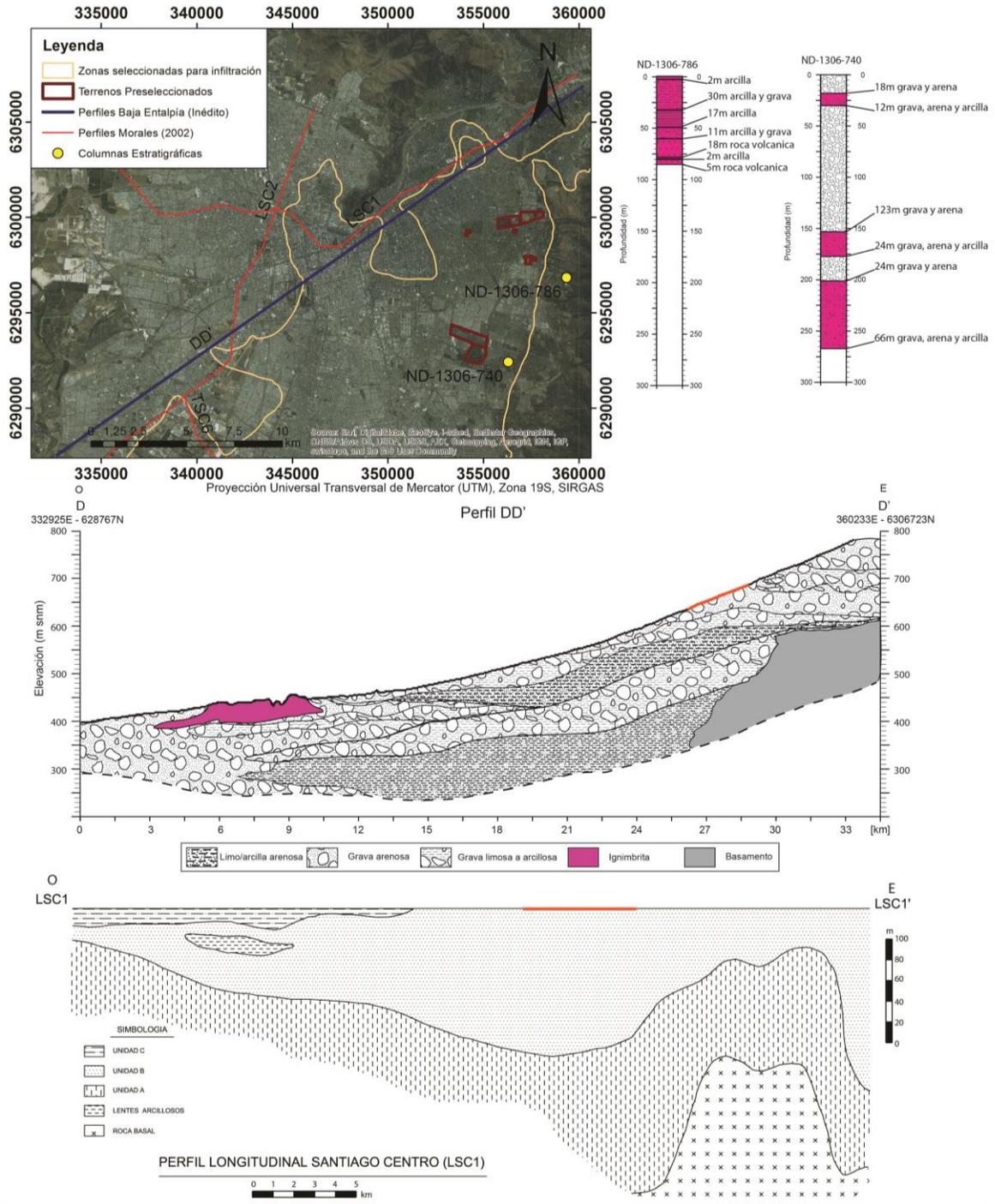


Figura 7.11: A la izquierda arriba: mapa ubicando la traza de los perfiles y los pozos en el sector; a la derecha arriba: pozos mostrando la estratigrafía; al centro: perfil DD' de Proyecto “Determinación de parámetros termales en el subsuelo de las cuencas de Santiago y Talca: implicancias para el uso directo de la energía geotérmica”, CEGA; abajo: perfil LC1 de MORALES (2002).

La Figura 7.11 muestra que los perfiles DD' y LSC1 son los más cercanos a los terrenos de la comuna de La Reina. En ellos se muestra en color amarillo el sector en donde se propone infiltrar. El nivel estático en este sector está entre 75 a 90m de profundidad. Siendo este el caso, según el perfil DD' donde existe una capa impermeable en profundidad, se debe elegir si infiltrar por sobre la capa impermeable con algún método por sobre la zona vadosa o infiltrar bajo la capa impermeable con pozos de inyección.

La comuna estratigráfica del pozo ND-1306-740 es el único dato que se tiene para conocer la estratigrafía en profundidad cerca del terreno correspondiente a la Viña Cousiño Macul. El nivel estático en este sector está a una profundidad entre 100 a 150m, según el mapa de MUÑOZ *ET AL.* (2015) (Figura 4.5).

7.2.4. Sector Sur de Santiago

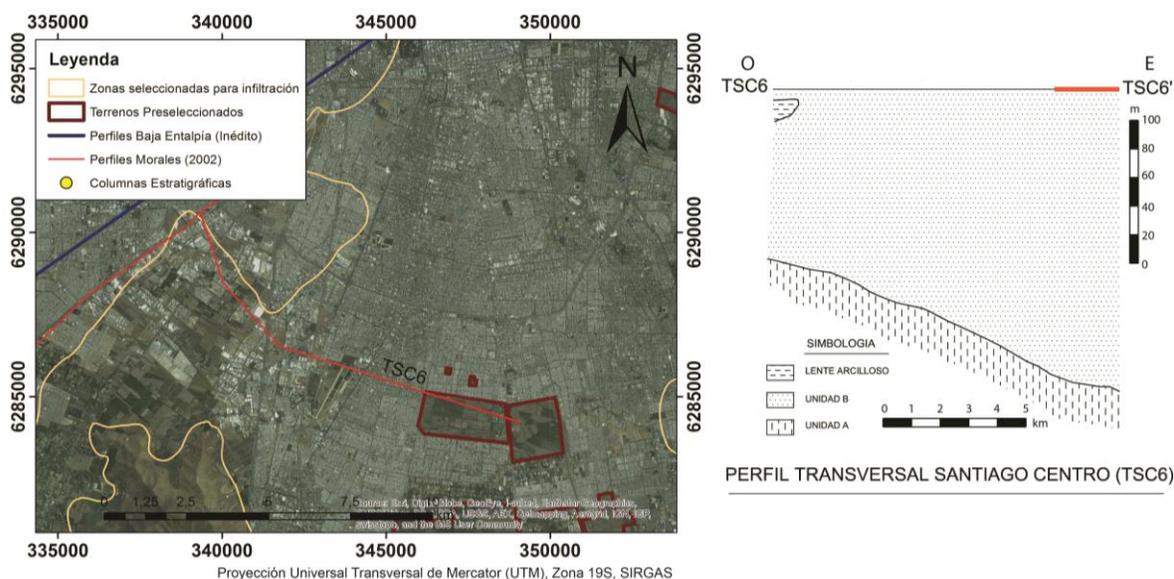


Figura 7.12: A la izquierda: mapa ubicando la traza de los perfiles y los pozos en el sector; a la derecha: perfil TSC6 de MORALES (2002).

En la Figura 7.12 se observa que el perfil TSC6 cruza el terreno del campus Antumapu de la Universidad de Chile. Este perfil indica que en el sector propuesto para la infiltración, marcado de color naranja, la estratigrafía en profundidad no presenta capas impermeables. El nivel estático en el sector se encuentra entre 105 a 120m de profundidad según el mapa de MUÑOZ *ET AL.* (2015) (Figura 4.5).

7.2.5. Sector al sur del río Maipo

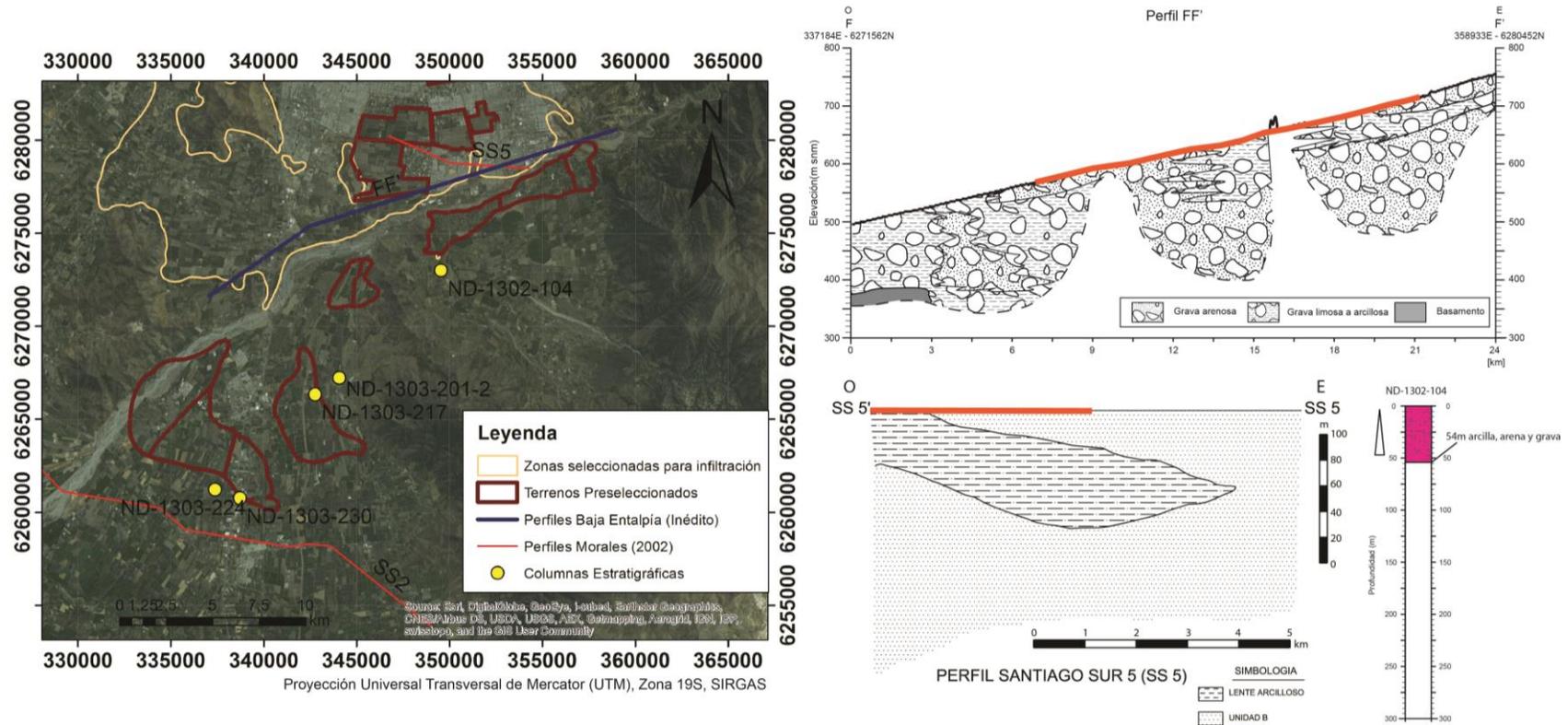


Figura 7.13: Ala izquierda: mapa ubicando la traza de los perfiles y los pozos en el sector; a la derecha arriba: perfil FF' de Proyecto “Determinación de parámetros termales en el subsuelo de las cuencas de Santiago y Talca: implicancias para el uso directo de la energía geotérmica”, CEGA; abajo al centro: perfil SS5 de MORALES (2002); abajo a la derecha: pozo mostrando la estratigrafía.

La Figura 7.13 muestra que el perfil SS5 de Morales, pasa por sectores agrícolas ubicados en la comuna de La Pintana. En este se muestra un lente arcilloso en parte del sector que esta seleccionado para infiltrar. El perfil FF', dentro de la información que ofrece, indica la existencia de varios lentes arcillosos y con interdigitaciones, que comprendería los sectores agrícolas de la comuna de La Pintana, terrenos seleccionados cercanos y la zona preseleccionada alargada en dirección este oeste, ubicada al sur del río Maipo. El nivel estático en el sector de las zonas agrícolas de La Pintana es de entre 90 a 150m de profundidad. En caso de que se eligiera recargar el acuífero en este sector, el bombeo del agua recargada deber ser dentro de un área cercana.

La columna estratigráfica extraída de los datos del pozo ND-1302-104, el más cercano a la zona alargada indica que, en este sector, el material comprende tanto grava, como arena y arcilla, y es granocreciente hacia el techo. Por otro lado, el nivel estático del acuífero en este sector es de entre 45 a 90m, disminuyendo intensamente en sentido norte sur. Dada la presencia de arcillas en profundidad y el nivel estático más somero que en otros sectores de la cuenca, se descarta esta zona en favor de otros sectores más apropiados.

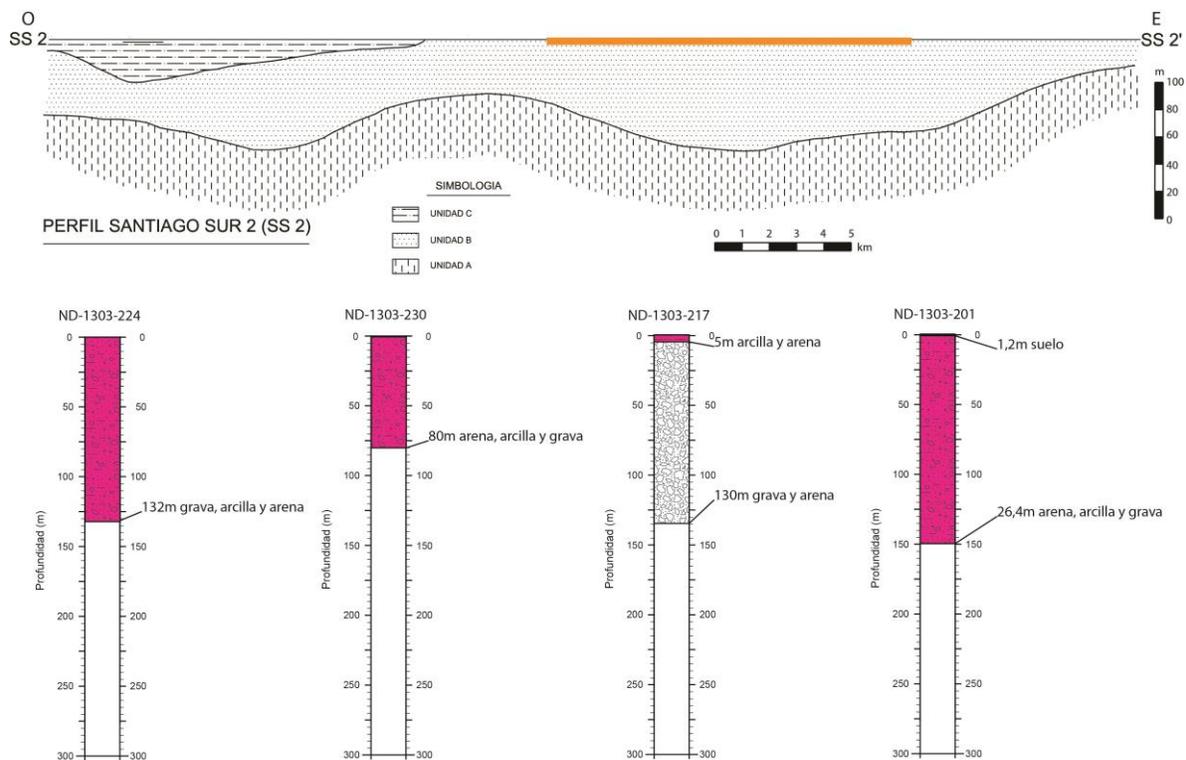


Figura 7.14: Arriba: perfil SS2 de MORALES (2002); abajo: pozos mostrando la estratigrafía.

En el sector sur poniente de Santiago, existen cuatro pozos dentro o cercanos a los sectores preseleccionados, mostrados en la Figura 7.14. Los pozos ND-1303-201, ND-1303-224, ND-1303-230 tienen una proporción de arcilla variable,

mientras que el pozo ND-1303-217 está libre de arcillas bajo los 5m de profundidad. El perfil de Morales para este sector (SS2) muestra que el área seleccionada para llevar a cabo la infiltración se encuentra sobre la Unidad 2, considerada por Morales como el acuífero. El nivel estático en este sector se encuentra entre 45 a 120m de profundidad.

Por otro lado, según el estudio de la CNR (2013), la parte de la cuenca del río Maipo que se ubica al sur del mismo no aparece atractiva para proyectos de recarga por tratarse de napas superficiales, aunque amplias, donde abundan las recuperaciones del río, salvo en algunos sectores específicos entre Buin y Paine.

Considerando el análisis en profundidad de los distintos sectores, y con el fin de acotar la selección de los mismos, se descartan los sectores de Chacabuco-Polpaico Colina-Chicureo, Santiago Oriente y Santiago Sur, quedando los terrenos que se ubican al norte del río Maipo, correspondientes al campus Antumapu de la Universidad de Chile, La Platina del INIA, la viña Almaviva y otros terrenos agrícolas.

8. DESCRIPCIÓN Y ESTIMACIÓN DE COSTOS DEL PROYECTO PARA EL SECTOR SELECCIONADO

El sector que finalmente fue seleccionado por tener las mejores condiciones de permeabilidad, nivel estático y fuentes de agua fue parte del sector Santiago Sur (Terrenos de campus Antumapu, Universidad de Chile; La Platina, INIA; la viña Almaviva; y otros terrenos). Lo anterior no quita que cualquiera de los sectores preseleccionados, mencionados en el apartado anterior, también son lugares adecuados para realizar la infiltración artificial.

El sector seleccionado en este trabajo coincide con el presentado en el estudio de la CNR (2013), en el cual se proponen hacer pozos profundos de infiltración, aprovechando que los niveles de napa están bastante deprimidos y los acuíferos poseen valores de permeabilidad también bastante altos. De esta manera, en este trabajo se corrige y complementa el proyecto propuesto por la CNR.

En la parte que se ubica al norte del río Maipo la recarga natural se ve limitada por la presencia de la ciudad como elemento impermeabilizante de los suelos, tanto que los niveles de napa desde hace al menos 30 o 40 años están descendiendo a tasas entre 10 cm/año en algunos lugares hasta 80 a 100 cm/año en otros, lo que hace muy atractivo pensar en proyectos de recarga artificial.

8.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS TERRENOS ELEGIDOS

8.1.1. Fuente de agua para la infiltración

En el estudio de la CNR (2013) se propone realizar la infiltración a través de pozos de inyección con los excedentes de invierno del río Maipo. Sin embargo, dada la naturaleza nival del río, los meses donde se producen las mayores crecidas son los de verano, debido a los deshielos. Es por esto que, en este trabajo, se propone realizar la infiltración durante los 4 meses de verano, donde el caudal promedio del río Maipo alcanza un máximo promedio de 120m³/s. Se propone realizar la infiltración cuando el caudal transportado sea superior al de una probabilidad de excedencia del 20%. Este sería transportado a través de canales de regadío.

Los caudales del río Maipo para una probabilidad de excedencia del 20% se muestran en la Tabla 8.1. El periodo de retorno para esta probabilidad de excedencia es de 5 años. En esta tabla también se puede observar que, para la probabilidad de excedencia seleccionada, el caudal que lleva el río Maipo es suficientemente alto en todos los meses del año, con lo que no se descarta realizar la infiltración artificial en cualquier época del ciclo anual, siempre y cuando se cumpla la condición de un caudal igual o superior de la probabilidad de excedencia escogida.

Tabla 8.1: Caudales del río Maipo para una probabilidad de excedencia del 20% durante todos los meses del año en m³/s y en l/s.

Mes	Q[m ³ /s]	Q[l/s]
Abril	83,32	83.320
Mayo	68,21	68.210
Junio	74,91	74.910
Julio	71,29	71.290
Agosto	76,41	76.410
Septiembre	84,74	84.740
Octubre	127,58	127.580
Noviembre	204,89	204.890
Diciembre	318,4	318.400
Enero	278,73	278.730
Febrero	198,57	198.570
Marzo	127	127.000

En el informe técnico de la DGA (2003), se evalúan los recursos hídricos superficiales de la cuenca del Maipo. En este estudio se considera un caudal de una probabilidad de excedencia de un 85% para el otorgamiento de derechos de agua permanentes y una probabilidad de excedencia de un 5% para el otorgamiento de derechos de agua eventuales.

Según este documento, no es posible constituir nuevos derechos consuntivos permanentes en ningún sector del río Maipo. Para el caso de los derechos eventuales, tampoco existe la posibilidad de constituir nuevos derechos consuntivos, dado que ya no hay recursos disponibles al cierre de la cuenca, más allá del expediente ND-0506-3350. Sin embargo, esta línea de corte podría variar si existiera liberación de caudal producto de constituciones de derechos por caudales menores a los indicados en el estudio y/o por denegación de solicitudes.

El carácter de este proyecto respecto de los derechos de agua es que no consumiría el agua, es decir, le correspondería pedir derechos de agua no consuntivos. Sin embargo, pasaría de convertir agua superficial a agua subterránea, por lo que debería regularse de manera especial, lo que queda propuesto

Dada la importancia de generar alternativas de reserva de agua en la época de sequía, se sugiere priorizar los posibles proyectos de recarga artificial en el otorgamiento de derechos eventuales consuntivos.

8.1.2. Canales del sector

En el estudio de la CNR (2013) se propone usar los canales Eyzaguirre, San Bernardo y San Francisco para llevar las aguas, que provendrían del río Maipo, hasta las obras de infiltración. Estos se muestran en la Figura 8.1.

