GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE DERECHOS DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LA CUENCA DEL RÍO MAIPO HASTA LA CONFLUENCIA CON EL ESTERO PUANGUE

INFORME TECNICO

REALIZADO POR:

DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

S.D.T. Nº 171

Santiago, Junio de 2004

REPUBLICA DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS
DEPTO. ADM. DE RECURSOS HIDRICOS
CGZ/cgz

M.O.P.
DIRECCION GENERAL DE AGUAS
OFICINA DE PARTES
RESOLUCION TRAMITADA
Fecha 23 JUL. 2004

Ing. Jefe

MINISTERIO DE HACIENDA
OFICINA DE PARTES
RECIBIDO

CONTRALORIA GENERAL
TOMA DE RAZON
RECEPCION

DEPART. JURIDICO		
DEP. T.R. Y REGIST.		
DEPART. CONTABIL.		
SUB. DEP. C. CENTRAL		
SUB. DEP. E. CUENTAS		
SUB. DEP. C.P.Y. BIENES NAC.		
DEPART. AUDITORIA		
DEPART. V.O.P., U y T.		
SUB.DEP. MUNICIP.		

REFRENDACION
REF. POR $
IMPUTAC
ANOT. POR $
IMPUTAC
DEDUC. DTO
100547

REF.: Aprueba el Estudio "Determinación de la Disponibilidad de Derechos de Aprovechamiento de aguas subterráneas en la Cuenca del Río Maipo hasta la confluencia con el Estero Puangue".

SANTIAGO, 23 JUL. 2004

D.G.A. Nº 1020 /

VISTOS : El estudio "Determinación de la Disponibilidad de Derechos de Aprovechamiento de aguas subterráneas en la Cuenca del Río Maipo hasta la confluencia con el Estero Puangue". S.D.T. N° 171 de Junio de 2004; y las atribuciones que me confiere el artículo 300 letra c) del Código de Aguas.

RESUELVO:

1.- **APRUEBASE** el Estudio denominado "Determinación de la Disponibilidad de Derechos de Aprovechamiento de aguas subterráneas en la Cuenca del Río Maipo hasta la confluencia con el Estero Puangue". S.D.T. N° 171 de Junio de 2004.

2.- **COMUNIQUESE** la presente resolución a Sr. Secretario Regional Ministerial de Obras Públicas de la Región Metropolitana, a los Departamentos de la Dirección General de Aguas y Oficina Regional de la Dirección General de Aguas de la Región Metropolitana.

ANOTESE Y COMUNIQUESE

HUMBERTO PEÑA TORREALBA
INGENIERO CIVIL
DIRECTOR GENERAL DE AGUAS

ÍNDICE

I INTRODUCCIÓN....4
II CARACTERIZACION HIDROGEOLÓGICA....8
II.1 Descripción General....8
II.2 Identificación de Sectores....9
II.3 Descripción de Sectores y Unidades Hidrogeológicas....11
II.3.1 Sectores Acuíferos de la cuenca del Chacabuco y Maipo Mapocho....11
II.3.2 Resumen....20
III MODELOS DE SIMULACIÓN....22
III.1 Modelación Hidrogeológica....22
III.2 Descripción General del Modelo Hidrogeológico....23
III.2.1 Modelo Maipo Mapocho....25
III.2.2 Modelo Chacabuco....31
III.3 Descripción Escenarios de Simulación....34
III.4 Resultados de la Modelación....35
IV INTERFERENCIA SOBRE LOS CAUDALES DEL RÍO MAIPO MAPOCHO, PRODUCTO DEL BOMBEO....42
V DERECHOS DE APROVECHAMIENTO....50
V.1 Demanda de Aguas Subterráneas....50
V.2 Determinación de los Derechos de Aprovechamientos Sustentable a Explotar en el Acuífero....51
VI CONCLUSIONES....58
VII ANEXOS....59

INDICE DE FIGURAS

Figura Nº1. Representación del Modelo Maipo Mapocho. 26
Figura Nº2. Representación del perfil vertical en modelo. 28
Figura Nº3. Discretización Horizontal del Modelo Maipo Mapocho 29
Figura Nº4. Discretización Horizontal del Modelo Chacabuco 32
Figura Nº5. Zonas de Balance Maipo-Balance para la zona estudiada 43
Figura Nº6. Variación Mensual en estación Maipo en el Manzano y Nodo 02 46
Figura Nº7. Variación mensual estación Mapocho en Rinconada y Nodo 40 47
Figura Nº8. Fluctuación de niveles estable bajo una explotación sustentable..... 51

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa Nº1. Zona de Estudio Cuenca Río Maipo hasta la confluencia con el estero Puangue.....6
Mapa Nº2. Zona de Estudio.....7
Mapa Nº3. Sectorización Zona Estudio.....10
Mapa Nº4. Depósitos sedimentarios por sector.....21
Mapa Nº5. Modelos Chacabuco y Maipo Mapocho.....24
Mapa Nº6. Modelo Maipo y Mapocho.....30
Mapa Nº7. Modelo Chacabuco.....33
Mapa Nº8. Pozos de Observación Modelo Maipo Mapocho.....ANEXO III

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla Nº1. Sectorización zona de estudio 9
Tabla Nº2. Parámetros de los sectores acuíferos..... 20
Tabla Nº3. Cuadro Resumen Caudales de Extracción Neta 41
Tabla Nº4. Caracterización Zonas de Balance (ZB) 44
Tabla Nº5. Resumen de la Interferencia a las Aguas Superficiales en Maipo Sur. 48
Tabla Nº6. Resumen demanda vigente zona de estudio..... 50
Tabla Nº7. Caudales extracción Neta (m^3/s)..... 53
Tabla Nº8. Derechos (l/s) susceptibles de constituirse en el acuífero de Maipo-Mapocho hasta la junta con el estero Puangue. 54
Tabla Nº9. Cuadro comparativo Derechos susceptibles de constituirse v/s Demanda vigente en el acuífero de Maipo-Mapocho hasta la junta con el estero Puangue. 55
Tabla Nº10. Resumen Situación Sectores Acuíferos. 58

I INTRODUCCIÓN

El agua tiene un rol fundamental para la actividad humana en el área metropolitana del Gran Santiago, permitiendo el abastecimiento de agua potable, el desarrollo de la agricultura, la minería, la industria, el uso recreativo, etc. A su vez, esto ha llevado a que se produzca una fuerte demanda de los recursos hídricos en la zona, lo que en un contexto en que los recursos superficiales en buena medida están comprometidos en el abastecimiento de los usos actuales, y que frente a una valorización del medio ambiente, ha generado demandas cada vez mayores sobre los recursos subterráneos.

El Objetivo General de este informe es determinar la disponibilidad de aguas subterráneas en los acuíferos de la Región Metropolitana, para el otorgamiento de derechos de aprovechamiento.

La creciente demanda por recursos hídricos subterráneos, ha motivado la ejecución de diversos estudios orientados a conocer la disponibilidad de estos recursos. En este marco, el presente informe esta orientado a presentar los resultados de la evaluación de disponibilidad de aguas subterráneas, a partir de la aplicación de modelos de simulación hidrogeológica, de acuerdo con los antecedentes disponibles y sobre la base de los criterios que emplea la Dirección General de Aguas en esta materia.

Con el objetivo de disponer de una herramienta de análisis y apoyo en la toma de decisiones relacionadas con el mejor aprovechamiento de los recursos hídricos del área Metropolitana del Gran Santiago, la Dirección General de Aguas, organismo rector de los recursos hídricos del país, ha construido un modelo matemático de simulación para la operación integrada del sistema hídrico de esta cuenca, denominado **"Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuencas de los Ríos Maipo y Mapocho"**, el cual involucra el llano principal del área metropolitana y la provincia de Chacabuco.

Los Modelos de Simulación Hidrogeológicos operan sobre la plataforma de Modflow, desarrollado por Waterloo Hydrogeologic, Inc., que permite la resolución de un modelo numérico de Diferencias Finitas, para la simulación del flujo y transporte de aguas subterráneas, constituyendo una herramienta de aplicación moderna en la administración de los recursos hídricos y específicamente en la asignación de derechos de aprovechamiento de agua subterránea.

El área de estudio se encuentra en la Región Metropolitana y queda definida por una parte de la cuenca del Río Maipo y sus afluentes hasta la confluencia con el estero Puangue (ver Mapas 1 y 2). Comprende mayoritariamente las provincias de Chacabuco, Santiago, Cordillera y Maipo con una superficie aproximada de 5351 Km^2.

El régimen hidrológico es de carácter pluvio-nival, con precipitaciones sobre los 600 mm/año en la zona alta y de 370 mm/año en la zona media baja.

Es importante destacar que en la elaboración del presente informe se han recogido todos los antecedentes contenidos en estudios e informes realizados en el área con anterioridad, por lo que además, los resultados y conclusiones del presente informe reemplazan a aquellos de informes previos.

Dentro de los antecedentes recogidos, el **Informe Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuencas de los Ríos Maipo y Mapocho** ha servido de base en la formulación del presente informe, tanto por la cantidad de antecedentes contenidos como por los resultados de la modelación.

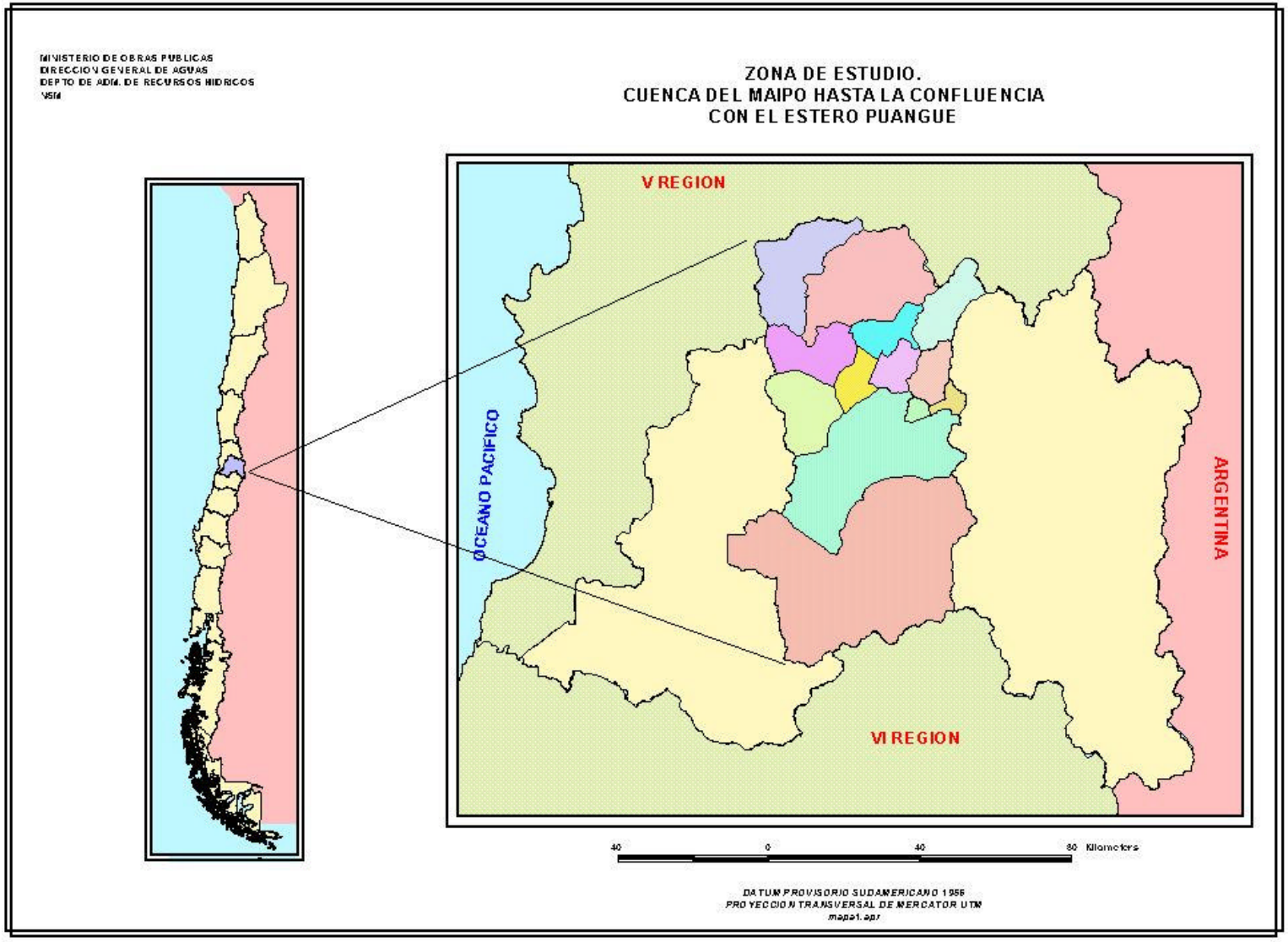
Trabajos Anteriores

- Informe Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuencas de los Ríos Maipo y Mapocho. SIT Nº62 Mayo 2000. Dirección General de Aguas.

- Minuta Técnica N° 113. Determinación de la Disponibilidad de Recursos Hídricos para constituir nuevos derechos de aprovechamiento de Aguas Subterráneas en las cuencas de TilTil, Chacabuco Polpaico, Lampa, Colina Inferior, Colina Sur, Chicureo y Santiago Norte, Provincia de Chacabuco, Región Metropolitana. 19-08-1999. Dirección General de Aguas.

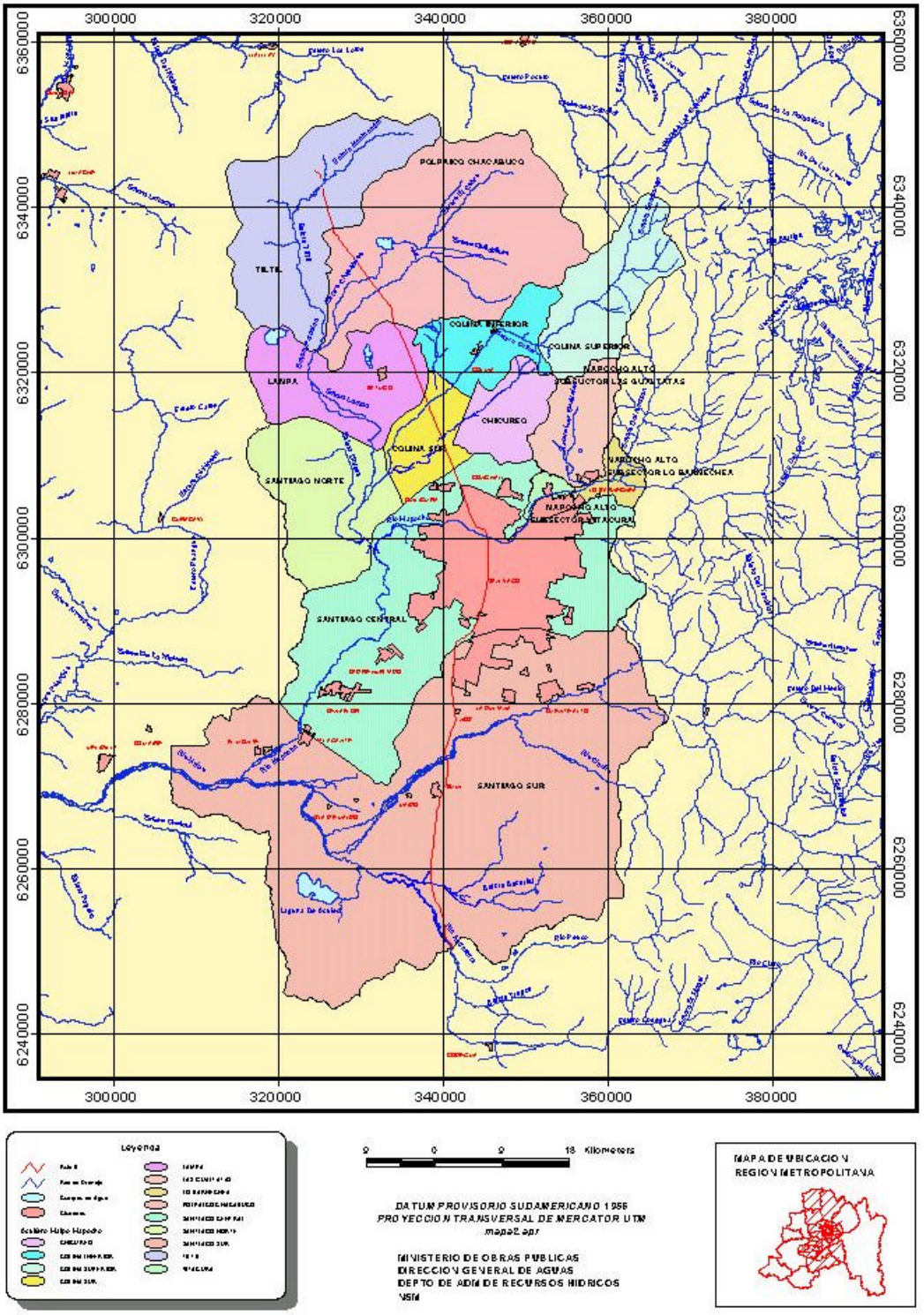
- Informe Técnico N° 47-A. Estudio Hidrogeológico de la Cuenca de Chicureo. 27-02-1997. Dirección General de Aguas.

- Informe Técnico N° 261. Análisis de Disponibilidad de Recursos Acuífero Río Mapocho. 21-06-1995. Dirección General de Aguas.


MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS
DEPTO DE ADM. DE RECURSOS HIDRICOS
ZONA DE ESTUDIO.
CUENCA DEL MAIPO HASTA LA CONFLUENCIA
CON EL ESTERO PUANGUE
V REGION
OCEANO PACIFICO
ARGENTINA
VI REGION
40
0
40
80 Kilometers
DATUM PROVISORIO SUDAMERICANO 1956
PROYECCION TRANSVERSAL DE MERCATOR UTM
mapa1.apr

MAPA 1

MAPA 2
ZONA DE ESTUDIO



II CARACTERIZACION HIDROGEOLÓGICA

II.1 *Descripción General*

En la cuenca del Maipo tradicionalmente se han distinguido 4 unidades morfoestructurales mayores diferentes, subparalelas entre sí y de rumbo Norte Sur. De Este a Oeste son las siguientes:

- Cordillera de los Andes
- Depresión Intermedia
- Cordillera de la Costa
- Planicie Costera

La primera es un imponente macizo cordón montañoso joven, con volcanes extinguidos, activos e inactivos. Alcanza alturas sobre los 6000 m 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 12.000 m y su edad varia desde el Jurásico Superior al Cuaternario.

La Depresión Intermedia constituye un plano suavemente inclinado hacia el oeste y hacia el sur, excepto en su extremo meridional donde escurre el Estero Angostura (Mapa 2). Esta 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 norte a sur. El relieve, por otro lado, va haciéndose más uniforme en sentido Norte a 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.

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.

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 950 m, mientras el cordón oriental es coincidente con el relieve abrupto y montañoso de la cordillera de la costa, alcanzando alturas de 2000 m.

Las planicies costera 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.

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 por su envergadura es el de mayor importancia.