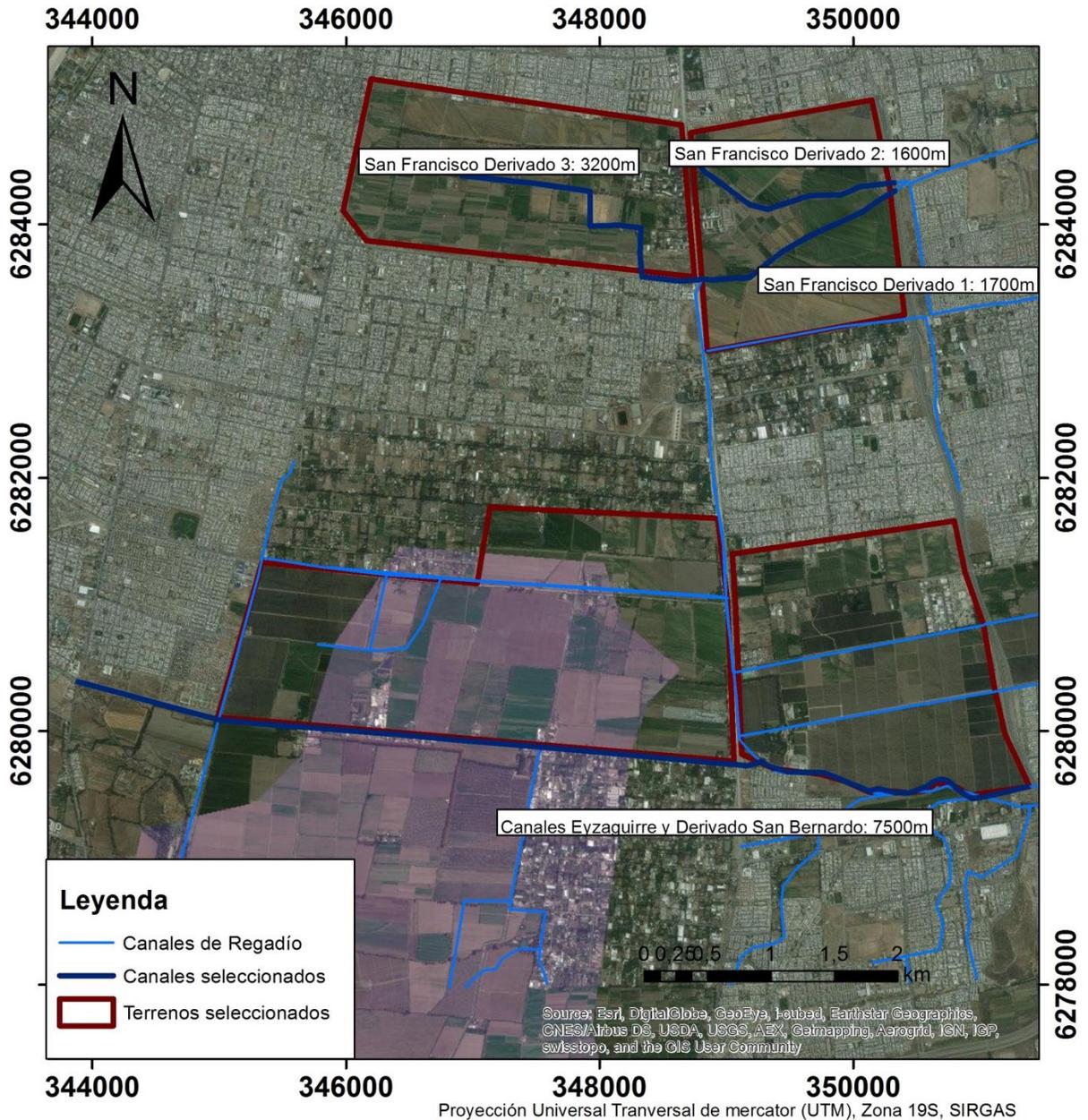


Figura 8.1: Canales de Santiago Sur usados para la recarga artificial.

8.1.3. Estimación del nivel estático promedio

Dados que los rangos de profundidad del nivel estático en los terrenos seleccionados son variados, se calcula un nivel estático promedio para todo el sector. Para ello, se calcula un valor del nivel estático promedio para cada rango. Luego, se mide la longitud del canal en cada uno de los rangos de profundidades y se pondera por el valor promedio calculado. Finalmente, se calcula el promedio ponderado del nivel estático. De esta manera, el valor del nivel estático promedio en el sector es de 118,15m, que para efectos de facilitar los cálculos se redondea a 120m. En la Figura 8.2 se muestra el detalle del nivel estático en el sector.

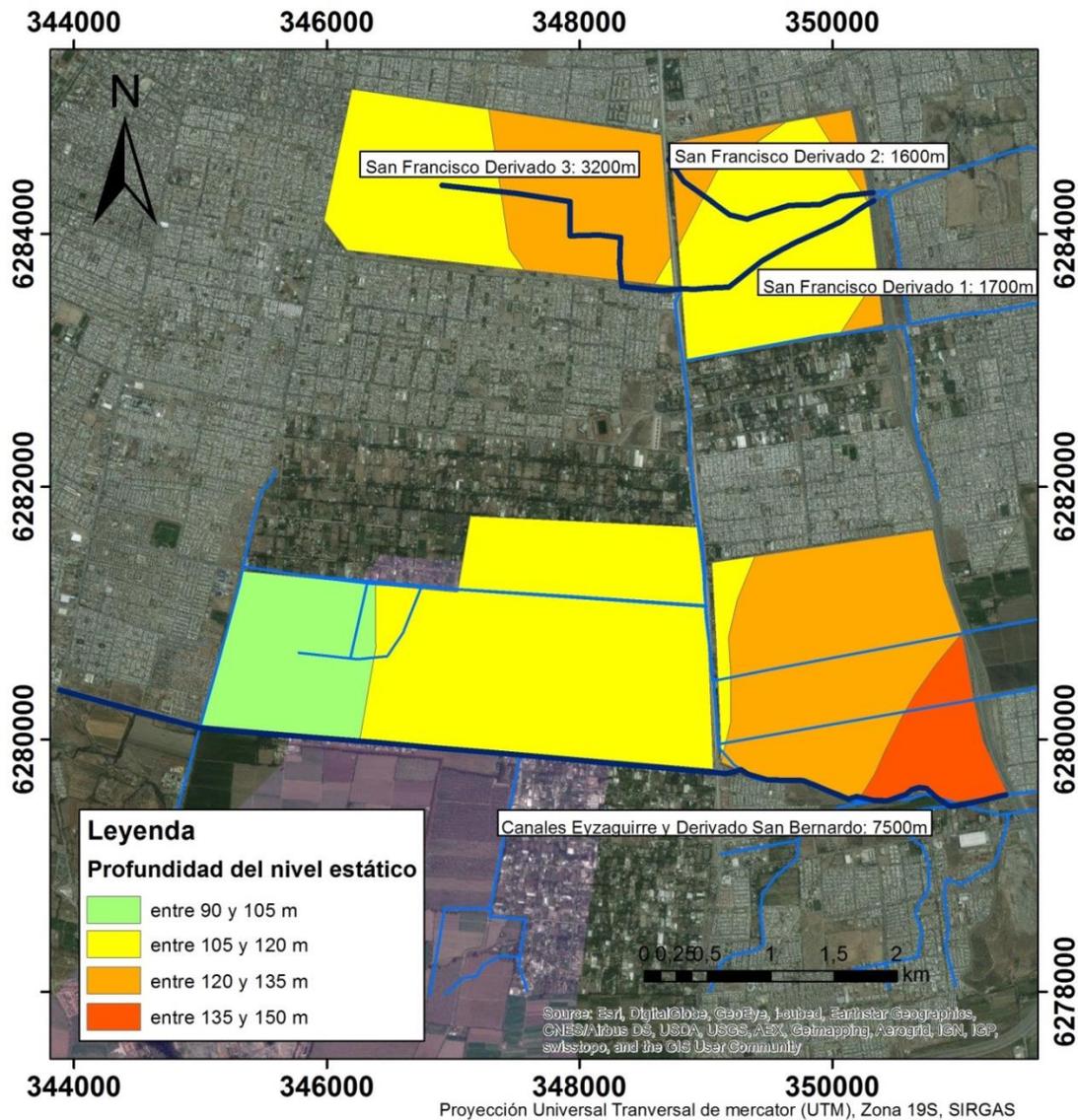


Figura 8.2: Profundidad del nivel estático dentro de los terrenos seleccionados, junto con los canales de Santiago Sur que serían usados para la recarga artificial.

8.1.4. Permeabilidad

La permeabilidad en el sector se encuentra dentro del rango de mejor permeabilidad de la Figura 4.6 en el apartado 4.3, entre $7,5 \times 10^{-4}$ a 3×10^{-3} . En particular, se muestra la permeabilidad del terreno en la Figura 8.3. La gran parte del área de los terrenos seleccionados ubicados más al norte, tiene una permeabilidad de $1,23 \times 10^{-3} \text{cm/s}$, y pequeñas áreas de permeabilidad $5 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ en la esquina noroeste y de $1,46 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ en la esquina suroeste del terreno del campus Antumapu. Los terrenos seleccionados que se encuentran más al sur tienen permeabilidades de $1,46 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ y $1,23 \times 10^{-3} \text{cm/s}$. Se elige como permeabilidad a utilizar para los siguientes cálculos $1,23 \times 10^{-3} \text{cm/s}$, por ser la menor dentro de las permeabilidades significativas de los sectores seleccionados. Estos datos se encuentran en la malla Maipo aguas arriba de Melipilla, modelo que forma parte del estudio de AYALA, CABRERA Y ASOCIADOS (2000).

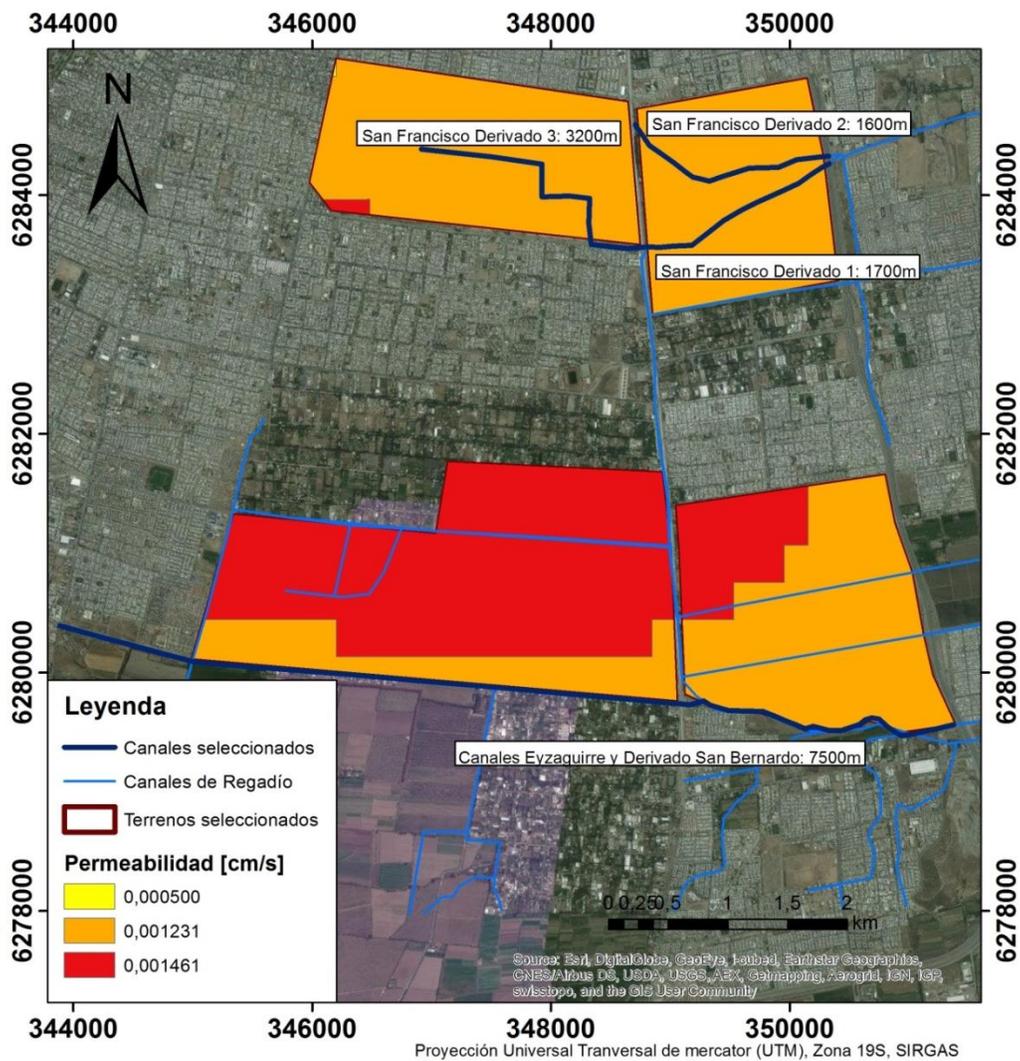


Figura 8.3: Permeabilidad en detalle dentro de los terrenos seleccionados.

8.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En el estudio de la CNR (2013) se propone usar los canales mencionados en el apartado 8.1.1. (Eyzaguirre, San Bernardo y San Francisco) para llevar las aguas hasta pozos de inyección, que serían construidos a lo largo de ellos. Así, el agua de recarga se capta y se incorpora al pozo desde el canal frente a la ubicación del mismo, previo tratamiento de filtración.

No se consideran necesarios tratamientos adicionales del agua previos a la infiltración hacia la napa, dado que el agua de los canales y de la napa es la misma, teniendo su origen en el río Maipo.

En cuanto a las obras de recarga mismas, se estima que en tramos de 3 derivados del canal San Francisco (L=1.700m, 1.600m y 3.200m), en terrenos del INIA (La Platina) y del campus Antumapu de la Universidad de Chile, se podría construir pozos de infiltración. Del mismo modo, a lo largo del canal Eyzaguirre y su derivado el canal San Bernardo, se podría hacer algo semejante en una longitud de 7.200m (Figura 8.1 en el apartado 8.1.1).

La principal diferencia entre este estudio y el de la CNR es la profundidad del nivel estático. En este estudio, el nivel estático promedio en el sector está a unos 120m, mientras que en el de la CNR es de a lo más 50m. Es por esto que se propone considerar pozos de inyección de características distintas a los propuestos por la CNR.

Los pozos de infiltración que se propone considerar en este proyecto, deben ser de 130m de profundidad, habilitados en 12” y con cribas a partir de los 100m de profundidad, para permitir una infiltración hasta la napa de 36l/s. Este valor se calcula con el Método de Lefranc mostrado en la Ecuación 8.3:

Ecuación 8.1: Método de Lefranc para calcular el caudal a partir de la conductividad hidráulica, un factor de forma y la altura de la columna de agua.

$$Q = k * C * hm$$

Dónde:

- Q: caudal inyectado [m³/día]
- k: conductividad hidráulica [m/día]
- C: factor de forma [m]
- hm: altura de agua por encima del nivel estático [m]

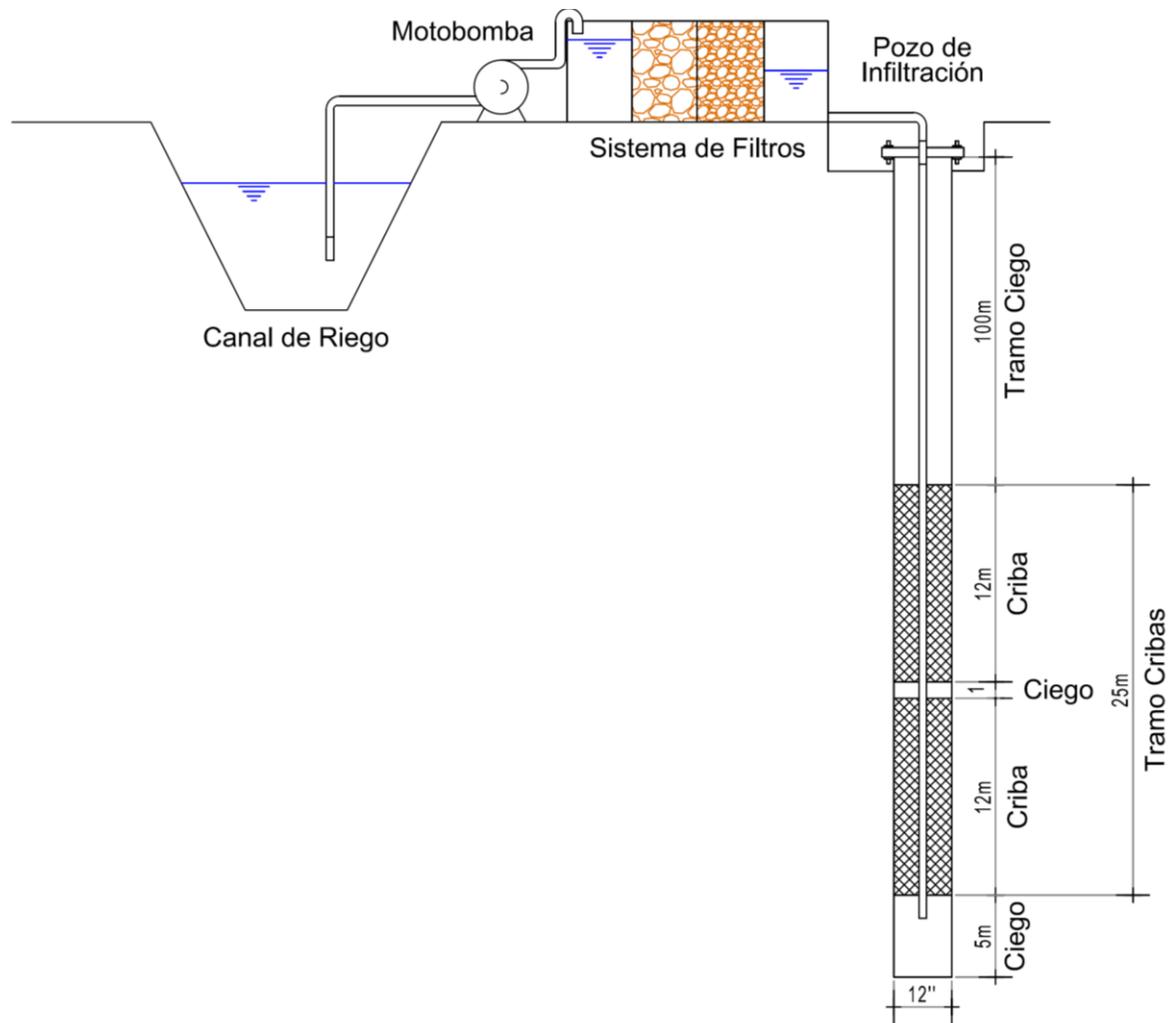


Figura 8.4: Configuración de obras para recarga artificial mediante pozos, sector Santiago Sur. Modificado de CNR, 2013.

8.3. ESTIMACIÓN DEL AUMENTO DEL NIVEL PIEZOMETRICO

Para estimar el aumento del nivel piezométrico en la zona a infiltrar se tiene, como primera aproximación, un dado cuya base es el área donde se realiza la infiltración y cuyo alto es la diferencia de altura en el nivel piezométrico después de un evento de recarga. Como se muestra en la Figura 8.5.

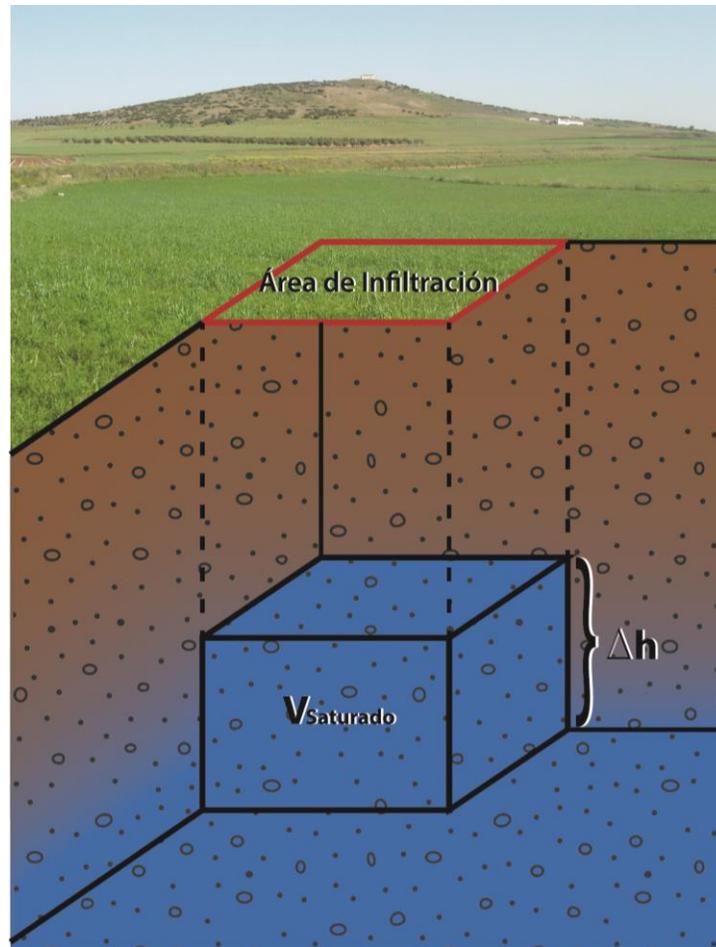


Figura 8.5: Figura explicativa que muestra la primera aproximación para calcular la diferencia del nivel piezométrico una vez realizada la recarga artificial. Se considera que el volumen saturado tiene la forma de un dado de base igual al área de infiltración y alto igual a la diferencia de altura en el nivel piezométrico.

De esta manera, se puede calcular la diferencia de altura en el nivel estático con la Ecuación 8.3.

Ecuación 8.3: Estimación del nivel piezométrico a partir del volumen saturado y el área de infiltración, considerando una forma geométrica de dado.

$$\Delta h_{\text{nivel piezométrico}} = \frac{V_{\text{Saturado}}}{A_{\text{Infiltración}}}$$

Para estimar el volumen saturado resultante después del evento de recarga, se necesita conocer el volumen de agua infiltrado y, estimando un coeficiente de almacenamiento (S), se tiene la Ecuación 8.4.