II.2 *Identificación de Sectores*

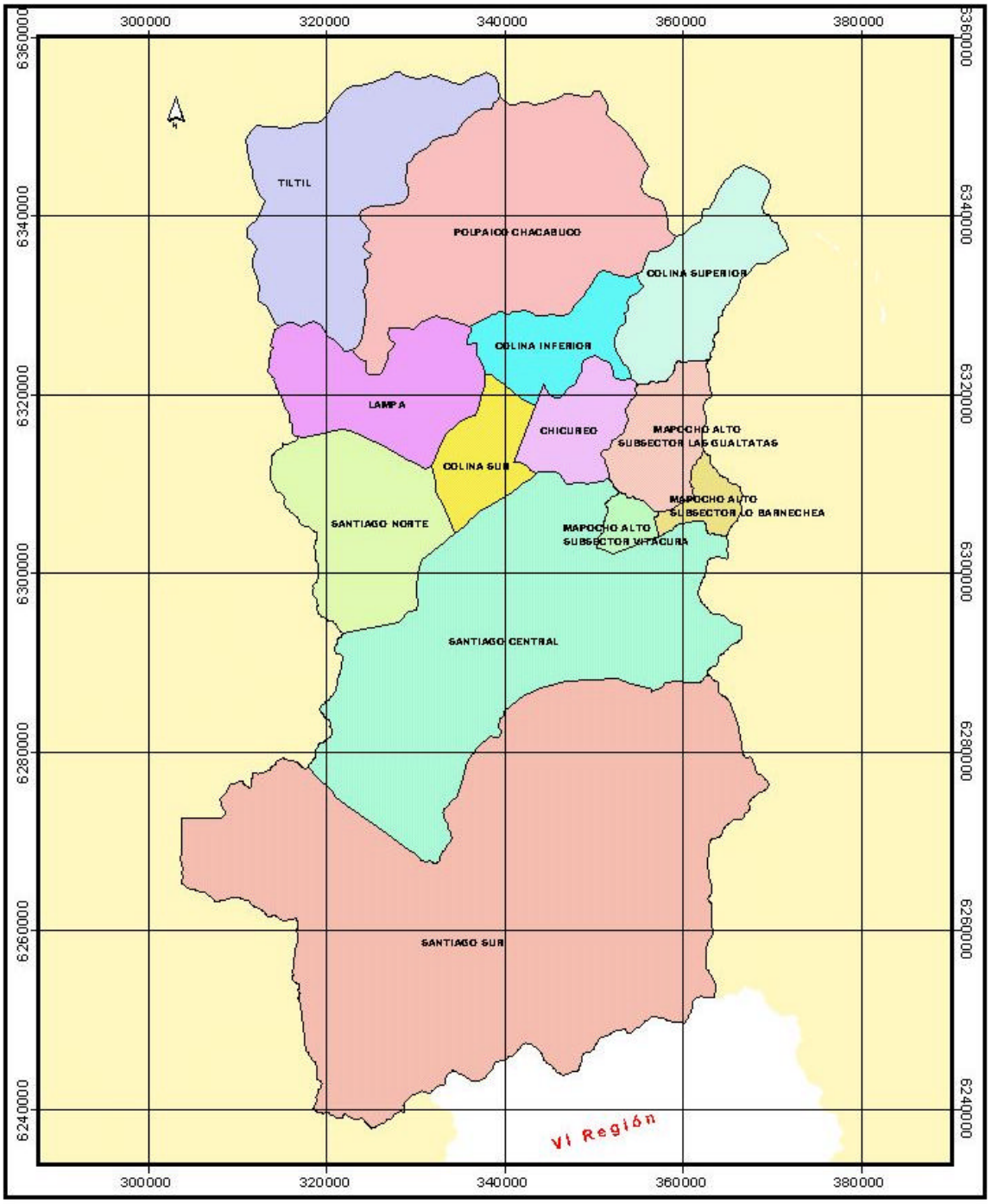
Para definir los sectores del área de estudio se hizo un reconocimiento a través de la cartografía topográfica y geológica, definiéndose los sectores de la zona de estudio en base a criterios hidrológicos, hidrogeológicos, geológicos, distribución espacial de la demanda (Mapa Nº 3).

La sectorización de la Cuenca del río Maipo hasta la confluencia con el estero Puangue considera una división asociada a las principales cuencas de la Región Metropolitana, dicha sectorización se presentan en la siguiente tabla:

Tabla Nº1. Sectorización zona de estudio

Sector
Til Til
Chacabuco-Polpaico
Lampa
Colina Inferior
Colina Sur
Santiago Norte
Chicureo
Colina Superior
Las Gualtatas
Lo Barnechea
Vitacura
Santiago Central
Santiago Sur

MAPA 3
SECTORIZACION ZONA DE ESTUDIO



DATUM PROVISORIO SUDAMERICANO 1956
PROYECCION TRANSVERSAL DE MERCATOR UTM
mapa3.apr

8 0 8 16 Km

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS
DEPTO DE ADM DE RECURSOS HIDRICOS
VSM

II.3 *Descripción de Sectores y Unidades Hidrogeológicas*

II.3.1 SECTORES ACUÍFEROS DE LA CUENCA DEL CHACABUCO Y MAIPO MAPOCHO

La cuenca de Santiago esta cubierta casi totalmente por los abanicos aluviales de los Ríos Maipo y Mapocho y de los Esteros Colina, Lampa, Las Ñipas y Río Clarillo (ver Mapa 2).

Geomorfológicamente los acuíferos definidos sobre cada sector corresponden a depósitos de sedimentos cuaternarios presentes en toda el área, cuya dinámica depositacional se encuentra controlada, en parte, por la existencia de cerros isla (ver Mapa 4).

Dichos depósitos sedimentarios corresponden a depósitos fluviales actuales, subactuales y antiguos aterrazados, depósitos coluviales y conos de deyección, depósitos lacustres y depósitos de abanico aluvial.

A continuación se hace una descripción de cada uno de los sectores identificados, no obstante, es importante destacar que la definición corresponde a "**sectores**". Luego, en cada uno de ellos, se encuentran contenidos "**acuíferos**", asociados a depósitos sedimentarios. Lo anterior dice relación con la definición de los límites de cada sector, que como podrá observarse corresponden fundamentalmente y en primer termino a límites hidrográficos, luego en segundo término se han usado criterios geológicos.

Por último, es importante hacer notar que para la descripción de las unidades hidrogeológicas correspondientes a cada sector se ha usado como referencia lo indicado en el Informe Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuencas de los Ríos Maipo y Mapocho.

II.3.1.1 Descripción de los sectores

SECTOR ACUÍFERO TILTIL

Es el sector más septentrional del área de estudio y corresponde a la cuenca hidrográfica que describe el Estero TilTil. Por el norte la cabecera del sector esta asociada a las subcuencas de los Esteros Caleu y Montenegro.

Sus límites Norte y Oeste corresponden a la línea que define el límite de la Región Metropolitana. Por el Este colinda con el sector de Polpaico Chacabuco a través del cordón de cerros que se encuentran frente a la localidad de TilTil. Por el Sur-Este, en la salida de la cuenca hidrográfica, en la zona de Polpaico, el Estero TilTil se llama Estero Polpaico y le tributa al Estero Chacabuco.

El sector entre las localidades de Rungue y Montenegro se encuentra en una superficie subhorizontal más elevada que el llano principal donde se emplaza la ciudad de Santiago, lo cual estaría relacionado a un origen tectónico.

La unidad acuífero principal está asociada a depósitos coluviales, conos de deyección, depósitos fluviales actuales y antiguos aterrazados.

SECTOR CHACABUCO- POLPAICO

Asociado a la cuenca hidrográfica del Estero Chacabuco, este sector se encuentra junto al sector de TilTil en el extremo norte del área metropolitana. En la cabecera de la cuenca hidrográfica los esteros Chacabuco, Santa Margarita y Quilapilun, juntan sus cauces en la zona de Angostura de Huechun, dando origen al Estero Chacabuco.

Sus límites Norte y Noreste corresponden a la línea que define el límite regional, por el Sureste limita con el Sector Colina Superior, y por el Sur con los sectores de Colina Inferior y Lampa.

La zona entre las localidades de Polpaico y Quilapilun, como en el sector anterior, constituye una superficie subhorizontal elevada por sobre el llano de la ciudad de Santiago, lo cual estaría relacionado a un origen tectónico al encontrarse escalonadas de norte a sur.

Los flujos de salida tanto subterráneos como superficiales de esta cuenca se juntan con los del sector de TilTil en la zona de Polpaico, dando origen al Estero Lampa.

Las unidades acuíferas principales están asociadas en su cabecera a depósitos coluviales y conos de deyección, luego en la zona media se distinguen los depósitos del abanico aluvial del Estero Chacabuco, formados por arenas y arenas gravosas, y en su parte baja, depósitos lacustres formados por sedimentos finos limo – arenosos – arcillosos. Intercalados entre ellos sobre todo el sector se encuentran los depósitos fluviales actuales y antiguos aterrazados, formados de gravas arenosas y arenas.

SECTOR LAMPA

El componente hidrológico más importante del sector es el Estero Lampa. El cual ingresa por el NorOeste desde los sectores de TilTil y Chacabuco-Polpaico a través de una cajón estrecho en la zona de Chicauma. Desde esta zona, los recursos tanto subterráneos como superficiales llegan al llano principal donde convergen los recursos de la cuenca del Lampa y del Colina.

Este llano principal se ha subdividido en los sectores de Lampa y Colina Sur considerando la influencia de los Esteros Lampa y Colina respectivamente.

El límite NorOeste del sector corresponde a la línea que define la cuenca hidrográfica del Estero TilTil, luego el limite Norte queda definido por los cerros que rodean el llano donde se ubica la Laguna Batuco, por el SurEste limita con el sector de Colina Sur, por el Sur con el sector de Santiago Norte y por el Oeste el límite queda establecido en función de la divisoria de aguas que separa la cuenca del Estero Puangue y la del Estero Lampa.

El acuífero se encuentra asociado principalmente a los depósitos del abanico aluvial del Río Colina en su zona baja, formados por sedimentos finos y a depósitos fluviales actuales y antiguos aterrazados, formados de gravas arenosas y arenas.

SECTOR COLINA SUPERIOR

Sus límites están establecidos por la cuenca hidrográfica que describe la cabecera del Estero Colina, hasta la angostura entre Loma Los Carrizos y cerro El Cepo. Desde el punto de vista geológico en dicho sector no se ha establecido la presencia de depósitos sedimentarios por lo que no es posible asociar una fuente de agua subterránea asociada a esta característica. Lo anterior, se encuentra ratificado por el hecho de que la demanda de agua subterránea en dicho sector es nula.

SECTOR COLINA INFERIOR

Se ubica inmediatamente aguas abajo del sector Colina Superior. Sus límites están establecidos por la continuación de la cuenca hidrográfica que describe el Estero Colina.

Por el norte limita con el sector de Chacabuco-Polpaico y por el Sur con el Sector de Chicureo. Por el SurOeste limita con el sector Colina Sur en la zona de San Vicente de Lo Arcaya.

El componente hidrológico más importante de este sector es el Estero Colina, el cual se desarrolla sobre depósitos fluviales actuales, luego el llano principal corresponde a depósitos del abanico aluvial del estero Colina en su zona apical, formados por gravas arenosas.

SECTOR COLINA SUR

Asociado a la influencia del estero Colina este sector corresponde a la continuación de la cuenca hidrográfica del Estero Colina, aguas abajo del sector de Colina Inferior. Limita por el NorOeste con el sector de Lampa, por el SurOeste con el sector de Santiago norte, por el SurEste con Santiago central y por el Este con el Sector de Chicureo.

Desde el punto de vista hidrogeológico el acuífero del sector corresponde a los depósitos del abanico aluvial del estero Colina en su zona intermedia y distal, formados por arenas y sedimentos finos respectivamente.

SECTOR CHICUREO

Asociado a una subcuenca aportante a la cuenca del Estero Colina, el acuífero de este sector corresponde a los depósitos del abanico aluvial del Estero Ñipas formado por arenas y arenas gravosas.

Limita por el Norte con el sector de Colina Inferior, por el Sur con el sector de Santiago Central y por el Este con el sector de Mapocho Alto, sin existir conexión hidráulica con ninguno de ellos. Finalmente por el Oeste limita con el Sector de Colina Sur, hacia el cual escurren los recursos tanto subterráneos como superficiales.

El acuífero de Chicureo está asociado principalmente a los depósitos del abanico aluvial del Estero Ñipas, formados de arenas y arenas gravosas.

SECTOR SANTIAGO NORTE

Constituye una subcuenca aportante a la cuenca del Estero Colina. En su cabecera el acuífero de este sector corresponde a depósitos coluviales y conos de deyección. El acuífero principal corresponde al abanico aluvial del Estero Lampa formado por arenas y arenas gravosas. No obstante lo anterior, es importante destacar en este sector la presencia de depósitos de cenizas pumicíticas, rioliticas, de colores claros que se ubican principalmente en las zonas de Lo Aguirre y Lomas de Pudahuel.

En este sector se produce la confluencia de los Esteros Lampa y Colina, manteniendo la identidad del primero, para luego juntarse con el Río Mapocho.

Limita por el Norte con el sector de Lampa, por el Sur con el sector de Santiago Central y por el Este con el sector de Colina Sur, manteniendo conexión hidráulica tanto superficial como subterránea con todos ellos. Finalmente por el Oeste el limite queda establecido en función de la divisoria de aguas que separa las cuencas del Estero Puangue y el Estero Colina.

SECTOR SANTIAGO CENTRAL

Este sector se encuentra emplazada la ciudad de Santiago y está asociado fundamentalmente a la cuenca hidrográfica del Río Mapocho.

La unidad acuífera principal de este sector corresponde a los depósitos del abanico aluvial del Río Mapocho, formados por gravas arenosas y arenas. Al igual que en el sector de Santiago Norte, destaca la presencia de depósitos de cenizas pumicíticas, rioliticas, de colores claros.

Limita por el Norte con los sectores de Santiago Norte, Colina Sur, Chicureo y Mapocho Alto y por el Sur con Santiago Sur, manteniendo conexión hidráulica con todos ellos excepto Chicureo. Por el Oeste el limite queda establecido en función de la divisoria de aguas que separa las cuencas del Estero Puangue y el Río Mapocho. Finalmente por el Este el limite se establece en función de la divisoria de aguas que separan el llano principal de pequeñas subcuencas ubicadas en la precordillera.

El río Mapocho surge en la zona alta, desde el sector de Mapocho Alto, luego en la zona de Pudahuel se produce la confluencia del río Mapocho con el Estero Lampa que proviene del sector de Santiago Norte y finalmente abandona el sector en la zona de Talagante poco antes de su confluencia con el Río Maipo.

SECTOR SANTIAGO SUR

Este sector se desarrolla fundamentalmente en la cuenca hidrográfica del Río Maipo; en las comunas ubicadas al sur de la ciudad de Santiago.

La unidad acuífero principal de este sector corresponde a los depósitos de los abanicos aluviales del Maipo, del Río Angostura, del estero Abrantes y del estero El Escorial, además de depósitos coluviales y conos de deyección.

Limita por el Norte con el sector de Santiago Central, manteniendo conexión hidráulica con él. El limite Este se establece en función de la divisoria de aguas que separan el llano principal de pequeñas subcuencas ubicadas en la precordillera en la zona de San Juan de Pirque. El límite Sur se define en función de la cuenca hidrográfica del Río Maipo limitando la cuenca del Río Angostura en la zona de Angostura de Paine. Por último, el limite Este se establece en función del cierre de la cuenca hidrográfica del Maipo en la zona de Pomaire.

SECTOR MAPOCHO ALTO

En la zona de Mapocho Alto, se han reconocido tres subsectores acuíferos:

- Las Gualtatas
- Lo Barnechea
- Vitacura

El subsector Las Gualtatas esta asociado a los depósitos coluviales y conos de deyección del Estero Las Gualtatas. Los subsectores de Lo Barnechea y Vitacura están asociados principalmente al abanico aluvial del Río Mapocho formado por gravas arenosas y arenas y depósitos fluviales actuales del mismo río formados por gravas arenosas y arenas.

Las captaciones de este sector se encuentran asociadas en general a los depósitos sedimentarios, sin embargo, existen captaciones ubicadas fuera del relleno a las cuales no es posible asociar una fuente de agua subterránea de esta característica, más aun, las captaciones en esta zona podrían reflejar la presencia de flujos preferenciales en roca.

El Mapocho ingresa al sector desde el Este en la zona de Nilhue, luego en la zona de Las Condes recibe los aportes del Estero el Arrayán y posteriormente en la zona de Lo Barnechea recibe al Estero Las Gualtatas, para abandonar el sector en la zona de Portada de Vitacura.

Los limites Este, Norte y Oeste del Sector están definidos por el límite de la cuenca hidrográfica del Estero las Gualtatas y por el Sur con la línea que cruza desde el cerro San Luis hasta el faldeo del Monte Morro Guayacan denominado Rincón Chico, pasando por el Cerro Calán.

II.3.1.2 Formación Acuífera de los Sectores

Sectores Chacabuco-Polpaico, TilTil y Lampa:

Sobre la base de la información estratigráfica que aportan los pozos, se han definido las siguientes unidades hidrogeológicas:

Unidad Lampa 1

Corresponde a un conjunto de sedimentos de fina granulometría constituidos por una fracción clástica mayor escasa formada por arenas, con ocasionales gravas, y una matriz abundante de arcillas y limos.

Esta unidad se dispone hacia la base de la secuencia, presumiblemente en contacto con la roca basal. Aún cuando son varios los pozos que han alcanzado profundidades superiores a 80 m (uno incluso alcanzó casi 170 m), éstos no detectaron la presencia de la roca fundamental.

Se ha logrado constatar la presencia de estos finos sedimentos básales a lo largo del valle tanto longitudinal como transversalmente, por lo que se estima que la continuidad de esta unidad es total.

Por sus características granulométricas, se estima para esta unidad una permeabilidad media cercana a 10^{-6} m/s.

Unidad Lampa 2

Sobreyaciendo a la Unidad Lampa 1 se reconoce la existencia de un conjunto de sedimentos permeables que se definieron como Unidad Lampa 2. Estos depósitos se caracterizan por presentar una granulometría constituida por una fracción clástica mayor de ripios, gravas y arenas gruesas y una matriz de arena media a fina con muy escasos limos y arcillas.

Esta unidad presenta una total continuidad a lo largo del eje longitudinal del valle exhibiendo potencias entre unos 65 y 30 m entre las cabeceras y unos 3 Km aguas abajo de la confluencia de los esteros Chacabuco y Quilapilún. En este tramo, además, los sedimentos de la Unidad Lampa 2 se presentan en superficie.

En el sector terminal del valle, la Unidad Lampa 2 se presenta intercalada con la Unidad Lampa 3.

En la zona donde los valles del Estero Peldehue y Quilapilún tributan al valle del Estero Chacabuco, se advierte una buena continuidad de la Unidad Lampa 2 hacia el sector de Quilapilún. En este caso, los gruesos sedimentos de esta unidad que se presentan en superficie, se profundizan manteniendo un espesor promedio de 40 m.

El mayor espesor detectado por los sondajes para esta unidad alcanza casi 100 m.

Desde el sector de tributación del estero Quilapilún al estero Chacabuco, hacia aguas abajo, la Unidad Lampa 2 se presenta subyaciendo a los sedimentos de la Unidad Lampa 3, con una

clara tendencia a profundizarse desde el sector de María Luisa hacia aguas abajo. Hacia el sector de Polpaico, vale decir en el área de confluencia del valle de TilTil al valle principal, si bien hacia el eje de este último se aprecia una reducción del espesor de la unidad, se advierte un aumento de su potencia hacia el norponiente, vale decir hacia el valle de TilTil.