Ecuación 8.4: Cálculo del volumen saturado a partir del volumen de agua infiltrado y un coeficiente de almacenamiento estimado.

$$V_{Saturado} = \frac{V_{Infiltrado}}{S}$$

Teniendo un área de infiltración total de 15.706.210m², un volumen de agua infiltrada total de 26.127.360m³ y considerando un coeficiente de almacenamiento (S) conservador, de un 10%, se tiene que:

$$V_{Saturado} = \frac{V_{Infiltrado}}{S} = \frac{26.127.360m^3}{10\%} = 261.273.600m^3$$

Luego, se calcula la diferencia de altura del nivel piezométrico:

$$\Delta h_{nivel\ piezométrico} = \frac{V_{Saturado}}{A_{Infiltración}} = \frac{261.273.600m^3}{15.706.210m^2} = 16,64m^3$$

Esto quiere decir que, cada vez que se infiltre dicho volumen de agua en la zona escogida, la profundidad del nivel piezométrico disminuirá en 16,64m. Recordando que en el sector seleccionado el nivel estático natural se encuentra actualmente en promedio a 120m de profundidad, se concluye que es posible infiltrar al menos en unas 5 oportunidades sin inconvenientes por afloramiento del nivel freático.

8.4. ESTIMACIÓN DE COSTOS, INGRESOS Y BENEFICIO ECONÓMICO DEL PROYECTO SELECCIONADO

El proyecto propuesto en este estudio para la recarga artificial del sector sur de Santiago comprende la construcción de 70 pozos de infiltración. Los pozos se ubicarían al costado de los canales de riego (San Bernardo, Eyzaguirre y San Francisco), tendrán 130m de profundidad, serán perforados en 16” y habilitados en 12”.

Cada pozo contempla una obra de captación desde el canal y tratamiento previo a la infiltración. Para esto se considera una bomba portátil y una unidad de filtro. Además, se considera la habilitación de una caseta metálica, sólida y segura, de 3m x 6m, para cada sistema (pozo-captación-filtro).

Los costos estimados de las obras civiles contempladas en el proyecto de recarga artificial del sector Santiago Sur se presentan en la Tabla 8.2, por pozo y para el proyecto completo.

Tabla 8.2: Cubicaciones y Estimación de Costos, Obra de Recarga Artificial del Sector Sur de Santiago, modificado del estudio de la DGA (2013).

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	P. UNIT. (\$)	P. TOTAL (\$)
A. INSTALACIÓN Y LEVANTE DE FAENAS					1.200.000
1	Instalación y levante de faenas.	gl	1	1.200.000	1.200.000
B. CONSTRUCCIÓN DEL SONDAJE					56.506.000
2	Perforación $D_{\min} = 16''$.	m	130	280.000	36.400.000
3	Entubación cañería acero $D = 12''$, $e = 6,3$ mm.	m	106	80.000	8.480.000
4	Cribas acero al carbono, Slot 40, $D = 12''$	m	24	220.000	5.280.000
5	Suministro y colocación de filtro granular.	m	130	46.700	6.071.000
6	Sello y brocal de hormigón.	gl	1	225.000	225.000
7	Tapa del pozo según plano de proyecto.	gl	1	50.000	50.000
C. OBRA DE CAPTACIÓN Y FILTRO, Y CASETA					5.000.000
8	Obra de captación, bomba y obra de arte para tratamiento	gl	1	2.000.000	2.000.000
9	Recinto sólido y seguro de 3x6 m, metálico.	gl	1	3.000.000	3.000.000
D. INTERRUPCIÓN DE FAENAS					960.000
10	Interrupción de faenas	hr	24	40.000	960.000
F. PLANO DE CONSTRUCCIÓN E INFORME FINAL					300.000
11	Plano de construcción e informe final	gl	1	300.000	300.000
Subtotal por Pozo				\$	63.966.000
Gastos grles., im previstos y utilidades (45%)				\$	28.784.700
Total neto				\$	92.750.700
I.V.A. (19%)				\$	17.622.633
TOTAL				\$	110.373.333
Subtotal por el Proyecto (70 pozos)				\$	4.477.620.000
Gastos grles., im previstos y utilidades (45%)				\$	2.151.418.500
Total neto				\$	6.932.348.500
I.V.A. (19%)				\$	1.317.146.215
TOTAL				\$	7.726.133.310

El periodo de infiltración sería los 4 meses de verano, y la fuente de agua a utilizar serían los excedentes de verano del río Maipo.

Además, se hace la estimación general del costo y los beneficios económicos que implica hacer un proyecto de pozos como el descrito, y con zanjas como apoyo.

Los ingresos anuales del proyecto se estiman considerando que se venderá todo el volumen infiltrado anualmente a la tarifa de agua potable en hora no punta vigente al 01 de octubre del 2014 de Aguas Andinas para las localidades del Gran

Santiago, Pirque, Plazuela de Los Toros, Sectores La Florida y Puente Alto, la que corresponde a \$340,46 el m³. De esta manera se tiene la Ecuación 8.5.

Ecuación 8.5: Estimación de los ingresos del proyecto a partir del volumen de agua infiltrado y la tarifa a la que se pretende vender el agua.

$$\text{Ingresos} = \text{volumen infiltrado [m}^3] * \text{tarifa [CLP/m}^3]$$

$$26.415.666,92[\text{m}^3] * 240,46[\text{CLP/m}^3] = 8.993.477.961[\text{CLP}]$$

Las siguientes tablas muestran el VAN del proyecto para una tasa de rentabilidad del 5% a 11 años. En la Tabla 8.3, la totalidad del agua infiltrada se vende durante el mismo año de infiltración, mientras que en la Tabla 8.4, el agua infiltrada durante un periodo se subdivide para venderse equitativamente durante los siguientes 5 años, lo que dura el periodo de retorno para una probabilidad de excedencia del 20%. Finalmente, en la Tabla 8.5, se observa la diferencia de VAN entre estas dos opciones.

Tabla 8.3: Valor actual neto en pesos chilenos del proyecto de infiltración de agua artificial con una tasa de rentabilidad del 5% para un periodos de 11 años. En este caso la venta de agua se produce durante el mismo año de infiltración de la misma.

Periodo	0	1	2	3	4	5
C	-\$ 7.726.133.310	\$ 8.993.477.961	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
VAN 1	-\$ 7.726.133.310	\$ 839.083.796	\$ 839.083.796	\$ 839.083.796	\$ 839.083.796	\$ 839.083.796
Periodo	6	7	8	9	10	11
C	\$ 8.993.477.961	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 8.993.477.961
VAN 1	\$ 7.550.155.520	\$ 7.550.155.520	\$ 7.550.155.520	\$ 7.550.155.520	\$ 7.550.155.520	\$ 12.808.455.821

Tabla 8.4: Valor actual neto en pesos chilenos del proyecto de infiltración de agua artificial con una tasa de rentabilidad del 5% para un periodos de 11 años. En este caso la venta de agua se subdivide de manera equitativa durante los cinco años que dura el periodo de retorno para una probabilidad de excedencia del 20%.

Periodo	0	1	2	3	4	5
C	-\$ 7.726.133.310	\$ 1.798.695.592	\$ 1.798.695.592	\$ 1.798.695.592	\$ 1.798.695.592	\$ 1.798.695.592
VAN 2	-\$ 7.726.133.310	-\$ 6.013.089.889	-\$ 4.381.619.964	-\$ 2.827.839.083	-\$ 1.348.047.768	\$ 61.277.294
Periodo	6	7	8	9	10	11
C	\$ 1.798.695.592	\$ 1.798.695.592	\$ 1.798.695.592	\$ 1.798.695.592	\$ 1.798.695.592	\$ 1.798.695.592
VAN 2	\$ 1.403.491.639	\$ 2.681.791.015	\$ 3.899.218.992	\$ 5.058.674.208	\$ 6.162.917.272	\$ 7.214.577.332

Tabla 8.5: Diferencia de valor actual neto en pesos chilenos entre las dos opciones del proyecto.

Periodo	0	1	2	3	4	5
VAN 1-VAN 2	\$ -	\$ 6.852.173.685	\$ 5.220.703.760	\$ 3.666.922.879	\$ 2.187.131.564	\$ 777.806.502
Periodo	6	7	8	9	10	11
VAN 1-VAN 2	\$ 6.146.663.881	\$ 4.868.364.505	\$ 3.650.936.528	\$ 2.491.481.311	\$ 1.387.238.248	\$ 5.593.878.489

Para la primera opción, mostrada en la Tabla 8.3, el VAN es positivo a partir del primer periodo, manteniéndose en el mismo valor durante los siguientes 5 años, que es lo que dura el periodo de retorno, para luego aumentar considerablemente cada vez que se efectúa un evento de infiltración y consecuente venta del agua, es decir, para los periodos 6 y 11. En la segunda opción, que es la mostrada en la Tabla 8.4, el VAN aumenta gradualmente, aplacando la inversión inicial durante los 4 primeros periodos y entregando un VAN positivo a partir del quinto año. Sin embargo, la diferencia entre los VANs (Tabla 8.5) muestra claramente que es mejor opción la primera, es decir, vender el agua durante el mismo periodo en que se ejerce la infiltración, porque la inversión se recupera en menos tiempo y el VAN aumenta sostenida y rápidamente.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación, se presentan las principales conclusiones de este estudio.

La cuenca de Santiago, en su gran mayoría, presenta una buena permeabilidad, dado que está rellena principalmente por abanicos aluviales, de granulometría gruesa y creciente hacia el oeste; y depósitos sedimentarios en los cauces o inmediaciones de la red hidrográfica. También presenta relleno cuya permeabilidad es menor, como cenizas o depósitos lacustres, pero este se presenta de manera local.

A su vez, el nivel estático de la cuenca es profundo, llegando incluso a los 200m, y sigue en descenso producto del aumento de extracciones y disminución de las recargas. La existencia y expansión de la ciudad de Santiago ha limitado las áreas de suelo transformándolas en pavimentos o construcciones en general, con lo que también se ha impedido que se mantenga la infiltración de aguas lluvias en esos suelos y la consecuente percolación que alimenta la napa subterránea. Como consecuencia de esto, sumado a la intensa explotación del agua subterránea y una disminución de las precipitaciones en el tiempo, se tiene un panorama en que los niveles de napa están descendiendo sostenidamente. Así, la recarga artificial de agua en el acuífero de Santiago no solo se hace atractiva, sino también necesaria para la reserva de agua.

Los pozos en el área de estudio son numerosos, pero los datos estratigráficos de los mismos son deficientes o inexistentes, dificultando el análisis en profundidad del relleno sedimentario. Estos pozos se destinan principalmente al agua potable y la industria, y sólo parcialmente al regadío.

Dentro de la cuenca de Santiago, los sectores en los que es apropiado infiltrar, dadas sus características de permeabilidad, nivel estático y factibilidad de transporte de agua desde la fuente hasta el lugar propuesto para la construcción de la obra de infiltración son varios, incluyendo el sector de Chacabuco-Polpaico, Colina-Chicureo, una gran zona en el área oriente y sur de la ciudad de Santiago y algunos sectores al sur del río Maipo.

Actualmente, la cuenca del río Maipo se encuentra cerrada para derechos consuntivos, tanto permanentes como eventuales. Sin embargo, dado el carácter no consuntivo de este proyecto, pero que sí transformaría aguas originalmente superficiales en aguas subterráneas, se requiere la regulación especial de dichos derechos de agua.

El sector que se considera más apropiado, dentro de los mencionados, está ubicado en la comuna de La Pintana y corresponde al campus Antumapu de la Universidad de Chile, a La Platina del INIA, a la viña Almaviva y otros terrenos agrícolas del sector, esto es porque el nivel estático en la zona se encuentra a unos

120m de profundidad, la permeabilidad es muy buena, de unos $1,2 \times 10^{-3} \text{cm/s}$, y existen canales de regadío (Canal San Francisco Derivado 1, 2 y 3, canal Eyzaguirre y canal Derivado San Bernardo) en los que se puede transportar el agua desde el río Maipo al terreno escogido.

Se propone realizar 70 pozos de inyección de 130m de profundidad con cribas a partir de los 100m, lo que permitirían una infiltración hacia la napa de unos 36l/s cada uno que sumarían un total de 26,1 millones de m^3 de agua infiltrados durante los cuatro meses de verano, que es cuando se producen los mayores caudales del río Maipo por los deshielos cordilleranos. Se propone realizar la infiltración cuando la probabilidad de excedencia del caudal del río Maipo sea del 20% o menor, evento que tiene un periodo de retorno de 5 años. Tampoco se descarta poder realizarla en otra época del año, siempre y cuando se cumpla que la probabilidad de excedencia sea igual o menor al 20%

Se recomienda iniciar el proyecto con una obra piloto y evaluarla durante un periodo tal que se conozca el comportamiento del agua subterránea infiltrada en la napa antes de continuar con el proyecto de mayor envergadura. Además, dado que el estudio económico del proyecto es muy general, se recomienda realizar un diseño y presupuesto más acabado.

Al realizar la infiltración, el aumento del nivel freático es de alrededor de 20m por cada evento de infiltración. De esta manera, la capacidad de almacenamiento del agua infiltrada es suficiente como para que este proceso de infiltración se realice al menos unas cinco veces sin presentar problemas de afloramiento del nivel estático.

Según el cálculo del valor actual neto del proyecto, este es económicamente rentable. La inversión inicial se recupera en el primer periodo si toda el agua infiltrada se vende durante el mismo periodo de infiltración, o a partir del quinto año si el agua infiltrada se subdivide para venderla equitativamente durante todo el periodo de retorno. En ambas opciones se tiene un VAN positivo a partir del 5 año, pero este es mucho mayor si la venta del agua se realiza en el primer año del periodo de retorno.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Abu-Zreig, M., Attom, M., Hamasha, N., 2000. Rainfall Harvesting Using Sand Ditches in Jordan. *Agric Water Manage* 46(2), p. 183-193.
- Aguirre, L., 1960. Geología de los Andes de Chile Central, provincia de Aconcagua. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, Chile, Boletín N° 9, 70 p.
- Aguirre-Urreta, M.B., 1996. El tithoniano marino en la vertiente argentina del paso de Piuquenes. *Actas XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos*. Vol. V, p. 185.
- Aguirre-Urreta, M.B., Álvarez, P.P., 1997. La Formación Lo Valdés en el alto Río Colina, Región Metropolitana, Chile Central. *Actas VII Congreso Geológico Chileno*, Antofagasta, Vol. 1, p. 411-415.
- Álvarez, P.P., Aguirre-Urreta, M., Godoy, E., Ramos, V.A., 1997. Estratigrafía del Jurásico de la Cordillera Principal de Argentina y Chile (33° 45' – 34° 00' LS). *Actas VIII Congreso Geológico Chileno*, Vol. 1, p. 425-429.
- Álvarez, P.P., Godoy, E., Sellés, D., 2000. Geología de la región del río Colorado, Andes principales de Chile (33° 25' S). *Actas IX Congreso Geológico Chileno*, Puerto Varas, Vol. 1, p. 736-740.
- Araneda, M., Avendaño, M., Merlo, C., 2000. Modelo Gravimétrico de la Cuenca de Santiago, Etapa III Final. *IX Congreso Geológico Chileno*, Puerto Varas, Chile.
- Araneda, M., Avendaño, M.S., Díaz, G., 2010. Modelo estructural de la cuenca de Santiago, Chile y su relación con la hidrogeología. *Revista Geofísica* 62, p 29-48.
- Arumí, J.L., J. Jara y L. Salgado, 2000. *Análisis Hidrológico*. UC Editores, Santiago, Chile.
- Ayala, Cabrera, A. I. C. Ltda., 2000. *Modelo de Simulación Hidrológico Operacional*, Cuencas de los ríos Maipo y Mapocho, Santiago, vol. 8. Santiago, Chile: Ministerio De Obras Públicas, Dirección General de Aguas, MOPeDGA. SIT N62. Vol. 1, p. 260
- 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.

- Beccar, I., Vergara, M., Munizaga, F., 1986. Edades K-Ar de la Formación Farellones, en el Cordón del Cerro La Parva, Cordillera de los Andes de Santiago, Chile. *Revista Geológica de Chile*, N° 28-29, p. 109-113.
- Bercián, K., Palomo, K., 2004. Revisión de Metodologías para Extensión y Relleno de Datos en Series Históricas, y su Aplicación a los Ríos de El Salvador. Trabajo de Graduación para optar al Grado de Ingeniero Civil. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”, San Salvador, El Salvador. Octubre 2004.
- Bouwer, H., Back, J., Oliver, O., 1999. Predicting Infiltration and Ground-Water Mounds for Artificial Recharge. *Journal of Hydrogeologic Engineering /* Octubre 1999. P 350-357
- Bouwer, H., 2002. Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. *Hydrogeology Journal* N° 10, p.121-142.
- Brantt, C., 2011. Microzonificación Sísmica del Sector Sur Poniente de Santiago, Comunas Buin y Paine. Memoria para optar al título de geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 148 p.
- 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, 54p.
- Calvache, M.L., Pulido-Bosch, A, 1997. Effects of geology and human activity on the dynamics of salt-water intrusion in three coastal aquifers in southern Spain. *Environmental Geology* 30 (3/4) April 1997, p. 215-223.
- Centro de Excelencia en Geotermia de Los Andes, 2015. Proyecto: “Determinación de parámetros termales en el subsuelo de las cuencas de Santiago y Talca: implicancias para el uso directo de la energía geotérmica”.
- Charrier, R., Wyss, A.R., Flynn, J.J., Swisher, C.C. III, Norell, M.A., Zapatta, F., McKenna, M. C., Novaceck, M.J., 1996. New evidence for late Mesozoic - early Cenozoic evolution of the Chilean Andes in the upper Tinguiririca valley (35° S), Central Chile. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 9, N° 2, p. 1-30.
- 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.

- Charrier, R., Álvarez, P., Zurita, E., 2002b. Hallazgo de Jurásico marino en la Faja Plegada y Corrida del Río Las Leñas, Alta Cordillera de Chile (34° 30' S).
- Chile. Ministerio de Justicia. 2010. Decreto con Fuerza de Ley 1122: Código de Aguas. Versión 2010.
- Chile. Ministerio de Secretaría General de la Presidencia. 2002. Decreto supremo 46: Norma de emisión de residuos líquidos a aguas subterráneas. 8 de agosto de 2002.
- Coira, B., Davidson, J., Mpodozis, C., Ramos, V., 1982. Tectonic and Magmatic Evolution of the Andes of Northern Argentina and Chile. *Earth-Science Reviews*, N° 18, p. 303-332.
- Comisión Nacional de Riego, Ministerio de Agricultura, GCF Ingenieros Ltda., 2013. Estudio Diagnóstico de Zonas Potenciales de Recarga de Acuíferos en las Regiones de Arica y Parinacota a la Región del Maule. Comisión Nacional de Riego, Ministerio de Agricultura, Gobierno de Chile. Santiago, 2013.
- Cornejo, P., Mahood, G. 1997. Seeing past effects of re-equilibration to reconstruct magmatic gradients in plutons: La Gloria Pluton, central Chilean Andes. *Contribution to Mineral Petrology*, Vol. 127, p. 159 – 175.
- Davidson, J., 1971. Tectónica y paleogeografía de la Cordillera Principal en el área de Nacientes del Teno, Curicó, Chile. Memoria de Título, Departamento de Geología, Universidad de Chile. 160 p.
- Departamento de Administración de Recursos Hídricos, 2002. Informe de Zonación Hidrogeológica para las Regiones Metropolitana y V. Santiago, Chile. Dirección General de Aguas, Ministerio de obras Públicas, Gobierno de Chile, 2002. S.D.T. N°133.
- Departamento de Protección Civil, Sección Estudios, 1995. Serie Estudio de Caso Aluvión de la Florida ocurrido el 3 de Mayo de 1993. Oficina Nacional de Emergencia, Ministerio del Interior, República de Chile. Mayo, 1995.
- Dillon, P., Pavelic, P., 1996. Guidelines of the Quality of Stormwater and Treated Wastewater for Injection into Aquifers for Storage and Reuse. Research Report N°109, Urban Water Research Association of Australia, Water Services Association of Australia, Melbourne.
- Dillon, P., Pavelic, P., Sibenaler, X., Gerges, N., Clarck, R., 1997. Aquifer Storage and Recovery of Stormwater runoff. *Aust Water Wastewater Assoc J Water* 24(4), p. 7-11.

- Dirección General de Aguas, IPLA Ingenieros Consultores, 1986. Estudio del Mapa Hidrogeológico Nacional. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile, 1986.
- Dirección General de Aguas, Departamento de Administración de Recursos Hídricos, 2003. Evaluación de los Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca del Río Maipo. Dirección general de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile, 2003. S.D.T. N° 145.
- Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, AC Ingenieros Consultores, Ltda., 2012. Investigación Recarga Artificial Acuiferos Cuencas del Rio Choapa y Quilimarí, Región de Coquimbo, SIT N°292. Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile. Diciembre 2012.
- Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, 2013. Análisis y Síntesis Preliminar de Iniciativas Sobre Recargas Artificial en Chile., SDT N°344, Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile. 2013.
- Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas Información Oficial Hidrometeorológica y de Calidad de Aguas en Línea, 2014. [en línea] <http://snia.dga.cl/BNAConsultas/reportes> [consulta: 10 de diciembre de 2014]
- Drake, R., Charrier, R., Thiele, R., Munizaga, F., Padilla, H., Vergara, M., 1982. Distribución y edades K-Ar de volcanitas post-Neocomianas en la Cordillera Principal entre 32° y 36° L. S. Implicaciones estratigráficas y tectónicas para el Meso-Cenozoico de Chile Central. Actas III Congreso Geológico Chileno, Concepción, Vol. 2, p. D42-D78.
- Fernández, J.C., Milovic J. J., 2000. Unidades Geoambientales de la Cuenca de Santiago. IX Congreso Geológico Chileno, 1, 42-46.
- 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 para optar al Título de Geólogo. Departamento de Geología. Universidad de Chile.
- Foster, S.S.D, 1987. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy. In Vulnerability of soil and groundwater to pollutants (Van Duijvenbooden, W.; Van Waegeningh, H.G., editors). International Conference held in the Netherlands, TNO Committee on Hydrological Research. Proceedings and Information, No. 38, pp. 69-86. Delft.
- 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. Actas IX Congreso Geológico Chileno, Puerto Varas, Vol. 2, p. 21-25.