Esta unidad constituye un acuífero de buenas características hidráulicas, estimándose sobre la base de sus características sedimentológicas una permeabilidad media entre 10^{-4} y 10^{-5} m/s.

Unidad Lampa 3

Hacia el techo de la secuencia sedimentaria, se reconoce la existencia de un conjunto de sedimentos finos que se disponen sobreyaciendo a los depósitos de la Unidad Lampa 2 y que se han definido como Unidad Lampa 3.

Estos rellenos se caracterizan por presentar una fracción de arenas medias a finas escasas y una abundante matriz arcillosa. En el sector alto de la cuenca, estos finos sedimentos tienen su origen en los aportes provenientes de las vertientes del valle principal y de los tributarios; sin embargo, hacia aguas abajo, estos rellenos corresponden, principalmente, a sedimentos de origen lacustre.

Los antecedentes indican que esta unidad tiene alta continuidad a lo largo del valle, salvo en el sector de cabeceras donde se presenta discontinua. Esto se debe a que en este sector los aportes detríticos provenientes de quebradas tributarias son de poca significación. En el extremo distal del valle estos sedimentos se disponen en parte sobreyaciendo y también subyaciendo a los detritos de la Unidad Lampa 2.

Los mayores espesores de esta unidad alcanzan en promedio unos 40 m.

De acuerdo con las características granulométricas de estos sedimentos, se estima para ellos una permeabilidad cercana a 10^{-6} m/s. Esto transforma a esta unidad en un medio de escaso atractivo hidrogeológico.

Sectores Colina Superior, Colina Inferior, Colina Sur, Chicureo y Santiago Norte:
En estos sectores los estudios han permitido reconocer las siguientes unidades hidrogeológicas:

Unidad Colina 1

La continuidad de la Unidad Colina 1, a lo largo y ancho de la zona es total, siendo ésta equivalente, por posición estratigráfica y características granulométricas, a la Unidad Lampa 1.

Unidad Colina 2

Esta unidad está constituida por sedimentos cuya fracción clástica mayor está conformada por arenas, gravas y ripios, subordinados, y una matriz de arena media a fina con escasas arcillas y limos.

Esta unidad sobreyace a los sedimentos de la Unidad Colina 1 y presenta excelente continuidad en sentido longitudinal al valle. Sólo en el extremo distal, vale decir en el sector de tributación del valle del estero Lampa en la Depresión Central, se presentan lentes de finos interestratificados en estos gruesos sedimentos.

En términos generales, se puede aseverar que la máxima potencia detectada para esta unidad se presenta hacia el eje del valle y hacia la vertiente norponiente del mismo llegando a más de 100 m.

Por sus características sedimentológicas, se estima que la permeabilidad media de esta unidad alcanza entre 10^{-4} y 10^{-5} m/s.

La Unidad Colina 2 es correlacionable, tanto por sus características granulométricas como por su posición estratigráfica con la Unidad Lampa 2 y con la Unidad B del sistema Maipo-Mapocho.

Unidad Colina 3

Hacia el techo de la secuencia sedimentaria, se reconoce la existencia de un conjunto de sedimentos finos que se disponen sobreyaciendo a los depósitos de la Unidad Colina 2 y que se han definido como Unidad Colina 3.

Estos rellenos se caracterizan por presentar una fracción de arenas medias a finas escasas y una abundante matriz arcillosa. La continuidad longitudinal y lateral de estos finos depósitos es muy alta.

Los mayores espesores de esta unidad alcanzan cerca de 70 m; en el sector ubicado unos 2,5 Km al Suroeste de la localidad de Esmeralda.

De acuerdo a las características granulométricas de estos sedimentos, se estima para ellos una permeabilidad media entre 10^{-6} y 10^{-7} m/s, de forma que para efectos prácticos puede considerarse como impermeable. Esta unidad es correlacionable con la Unidad B del sistema Maipo-Mapocho.

Sectores Santiago Central, Santiago Sur y Mapocho Alto.

De acuerdo a lo expuesto en los párrafos previos, esta extensa zona está formada por los valles de los ríos Maipo y Mapocho y el interfluvio que existe entre ambos. Antecedentes de los sondajes han permitido identificar en este amplio sector tres unidades estratigráficas, definidas sobre la base de las características granulométricas de los rellenos. Estas unidades se han denominado, de menor a mayor cota, Unidad A, Unidad B y Unidad C.

Unidad A

Se ubica hacia la base de la secuencia estratigráfica y se caracteriza por presentar una fina granulometría, que en algunos sectores es heterogénea, pero que siempre exhibe proporciones elevadas de arcillas. Su fracción clástica mayor suele estar conformada por arenas medias a finas y la matriz se caracteriza por ser muy abundante y estar constituida preferentemente por

arcillas. Se presenta sobreyaciendo a la roca basal e infrayaciendo a los sedimentos que constituyen 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. El alto contenido de finos, la transforma en una unidad de carácter impermeable. En función a las características sedimentológicas de estos sedimentos se estima para esta unidad una permeabilidad media variable entre 10^{-4} y 10^{-6} m/s.

Unidad B

Sobreyace a la Unidad A y está constituida por sedimentos de granulometría gruesa y media conformada por una fracción clástica mayor de gravas, arenas gruesas y ripios subordinados y una matriz de arena media a fina con escasas proporciones de limos y arcillas. A lo largo y ancho de la extensa zona estudiada, estos sedimentos experimentan algunas variaciones relativas de sus fracciones gruesas, manteniendo en todo caso su carácter de buena permeabilidad. Se estima para esta unidad una permeabilidad media variable entre 10^{-2} y 10^{-4} m/s. Constituye el acuífero relevante de la zona en comento.

Unidad C

Sobreyace a la Unidad B, quedando en el tramo superior de la secuencia sedimentaria. 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. Suele presentarse en forma discontinua en la zona y en general es probable que corresponda a aportes heterogéneos provenientes de los flancos de los valles y altos topográficos de la zona de estudio. Por su alto contenido de finos y usual discontinuidad, no constituye un medio propicio para anidar acuíferos; se estima para esta unidad una permeabilidad media entre 10^{-3} y 10^{-5} m/s.

II.3.2 RESUMEN

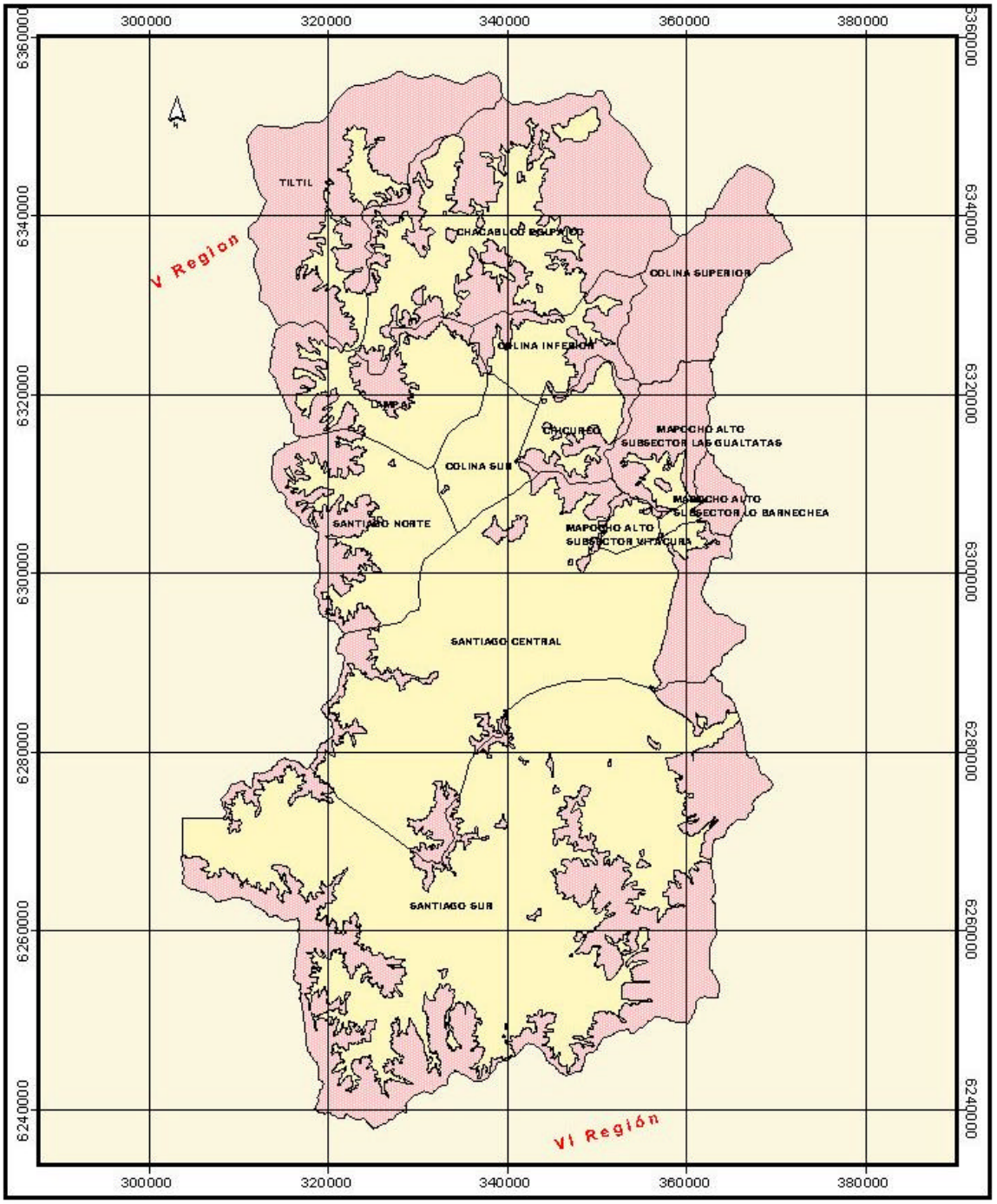
El siguiente cuadro es un resumen de los parámetros y valores más representativos de cada sector (Mapa 4).

Tabla Nº2. Parámetros de los sectores acuíferos.

	Unidad Acuífera Principal	Potencia Media (*)	Nivel Estático (*)	Superficie Relleno	Superficie Sector	Permeabilidad (*)
		m	m	Km^2	Km^2	m/s
Til Til	Lampa 2	10 – 30	5	64	428	10^{-4} - 10^{-5}
Chacabuco-Polpaico	Lampa 2	40 – 70	30	274	663	10^{-4} - 10^{-5}
Lampa	Lampa 2	10 – 40	15	161	265	10^{-4} - 10^{-5}
Colina Inferior	Colina 2	30 – 100	50	76	148	10^{-4} - 10^{-5}
Colina Sur	Colina 2	20 – 50	40	113	115	10^{-4} - 10^{-5}
Santiago Norte	Colina 2	10 – 40	20	187	299	10^{-4} - 10^{-5}
Chicureo	Colina 2	10 – 30	5	70	116	10^{-4} - 10^{-5}
Colina Superior	-	-	-	-	225	-
Las Gualtatas	B	10 – 30	30	24	133	10^{-4} - 10^{-6}
Lo Barnechea	B	30 – 150	30	10	45	10^{-4} - 10^{-6}
Vitacura	B	50 – 130	25	25	31	10^{-4} - 10^{-6}
Santiago Central	B	20 – 130	60	785	980	10^{-4} - 10^{-6}
Santiago Sur	B	40 – 100	20	1222	1896	10^{-4} - 10^{-6}

(*): Valor o rango promedio.

MAPA 4
DEPOSITOS SEDIMENTARIOS POR SECTOR



DATUM PROVISORIO SUDAMERICANO 1956
PROYECCION TRANSVERSAL DE MERCATOR UTM
mapa4.apr

8 0 8 16 Km

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS
DEPTO DE ADM DE RECURSOS HIDRICOS
MSM

III Modelos de Simulación

III.1 *Modelación Hidrogeológica*

La modelación hidrogeológica es una herramienta en la cual se conjugan los avances científicos y los conocimientos en torno de la hidrogeología, permitiendo en general la simulación del funcionamiento de un acuífero, a través de la definición de funciones matemáticas que representan los procesos que componen el sistema hidrogeológico.

La modelación contempla primero la definición del Modelo Conceptual, que corresponde a una representación de las condiciones hidrogeológicas reconocidas y una descripción de los procesos que ocurren en la zona de estudio. Una vez establecida esta etapa se procede a definir el Modelo Matemático, el cual constituye una representación matemática de la hidrología subterránea del área a través de la utilización de las ecuaciones fundamentales de flujo y conservación de masa con el objeto de simular el comportamiento del flujo subterráneo. Este segundo modelo es una traducción del modelo conceptual a un sistema o series de ecuaciones y algoritmos matemáticos que se resuelven simultáneamente.

Esta herramienta es fundamental para la administración de los recursos hídricos en general y específicamente para el manejo y control de las aguas subterráneas.

Dentro de las utilidades que brinda un modelo matemático de simulación hidrogeológica se encuentran:

- Mejorar el conocimiento hidrogeológico desde el punto de vista de la interpretación del funcionamiento de las aguas subterráneas, en el corto, mediano y largo plazo.

- Determinación de bombeo sustentable en el tiempo, es decir, poder conocer la cantidad de agua posible de extraer sin provocar efectos indeseados.

- Definir áreas de protección de aguas subterráneas y pozos de captación, es decir, permite conocer los efectos del bombeo a distancia.

- Analizar riesgos ambientales determinando por ejemplo direcciones más probables de transporte de contaminantes, tiempos de traslado y concentraciones en la zona de recepción.

III.2 *Descripción General del Modelo Hidrogeológico*

El Estudio Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuencas de los Ríos Maipo y Mapocho contempla los Modelos Maipo Mapocho y Chacabuco y constituyen la herramienta que permite representar el funcionamiento hidrogeológico de la depresión central de la Región Meropolitana. En el mapa Nº4 se muestra el área comprendida en el estudio de Modelación.

El modelo Maipo-Mapocho, permite representar el funcionamiento de los siguientes sectores acuíferos:

Colina Inferior

Lampa

Colina Sur

Chicureo

Mapocho Alto Subsector Las Gualtatas

Mapocho Alto Subsector Lo Barnechea

Mapocho Alto Subsector Vitacura

Santiago Norte

Santiago Central

Santiago Sur

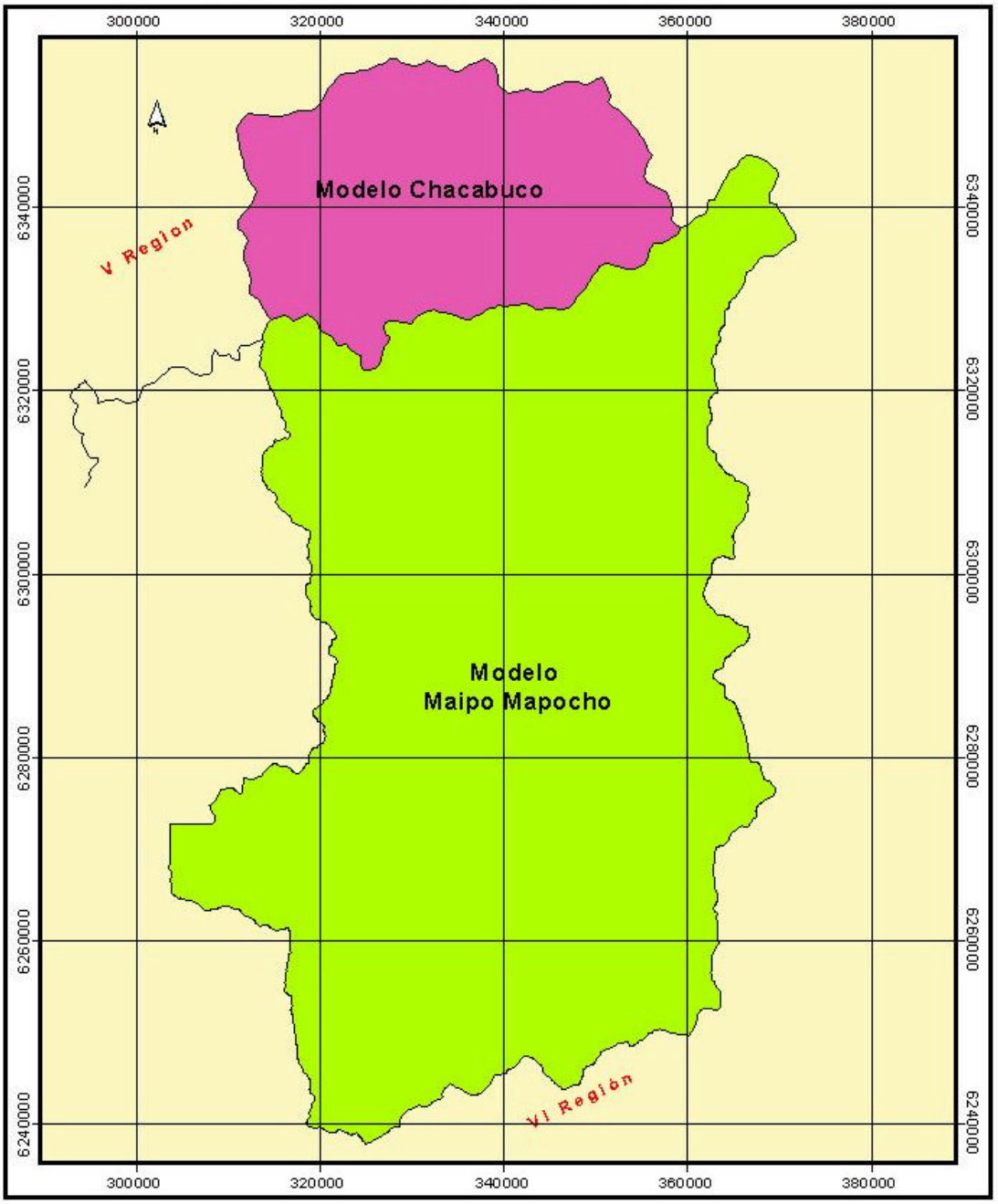
A su vez el Modelo Chacabuco, permite representar el funcionamiento de los siguientes sectores acuíferos:

TilTil

Chacabuco-Polpaico

A través de estas herramientas es posible simular la operación de los acuíferos de las zonas estudiadas, las cuales se describen a continuación:

MAPA 5
MODELOS CHACABUCO Y MAIPO MAPOCHO



8 0 8 16 Kilometers

DATUM PROVISORIO SUDAMERICANO 1956
PROYECCION TRANSVERSAL DE MERCATOR UTM
mapa5.apr

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS
DEPTO DE ADM DE RECURSOS HIDRICOS
VSM

III.2.1 MODELO MAIPO MAPOCHO

De acuerdo a estudios realizados, en la mayor parte del área de estudio modelada se tiene un acuífero freático, salvo en aquellos sectores al norte del Mapocho. El estrato acuífero presenta una relativa continuidad con niveles de agua que varían entre pocos metros en la zona Lampa – Colina y tramos medios y bajos del Maipo y Mapocho, hasta más de 100 m hacia la parte más alta de los ríos. Por su parte en el extremo de aguas abajo de la confluencia del Maipo con el Mapocho, los niveles han presentado gran estabilidad en el tiempo lo que constituye una buena condición de borde de nivel constante.