- 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.
- Fuentes, F., 2004. Petrología y metamorfismo de muy bajo grado de unidades volcánicas oligoceno-miocenas en la ladera occidental de los Andes de Chile Central (33° S). Tesis de Doctorado, Departamento de Geología, Universidad de Chile. 398 p.
- Gana P., Wall R., y Gutiérrez A., 1996. Mapa Geológico del Área de Valparaíso-Curacaví, Regiones de Valparaíso y Metropolitana. Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile. Mapa Geológico N° 1 a escala 1:100.000.
- Gana, P., Wall, R., 1997. Evidencias geocronológicas 40Ar/39Ar y K-Ar de un hiatus Cretácico Superior-Eoceno en Chile Central (33°-33° 30' S). *Revista Geológica de Chile*, Vol. 24, N° 2, p. 145-163.
- Giambiagi, L., Tunik, M., Ghiglione, M., 2001. Cenozoic tectonic evolution of the Alto Tunuyán foreland basin above the transition zone between the flat and normal subduction segment (33° 30' S -34° S), western Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 14, p. 707-724.
- Giambiagi, L., Álvarez, P.P., Godoy, E., Ramos, V.A., 2003a. The Control of pre-existing extensional structures on the evolution of the southern sector of the Aconcagua Fold and thrust belt, southern Andes. *Tectonophysics*, Vol. 369. p. 1-19.
- Giambiagi, L., Ramos, V.A, Godoy, E., Álvarez, P.P., Orts, S., 2003b. Cenozoic deformation and tectonic style of the Andes, between 33° and 34° south latitude. *Tectonics*, Vol. 22, N° 4, 1041, doi:10.1029/2001TC001354.
- Godoy, E., 1998. Intrusivos sintectónicos entre los ríos Aconcagua y Cachapoal, Andes de Chile Central. *Actas X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica*. Vol. 2, p. 149-154.
- Godoy, E., Lara, L., 1994b. El Teniente 2da Fase. Convenio CODELCO – SERNAGEOMIN. 40 p. 3 anexos. Inédito.
- 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., 1963. Observaciones geológicas en el valle del Río Volcán. Revista Minerale, Santiago, Vol. 17, N° 81, p. 20-61.
- Hallam, A., Biró-Bagóczkyl, L., Pérez, E., 1986. Facies analysis of the Lo Valdés Formation (Tithonian – Hauterivian) of the High Cordillera of central Chile, and paleogeographic evolution of the Andean Basin. Geological Magazine, Vol. 123, N° 4, p. 425-435.
- Instituto Tecnológico GeoMinero de España, 1995. Conoce las Aguas Subterráneas, N°5, Diciembre 1995.
- Iriarte, S., 2003. Vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos de la cuenca de Santiago, región metropolitana de Santiago, Escala 1:100.000. SERNAGEOMIN, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Ambiental (n.4): 1 mapa, 1 mapa pleg. col, Santiago. Coordenadas: 33°00' - 34°00' / 71°00' - 70°30'.
- Klohn, C., 1960. Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central, Provincia de Santiago, Colchagua y Curicó. Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, Boletín N° 8, 95 p.
- Kurtz, A., Kay, S.M., Charrier, R., Farrar, E., 1997. Geochronology of Miocene plutons and exhumation history of the El Teniente region, Central Chile (34°-35°S). Revista Geológica de Chile, Vol. 24, N° 1, p.75-90.
- Levi, B., Aguirre, L., Nyström, J., Padilla, H., Vergara, M., 1989. Low-grade regional metamorphism in the Mesozoic-Cenozoic volcanic sequences of the Central Andes. Journal of Metamorphic Petrology, Vol. 7, p. 487-495.
- Maersk Container Industry, 2012. Memoria de Cálculo de Zanjias de Infiltración para Aguas Lluvias. Documento Pares & Álvarez. 2547-AT-001.
- Martínez, R., Osorio, R., 1963. Consideraciones preliminares sobre la presencia de Carófitas fósiles en la Formación Colimapu. Revista Minerale N° 82: p. 28-43, Santiago.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 1996. Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos. Guía de Diseño. Santiago, Chile, 1996.
- Morales, F., 2002. Definición de Acuíferos en la Cuenca del Río Maipo. Memoria para optar al Título de Geólogo. Departamento de Geología. Universidad de Chile.
- Mpodozis, C., Ramos, V.A., 1989. The Andes of Chile and Argentina, In: Eriksen, G.E., Cañas, M.T. and Reintmund, J.A. (Editors). Geology of the Andes and its

- relation to hydrocarbon and energy resources; Circum-Pacific Council for Energy and Hydrothermal Resources, Earth Sciences Series, Houston, Texas, Vol. 11, pp. 59-90.
- Muñoz, M., Garat, P., Flores-Aqueveque, V., Vargas, G., Rebolledo, S., Sepúlveda, S., Daniele L., Morata, D., Parada, M. A., 2015. Estimating low-enthalpy geothermal energy potential for district heating in Santiago basin-Chile (33.5°S). *Renewable Energy* 76 (2015) p 186-195
- 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). *GSA Bulletin* 115(12):1523- 1537.
- Palma, W., 1991. Estratigrafía y estructura de la Formación Colimapu entre el Estero del Diablo y el Cordón de Los Lunes, Región Metropolitana. Memoria, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 95 p.
- Ramos, V.A., Godoy, E., Godoy, V., Pángaro, F., 1996. Evolución tectónica de la Cordillera Principal Argentino – Chilena a la latitud del Paso de Piuquenes. *Actas XIII Congreso Geológico Argentino y III Congreso de Exploración de Hidrocarburos*. Vol. II, p. 337-352.
- Rivano, S., Godoy, E., Vergara, M., Villarroel, R., 1990. Redefinición de la Formación Farellones en la Cordillera de los Andes de Chile Central (32°-34° S). *Revista Geológica de Chile*, Vol. 17, N° 2, p. 205-214.
- Orrego, J.P., 2002. El Estado de las Aguas Terrestres en Chile: Cursos y Aguas Subterráneas. Fundación Terram, Santiago, Chile.
- Pulido-Bosch, A., Ben Sbih, Y., 1995. Centuries of artificial recharge on the southern edge of the Sierra Nevada (Granada, Spain) *Environmental Geology* (1995) 26:57 63.
- 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. Tesis, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 154 p.
- Sellés, D., 2000. La relación discordante entre las Formaciones Abanico y Las Chilcas en la localidad de Angostura: implicancias regionales. *Actas IX Congreso Geológico Chileno, Puerto Varas*, Vol. 1, p. 555-558.
- Sellés, D., Gana, P., 2001. Geología del área Talagante-San Francisco de Mostazal: Regiones Metropolitana y del Libertador General Bernardo O'Higgins, Escala 1:100.000. SERNAGEOMIN, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, N° 74.

- Sruoga, P., Etcheverría, M., Folguera, A., Repol, D., 2000. Hoja Geológica 3569-I Volcán Maipo. Boletín N° 290, Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires, 116 p.
- Stern, C., Amini, H., Charrier, R., Godoy, E., Hervé, F. y Varela, J., 1984. Petrochemistry and age of rhyolitic pyroclastic flows which occur along the drainage valleys of the Río Maipo and Río Cachapoal (Chile) and the Río Yaucha and Río Papagayos (Argentina). Revista geológica de Chile N°23, pp. 39-52.
- Tavera, J. 1968. Informe sobre estudio de material paleontológico procedente del curso superior del río Yeso, recolectado por el geólogo Sr. Ricardo Thiele. Universidad de Chile, Departamento de Geología, (inédito), 9 p. Santiago.
- Thiele, R., 1980. Hoja Santiago, Región Metropolitana. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile N° 29, 21p.
- Thiele, R., Katsui, Y. 1969. Contribución al conocimiento del volcanismo post-miocénico de los Andes en la Provincia de Santiago, Chile. Univ. Chile, Departamento de Geología, Publicación, N° 35, 23 p.
- Thomas, H., 1958. Geología de la cordillera de la costa entre el Valle de la Ligua y la Cuesta de Barriga. Boletín N° 2, Instituto de Investigaciones Geológicas, 86 p.
- Todd, D.K., 1959. Annotated bibliography on artificial recharge of ground water through 1954. Washington, U. S. Govt. Print. Off., 1959.
- Varela J., 1991. Geología del Cuaternario de la Depresión Central de Chile en la Zona de la Cuenca de Santiago, Región Metropolitana, Chile. VI Congreso Geológico Chileno, Resúmenes Expandidos.
- Varela J., 1996. Mapa Geológico-Geomorfológico de los Rellenos Cuaternarios de la Cuenca del Río Maipo. Escala 1:100.000. Inédito.
- Vergara, M., Drake, R., 1978. Edades potasio-argón y su implicancia en la geología regional de Chile. Revista Comunicaciones, Vol. 23, p. 1-11.
- Vergara, M., Drake, R., 1979a. Edades K/Ar en secuencias volcánicas continentales postneocomianas de Chile Central; su depositación en cuencas intermontanas restringidas. Revista de la Asociación Geológica Argentina, Vol. 34, p. 42-52.
- Vergara, M. y Drake, R., 1979b. Evidencias de periodicidad en el volcanismo cenozoico de los Andes centrales, Actas, Primer Congreso Geológico Chileno, pp. F153-F161, Santiago.

- Wall R., Gana P., y Gutiérrez A., 1996. Mapa Geológico del Área de San Antonio-Melipilla. Regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Libertador General Bernardo O'Higgins. Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile. Mapa Geológico N° 2 a escala 1:100.000.
- Wall, R., Sellés, D., Gana, P., 1999. Área Til Til-Santiago, Región Metropolitana. Servicio Nacional de Geología y Minería, Mapas geológicos N° 11, escala 1:100.000, 1 anexo, Santiago.
- Wyss, A.R., Flynn, J.J., Norell, M.A., Swisher, C.C. III, Novacek, M.J., McKenna, M.C. and Charrier, R., 1994. Palaeogene Mammals from the Andes of Central Chile: A preliminary taxonomic, biostratigraphic, and geochronologic assesment. American Museum Novitates, N° 3098, 31 p.

ANEXOS

ANEXO A: MARCO GEOLÓGICO, LITOLOGÍA EN DETALLE

En el área de estudio afloran rocas volcánicas y sedimentarias continentales y marinas, que abarcan desde el Jurásico Medio hasta la actualidad. Estas se distribuyen principalmente en franjas de orientación norte sur, y se encuentran intruídas por filones, lacolitos, filones-mantos, stocks y batolitos de edad Miocena a Pleistocena (THIELE, 1980).

ROCAS ESTRATIFICADAS

A continuación se presentan las formaciones descritas en trabajos previos en el área de estudio.

- Cordillera de la Costa

Los Depósitos Mesozoicos expuestos en la Cordillera de la Costa en la Región estudiada corresponden a:

- Formación Las Chilcas (THOMAS, 1958)

Secuencia volcánica y sedimentaria continental principalmente, de aproximadamente 3.000m de espesor. Se dispone en discordancia sobre la Formación Veta Negra y subyace en discordancia de erosión a la Formación Lo Valle (WALL *ET AL.*, 1999). Sus niveles inferiores corresponden a rocas piroclásticas dacíticas a riolíticas con intercalaciones de lavas basálticas, que van gradando hacia el techo a conglomerados y areniscas con restos vegetales e intercalaciones de calizas marinas. En el techo de esta formación se encuentran lavas basálticas y andesítico basálticas (THOMAS, 1958; WALL *ET AL.*, 1999).

Dataciones radiométricas U-Pb en circón y K/Ar en roca total indican valores de 109 y 83 Ma, lo que junto con la fauna recolectada permiten asignarle una edad Aptiano-Campaniano a esta formación (WALL *ET AL.*, 1999; SELLÉS Y GANA, 2001). En la Cordillera Principal se correlacionaría temporalmente con la Formación Colimapu.

- Formación Lo Valle (THOMAS, 1958)

Corresponde a una secuencia de tobas de composición andesítica a riolítica (flujos piroclásticos ácidos y depósitos de caída de ceniza, principalmente) con intercalaciones de lavas y rocas sedimentarias continentales fluviales y lacustres con restos de troncos fósiles. El espesor de esta formación varía entre los 700 y 1.800m (WALL *ET AL.*, 1999; FUENTES *ET AL.*, 2000; FUENTES, 2004). Dataciones radiométricas permiten asignarle una Edad Maastrichtiana superior (GANA Y WALL, 1997; VERGARA Y DRAKE, 1978). Cubre en discordancia de erosión a la Formación Las Chilcas y subyace en discordancia de erosión a la Formación Abanico.

Evidencias geocronológicas muestran un hiatus Maastrichtiano superior (Paleoceno?) – Eoceno entre las Formaciones Lo Valle y Abanico (GANA Y WALL, 1997; WALL *ET AL.*, 1999; FUENTES *ET AL.*, 2000; FUENTES *ET AL.*, 2002; FUENTES, 2004).

Las edades radiométricas reportadas para las Formaciones Las Chilcas y Lo Valle (Aptiano – Campaniano y Maastrichtiano, respectivamente), no parecen indicar un hiatus entre ambas. Este hiatus podría sugerir que el contacto entre ambas formaciones corresponde a una discordancia de erosión y que se muestra como una aparente concordancia (FUENTES, 2004).

- Cordillera Principal

Las rocas Mesozoicas y Cenozoicas reconocidas en la Cordillera Principal corresponden a:

- Formación Nieves Negras (ÁLVAREZ *ET AL.*, 1997, 2000)

Secuencia de areniscas finas a medias con intercalaciones de pelitas negras, limolitas y en forma subordinada niveles de brechas en su base, con una serie rítmica de niveles gruesos de areniscas gruesas y niveles delgados de limolitas en los niveles superiores (ÁLVAREZ *ET AL.*, 1997; CHARRIER *ET AL.*, 2002B). En la región aflora en el sector de Yeguas Muertas y Nieves Negras, cercano a la frontera con Argentina. En base al material paleontológico encontrado se le asigna una edad Bathoniano - Caloviano Temprano (ÁLVAREZ *ET AL.*, 1997).

Su base no aflora y su techo corresponde a la Formación Tábanos (Río Colina), en concordancia. En el sector de la confluencia de los ríos Espinoza y Las Leñas, KLOHN (1960) denominó a estos depósitos como Formación Leñas Espinoza. Se correlaciona con el miembro Santa Elena de la Formación Nacientes del Teno (KLOHN, 1960, DAVIDSON, 1971) y las formaciones Las Lajas, Los Molles y Tres Esquinas en Argentina (CHARRIER *ET AL.*, 2002B).

- Formación Río Colina (GONZÁLEZ, 1963)

Corresponde a una secuencia de sedimentitas marinas compuesta principalmente por calizas y lutitas calcáreas oscuras, lutitas fisibles finamente estratificadas, areniscas y conglomerados finos, con algunas intercalaciones de rocas volcánicas andesíticas. Además presenta yeso interestratificado y domos diapíricos de yeso que la intruyen (THIELE, 1980).

Aflora en la parte oriental de la Cordillera Principal. Se encuentra en aparente concordancia sobre la Formación Nieves Negras (ÁLVAREZ *ET AL.*, 1997) y su techo corresponde al contacto concordante con la Formación Río Damas. El espesor mínimo visible es de 800m. De acuerdo a la fauna fósil encontrada, se le asigna una

edad Caloviano – Oxfordiano, y se correlaciona con las formaciones Tábanos, Lotena, La Manga y Auquilco en Argentina (THIELE, 1980; ÁLVAREZ *ET AL.*, 1997).

- Formación Río Damas (KLOHN, 1960)

Potente secuencia continental de casi 3.000 de conglomerados y brechas conglomerádicas gruesas a medianas, con intercalaciones de areniscas, limonitas, lavas andesíticas y pequeños niveles de yesos, expuestos en la parte oriental de la Cordillera Principal. Se le asigna al Kimmeridgiano, por estar apoyada concordantemente sobre la Formación Río Colina (Oxfordiano) y subyacer concordantemente, a las capas marinas del Tithoniano pertenecientes a la Formación Lo Valdés (THIELE, 1980).

La Formación Río Damas se correlaciona con el miembro superior de la Formación Lagunillas (THIELE, 1980). En Argentina; la unidad es correlacionable con la Formación Tordillo, asignada al Kimmeridgiano (THIELE, 1980; SRUOGA *ET AL.*, 2000).

- Formación Lo Valdés (GONZÁLEZ, 1963)

Corresponde a una secuencia de lavas andesíticas con algunas intercalaciones de sedimentos marinos en su miembro inferior y calizas, calizas fosilíferas, calcilitas, lutitas y areniscas calcáreas en su miembro superior (HALLAM *ET AL.*, 1986), expuestos en la Cordillera Principal Oriental. La base y el techo de esta formación son concordantes con las Formaciones Río Damas y Colimapu, respectivamente (THIELE, 1980; PALMA, 1991). El espesor estimado de esta formación es de 1350m, y se le asigna una edad mediante fósiles Tithoniano – Hauteriviano (BIRÓ, 1964; TAVERA, 1968; THIELE, 1980; HALLAM *ET AL.*, 1986).

La Formación Lo Valdés se correlaciona, hacia el norte, con la Formación San José (Valanginiano) definida por AGUIRRE (1960) y, hacia el sur, con la Formación Termas del Flaco (KLOHN, 1960), de edad Tithoniano Superior a Hauteriviano (THIELE, 1980). En Argentina, se correlaciona con el Grupo Mendoza (THIELE, 1980; AGUIRRE – URRETA, 1996, 1997).

- Formación Colimapu (KLOHN, 1960)

Expuesta en el límite occidental de la Cordillera Principal Oriental, corresponde a una secuencia continental con una predominante coloración rojiza de areniscas y lutitas, conglomerados de matriz arenosa, con intercalaciones de tobas, lavas andesíticas y calizas, en capas lateralmente discontinuas. Su espesor alcanza, en los sectores que ha sido posible estimarlo, un valor aproximado de 2.000m. (THIELE, 1980).

La edad mínima para esta formación, determinada mediante carófitas fósiles, sería Albiana (MARTÍNEZ Y OSORIO, 1963), y su edad máxima sería Hauteriviano, de

acuerdo a la edad asignada a la Formación Lo Valdés, que la infrayace concordantemente (THIELE, 1980). Sobre esta formación, yace discordantemente la Formación Abanico (CHARRIER *ET AL.*, 1996; CHARRIER *ET AL.*, 2002A).

La Formación Colimapu se correlaciona cronológicamente con la Formación Cristo Redentor definida por AGUIRRE (1960) en el valle del río Aconcagua, y con las Formaciones Diamante y Huitrín en Argentina (RAMOS *ET AL.*, 1996; SRUOGA *ET AL.*, 2002; GIAMBIAGI *ET AL.*, 2003A, 2003B).

- Estratos del Cerro Los Ratones (SELLÉS Y GANA, 2001)

Unidad informal, definida por SELLÉS Y GANA (2001) que aflora principalmente en la Depresión Central, constituida por una secuencia volcánica y subvolcánica, formada por tobos de lapilli y brechas piroclásticas, además de escasas lavas andesíticas e intercalaciones sedimentarias continentales de aproximadamente 450m de espesor total, que aflora en el cordón de cerros del mismo nombre, al sur del río Maipo, y en pequeños cerros-isla al sur de esta localidad. Su base no aflora y se infiere una relación de discordancia angular con la suprayacente Formación Abanico, dada por la falta de continuidad de los pliegues y en las intrusiones ácidas que la afectan al pasar a la formación superior (SELLÉS Y GANA, 2001).

Está intruida por 'stocks' y diques, y su correlación litoestratigráfica más probable es con la Formación Lo Valle del Cretácico Superior (THOMAS, 1958; WALL *ET AL.*, 1999), que aflora 45 Km al norte, aunque la ausencia de antecedentes geocronológicos impide precisar la edad absoluta de estos estratos, por lo que se le asigna una edad Cretácica Superior (?) – Paleoceno (?) (SELLÉS Y GANA, 2001).

- Formación Abanico (AGUIRRE, 1960)

Unidad litoestratigráfica constituida por lavas básicas a intermedias, rocas piroclásticas ácidas, e intercalaciones sedimentarias continentales (fluviales, aluviales y lacustres), formando lentes de hasta 500m de espesor (CHARRIER *ET AL.*, 2002A; NYSTRÖM *ET AL.*, 2003). Esta formación se encuentra plegada y es afectada por un pervasivo metamorfismo de muy bajo grado (AGUIRRE, 1960; THIELE, 1980; LEVI *ET AL.*, 1989). El espesor del conjunto se estima en ~ 3.000m, aun cuando se acepta que éste aparece aumentado por las numerosas intrusiones de filonemanto y lacolitos andesíticos (THIELE, 1980). Las rocas de la Formación Abanico se disponen en dos franjas norte sur separadas por los afloramientos de la Formación Farellones.

De acuerdo a diversas dataciones radiométricas y estudios de fauna fósil se le asigna una edad Eoceno Superior – Mioceno (WYSS *ET AL.*, 1994; CHARRIER *ET AL.*, 1996, 2002A; GANA *ET AL.*, 1997; SELLÉS, 1999; FUENTES *ET AL.*, 2000; FUENTES *ET AL.*, 2002).

Se ha propuesto que la franja occidental de la Formación Abanico se encuentra, ya sea en contacto por falla con la Formación lo Valle, o concordante con un hiatus de 35 Ma. (GANA *ET AL.*, 1997; FUENTES *ET AL.*, 2000; FUENTES, 2004). En el sector de Angostura de Paine, los depósitos de la Formación Abanico se disponen en discordancia de erosión sobre las rocas de la Formación Las Chilcas, observándose un hiatus de casi 90Ma (SELLÉS., 2000).

El margen oriental de la Formación Abanico está limitado por depósitos mesozoicos, puestos en contacto principalmente a través de grandes fallas regionales (GODOY *ET AL.*, 1999; BAEZA, 1999; CHARRIER *ET AL.*, 2002A; BUSTAMANTE, 2001). El contacto con la sobreyacente Formación Farellones es transicional y con amplias variaciones tanto norte sur como este oeste, reportándose en diversos sectores tanto discordante como pseudo-concordante (CHARRIER *ET AL.*, 2002A) o concordante o por falla (GODOY *ET AL.*, 1999).