Respecto de la tendencia que presentan los niveles freáticos, es importante destacar que la principal fuente de recarga en toda el área esta asociada a las recargas directas desde las zonas de riego y desde los cauces superficiales, teniendo escasa relevancia aquellas provenientes de flujos subterráneos desde las secciones más altas de los valles, en las cabeceras de los cursos superficiales.

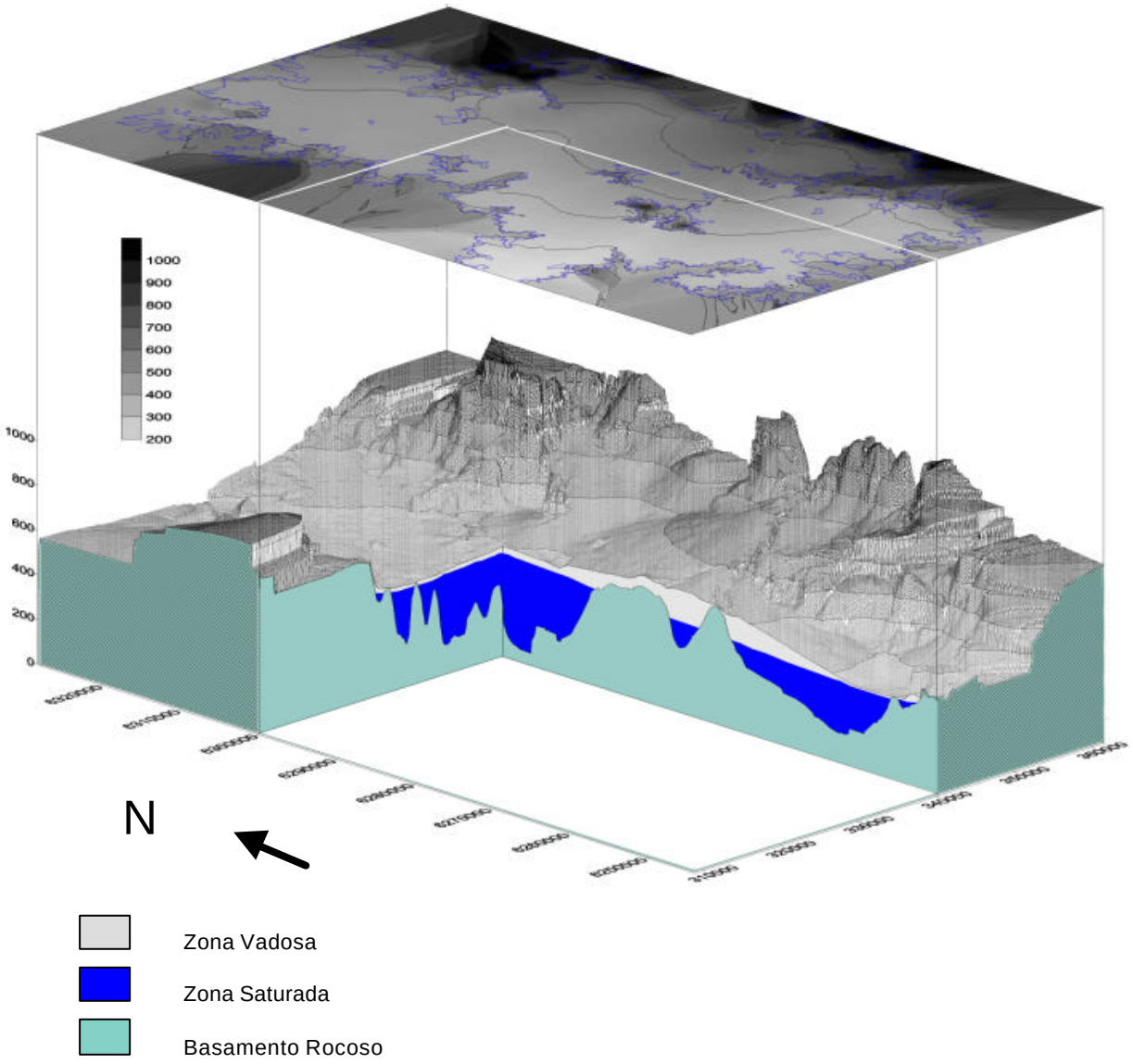
En cuanto a las variaciones estacionales, ellas resultan importantes y en general se aprecia una estrecha relación entre el aumento de recargas por riego o por precipitación y los ascensos de niveles estáticos. Esta situación es más notoria en los sectores medios y altos de los Ríos Maipo y Mapocho, mientras que se atenúa en el sector bajo de la zona de estudio, producto del represamiento y afloramiento de las aguas subterráneas asociado al progresivo estrechamiento del valle, lo que llega al extremo en la angostura del Maipo a partir de Talagante aproximadamente.

Debido a que la cantidad de información se concentra a partir del año 1990, la calibración del modelo se ha hecho para el periodo 1990-1998, en cuyo último tramo se ha tenido una situación de sequía, seguida de un brusco incremento de las recargas debido a las precipitaciones del año 1997. De acuerdo a esto, el periodo mencionado contiene condiciones medias, secas y húmedas otorgando mayor representatividad al modelo.

Como flujos de entrada al área de estudio, se han identificado las recargas provenientes de percolaciones de riego, de los aportes desde los cauces superficiales a la napa subterránea, percolaciones por pérdidas de conducción, percolaciones por precipitación directa sobre la zona y percolaciones por pérdidas de la red de agua potable de Santiago, menor importancia tienen los flujos subterráneos de entrada modelados a través de las condiciones de borde de nivel constante definidas. Como flujos de salida, se tiene el flujo propio de la napa en el extremo de aguas abajo de la zona, las descargas hacia el sistema de drenaje superficial (recuperaciones en los ríos) y las extracciones desde pozos, norias y drenes.

El área modelada y su proyección en Planta se presentan a continuación, en la Figura Nº1.

Figura Nº1. Representación del Modelo Maipo Mapocho.



III.2.1.1 Discretización Espacial y Temporal Modelo Maipo Mapocho

Discretización Espacial Horizontal

El Modelo Maipo Mapocho comprende el denominado valle del gran Santiago, cuya área se encuentra, comprendida aproximadamente entre las coordenadas UTM: 6.328.600 m – 6.244.000 m Norte y 309.000 m – 362.400 m Este, que corresponde al interfluvio de los ríos Maipo y Mapocho, incluyendo a los Esteros Lampa, Colina por el norte y Angostura y otros, por el sur (Mapa Nº5).

El área de estudio definida permite incluir completamente la zona del valle de Santiago, aunque adicionalmente, quedan incluidas dentro del perímetro algunas regiones que no son de interés hidrogeológico, estas zonas se ubican por sobre la cota del contacto roca – relleno y sectores ubicados en los limites del área de estudio, principalmente en las zonas altas de quebradas afluentes al valle principal, donde no existen captaciones de aguas subterráneas asociadas al relleno, debido a que las dimensiones de este resultan poco significativas. De acuerdo a lo anterior las zonas de cerro se definieron como celdas inactivas, quedando definidas como activas las celadas restantes.

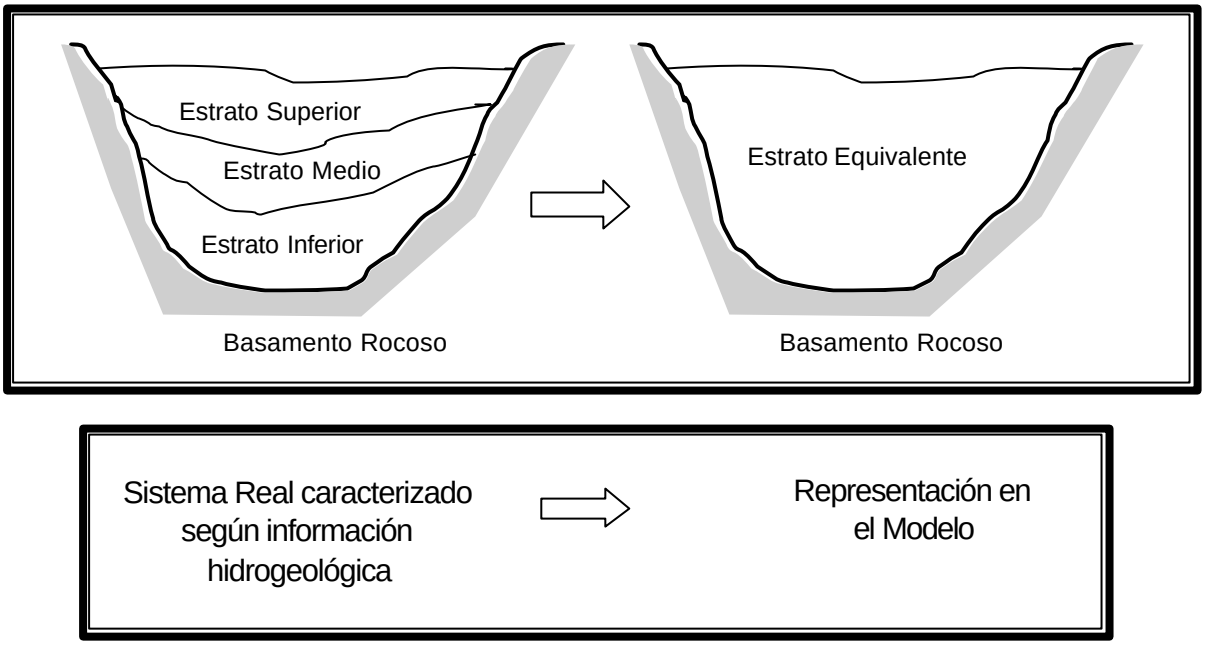
La discretización espacial en planta se refiere a la forma en que es subdividida el área de estudio en celdas rectangulares, definidas por filas y columnas. El número de filas es de 265 y el de columnas 236, lo que implica un total de 62540 celdas en planta, aunque no todas ellas se encuentran activas. En cuanto a las dimensiones de cada celda estas varían entre 100 y 310 m en el sentido Este – Oeste y entre 100 y 620 m en el sentido Norte – Sur. Una representación de esta subdivisión se presenta en la Figura Nº3.