La Formación Abanico es equivalente hacia el sur con la Formación Coya – Machalí definida por KLOHN (1960) (THIELE, 1980; DRAKE *ET AL.*, 1982; CHARRIER *ET AL.*, 2002A). En Argentina ésta formación es equivalente temporal de la Formación Molle, que aflora más al sur (Oligoceno Superior) (SRUOGA *ET AL.*, 2000).

- Formación Farellones (KLOHN, 1960)

Sucesión compuesta de lavas, tobas e ignimbritas con intercalaciones de brechas. Las lavas manifiestan un claro predominio sobre las tobas y brechas, mientras que la alternancia de rocas volcanoclásticas más finas, en tramos de 4 a 5 metros, producen una marcada estratificación en la serie (THIELE, 1980).

Esta formación sobreyace a la Formación Abanico entre los 32°S hasta los 35°S. Según las evidencias más recientes se puede describir como un contacto transicional y con amplias variaciones tanto norte sur como este-oeste, reportándose en diversos sectores como discordante o pseudo-concordante, dependiendo de la reactivación de fallas asociadas a la inversión tectónica de la cuenca de la Formación Abanico (GODOY *ET AL.*, 1999; CHARRIER *ET AL.*, 2002A).

A la Formación Farellones se le asigna una edad Miocena, de acuerdo a las dataciones radiométricas disponibles. En esta formación se incluye a la Formación Colorado – La Parva, definida inicialmente como Pliocena al correlacionarla litoestratigráficamente con riolitas pliocenas de la Localidad de Río Blanco (THIELE, 1980), pero que posteriormente, en base a dataciones K/Ar, BECCAR *ET AL.* (1986) y RIVANO *ET AL.* (1990) la incluyen en la Formación Farellones. El espesor reportado para la Formación Farellones es de 2.500m, aumentado por los numerosos mantos intrusivos y lacolitos del Mioceno Superior – Plioceno que la intruyen. (THIELE, 1980; RIVANO *ET AL.*, 1990).

El techo de esta formación corresponde a la actual superficie de erosión (THIELE, 1980; RIVANO *ET AL.*, 1990). Se correlaciona cronológicamente con las

formaciones Palaoco, Contreras, Conglomerados de Tunuyán y Agua de la Piedra en Argentina (SRUOGA *ET AL.*, 2000; GIAMBIAGI *ET AL.*, 2001).

- Unidad Volcánica Antigua (THIELE Y KATSUI, 1969)

Se incluyen en la Unidad Volcánica Antigua (UVA) a los esqueletos de volcanes extinguidos, formados principalmente de coladas andesíticas y traquiandesíticas (THIELE Y KATSUI, 1969), que afloran principalmente en el área fronteriza, destacando entre ellos el Volcán Tupungato, Cerro Marmolejo y el cordón del Cerro Castillo (THIELE, 1980). El zócalo de la Unidad Volcánica Antigua lo constituyen las formaciones paleozoicas, mesozoicas y cenozoicas expuestas en la vertiente oriental de la Cordillera Principal, y no aparece afectada por fallas de importancia regional, sólo por fallas menores. Aparece sellando todas las estructuras de pliegues y fallas de fines del Mioceno que caracterizan la región. Se le asigna una edad pleistocena (THIELE, 1980).

- Unidad Volcánica Nueva (THIELE Y KATSUI, 1969)

En esta unidad se agrupan los volcanes que presentan manifestaciones históricas de actividad, como el volcán Tupungatito y el volcán San José. Actualmente se reconocen en ellos emanaciones fumarólicas y están superpuestos a la Unidad Volcánica Antigua (THIELE Y KATSUI, 1969). Están formados por coladas andesíticas frescas, con intercalaciones de mantos de brechas y depósitos piroclásticos menores (bombas, lapilli y cenizas), predominantemente oscuras (THIELE, 1980). En términos generales se le asigna una edad holocena (THIELE, 1980).

ROCAS INTRUSIVAS

De manera general, las rocas intrusivas que afloran en el área de estudio se pueden ordenar en franjas norte sur que van disminuyendo su edad hacia el este. De acuerdo a su edad, las rocas intrusivas pueden agruparse de la siguiente forma:

- Intrusivos del Cretácico Inferior

Afloran en la parte más occidental del área de estudio, en el borde oriental de la Cordillera de la Costa. Corresponden a plutones y stocks cuya litología principal son dioritas, granodioritas y tonalitas, que intruyen a las Formaciones Lo Prado y Veta Negra. Dentro de esta unidad se incluyen la Diorita del Portezuelo Los Aromos, Plutón Cordón del Mallarauco (117 – 91 Ma), la Diorita Punta del Viento (114 – 111 Ma) (SELLÉS Y GANA, 2001) y el Plutón Cerro Bandera (ca. 120Ma) (WALL *ET AL.*, 1999).

- Intrusivos del Cretácico Superior

Se pueden dividir en 2 grupos: (a) Plutones y Stocks monzodioríticos, granodioríticos, dioríticos y tonalíticos, los que llegan a ocupar áreas de hasta 100 Km²; (b) Intrusivos Hipoabisales, cuya composición varía de básica a ácida, ocupando áreas desde los 500m² hasta 3 Km². Diversas dataciones radiométricas K/Ar permiten asignarles una edad Albiano Superior – Turoniano Inferior. Intruyen a las Formaciones Las Chilcas y Veta Negra (WALL *ET AL.*, 1999; SELLÉS Y GANA, 2001).

- Intrusivos Hipoabisales del Paleoceno – Eoceno

Stocks basálticos de piroxeno y olivino que intruyen a los intrusivos del Cretácico Medio y a las formaciones Las Chilcas y Lo Valle, y a los Estratos del Cordón de los Ratones. Dataciones K/Ar tanto en roca total como en biotita entregar para estas rocas un rango de edad comprendido entre 64 Ma y 32 Ma, lo cual permite asignarles una edad Paleocena – Eocena (WALL *ET AL.*, 1999; SELLÉS Y GANA, 2001).

- Intrusivos Hipoabisales del Eoceno Superior– Mioceno Inferior

Esta unidad agrupa a stocks, filones mantos, cuellos volcánicos y diques, cuya composición varía desde gabros a andesitas de piroxeno, formando cuerpos de tamaño inferior a 8 Km². Intruyen a las Formaciones Las Chilcas, Lo Valle y Abanico. Dataciones radiométricas permiten asignarle una edad Eoceno Superior – Mioceno Inferior. Gran parte de estos intrusivos pertenecen al “Grupo Volcánico del Oligo-Mioceno” (VERGARA Y DRAKE, 1979A) o a la Unidad Intrusiva II (THIELE, 1980). Su edad y geoquímica son similares a las lavas de la Formación Abanico y es posible que correspondan a sus conductos alimentadores (WALL *ET AL.*, 1999).

- Intrusivos del Mioceno Inferior

Corresponde a plutones cuyo rango de edad varía entre los 20 y 18 Ma. Intruyen a la Formación Abanico y su litología principal corresponde a granodioritas. Destacan el Plutón La Obra (río Maipo frente a la Depresión Central); Plutón San Francisco (parte superior del río San Francisco); y el Plutón del Salto del Soldado (THIELE, 1980; KURTZ *ET AL.*, 1997).

- Intrusivos del Mioceno Medio - Superior

Intrusivos cuyo rango de edad varía entre los 13 y 8 Ma, y que se ubican más al este de la franja de Intrusivos del Mioceno Inferior. Destacan dentro de este grupo el Plutón San Gabriel (unión ríos Volcán, Yeso y Maipo) y Plutón La Gloria (río Colorado). Las litologías principales de esta unidad son granodiorita, monzogranito

y monzonita cuarcífera (THIELE, 1980; CORNEJO Y MAHOOD, 1997; KURTZ *ET AL.*, 1997).

- Intrusivos Pliocenos - Pleistocenos

Se reconocen principalmente en la franja oriental del área de estudio, y dentro de esta unidad se incluyen el Intrusivo Colina (de $3,4 \pm 0,5$ según K/Ar; RAMOS *ET AL.*, 1996) y el intrusivo Los Lunes, que tiene edades de $1,1 \pm 0,4$ Ma (K/Ar en biotita; GODOY Y LARA, 1994), $1,20 \pm 0,19$ Ma y $1,05 \pm 0,02$ Ma ($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en hornblenda y en biotita, respectivamente; BAEZA, 1999). Su litología corresponde tonalitas para el intrusivo Colina y a pórfidos dacíticos de biotita para el caso del Intrusivo Los Lunes (GODOY, 1998; BAEZA, 1999).

ANEXO B: CALCULOS PARA ANÁLISIS DE ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

Tabla B.1: Transformación de los datos estudiados de caudal [m³/s] a escorrentía [m].

AÑO	MES	Mapocho en los Almendros			Arrayán en la Montosa			Ramón en EMOS			Maipo en el Manzano			Colina de Peldehue			Prom. Acum.
		Área [km ²]		620	Área [km ²]		219,00	Área [km ²]		36,08	Área [km ²]		4968,00	Área [km ²]		227,49	
		Q [m ³ /s]	Q [m]	Acum. [m]	Q [m ³ /s]	Q [m]	Acum. [m]	Q [m ³ /s]	Q [m]	Acum. [m]	Q [m ³ /s]	Q [m]	Acum. [m]	Q [m ³ /s]	Q [m]	Acum. [m]	
1991/92	ABR	3,75	0,02	0,02	0,43	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	63,06	0,03	0,03	0,34	0,00	0,00	0,01
	MAY	6,68	0,03	0,04	1,07	0,01	0,02	0,14	0,01	0,01	116,59	0,06	0,09	1,52	0,02	0,02	0,04
	JUN	8,27	0,03	0,08	1,12	0,01	0,03	0,10	0,01	0,02	78,96	0,04	0,13	1,12	0,01	0,03	0,06
	JUL	15,57	0,07	0,14	2,66	0,03	0,06	0,65	0,05	0,06	102,66	0,05	0,19	3,90	0,04	0,08	0,11
	AGO	7,53	0,03	0,17	1,50	0,02	0,08	0,70	0,05	0,11	77,85	0,04	0,23	1,58	0,02	0,10	0,14
	SEP	14,00	0,06	0,23	2,76	0,03	0,11	0,43	0,03	0,15	101,77	0,05	0,28	4,11	0,05	0,14	0,18
	OCT	14,83	0,06	0,30	2,78	0,03	0,15	0,42	0,03	0,18	125,36	0,07	0,35	3,44	0,04	0,18	0,23
	NOV	18,81	0,08	0,37	5,10	0,06	0,21	0,28	0,02	0,20	212,93	0,11	0,46	6,12	0,07	0,25	0,30
	DIC	14,58	0,06	0,43	4,10	0,05	0,25	0,31	0,02	0,22	216,29	0,11	0,57	4,17	0,05	0,30	0,36
	ENE	12,03	0,05	0,49	2,43	0,03	0,28	0,21	0,02	0,23	276,68	0,14	0,72	2,94	0,03	0,33	0,41
	FEB	5,57	0,02	0,51	1,32	0,02	0,30	0,12	0,01	0,24	206,72	0,11	0,82	1,91	0,02	0,35	0,45
MAR	3,87	0,02	0,52	0,91	0,01	0,31	0,10	0,01	0,25	158,42	0,08	0,91	2,24	0,03	0,38	0,47	
1992/93	ABR	2,66	0,01	0,54	0,87	0,01	0,32	0,21	0,02	0,26	94,65	0,05	0,96	1,45	0,02	0,40	0,49
	MAY	3,56	0,01	0,55	1,25	0,01	0,33	0,53	0,04	0,30	80,08	0,04	1,00	1,70	0,02	0,42	0,52
	JUN	5,33	0,02	0,57	2,06	0,02	0,36	0,58	0,04	0,34	79,97	0,04	1,04	2,08	0,02	0,44	0,55
	JUL	5,19	0,02	0,59	1,70	0,02	0,38	2,12	0,15	0,50	71,16	0,04	1,08	1,95	0,02	0,46	0,60
	AGO	6,03	0,03	0,62	1,48	0,02	0,40	0,94	0,07	0,56	68,39	0,04	1,11	1,84	0,02	0,48	0,64
	SEP	9,78	0,04	0,66	1,83	0,02	0,42	0,40	0,03	0,59	80,65	0,04	1,15	2,86	0,03	0,52	0,67
	OCT	14,11	0,06	0,72	3,16	0,04	0,46	0,39	0,03	0,62	132,00	0,07	1,22	4,47	0,05	0,57	0,72
	NOV	13,05	0,05	0,77	4,09	0,05	0,50	0,24	0,02	0,64	196,20	0,10	1,33	4,61	0,05	0,62	0,77
	DIC	10,69	0,04	0,82	2,93	0,03	0,54	0,20	0,01	0,65	233,65	0,12	1,45	2,78	0,03	0,65	0,82
	ENE	8,77	0,04	0,86	1,73	0,02	0,56	0,13	0,01	0,66	256,97	0,13	1,58	2,19	0,02	0,68	0,87
	FEB	5,26	0,02	0,88	1,11	0,01	0,57	0,19	0,01	0,67	192,48	0,10	1,68	1,43	0,02	0,69	0,90

	MAR	3,17	0,01	0,89	0,92	0,01	0,58	0,10	0,01	0,68	117,13	0,06	1,74	0,60	0,01	0,70	0,92
1993/94	ABR	3,46	0,01	0,91	1,13	0,01	0,60	0,06	0,00	0,69	103,37	0,05	1,80	0,91	0,01	0,71	0,94
	MAY	18,46	0,08	0,98	3,18	0,04	0,63	0,58	0,04	0,73	306,63	0,16	1,96	9,37	0,11	0,82	1,02
	JUN	6,87	0,03	1,01	1,74	0,02	0,66	0,48	0,03	0,76	97,74	0,05	2,01	1,15	0,01	0,83	1,05
	JUL	4,93	0,02	1,03	1,37	0,02	0,67	0,44	0,03	0,79	85,12	0,04	2,05	1,14	0,01	0,84	1,08
	AGO	5,10	0,02	1,05	1,15	0,01	0,69	0,39	0,03	0,82	76,40	0,04	2,09	0,96	0,01	0,85	1,10
	SEP	5,44	0,02	1,08	1,22	0,01	0,70	0,26	0,02	0,84	78,51	0,04	2,13	0,97	0,01	0,86	1,12
	OCT	6,45	0,03	1,10	1,84	0,02	0,72	0,10	0,01	0,85	111,02	0,06	2,19	1,52	0,02	0,88	1,15
	NOV	6,72	0,03	1,13	2,34	0,03	0,75	0,12	0,01	0,86	131,57	0,07	2,26	1,71	0,02	0,90	1,18
	DIC	7,20	0,03	1,16	1,85	0,02	0,77	0,03	0,00	0,86	198,61	0,10	2,36	2,09	0,02	0,92	1,22
	ENE	6,19	0,03	1,19	1,12	0,01	0,78	0,06	0,00	0,86	219,68	0,11	2,48	2,74	0,03	0,96	1,25
	FEB	3,56	0,01	1,20	0,82	0,01	0,79	0,09	0,01	0,87	142,12	0,07	2,55	0,97	0,01	0,97	1,28
		MAR	2,62	0,01	1,21	0,69	0,01	0,80	0,19	0,01	0,88	96,07	0,05	2,60	0,39	0,00	0,97
1994/95	ABR	1,97	0,01	1,22	0,69	0,01	0,81	0,14	0,01	0,89	69,52	0,04	2,64	0,46	0,01	0,98	1,31
	MAY	1,45	0,01	1,23	0,72	0,01	0,82	0,33	0,02	0,92	60,74	0,03	2,67	0,49	0,01	0,98	1,32
	JUN	1,46	0,01	1,23	0,70	0,01	0,83	0,29	0,02	0,94	60,16	0,03	2,70	0,51	0,01	0,99	1,34
	JUL	3,51	0,01	1,25	1,00	0,01	0,84	0,29	0,02	0,96	76,35	0,04	2,74	0,95	0,01	1,00	1,36
	AGO	4,36	0,02	1,27	1,08	0,01	0,85	0,16	0,01	0,97	75,81	0,04	2,78	1,02	0,01	1,01	1,38
	SEP	5,34	0,02	1,29	1,33	0,02	0,87	0,22	0,02	0,99	82,01	0,04	2,82	1,47	0,02	1,03	1,40
	OCT	6,25	0,03	1,31	1,81	0,02	0,89	0,56	0,04	1,03	98,01	0,05	2,87	2,01	0,02	1,05	1,43
	NOV	7,12	0,03	1,34	2,83	0,03	0,92	0,15	0,01	1,04	161,30	0,08	2,96	2,83	0,03	1,08	1,47
	DIC	6,45	0,03	1,37	1,66	0,02	0,94	0,20	0,01	1,05	261,13	0,14	3,10	1,08	0,01	1,09	1,51
	ENE	5,26	0,02	1,39	0,95	0,01	0,95	0,09	0,01	1,06	184,16	0,10	3,19	0,64	0,01	1,10	1,54
	FEB	3,11	0,01	1,41	0,71	0,01	0,96	0,12	0,01	1,07	127,79	0,07	3,26	0,52	0,01	1,11	1,56
		MAR	2,14	0,01	1,42	0,59	0,01	0,97	0,10	0,01	1,07	97,84	0,05	3,31	0,47	0,01	1,11
1995/96	ABR	1,84	0,01	1,42	0,59	0,01	0,98	0,08	0,01	1,08	75,61	0,04	3,35	0,45	0,01	1,12	1,59
	MAY	1,58	0,01	1,43	0,62	0,01	0,98	0,22	0,02	1,09	60,33	0,03	3,38	0,37	0,00	1,12	1,60
	JUN	2,30	0,01	1,44	0,67	0,01	0,99	0,00	0,00	1,09	61,20	0,03	3,41	0,43	0,00	1,13	1,61

	JUL	2,20	0,01	1,45	0,59	0,01	1,00	0,00	0,00	1,09	55,40	0,03	3,44	0,44	0,01	1,13	1,62
	AGO	2,72	0,01	1,46	0,61	0,01	1,00	0,03	0,00	1,10	57,36	0,03	3,47	0,40	0,00	1,14	1,63
	SEP	4,76	0,02	1,48	0,92	0,01	1,02	0,37	0,03	1,12	77,88	0,04	3,51	0,93	0,01	1,15	1,66
	OCT	4,77	0,02	1,50	1,16	0,01	1,03	0,04	0,00	1,13	90,54	0,05	3,56	1,02	0,01	1,16	1,67
	NOV	5,73	0,02	1,52	1,50	0,02	1,05	0,02	0,00	1,13	168,20	0,09	3,65	1,57	0,02	1,18	1,70
	DIC	4,47	0,02	1,54	0,84	0,01	1,06	0,01	0,00	1,13	198,58	0,10	3,75	0,59	0,01	1,18	1,73
	ENE	2,85	0,01	1,55	0,55	0,01	1,06	0,02	0,00	1,13	128,18	0,07	3,82	1,25	0,01	1,20	1,75
	FEB	2,05	0,01	1,56	0,42	0,00	1,07	0,10	0,01	1,14	111,63	0,06	3,88	0,28	0,00	1,20	1,77
	MAR	1,67	0,01	1,57	0,44	0,01	1,07	0,04	0,00	1,14	96,84	0,05	3,93	0,31	0,00	1,21	1,78
1996/97	ABR	1,21	0,01	1,57	0,51	0,01	1,08	0,06	0,00	1,14	69,49	0,04	3,96	0,39	0,00	1,21	1,79
	MAY	0,70	0,00	1,58	0,47	0,01	1,09	0,00	0,00	1,14	49,96	0,03	3,99	0,22	0,00	1,21	1,80
	JUN	0,64	0,00	1,58	0,41	0,00	1,09	0,01	0,00	1,15	42,75	0,02	4,01	0,24	0,00	1,21	1,81
	JUL	0,70	0,00	1,58	0,45	0,01	1,10	0,00	0,00	1,15	41,36	0,02	4,03	0,32	0,00	1,22	1,81
	AGO	0,81	0,00	1,59	0,35	0,00	1,10	0,00	0,00	1,15	38,60	0,02	4,05	0,32	0,00	1,22	1,82
	SEP	0,80	0,00	1,59	0,36	0,00	1,10	0,00	0,00	1,15	38,16	0,02	4,07	0,33	0,00	1,23	1,83
	OCT	1,35	0,01	1,60	0,44	0,01	1,11	0,00	0,00	1,15	47,04	0,02	4,10	0,32	0,00	1,23	1,84
	NOV	1,46	0,01	1,60	0,39	0,00	1,11	0,00	0,00	1,15	51,92	0,03	4,12	0,26	0,00	1,23	1,84
	DIC	1,66	0,01	1,61	0,28	0,00	1,12	0,00	0,00	1,15	58,74	0,03	4,15	0,20	0,00	1,23	1,85
	ENE	2,32	0,01	1,62	0,27	0,00	1,12	0,00	0,00	1,15	81,81	0,04	4,20	0,16	0,00	1,24	1,86
	FEB	1,71	0,01	1,63	0,27	0,00	1,12	0,00	0,00	1,15	75,88	0,04	4,24	0,19	0,00	1,24	1,87
MAR	1,44	0,01	1,63	0,30	0,00	1,13	0,02	0,00	1,15	61,77	0,03	4,27	0,32	0,00	1,24	1,88	
1997/98	ABR	0,96	0,00	1,64	0,28	0,00	1,13	0,01	0,00	1,15	43,58	0,02	4,29	0,33	0,00	1,25	1,89
	MAY	1,36	0,01	1,64	0,35	0,00	1,13	0,05	0,00	1,15	33,86	0,02	4,31	0,69	0,01	1,25	1,90
	JUN	12,47	0,05	1,69	2,28	0,03	1,16	0,84	0,06	1,21	65,40	0,03	4,34	5,76	0,07	1,32	1,95
	JUL	6,21	0,03	1,72	1,47	0,02	1,18	0,43	0,03	1,24	61,16	0,03	4,38	2,13	0,02	1,34	1,97
	AGO	10,41	0,04	1,76	2,44	0,03	1,21	0,78	0,06	1,30	80,05	0,04	4,42	4,68	0,05	1,40	2,02
	SEP	16,96	0,07	1,83	3,39	0,04	1,25	0,78	0,06	1,35	119,24	0,06	4,48	6,49	0,07	1,47	2,08
	OCT	17,75	0,07	1,91	3,35	0,04	1,29	1,02	0,07	1,43	114,45	0,06	4,54	4,93	0,06	1,53	2,14

	NOV	22,07	0,09	2,00	5,32	0,06	1,35	0,68	0,05	1,48	208,63	0,11	4,65	8,60	0,10	1,63	2,22
	DIC	19,74	0,08	2,08	7,79	0,09	1,44	1,83	0,13	1,61	335,45	0,18	4,82	8,37	0,10	1,72	2,34
	ENE	13,33	0,06	2,14	5,16	0,06	1,50	1,72	0,12	1,73	413,81	0,22	5,04	3,95	0,05	1,77	2,44
	FEB	6,21	0,03	2,16	2,48	0,03	1,53	1,59	0,11	1,85	207,29	0,11	5,15	1,95	0,02	1,79	2,50
	MAR	3,75	0,02	2,18	0,92	0,01	1,54	1,65	0,12	1,96	136,23	0,07	5,22	1,32	0,02	1,80	2,54
1998/99	ABR	2,81	0,01	2,19	1,06	0,01	1,56	0,68	0,05	2,01	102,72	0,05	5,27	1,07	0,01	1,82	2,57
	MAY	2,10	0,01	2,20	1,03	0,01	1,57	0,13	0,01	2,02	72,36	0,04	5,31	0,74	0,01	1,82	2,58
	JUN	1,68	0,01	2,21	1,03	0,01	1,58	0,31	0,02	2,04	60,39	0,03	5,34	0,72	0,01	1,83	2,60
	JUL	1,30	0,01	2,21	0,82	0,01	1,59	0,22	0,02	2,06	50,40	0,03	5,37	0,54	0,01	1,84	2,61
	AGO	0,92	0,00	2,22	0,70	0,01	1,60	0,27	0,02	2,08	44,75	0,02	5,39	0,43	0,00	1,84	2,63
	SEP	0,81	0,00	2,22	0,68	0,01	1,61	0,29	0,02	2,10	39,12	0,02	5,41	0,36	0,00	1,85	2,64
	OCT	1,24	0,01	2,23	0,51	0,01	1,61	0,28	0,02	2,12	61,01	0,03	5,44	0,42	0,00	1,85	2,65
	NOV	1,58	0,01	2,23	0,62	0,01	1,62	0,32	0,02	2,14	83,73	0,04	5,49	0,35	0,00	1,86	2,67
	DIC	2,76	0,01	2,24	0,45	0,01	1,63	0,31	0,02	2,17	105,80	0,06	5,54	0,35	0,00	1,86	2,69
	ENE	2,60	0,01	2,25	0,45	0,01	1,63	0,22	0,02	2,18	99,75	0,05	5,59	0,29	0,00	1,86	2,70
	FEB	2,58	0,01	2,27	0,66	0,01	1,64	0,18	0,01	2,19	89,49	0,05	5,64	0,25	0,00	1,87	2,72
MAR	1,54	0,01	2,27	0,59	0,01	1,65	0,20	0,01	2,21	61,88	0,03	5,67	0,25	0,00	1,87	2,73	
1999/00	ABR	1,07	0,00	2,28	0,65	0,01	1,65	0,25	0,02	2,23	41,95	0,02	5,69	0,30	0,00	1,87	2,74
	MAY	0,77	0,00	2,28	0,46	0,01	1,66	0,11	0,01	2,23	41,67	0,02	5,72	0,23	0,00	1,87	2,75
	JUN	0,70	0,00	2,28	0,27	0,00	1,66	0,12	0,01	2,24	38,04	0,02	5,74	0,32	0,00	1,88	2,76
	JUL	1,04	0,00	2,29	0,28	0,00	1,67	0,14	0,01	2,25	37,76	0,02	5,76	0,24	0,00	1,88	2,77
	AGO	1,65	0,01	2,29	0,74	0,01	1,67	0,19	0,01	2,27	40,72	0,02	5,78	0,32	0,00	1,88	2,78
	SEP	8,57	0,04	2,33	1,45	0,02	1,69	1,46	0,10	2,37	60,79	0,03	5,81	1,28	0,01	1,90	2,82
	OCT	6,94	0,03	2,36	2,14	0,03	1,72	1,52	0,11	2,48	86,82	0,05	5,85	2,07	0,02	1,92	2,87
	NOV	7,48	0,03	2,39	2,47	0,03	1,75	0,35	0,03	2,51	138,48	0,07	5,93	2,09	0,02	1,95	2,90
	DIC	5,69	0,02	2,41	1,31	0,02	1,76	0,27	0,02	2,53	144,84	0,08	6,00	1,32	0,02	1,96	2,93
	ENE	4,16	0,02	2,43	1,09	0,01	1,77	0,26	0,02	2,54	133,77	0,07	6,07	0,48	0,01	1,97	2,96
FEB	2,63	0,01	2,44	0,90	0,01	1,79	0,21	0,02	2,56	100,18	0,05	6,12	0,31	0,00	1,97	2,98	

	MAR	1,58	0,01	2,45	0,75	0,01	1,79	0,14	0,01	2,57	71,62	0,04	6,16	0,31	0,00	1,97	2,99
2000/01	ABR	0,77	0,00	2,45	0,77	0,01	1,80	0,89	0,06	2,63	55,33	0,03	6,19	0,48	0,01	1,98	3,01
	MAY	1,02	0,00	2,46	0,66	0,01	1,81	0,62	0,04	2,68	52,15	0,03	6,22	0,32	0,00	1,98	3,03
	JUN	5,15	0,02	2,48	1,72	0,02	1,83	2,40	0,17	2,85	81,89	0,04	6,26	4,39	0,05	2,03	3,09
	JUL	9,25	0,04	2,52	2,07	0,02	1,86	1,71	0,12	2,97	76,86	0,04	6,30	2,69	0,03	2,06	3,14
	AGO	8,29	0,03	2,55	1,23	0,01	1,87	0,04	0,00	2,98	69,04	0,04	6,34	2,17	0,02	2,09	3,16
	SEP	10,63	0,04	2,60	1,65	0,02	1,89	0,06	0,00	2,98	73,35	0,04	6,37	2,99	0,03	2,12	3,19
	OCT	18,72	0,08	2,67	3,50	0,04	1,93	0,05	0,00	2,98	135,88	0,07	6,45	5,09	0,06	2,18	3,24
	NOV	14,39	0,06	2,73	4,56	0,05	1,99	0,04	0,00	2,99	184,73	0,10	6,54	4,53	0,05	2,23	3,30
	DIC	15,07	0,06	2,80	5,07	0,06	2,05	0,05	0,00	2,99	358,58	0,19	6,73	4,12	0,05	2,28	3,37
	ENE	7,18	0,03	2,83	1,83	0,02	2,07	0,03	0,00	2,99	299,81	0,16	6,89	2,03	0,02	2,30	3,41
	FEB	3,75	0,02	2,84	1,08	0,01	2,08	0,03	0,00	2,99	230,68	0,12	7,01	1,07	0,01	2,31	3,45
		MAR	1,20	0,01	2,85	0,72	0,01	2,09	0,03	0,00	3,00	129,35	0,07	7,07	0,54	0,01	2,32
2001/02	ABR	1,07	0,00	2,85	0,33	0,00	2,09	0,03	0,00	3,00	89,25	0,05	7,12	0,72	0,01	2,33	3,48
	MAY	2,33	0,01	2,86	0,62	0,01	2,10	0,03	0,00	3,00	73,37	0,04	7,16	0,75	0,01	2,34	3,49
	JUN	2,06	0,01	2,87	0,60	0,01	2,11	0,03	0,00	3,00	61,47	0,03	7,19	0,64	0,01	2,34	3,50
	JUL	8,85	0,04	2,91	1,28	0,02	2,12	0,03	0,00	3,01	80,60	0,04	7,23	1,20	0,01	2,36	3,52
	AGO	15,05	0,06	2,97	1,53	0,02	2,14	2,40	0,17	3,18	89,38	0,05	7,28	1,66	0,02	2,38	3,59
	SEP	10,04	0,04	3,01	1,40	0,02	2,16	1,23	0,09	3,27	83,48	0,04	7,32	1,63	0,02	2,40	3,63
	OCT	13,33	0,06	3,07	2,46	0,03	2,19	1,10	0,08	3,35	134,04	0,07	7,39	2,62	0,03	2,43	3,68
	NOV	11,16	0,05	3,11	3,57	0,04	2,23	0,48	0,03	3,38	180,40	0,09	7,49	2,33	0,03	2,45	3,73
	DIC	11,71	0,05	3,16	3,45	0,04	2,27	0,39	0,03	3,41	331,03	0,17	7,66	1,65	0,02	2,47	3,79
	ENE	5,05	0,02	3,18	1,17	0,01	2,28	0,37	0,03	3,43	215,39	0,11	7,77	2,23	0,03	2,50	3,83
	FEB	3,22	0,01	3,20	0,87	0,01	2,29	0,36	0,03	3,46	149,21	0,08	7,85	1,21	0,01	2,51	3,86
		MAR	1,99	0,01	3,21	0,78	0,01	2,30	0,35	0,03	3,49	105,76	0,06	7,90	0,91	0,01	2,52
2002/03	ABR	1,47	0,01	3,21	0,80	0,01	2,31	0,36	0,03	3,51	73,43	0,04	7,94	0,48	0,01	2,53	3,90
	MAY	4,70	0,02	3,23	1,33	0,02	2,33	0,37	0,03	3,54	62,81	0,03	7,98	1,10	0,01	2,54	3,92
	JUN	12,35	0,05	3,28	3,22	0,04	2,37	0,23	0,02	3,55	81,60	0,04	8,02	6,19	0,07	2,61	3,97

	JUL	8,47	0,04	3,32	1,13	0,01	2,38	0,57	0,04	3,60	65,82	0,03	8,05	3,39	0,04	2,65	4,00
	AGO	16,92	0,07	3,39	2,96	0,04	2,41	1,45	0,10	3,70	103,64	0,05	8,11	8,06	0,09	2,74	4,07
	SEP	15,20	0,06	3,45	2,13	0,03	2,44	0,71	0,05	3,75	108,49	0,06	8,16	6,19	0,07	2,81	4,12
	OCT	19,89	0,08	3,54	3,17	0,04	2,48	0,58	0,04	3,79	145,29	0,08	8,24	7,75	0,09	2,90	4,19
	NOV	24,61	0,10	3,64	5,46	0,06	2,54	0,54	0,04	3,83	243,23	0,13	8,37	9,40	0,11	3,01	4,28
	DIC	20,37	0,09	3,72	5,11	0,06	2,60	0,24	0,02	3,85	348,65	0,18	8,55	6,86	0,08	3,08	4,36
	ENE	14,94	0,06	3,79	3,21	0,04	2,64	0,10	0,01	3,86	371,65	0,19	8,74	3,98	0,05	3,13	4,43
	FEB	9,28	0,04	3,83	1,99	0,02	2,66	0,04	0,00	3,86	259,96	0,14	8,88	1,98	0,02	3,15	4,48
	MAR	5,74	0,02	3,85	1,26	0,01	2,68	0,03	0,00	3,86	181,94	0,09	8,97	1,34	0,02	3,17	4,51
2003/04	ABR	3,93	0,02	3,87	1,48	0,02	2,70	0,02	0,00	3,86	106,64	0,06	9,03	1,19	0,01	3,18	4,53
	MAY	3,08	0,01	3,88	0,96	0,01	2,71	0,04	0,00	3,86	72,73	0,04	9,07	1,23	0,01	3,19	4,54
	JUN	3,52	0,01	3,89	1,14	0,01	2,72	0,06	0,00	3,87	73,46	0,04	9,10	1,33	0,02	3,21	4,56
	JUL	3,64	0,02	3,91	1,06	0,01	2,73	0,10	0,01	3,88	71,29	0,04	9,14	1,45	0,02	3,23	4,58
	AGO	3,41	0,01	3,92	0,67	0,01	2,74	0,13	0,01	3,89	58,61	0,03	9,17	1,40	0,02	3,24	4,59
	SEP	3,87	0,02	3,94	0,67	0,01	2,75	0,07	0,01	3,89	69,57	0,04	9,21	1,49	0,02	3,26	4,61
	OCT	5,78	0,02	3,96	1,48	0,02	2,77	0,03	0,00	3,89	106,21	0,06	9,26	2,57	0,03	3,29	4,63
	NOV	5,78	0,02	3,99	2,10	0,02	2,79	0,06	0,00	3,90	150,80	0,08	9,34	2,15	0,02	3,31	4,67
	DIC	4,65	0,02	4,01	1,12	0,01	2,80	0,02	0,00	3,90	150,65	0,08	9,42	0,98	0,01	3,32	4,69
	ENE	4,01	0,02	4,02	0,70	0,01	2,81	0,01	0,00	3,90	182,13	0,10	9,52	0,90	0,01	3,33	4,72
	FEB	2,89	0,01	4,04	0,60	0,01	2,82	0,02	0,00	3,90	129,79	0,07	9,58	0,77	0,01	3,34	4,74
MAR	1,85	0,01	4,04	0,55	0,01	2,83	0,03	0,00	3,90	92,72	0,05	9,63	0,71	0,01	3,35	4,75	
2004/05	ABR	1,58	0,01	4,05	0,57	0,01	2,83	0,05	0,00	3,91	71,52	0,04	9,67	0,44	0,01	3,36	4,76
	MAY	1,44	0,01	4,06	0,37	0,00	2,84	0,03	0,00	3,91	53,10	0,03	9,70	1,10	0,01	3,37	4,77
	JUN	1,49	0,01	4,06	0,53	0,01	2,84	0,03	0,00	3,91	52,54	0,03	9,72	1,43	0,02	3,39	4,79
	JUL	1,55	0,01	4,07	0,66	0,01	2,85	0,03	0,00	3,91	51,64	0,03	9,75	1,45	0,02	3,40	4,80
	AGO	3,14	0,01	4,08	0,81	0,01	2,86	0,12	0,01	3,92	47,02	0,02	9,78	3,05	0,03	3,44	4,82
	SEP	5,77	0,02	4,11	1,04	0,01	2,87	0,06	0,00	3,93	63,92	0,03	9,81	6,18	0,07	3,51	4,84
	OCT	4,18	0,02	4,12	1,12	0,01	2,89	0,02	0,00	3,93	71,89	0,04	9,85	2,05	0,02	3,53	4,86

	NOV	8,43	0,04	4,16	1,85	0,02	2,91	0,11	0,01	3,94	104,00	0,05	9,90	3,85	0,04	3,57	4,90
	DIC	5,31	0,02	4,18	1,35	0,02	2,92	0,47	0,03	3,97	140,68	0,07	9,97	1,99	0,02	3,60	4,93
	ENE	3,64	0,02	4,20	0,89	0,01	2,94	0,39	0,03	4,00	136,85	0,07	10,05	1,41	0,02	3,61	4,96
	FEB	2,95	0,01	4,21	0,74	0,01	2,94	0,19	0,01	4,01	99,46	0,05	10,10	1,48	0,02	3,63	4,98
	MAR	2,42	0,01	4,22	0,83	0,01	2,95	0,01	0,00	4,01	76,24	0,04	10,14	1,65	0,02	3,65	4,99
2005/06	ABR	1,63	0,01	4,23	0,84	0,01	2,96	0,03	0,00	4,01	54,74	0,03	10,17	1,47	0,02	3,67	5,01
	MAY	2,08	0,01	4,23	0,87	0,01	2,97	0,04	0,00	4,02	50,81	0,03	10,19	1,83	0,02	3,69	5,02
	JUN	10,79	0,05	4,28	2,08	0,02	3,00	0,38	0,03	4,04	95,22	0,05	10,24	4,94	0,06	3,74	5,06
	JUL	5,58	0,02	4,30	1,03	0,01	3,01	0,26	0,02	4,06	86,92	0,05	10,29	2,04	0,02	3,77	5,09
	AGO	14,06	0,06	4,36	1,98	0,02	3,03	0,70	0,05	4,11	115,62	0,06	10,35	4,17	0,05	3,81	5,13
	SEP	12,29	0,05	4,41	2,43	0,03	3,06	0,78	0,06	4,17	116,50	0,06	10,41	2,71	0,03	3,84	5,18
	OCT	16,35	0,07	4,48	2,82	0,03	3,10	0,57	0,04	4,21	150,06	0,08	10,49	3,65	0,04	3,89	5,23
	NOV	22,97	0,10	4,58	5,39	0,06	3,16	0,50	0,04	4,25	254,77	0,13	10,62	6,94	0,08	3,96	5,31
	DIC	18,37	0,08	4,65	4,86	0,06	3,22	0,35	0,03	4,27	393,68	0,21	10,83	6,08	0,07	4,03	5,40
	ENE	10,11	0,04	4,70	2,79	0,03	3,25	0,33	0,02	4,29	457,58	0,24	11,06	3,21	0,04	4,07	5,48
	FEB	5,56	0,02	4,72	1,38	0,02	3,27	0,31	0,02	4,32	306,14	0,16	11,22	1,81	0,02	4,09	5,52
MAR	3,47	0,01	4,73	1,06	0,01	3,28	0,31	0,02	4,34	166,35	0,09	11,31	1,10	0,01	4,10	5,55	
2006/07	ABR	2,51	0,01	4,74	1,00	0,01	3,29	0,32	0,02	4,36	109,30	0,06	11,37	0,86	0,01	4,11	5,58
	MAY	2,15	0,01	4,75	0,99	0,01	3,30	0,32	0,02	4,38	73,77	0,04	11,41	0,94	0,01	4,12	5,59
	JUN	2,39	0,01	4,76	1,00	0,01	3,31	1,25	0,09	4,47	64,72	0,03	11,44	0,90	0,01	4,13	5,63
	JUL	10,79	0,05	4,81	2,38	0,03	3,34	0,46	0,03	4,51	113,43	0,06	11,50	2,80	0,03	4,17	5,66
	AGO	5,97	0,02	4,83	1,22	0,01	3,36	0,31	0,02	4,53	79,81	0,04	11,54	2,51	0,03	4,19	5,69
	SEP	6,69	0,03	4,86	1,15	0,01	3,37	0,14	0,01	4,54	85,20	0,04	11,58	2,52	0,03	4,22	5,72
	OCT	9,49	0,04	4,90	2,47	0,03	3,40	0,25	0,02	4,56	139,39	0,07	11,66	3,71	0,04	4,27	5,76
	NOV	12,17	0,05	4,95	4,31	0,05	3,45	0,25	0,02	4,58	220,00	0,11	11,77	3,71	0,04	4,31	5,81
	DIC	9,21	0,04	4,99	3,34	0,04	3,49	0,26	0,02	4,59	252,52	0,13	11,90	2,09	0,02	4,33	5,86
	ENE	5,33	0,02	5,01	1,63	0,02	3,51	0,19	0,01	4,61	180,93	0,09	12,00	1,74	0,02	4,35	5,90
FEB	3,07	0,01	5,03	1,00	0,01	3,52	0,12	0,01	4,62	138,37	0,07	12,07	1,39	0,02	4,37	5,92	

	MAR	2,54	0,01	5,04	0,85	0,01	3,53	0,02	0,00	4,62	107,82	0,06	12,13	0,97	0,01	4,38	5,94
2007/08	ABR	2,13	0,01	5,05	0,93	0,01	3,54	0,02	0,00	4,62	70,15	0,04	12,16	0,87	0,01	4,39	5,95
	MAY	1,93	0,01	5,05	0,90	0,01	3,55	0,02	0,00	4,62	59,74	0,03	12,19	0,86	0,01	4,40	5,96
	JUN	2,31	0,01	5,06	0,86	0,01	3,56	0,03	0,00	4,62	57,92	0,03	12,22	0,92	0,01	4,41	5,98
	JUL	2,90	0,01	5,08	0,79	0,01	3,57	0,04	0,00	4,63	58,26	0,03	12,26	0,77	0,01	4,42	5,99
	AGO	2,52	0,01	5,09	1,09	0,01	3,59	0,03	0,00	4,63	54,03	0,03	12,28	1,23	0,01	4,43	6,00
	SEP	4,61	0,02	5,11	1,10	0,01	3,60	0,04	0,00	4,63	61,24	0,03	12,32	1,63	0,02	4,45	6,02
	OCT	6,55	0,03	5,13	1,35	0,02	3,62	0,01	0,00	4,63	95,90	0,05	12,37	2,15	0,02	4,47	6,04
	NOV	5,38	0,02	5,16	1,67	0,02	3,63	0,01	0,00	4,63	121,91	0,06	12,43	2,19	0,02	4,50	6,07
	DIC	3,97	0,02	5,17	1,22	0,01	3,65	0,01	0,00	4,63	126,76	0,07	12,50	1,40	0,02	4,52	6,09
	ENE	3,35	0,01	5,19	0,84	0,01	3,66	0,02	0,00	4,63	125,16	0,07	12,56	2,50	0,03	4,54	6,12
	FEB	2,57	0,01	5,20	0,75	0,01	3,67	0,02	0,00	4,64	97,98	0,05	12,61	2,94	0,03	4,58	6,14
		MAR	2,63	0,01	5,21	0,80	0,01	3,68	0,03	0,00	4,64	70,30	0,04	12,65	1,08	0,01	4,59
2008/09	ABR	2,03	0,01	5,22	0,78	0,01	3,69	0,01	0,00	4,64	57,69	0,03	12,68	0,59	0,01	4,60	6,16
	MAY	8,95	0,04	5,25	1,84	0,02	3,71	0,19	0,01	4,65	94,36	0,05	12,73	0,71	0,01	4,60	6,19
	JUN	10,77	0,05	5,30	2,09	0,02	3,73	0,25	0,02	4,67	92,52	0,05	12,78	3,29	0,04	4,64	6,22
	JUL	3,62	0,02	5,31	1,05	0,01	3,75	0,00	0,00	4,67	61,86	0,03	12,81	2,98	0,03	4,68	6,24
	AGO	8,80	0,04	5,35	2,15	0,03	3,77	0,14	0,01	4,68	80,05	0,04	12,85	3,19	0,04	4,71	6,27
	SEP	10,14	0,04	5,39	1,66	0,02	3,79	0,17	0,01	4,69	80,79	0,04	12,89	2,44	0,03	4,74	6,30
	OCT	13,98	0,06	5,45	2,54	0,03	3,82	0,08	0,01	4,70	116,48	0,06	12,95	3,87	0,04	4,78	6,34
	NOV	16,96	0,07	5,52	4,84	0,06	3,88	0,04	0,00	4,70	250,47	0,13	13,08	5,55	0,06	4,85	6,41
	DIC	10,33	0,04	5,57	2,76	0,03	3,91	0,05	0,00	4,70	284,97	0,15	13,23	2,91	0,03	4,88	6,46
	ENE	5,94	0,02	5,59	1,38	0,02	3,93	0,03	0,00	4,71	197,81	0,10	13,34	1,60	0,02	4,90	6,49
	FEB	2,98	0,01	5,60	1,13	0,01	3,94	0,03	0,00	4,71	145,07	0,08	13,41	1,21	0,01	4,91	6,52
		MAR	2,27	0,01	5,61	1,08	0,01	3,95	0,04	0,00	4,71	107,91	0,06	13,47	0,94	0,01	4,92
2009/10	ABR	1,86	0,01	5,62	0,90	0,01	3,96	0,04	0,00	4,71	79,90	0,04	13,51	0,71	0,01	4,93	6,55
	MAY	1,95	0,01	5,63	0,84	0,01	3,97	0,16	0,01	4,73	60,54	0,03	13,54	0,68	0,01	4,94	6,56
	JUN	1,97	0,01	5,64	0,86	0,01	3,98	0,16	0,01	4,74	57,00	0,03	13,57	0,77	0,01	4,95	6,58

	JUL	2,38	0,01	5,65	0,83	0,01	3,99	0,09	0,01	4,74	54,43	0,03	13,60	0,87	0,01	4,96	6,59
	AGO	4,28	0,02	5,66	0,87	0,01	4,00	0,39	0,03	4,77	63,81	0,03	13,63	1,40	0,02	4,97	6,61
	SEP	14,20	0,06	5,72	1,65	0,02	4,02	0,29	0,02	4,79	84,76	0,04	13,68	2,07	0,02	5,00	6,64
	OCT	11,77	0,05	5,77	1,53	0,02	4,04	0,10	0,01	4,80	83,80	0,04	13,72	2,11	0,02	5,02	6,67
	NOV	10,56	0,04	5,82	2,29	0,03	4,07	0,03	0,00	4,80	121,88	0,06	13,78	3,03	0,03	5,06	6,71
	DIC	9,12	0,04	5,85	2,35	0,03	4,10	0,03	0,00	4,81	200,90	0,10	13,89	2,13	0,02	5,08	6,75
	ENE	4,16	0,02	5,87	1,26	0,01	4,11	0,04	0,00	4,81	196,61	0,10	13,99	0,67	0,01	5,09	6,77
	FEB	4,23	0,02	5,89	1,08	0,01	4,12	0,03	0,00	4,81	149,21	0,08	14,07	1,87	0,02	5,11	6,80
	MAR	3,30	0,01	5,90	1,16	0,01	4,14	0,03	0,00	4,81	118,03	0,06	14,13	0,95	0,01	5,12	6,82
2010/11	ABR	2,53	0,01	5,91	1,06	0,01	4,15	0,02	0,00	4,81	81,57	0,04	14,17	0,57	0,01	5,13	6,84
	MAY	2,31	0,01	5,92	1,05	0,01	4,16	0,09	0,01	4,82	62,71	0,03	14,21	0,48	0,01	5,13	6,85
	JUN	2,62	0,01	5,93	1,07	0,01	4,18	0,08	0,01	4,83	59,83	0,03	14,24	0,62	0,01	5,14	6,86
	JUL	2,80	0,01	5,95	1,11	0,01	4,19	0,07	0,01	4,83	50,71	0,03	14,26	0,54	0,01	5,15	6,88
	AGO	3,41	0,01	5,96	1,08	0,01	4,20	0,07	0,01	4,84	52,10	0,03	14,29	0,46	0,01	5,15	6,89
	SEP	4,33	0,02	5,98	1,09	0,01	4,21	0,07	0,01	4,84	81,69	0,04	14,33	0,44	0,01	5,16	6,90
	OCT	4,90	0,02	6,00	1,25	0,01	4,23	0,06	0,00	4,85	93,68	0,05	14,38	1,06	0,01	5,17	6,92
	NOV	6,03	0,03	6,02	1,62	0,02	4,25	0,11	0,01	4,85	121,42	0,06	14,45	1,26	0,01	5,18	6,95
	DIC	3,62	0,02	6,04	1,16	0,01	4,26	0,05	0,00	4,86	86,94	0,05	14,49	0,83	0,01	5,19	6,97
	ENE	2,74	0,01	6,05	0,91	0,01	4,27	0,06	0,00	4,86	68,20	0,04	14,53	0,63	0,01	5,20	6,98
	FEB	2,15	0,01	6,06	0,76	0,01	4,28	0,07	0,01	4,87	56,96	0,03	14,56	0,57	0,01	5,21	6,99
	MAR	1,44	0,01	6,07	0,70	0,01	4,29	0,05	0,00	4,87	52,46	0,03	14,58	0,54	0,01	5,21	7,00
2011/12	ABR	1,45	0,01	6,07	0,70	0,01	4,30	0,05	0,00	4,87	52,46	0,03	14,61	0,48	0,01	5,22	7,01
	MAY	1,12	0,00	6,08	0,69	0,01	4,31	0,04	0,00	4,88	51,71	0,03	14,64	0,52	0,01	5,22	7,02
	JUN	1,20	0,01	6,08	0,67	0,01	4,31	0,06	0,00	4,88	50,21	0,03	14,66	0,52	0,01	5,23	7,03
	JUL	1,37	0,01	6,09	0,66	0,01	4,32	0,07	0,01	4,89	49,47	0,03	14,69	0,52	0,01	5,23	7,04
	AGO	1,77	0,01	6,10	0,64	0,01	4,33	0,07	0,01	4,89	47,97	0,03	14,71	0,50	0,01	5,24	7,05
	SEP	4,24	0,02	6,11	0,90	0,01	4,34	0,04	0,00	4,89	67,45	0,04	14,75	0,50	0,01	5,25	7,07
	OCT	4,41	0,02	6,13	1,17	0,01	4,35	0,03	0,00	4,90	65,90	0,03	14,78	0,94	0,01	5,26	7,08

	NOV	3,66	0,02	6,15	0,93	0,01	4,37	0,02	0,00	4,90	87,09	0,05	14,83	1,27	0,01	5,27	7,10
	DIC	3,87	0,02	6,16	0,98	0,01	4,38	0,02	0,00	4,90	97,24	0,05	14,88	0,56	0,01	5,28	7,12
	ENE	3,61	0,02	6,18	0,43	0,01	4,38	0,03	0,00	4,90	81,73	0,04	14,92	0,35	0,00	5,28	7,13
	FEB	3,10	0,01	6,19	0,56	0,01	4,39	0,02	0,00	4,90	80,81	0,04	14,97	0,32	0,00	5,29	7,15
	MAR	2,22	0,01	6,20	0,52	0,01	4,40	0,03	0,00	4,90	73,61	0,04	15,00	0,31	0,00	5,29	7,16
2012/13	ABR	1,49	0,01	6,21	0,51	0,01	4,40	0,06	0,00	4,91	55,18	0,03	15,03	0,38	0,00	5,29	7,17
	MAY	1,61	0,01	6,21	0,89	0,01	4,41	0,06	0,00	4,91	53,64	0,03	15,06	1,30	0,01	5,31	7,18
	JUN	2,48	0,01	6,22	0,63	0,01	4,42	0,03	0,00	4,92	47,22	0,02	15,09	1,76	0,02	5,33	7,19
	JUL	2,75	0,01	6,24	0,70	0,01	4,43	0,03	0,00	4,92	52,46	0,03	15,11	0,81	0,01	5,34	7,21
	AGO	3,67	0,02	6,25	0,75	0,01	4,44	0,03	0,00	4,92	56,21	0,03	15,14	0,68	0,01	5,34	7,22
	SEP	3,39	0,01	6,26	0,84	0,01	4,45	0,04	0,00	4,92	55,40	0,03	15,17	0,86	0,01	5,35	7,23
	OCT	3,35	0,01	6,28	0,89	0,01	4,46	0,02	0,00	4,92	66,70	0,03	15,21	0,93	0,01	5,37	7,25
	NOV	4,66	0,02	6,30	1,40	0,02	4,47	0,00	0,00	4,92	104,93	0,05	15,26	1,52	0,02	5,38	7,27
	DIC	3,37	0,01	6,31	1,20	0,01	4,49	0,01	0,00	4,92	89,94	0,05	15,31	0,91	0,01	5,39	7,28
	ENE	3,59	0,02	6,33	0,89	0,01	4,50	0,00	0,00	4,92	66,70	0,03	15,34	0,63	0,01	5,40	7,30
	FEB	2,98	0,01	6,34	0,81	0,01	4,51	0,00	0,00	4,92	60,71	0,03	15,37	0,60	0,01	5,41	7,31
MAR	1,83	0,01	6,35	0,87	0,01	4,52	0,01	0,00	4,93	65,20	0,03	15,41	0,56	0,01	5,41	7,32	
2013/14	ABR	1,41	0,01	6,35	0,52	0,01	4,52	0,02	0,00	4,93	38,97	0,02	15,43	0,57	0,01	5,42	7,33
	MAY	1,43	0,01	6,36	0,46	0,01	4,53	0,05	0,00	4,93	34,48	0,02	15,45	0,50	0,01	5,43	7,34
	JUN	1,82	0,01	6,37	0,56	0,01	4,54	0,06	0,00	4,93	41,97	0,02	15,47	0,64	0,01	5,43	7,35
	JUL	1,82	0,01	6,37	0,57	0,01	4,54	0,05	0,00	4,94	42,72	0,02	15,49	0,60	0,01	5,44	7,36
	AGO	2,69	0,01	6,39	0,60	0,01	4,55	0,05	0,00	4,94	44,97	0,02	15,51	0,66	0,01	5,45	7,37
	SEP	3,53	0,01	6,40	0,64	0,01	4,56	0,12	0,01	4,95	47,97	0,03	15,54	0,77	0,01	5,46	7,38
	OCT	4,56	0,02	6,42	1,16	0,01	4,57	0,03	0,00	4,95	86,87	0,05	15,58	0,99	0,01	5,47	7,40
	NOV	4,32	0,02	6,44	1,10	0,01	4,58	0,03	0,00	4,95	82,30	0,04	15,63	1,35	0,02	5,48	7,42
	DIC	3,43	0,01	6,45	0,52	0,01	4,59	0,02	0,00	4,96	38,97	0,02	15,65	0,80	0,01	5,49	7,43
	ENE	2,84	0,01	6,46	0,41	0,00	4,60	0,01	0,00	4,96	90,92	0,05	15,69	0,53	0,01	5,50	7,44
FEB	2,26	0,01	6,47	0,38	0,00	4,60	0,01	0,00	4,96	85,26	0,04	15,74	0,49	0,01	5,50	7,45	

Tabla B.2: Cálculo de los datos rellenados. Se indica también el coeficiente de correlación de la curva de la estación base (R_A) y la estación problema (R_X) en cada caso.

A	X	Fecha	S _A	S _X	Q _A [m]	Q _X [m]	Q _X [m ³ /s]	R _A	R _X
Arrayán	Colina	feb-93	0,6128	0,7581	0,0131	0,016253	1,43	0,9981	0,9956
Arrayán	Colina	feb-94	0,6128	0,7581	0,0090	0,0111	0,97	0,9981	0,9956
Arrayán	Ramón	mar-00	0,6128	0,7115	0,0084	0,009777	0,14	0,9981	0,9657
Arrayán	Colina	ene-04	0,6128	0,7581	0,0083	0,010249	0,90	0,9981	0,9956
Arrayán	Colina	feb-04	0,6128	0,7581	0,0071	0,008785	0,77	0,9981	0,9956
Arrayán	Ramón	jul-06	0,6128	0,7115	0,0282	0,032706	0,46	0,9981	0,9657
Arrayán	Ramón	may-09	0,6128	0,7115	0,0099	0,011543	0,16	0,9981	0,9657
Arrayán	Ramón	jun-09	0,6128	0,7115	0,0102	0,011818	0,16	0,9981	0,9657
Arrayán	Maipo	sep-10	0,6128	2,0246	0,0129	0,042622	81,69	0,9981	0,9991
Arrayán	Maipo	oct-10	0,6128	2,0246	0,0148	0,048879	93,68	0,9981	0,9991
Arrayán	Maipo	nov-10	0,6128	2,0246	0,0192	0,063347	121,42	0,9981	0,9991
Arrayán	Maipo	dic-10	0,6128	2,0246	0,0137	0,04536	86,94	0,9981	0,9991
Arrayán	Maipo	ene-11	0,6128	2,0246	0,0108	0,035584	68,20	0,9981	0,9991
Arrayán	Maipo	feb-11	0,6128	2,0246	0,0090	0,029718	56,96	0,9981	0,9991
Arrayán	Maipo	mar-11	0,6128	2,0246	0,0083	0,027372	52,46	0,9981	0,9991
Arrayán	Maipo	abr-11	0,6128	2,0246	0,0083	0,027372	52,46	0,9981	0,9991
Arrayán	Maipo	may-11	0,6128	2,0246	0,0082	0,026981	51,71	0,9981	0,9991
Arrayán	Maipo	jun-11	0,6128	2,0246	0,0079	0,026199	50,21	0,9981	0,9991
Arrayán	Maipo	jul-11	0,6128	2,0246	0,0078	0,025808	49,47	0,9981	0,9991
Arrayán	Maipo	ago-11	0,6128	2,0246	0,0076	0,025026	47,97	0,9981	0,9991
Arrayán	Maipo	sep-11	0,6128	2,0246	0,0107	0,035193	67,45	0,9981	0,9991
Arrayán	Mapocho	jun-12	0,6128	0,8516	0,0075	0,010362	2,48	0,9981	0,9982
Arrayán	Mapocho	jul-12	0,6128	0,8516	0,0083	0,011513	2,75	0,9981	0,9982
Arrayán	Maipo	jun-12	0,6128	2,0246	0,0075	0,024635	47,22	0,9981	0,9991

Arrayán	Maipo	jul-12	0,6128	2,0246	0,0083	0,027372	52,46	0,9981	0,9991
Arrayán	Maipo	ago-12	0,6128	2,0246	0,0089	0,029327	56,21	0,9981	0,9991
Arrayán	Maipo	oct-12	0,6128	2,0246	0,0105	0,034802	66,70	0,9981	0,9991
Arrayán	Maipo	nov-12	0,6128	2,0246	0,0166	0,054744	104,93	0,9981	0,9991
Arrayán	Maipo	dic-12	0,6128	2,0246	0,0142	0,046924	89,94	0,9981	0,9991
Arrayán	Maipo	ene-13	0,6128	2,0246	0,0105	0,034802	66,70	0,9981	0,9991
Arrayán	Maipo	feb-13	0,6128	2,0246	0,0096	0,031674	60,71	0,9981	0,9991
Arrayán	Maipo	mar-13	0,6128	2,0246	0,0103	0,03402	65,20	0,9981	0,9991
Arrayán	Maipo	abr-13	0,6128	2,0246	0,0062	0,020334	38,97	0,9981	0,9991
Arrayán	Maipo	may-13	0,6128	2,0246	0,0054	0,017987	34,48	0,9981	0,9991
Arrayán	Maipo	jun-13	0,6128	2,0246	0,0066	0,021898	41,97	0,9981	0,9991
Arrayán	Maipo	jul-13	0,6128	2,0246	0,0067	0,022289	42,72	0,9981	0,9991
Arrayán	Maipo	ago-13	0,6128	2,0246	0,0071	0,023462	44,97	0,9981	0,9991
Arrayán	Maipo	sep-13	0,6128	2,0246	0,0076	0,025026	47,97	0,9981	0,9991
Arrayán	Maipo	dic-13	0,6128	2,0246	0,0062	0,020334	38,97	0,9981	0,9991
Arrayán	Ramón	sep-13	0,6128	0,7115	0,0076	0,008795	0,12	0,9981	0,9657
Arrayán	Colina	ene-14	0,6128	0,7581	0,0049	0,006003	0,53	0,9981	0,9956
Arrayán	Colina	feb-14	0,6128	0,7581	0,0045	0,005564	0,49	0,9981	0,9956
Mapocho	Arrayán	may-04	0,8516	0,6128	0,0060	0,004332	0,37	0,9982	0,9981
Mapocho	Arrayán	nov-11	0,8516	0,6128	0,0153	0,011011	0,93	0,9982	0,9981
Mapocho	Arrayán	dic-11	0,8516	0,6128	0,0162	0,011642	0,98	0,9982	0,9981
Mapocho	Arrayán	oct-13	0,8516	0,6128	0,0191	0,013718	1,16	0,9982	0,9981
Mapocho	Arrayán	nov-13	0,8516	0,6128	0,0181	0,012996	1,10	0,9982	0,9981
Mapocho	Maipo	oct-13	0,8516	2,0246	0,0191	0,045322	86,87	0,9982	0,9991
Mapocho	Maipo	nov-13	0,8516	2,0246	0,0181	0,042937	82,30	0,9982	0,9991

Tabla B.3: Datos de caudal medio mensual definitivo para la estación Maipo en el Manzano.

Caudales Medios Mensuales [m ³ /s], estadística corregida final. Ayala, Cabrera y Asociados + MOP													
Maipo en el Manzano													
AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1950/51	49,07	45,90	40,70	37,50	37,60	49,10	71,60	102,00	174,00	140,00	101,94	86,33	77,97
1951/52	51,90	49,30	53,00	55,60	58,00	57,88	76,70	135,00	186,71	193,56	104,00	94,46	93,00
1952/53	52,60	55,80	50,00	51,00	54,95	62,90	76,50	101,00	163,00	135,00	119,00	73,90	82,97
1953/54	28,92	43,58	46,43	47,55	83,40	110,00	115,00	206,00	305,00	262,00	197,00	123,00	130,65
1954/55	83,32	56,20	58,90	68,27	72,18	75,57	100,49	171,99	160,00	158,00	106,09	79,18	99,18
1955/56	51,30	43,70	40,67	36,43	37,84	42,06	59,20	113,00	120,00	117,93	94,41	66,18	68,56
1956/57	47,10	61,36	45,53	48,71	53,22	57,88	58,60	134,84	119,65	93,90	92,60	74,19	73,96
1957/58	55,99	40,70	42,10	43,30	40,96	45,67	71,97	135,37	185,51	203,27	126,68	69,20	88,39
1958/59	63,12	58,35	54,60	45,10	40,30	61,70	127,58	135,00	167,83	124,00	98,90	81,20	88,14
1959/60	66,30	57,70	50,30	59,70	61,30	69,20	89,90	167,51	256,14	216,61	116,00	85,30	107,99
1960/61	60,80	52,20	57,10	55,40	58,10	66,50	93,50	171,00	205,00	149,00	107,57	114,00	99,18
1961/62	76,90	62,26	74,70	47,55	74,83	60,65	143,00	200,36	300,00	218,00	164,00	122,00	128,68
1962/63	73,40	57,00	56,90	59,30	58,60	58,30	91,40	176,00	187,00	137,00	106,00	84,40	95,44
1963/64	53,79	47,60	45,61	51,10	57,90	69,30	91,10	129,00	337,00	360,00	224,00	127,00	132,78
1964/65	81,90	59,30	64,48	48,30	42,30	49,90	62,00	84,30	88,60	115,00	94,48	76,93	72,29
1965/66	60,89	45,70	46,50	43,90	71,00	83,20	115,00	198,00	201,00	278,00	182,00	116,00	120,09
1966/67	75,13	54,13	58,60	57,00	53,40	72,20	95,40	145,05	188,49	167,00	153,72	80,30	100,03
1967/68	61,07	46,45	36,00	34,50	34,58	37,70	60,40	88,52	130,59	115,59	103,98	59,87	67,43
1968/69	46,94	42,73	32,33	34,27	25,17	23,56	26,66	45,13	43,50	70,11	65,68	52,75	42,40
1969/70	31,87	34,34	42,70	31,47	35,87	41,06	55,11	101,69	230,30	156,10	116,60	71,73	79,07
1970/71	48,77	38,13	33,33	36,05	36,47	41,60	62,79	100,30	117,47	83,13	71,94	48,58	59,88
1971/72	35,84	29,41	26,91	37,41	38,24	47,89	91,85	181,60	171,90	145,00	99,04	67,95	81,08
1972/73	39,00	82,42	111,47	70,14	94,96	102,70	99,74	193,76	318,40	497,30	272,81	215,40	174,84

1973/74	141,40	66,23	66,30	70,64	60,20	54,33	72,51	159,70	188,10	196,50	131,55	89,11	108,04
1974/75	55,81	46,40	49,10	57,63	54,21	57,93	115,90	184,21	206,20	245,00	147,85	88,75	109,08
1975/76	61,57	46,15	43,13	49,09	52,03	53,36	67,20	95,20	162,30	142,60	97,67	65,60	77,99
1976/77	48,06	38,42	44,49	37,41	36,01	46,99	59,39	119,79	129,60	129,50	88,72	59,60	69,83
1977/78	46,57	44,33	47,07	71,11	69,29	91,26	166,52	227,06	339,53	251,97	167,60	102,63	135,41
1978/79	69,70	54,63	48,11	95,83	73,09	77,09	121,39	214,74	418,80	401,37	219,15	134,09	160,66
1979/80	81,54	68,21	52,08	47,44	63,06	67,99	102,02	138,12	200,81	279,26	173,70	123,61	116,48
1980/81	123,28	117,00	91,27	84,40	76,87	86,28	111,56	174,66	350,95	250,95	207,06	131,91	150,51
1981/82	80,72	80,04	70,48	55,56	52,40	53,69	77,38	138,84	154,41	151,45	110,96	73,87	91,65
1982/83	55,13	52,41	104,00	110,89	100,06	144,37	148,30	239,78	549,54	605,98	459,07	260,97	235,87
1983/84	147,41	77,13	78,90	81,12	79,27	73,94	147,00	254,10	314,31	252,17	186,00	107,00	149,86
1984/85	64,61	49,14	43,90	63,34	60,14	71,83	131,26	178,30	313,00	307,40	198,57	149,72	135,93
1985/86	87,23	67,69	59,40	55,94	47,22	44,96	67,78	152,71	188,01	168,59	133,69	87,46	96,72
1986/87	61,82	61,19	176,86	80,09	70,08	74,14	114,28	170,93	326,45	354,30	271,96	160,80	160,24
1987/88	86,85	66,82	69,04	105,38	123,99	102,39	148,18	227,83	392,37	368,15	279,85	170,78	178,46
1988/89	107,91	58,62	58,40	51,31	55,95	53,17	78,73	145,71	145,90	148,59	148,00	91,04	95,27
1989/90	63,52	53,19	43,03	38,31	71,53	84,94	122,37	225,93	224,93	170,07	121,82	83,48	108,59
1990/91	63,25	53,19	46,51	44,58	48,99	59,35	77,56	123,18	144,32	138,38	110,92	78,43	82,38
1991/92	63,06	116,59	78,96	102,66	77,85	101,77	125,36	212,93	216,29	276,68	206,72	158,42	144,77
1992/93	94,65	80,08	79,97	71,16	68,39	80,65	132,00	196,20	233,65	256,97	192,48	117,13	133,61
1993/94	103,37	306,63	97,74	85,12	76,40	78,51	111,02	131,57	198,61	219,68	142,12	96,07	137,23
1994/95	69,52	60,74	60,16	76,35	75,81	82,01	98,01	161,30	261,13	184,16	127,79	97,84	112,90
1995/96	75,61	60,33	61,20	55,40	57,36	77,88	90,54	168,20	198,58	128,18	111,63	96,84	98,47
1996/97	69,49	49,96	42,75	41,36	38,60	38,16	47,04	51,92	58,74	81,81	75,88	61,77	54,79
1997/98	43,58	33,86	65,40	61,16	80,05	119,24	114,45	208,63	335,45	413,81	207,29	136,23	151,59
1998/99	102,72	72,36	60,39	50,40	44,75	39,12	61,01	83,73	105,80	99,75	89,49	61,88	72,61
1999/00	41,95	41,67	38,04	37,76	40,72	60,79	86,82	138,48	144,84	133,77	100,18	71,62	78,05
2000/01	55,33	52,15	81,89	76,86	69,04	73,35	135,88	184,73	358,58	299,81	230,68	129,35	145,63

2001/02	89,25	73,37	61,47	80,60	89,38	83,48	134,04	180,40	331,03	215,39	149,21	105,76	132,78
2002/03	73,43	62,81	81,60	65,82	103,64	108,49	145,29	243,23	348,65	371,65	259,96	181,94	170,54
2003/04	106,64	72,73	73,46	71,29	58,61	69,57	106,21	150,80	150,65	182,13	129,79	92,72	105,38
2004/05	71,52	53,10	52,54	51,64	47,02	63,92	71,89	104,00	140,68	136,85	99,46	76,24	80,73
2005/06	54,74	50,81	95,22	86,92	115,62	116,50	150,06	254,77	393,68	457,58	306,14	166,35	187,36
2006/07	109,30	73,77	64,72	113,43	79,81	85,20	139,39	220,00	252,52	180,93	138,37	107,82	130,43
2007/08	70,15	59,74	57,92	58,26	54,03	61,24	95,90	121,91	126,76	125,16	97,98	70,30	83,27
2008/09	57,69	94,36	92,52	61,86	80,05	80,79	116,48	250,47	284,97	197,81	145,07	107,91	130,83
2009/10	79,90	60,54	57,00	54,43	63,81	84,76	83,80	121,88	200,90	196,61	149,21	118,03	105,90
2010/11	81,57	62,71	59,83	50,71	52,10	81,69	93,68	121,42	86,94	68,20	56,96	52,46	72,35
2011/12	52,46	51,71	50,21	49,47	47,97	67,45	65,90	87,09	97,24	81,73	80,81	73,61	67,13
2012/13	55,18	53,64	47,22	52,46	56,21	55,40	66,70	104,93	89,94	66,70	60,71	65,20	64,52
2013/14	38,97	34,48	41,97	42,72	44,97	47,97	86,87	82,30	38,97	90,92	85,26		57,76

Tabla B.4: Datos de caudal medio mensual definitivo para Mapocho, que corresponde a la suma de los caudales de las estaciones Mapocho en los Almendros y Arrayán en la Montosa.

Caudales Medios Mensuales [m ³ /s], estadística corregida final. Ayala, Cabrera y Asociados + MOP													
Mapocho = Mapocho en Los Almendros + Estero Arrayán en la Montosa													
AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1950/51	2,54	3,58	2,91	2,42	4,21	7,4	12,06	13,72	17,56	6,65	4,08	2,7	6,65
1951/52	2,11	2,81	4,45	4,26	6,84	8,09	13,02	14,23	10,05	6,94	4,75	3,66	6,76
1952/53	2,7	3,45	4,06	4,34	4,98	10,84	11,58	14,15	12,37	6,6	4,77	3,51	6,94
1953/54	2,8	2,97	3,99	4,59	12,97	20,32	20,5	36,69	31,34	18,55	10,88	6,15	14,31
1954/55	4,49	4,14	5,12	4,82	6,62	6,33	8,51	11,76	9,81	8,71	5,04	3,75	6,59
1955/56	3	3,24	3,18	3,25	3,46	6,85	8,85	14	8,66	5,73	4,8	3,64	5,72
1956/57	2,37	2,29	2,19	1,93	4,36	5,14	7,05	8,25	5,9	5,54	2,63	2,23	4,15
1957/58	3,69	4,06	3,95	3,17	4,05	7,61	6,46	9,84	8,96	5,4	3,6	3,21	5,33
1958/59	2,35	2,66	8,45	5,74	4,51	7,98	14,63	14,95	10,59	6,1	4,57	3,46	7,16
1959/60	3,04	3,31	3,43	6,79	6,03	14,27	13,79	15,74	15,02	9,03	5,51	4,03	8,33
1960/61	3,08	3,03	5,91	4,49	5,91	6,8	12,45	17,96	13,99	8,07	5,76	4,18	7,63
1961/62	3,55	3,35	6,42	4,69	6,28	10,2	28,82	18,46	19,36	8,19	6,18	4,6	10,00
1962/63	3,55	2,8	4,53	4,97	5,45	6,54	18,03	19,2	13,04	7,37	5,08	3,99	7,87
1963/64	3,04	2,96	3,26	4,99	7,15	14,42	26,65	17,46	37,23	21,48	8,84	6,82	12,85
1964/65	3,7	3,51	3,43	3,31	3,06	4,3	3,98	3,65	3,82	4,08	2,95	2,13	3,49
1965/66	2,37	2,42	2,65	2,67	8,72	9,85	18,31	23,17	16,21	12,69	6,11	4,07	9,10
1966/67	2,83	2,47	2,69	3,59	4,69	10,1	11,68	14,51	9,38	6,18	4,26	2,93	6,27
1967/68	2,46	1,31	1,62	2,32	1,98	3,02	4,4	3,7	3,8	3,26	2,82	1,99	2,72
1968/69	1,67	1,28	1,21	1,21	0,99	1,25	1,32	1,33	1,71	1,65	1,58	1,3	1,37
1969/70	1,02	1,18	1,57	1,03	1,51	1,81	2,25	2,58	2,25	1,87	1,51	1,28	1,65
1970/71	1,03	1,18	1,31	1,38	2,07	2,69	5,64	9,39	5,69	3,86	2,92	1,94	3,25
1971/72	1,37	1,41	1,21	1,68	2,31	4,11	6,5	10,7	3,79	3,04	1,78	1,37	3,27

1972/73	1,28	4,3	7,4	7,76	10,32	11,52	29,78	17,69	21,94	28,9	13,88	7,54	13,52
1973/74	3,61	3,43	2,11	5,26	3,63	8,42	9,79	10,42	9,72	9,36	4,99	2,64	6,11
1974/75	4,3	2,31	4,01	5,15	2,72	3,26	15,18	14,93	11,55	8,37	4,47	3,08	6,61
1975/76	2,54	2,15	2,49	2,51	3,04	3,72	4,69	4,62	6,02	5,16	3,34	2,48	3,56
1976/77	1,95	1,88	2,52	2,25	2,57	2,85	4,29	10,65	3,46	2,74	2,97	2,71	3,40
1977/78	1,76	2,13	2,82	6,52	8,04	17,08	21,91	24,22	23,41	10	6,78	4,57	10,77
1978/79	3,84	4,1	3,9	8,15	10,98	14,17	24,52	29,67	36,12	21,11	9,12	6,05	14,31
1979/80	3,39	3,5	2,9	2,31	4,86	7,87	10,14	10,13	12,27	8,14	6,01	5,07	6,38
1980/81	6,45	10,22	8,31	7,76	8,74	9	14,8	15,46	18,29	10,38	7,53	4,47	10,11
1981/82	2,86	4,72	5,14	3,91	3,34	4,49	6,79	8,14	5,59	4,97	3,63	2,74	4,69
1982/83	1,91	2,62	5,58	9,93	17	22,13	26,47	34,71	45,7	33,3	18,66	8,09	18,84
1983/84	5,62	4,64	4,57	6,53	7,71	8,53	22,08	20,73	16,41	9,14	6,5	4,2	9,72
1984/85	3,04	2,75	2,54	6,81	7,5	12,18	24,94	23,74	22,26	13,76	7,71	5,93	11,09
1985/86	4,18	3,8	3,22	4,38	4,43	3,78	5,64	8,55	6,72	5,45	4,1	3,19	4,78
1986/87	2,56	3,42	16,75	6,22	4,53	6,83	11,22	15,83	18,55	10,7	7,35	5,66	9,13
1987/88	3,64	3,62	7,21	9,36	23,77	16,19	29,79	50,54	42,89	30,6	11,85	7,57	19,75
1988/89	5,22	4,24	3,55	3,39	4,02	3,87	6,18	6,46	5,34	5,07	4,28	2,78	4,53
1989/90	2,45	3,01	2,5	2,58	8,28	12,89	18,86	21,53	12,85	7,22	4,96	3,17	8,35
1990/91	2,43	2,3	2,06	2,04	2,06	4,32	5,57	5,69	4,39	3,51	2,69	2,03	3,25
1991/92	1,82	5,27	6,45	7,05	9,11	16,98	17,58	23,89	18,7	14,43	6,89	4,78	11,07
1992/93	3,53	4,8	7,39	6,89	7,5	11,6	17,26	17,09	13,63	10,5	6,37	4,09	9,22
1993/94	4,59	4,44	8,61	6,3	6,25	6,66	8,29	9,06	9,04	7,3	4,38	3,31	6,51
1994/95	2,66	2,17	2,16	4,8	6,05	7,78	9,57	11,79	9,74	7,32	3,8	2,54	5,86
1995/96	2,31	2,18	2,82	2,59	3,29	6,5	6,76	8,55	5,7	5,38	3,99	2,35	4,36
1996/97	1,97	1,41	1,94	1,89	1,42	1,41	2,31	1,69	1,88	2,37	1,87	1,66	1,81
1997/98	1,08	1,51	11,57	7,76	13,91	21,8	22,91	30,21	31,06	20,91	7,91	4,46	14,59
1998/99	3,87	3,13	2,71	2,12	1,62	1,49	1,75	2,20	3,21	3,05	3,24	2,13	2,54
1999/00	1,72	1,23	0,97	1,32	2,39	10,02	9,08	9,95	7,00	5,25	3,53	2,33	4,56

2000/01	1,54	1,68	6,87	11,32	9,52	12,28	22,22	18,95	20,14	9,01	4,83	1,92	10,02
2001/02	1,40	2,95	2,66	10,13	16,58	11,44	15,79	14,73	15,16	6,22	4,09	2,77	8,66
2002/03	2,27	6,03	15,57	9,60	19,88	17,33	23,06	30,07	25,48	18,15	11,27	7,00	15,47
2003/04	5,41	4,04	4,66	4,70	4,08	4,54	7,26	7,88	5,77	4,71	3,49	2,40	4,91
2004/05	2,15	1,81	2,02	2,21	3,95	6,81	5,30	10,28	6,66	4,53	3,69	3,25	4,38
2005/06	2,47	2,95	12,87	6,61	16,04	14,72	19,17	28,36	23,23	12,90	6,94	4,53	12,56
2006/07	3,51	3,14	3,39	13,17	7,19	7,84	11,96	16,48	12,55	6,96	4,07	3,39	7,80
2007/08	3,06	2,83	3,17	3,69	3,61	5,71	7,90	7,05	5,19	4,19	3,32	3,43	4,42
2008/09	2,81	10,79	12,86	4,67	10,95	11,80	16,52	21,80	13,09	7,32	4,11	3,35	10,00
2009/10	2,76	2,79	2,83	3,21	5,15	15,85	13,30	12,85	11,47	5,42	5,31	4,46	7,11
2010/11	3,59	3,36	3,69	3,91	4,49	5,42	6,15	7,65	4,78	3,65	2,91	2,14	4,31
2011/12	2,15	1,81	1,87	2,03	2,41	5,14	5,58	4,59	4,85	4,04	3,66	2,74	3,40
2012/13	2,00	2,50	3,11	3,45	4,42	4,23	4,24	6,06	4,57	4,48	3,79	2,70	3,79
2013/14	1,93	1,89	2,38	2,39	3,29	4,17	5,72	5,42	3,95	3,25	2,64		3,36

Tabla B.5: Datos de caudal medio mensual definitivo para la estación Colina en Peldehue.

Caudales Medios Mensuales [m ³ /s], estadística corregida final. MOP													
Colina en Peldehue													
AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1991/92	0,34	1,52	1,12	3,90	1,58	4,11	3,44	6,12	4,17	2,94	1,91	2,24	2,9
1992/93	1,45	1,70	2,08	1,95	1,84	2,86	4,47	4,61	2,78	2,19	1,43	0,60	2,6
1993/94	0,91	9,37	1,15	1,14	0,96	0,97	1,52	1,71	2,09	2,74	0,97	0,39	2,2
1994/95	0,46	0,49	0,51	0,95	1,02	1,47	2,01	2,83	1,08	0,64	0,52	0,47	1,2
1995/96	0,45	0,37	0,43	0,44	0,40	0,93	1,02	1,57	0,59	1,25	0,28	0,31	0,7
1996/97	0,39	0,22	0,24	0,32	0,32	0,33	0,32	0,26	0,20	0,16	0,19	0,32	0,3
1997/98	0,33	0,69	5,76	2,13	4,68	6,49	4,93	8,60	8,37	3,95	1,95	1,32	4,7
1998/99	1,07	0,74	0,72	0,54	0,43	0,36	0,42	0,35	0,35	0,29	0,25	0,25	0,6
1999/00	0,30	0,23	0,32	0,24	0,32	1,28	2,07	2,09	1,32	0,48	0,31	0,31	0,9
2000/01	0,48	0,32	4,39	2,69	2,17	2,99	5,09	4,53	4,12	2,03	1,07	0,54	3
2001/02	0,72	0,75	0,64	1,20	1,66	1,63	2,62	2,33	1,65	2,23	1,21	0,91	1,5
2002/03	0,48	1,10	6,19	3,39	8,06	6,19	7,75	9,40	6,86	3,98	1,98	1,34	5,5
2003/04	1,19	1,23	1,33	1,45	1,40	1,49	2,57	2,15	0,98	0,90	0,77	0,71	1,5
2004/05	0,44	1,10	1,43	1,45	3,05	6,18	2,05	3,85	1,99	1,41	1,48	1,65	2,4
2005/06	1,47	1,83	4,94	2,04	4,17	2,71	3,65	6,94	6,08	3,21	1,81	1,10	3,8
2006/07	0,86	0,94	0,90	2,80	2,51	2,52	3,71	3,71	2,09	1,74	1,39	0,97	2,2
2007/08	0,87	0,86	0,92	0,77	1,23	1,63	2,15	2,19	1,40	2,50	2,94	1,08	1,3
2008/09	0,59	0,71	3,29	2,98	3,19	2,44	3,87	5,55	2,91	1,60	1,21	0,94	2,8
2009/10	0,71	0,68	0,77	0,87	1,40	2,07	2,11	3,03	2,13	0,67	1,87	0,95	1,5
2010/11	0,57	0,48	0,62	0,54	0,46	0,44	1,06	1,26	0,83	0,63	0,57	0,54	0,7
2011/12	0,48	0,52	0,52	0,52	0,50	0,50	0,94	1,27	0,56	0,35	0,32	0,31	0,6
2012/13	0,38	1,30	1,76	0,81	0,68	0,86	0,93	1,52	0,91	0,63	0,60	0,56	1
2013/14	0,57	0,50	0,64	0,60	0,66	0,77	0,99	1,35	0,80	0,53	0,49		0,8

Tabla B.6: Datos de caudal medio mensual definitivo para la estación Ramón en Recinto EMOS.

Caudales Medios Mensuales [m ³ /s], estadística corregida final. MOP													
Ramón en Recinto EMOS													
AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1991/92	0,01	0,14	0,10	0,65	0,70	0,43	0,42	0,28	0,31	0,21	0,12	0,10	0,29
1992/93	0,21	0,53	0,58	2,12	0,94	0,40	0,39	0,24	0,20	0,13	0,19	0,10	0,50
1993/94	0,06	0,58	0,48	0,44	0,39	0,26	0,10	0,12	0,03	0,06	0,09	0,19	0,23
0994/95	0,14	0,33	0,29	0,29	0,16	0,22	0,56	0,15	0,20	0,09	0,12	0,10	0,22
1995/96	0,08	0,22	0,00	0,00	0,03	0,37	0,04	0,02	0,01	0,02	0,10	0,04	0,08
1996/97	0,06	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01
1997/98	0,01	0,05	0,84	0,43	0,78	0,78	1,02	0,68	1,83	1,72	1,59	1,65	0,95
1998/99	0,68	0,13	0,31	0,22	0,27	0,29	0,28	0,32	0,31	0,22	0,18	0,20	0,28
1999/00	0,25	0,11	0,12	0,14	0,19	1,46	1,52	0,35	0,27	0,26	0,21	0,14	0,42
2000/01	0,89	0,62	2,40	1,71	0,04	0,06	0,05	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,50
2001/02	0,03	0,03	0,03	0,03	2,40	1,23	1,10	0,48	0,39	0,37	0,36	0,35	0,57
2002/03	0,36	0,37	0,23	0,57	1,45	0,71	0,58	0,54	0,24	0,10	0,04	0,03	0,44
2003/04	0,02	0,04	0,06	0,10	0,13	0,07	0,03	0,06	0,02	0,01	0,02	0,03	0,05
2004/05	0,05	0,03	0,03	0,03	0,12	0,06	0,02	0,11	0,47	0,39	0,19	0,01	0,13
2005/06	0,03	0,04	0,38	0,26	0,70	0,78	0,57	0,50	0,35	0,33	0,31	0,31	0,38
2006/07	0,32	0,32	1,25	0,46	0,31	0,14	0,25	0,25	0,26	0,19	0,12	0,02	0,32
2007/08	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03	0,04	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02
2008/09	0,01	0,19	0,25	0,00	0,14	0,17	0,08	0,04	0,05	0,03	0,03	0,04	0,09
2009/10	0,04	0,16	0,16	0,09	0,39	0,29	0,10	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,12
2010/11	0,02	0,09	0,08	0,07	0,07	0,07	0,06	0,11	0,05	0,06	0,07	0,05	0,07
2011/12	0,05	0,04	0,06	0,07	0,07	0,04	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04
2012/13	0,06	0,06	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02
2013/14	0,02	0,05	0,06	0,05	0,05	0,12	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01		0,04

Tabla B.7: Datos de caudal medio mensual definitivo para la Macul, calculada a partir de la estación Ramón en Recinto EMOS.

Caudales Medios Mensuales [m ³ /s], estadística corregida final. MOP													
Macul (Calculada)													
AÑO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ANUAL
1991/92	0,01	0,09	0,07	0,43	0,46	0,28	0,28	0,19	0,21	0,14	0,08	0,07	0,19
1992/93	0,14	0,35	0,38	1,40	0,62	0,26	0,26	0,16	0,13	0,09	0,13	0,07	0,33
1993/94	0,04	0,38	0,32	0,29	0,26	0,17	0,07	0,08	0,02	0,04	0,06	0,13	0,15
0994/95	0,09	0,22	0,19	0,19	0,11	0,15	0,37	0,10	0,13	0,06	0,08	0,07	0,15
1995/96	0,05	0,15	0,00	0,00	0,02	0,25	0,03	0,01	0,01	0,01	0,07	0,03	0,05
1996/97	0,04	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
1997/98	0,01	0,03	0,56	0,28	0,52	0,52	0,68	0,45	1,21	1,14	1,05	1,09	0,63
1998/99	0,45	0,09	0,21	0,15	0,18	0,19	0,19	0,21	0,21	0,15	0,12	0,13	0,19
1999/00	0,17	0,07	0,08	0,09	0,13	0,97	1,01	0,23	0,18	0,17	0,14	0,09	0,28
2000/01	0,59	0,41	1,59	1,13	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,33
2001/02	0,02	0,02	0,02	0,02	1,59	0,81	0,73	0,32	0,26	0,25	0,24	0,23	0,38
2002/03	0,24	0,25	0,15	0,38	0,96	0,47	0,38	0,36	0,16	0,07	0,03	0,02	0,29
2003/04	0,01	0,03	0,04	0,07	0,09	0,05	0,02	0,04	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03
2004/05	0,03	0,02	0,02	0,02	0,08	0,04	0,01	0,07	0,31	0,26	0,13	0,01	0,08
2005/06	0,02	0,03	0,25	0,17	0,46	0,52	0,38	0,33	0,23	0,22	0,21	0,21	0,25
2006/07	0,21	0,21	0,83	0,30	0,21	0,09	0,17	0,17	0,17	0,13	0,08	0,01	0,21
2007/08	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
2008/09	0,01	0,13	0,17	0,00	0,09	0,11	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,06
2009/10	0,03	0,11	0,11	0,06	0,26	0,19	0,07	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,08
2010/11	0,01	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,07	0,03	0,04	0,05	0,03	0,04
2011/12	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03
2012/13	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02
2013/14	0,01	0,03	0,04	0,03	0,03	0,08	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01		0,03