Discretización Espacial Vertical

De acuerdo a la información hidrogeológica existente, el relleno sedimentario fue caracterizado en tres unidades o estratos. El superior presenta un reducido espesor y no alberga a los acuíferos propiamente tales del área de estudio. Subyaciendo a esta unidad, se encuentra el estrato intermedio desde el cual se extraen gran parte de los recursos subterráneos a través de los sondajes existentes dado su buen potencial como acuífero, finalmente el estrato inferior presenta un considerable espesor pero de menor calidad como acuífero.

Sobre la base de lo anterior, para la representación del sistema real en el modelo se definió un estrato único de propiedades equivalentes a las de los tres estratos reales, de espesor igual a la suma de dichos estratos, esto es considerando la superficie del terreno natural y el basamento rocoso. Lo anterior se encuentra representado en la figura Nº2 (representación no a escala)

Figura Nº2. Representación del perfil vertical en modelo.

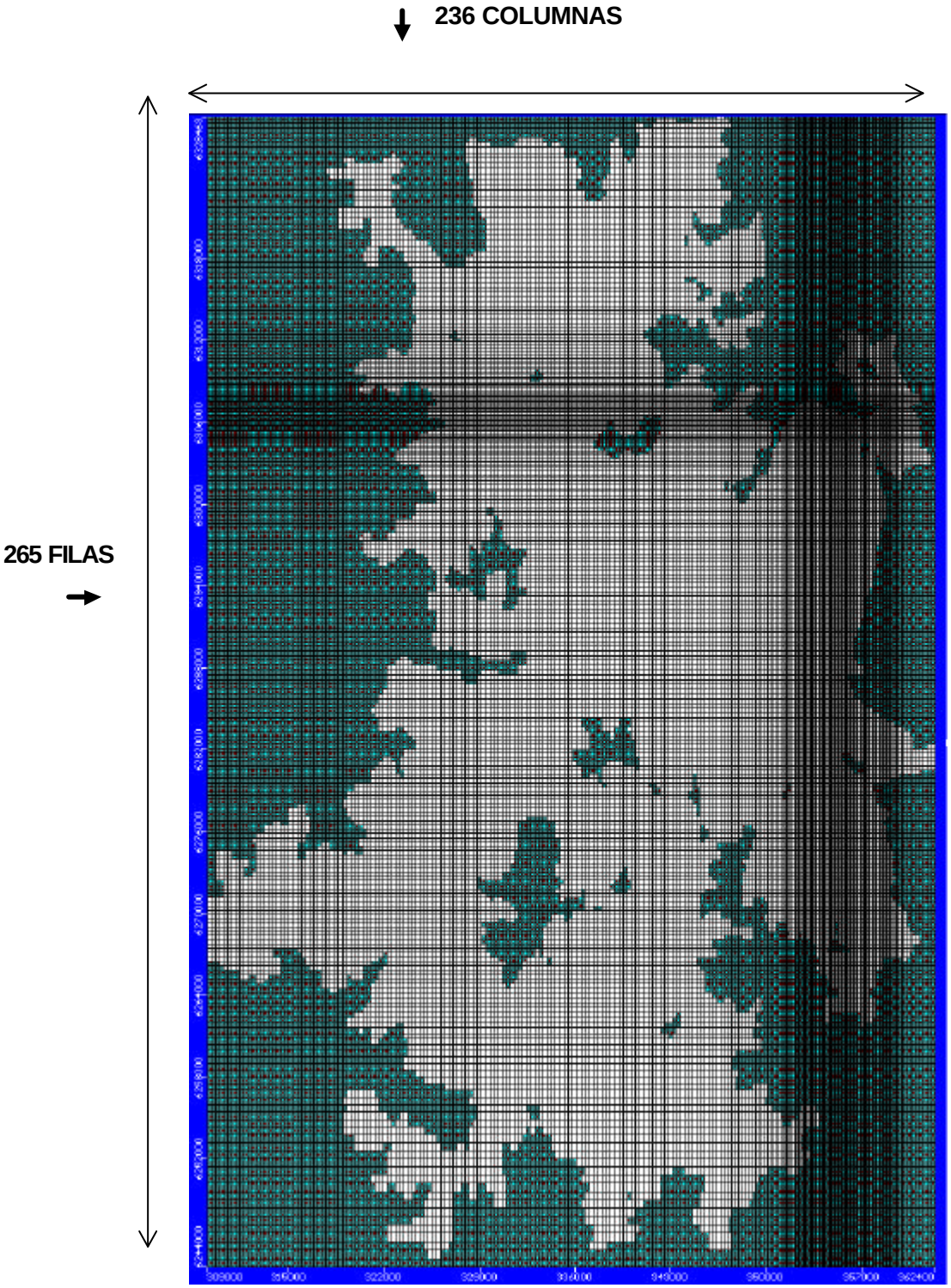


Discretización Temporal

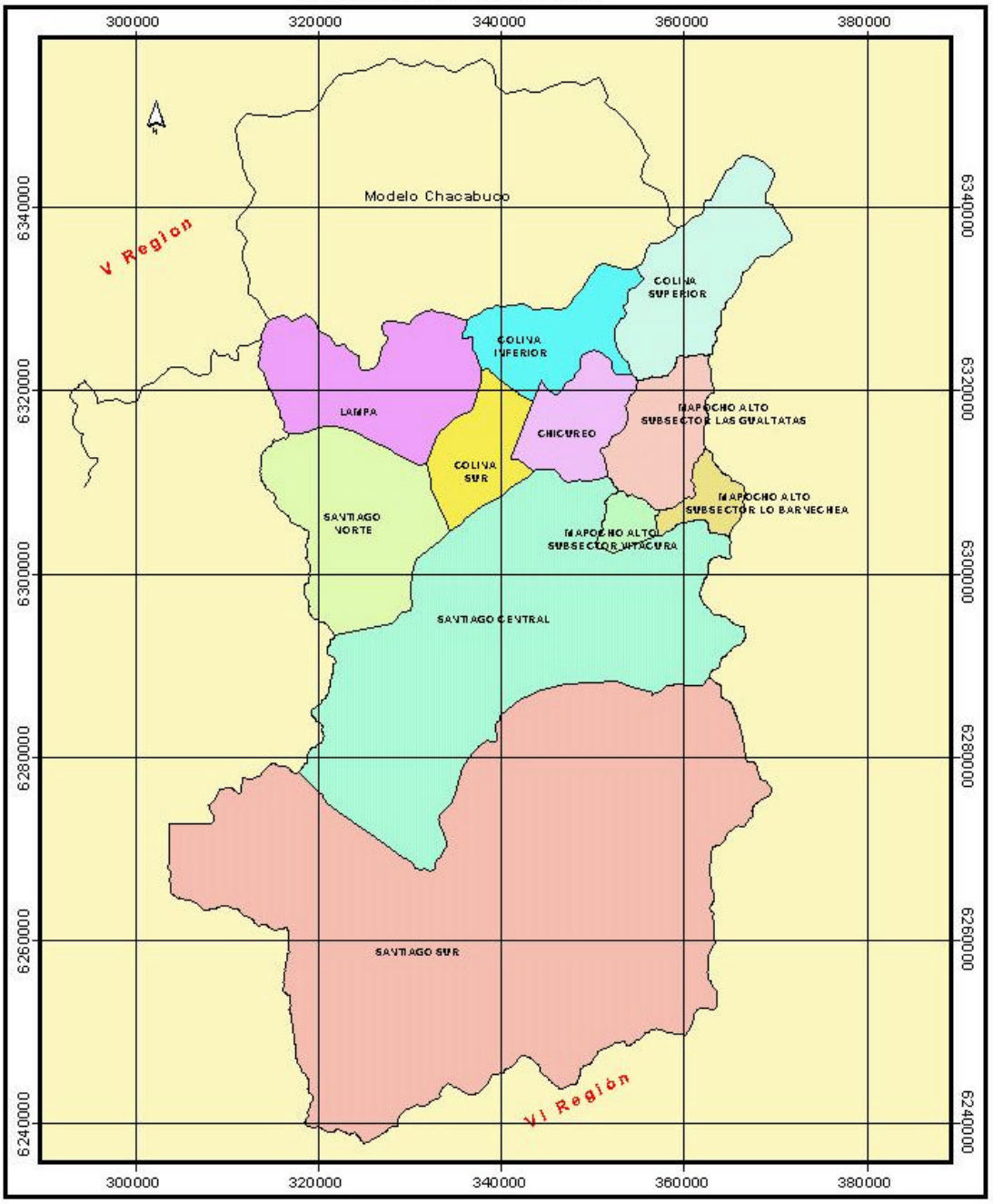
Tal como se indicó, el periodo seleccionado para realizar la calibración y validación del modelo corresponde al periodo entre Enero 1990 y Marzo 1998, por la representatividad de las condiciones.

La discretización principal del tiempo esta determinada por el régimen de bombeo de las captaciones y por las variaciones de las recargas. De acuerdo a esto, el intervalo fue establecido en un mes, por lo que el modelo opera en cada pasada para un total de 24 años comprendidos entre 1950 y 1973, equivalentes a 288 meses o “stress periods”. Para modelar un período de 48 años, se simula dos periodos de 24 años para un mismo escenario y se promedian los valores.

Figura Nº3. Discretización Horizontal del Modelo Maipo Mapocho



MAPA 6
MODELO MAIPO MAPOCHO



8 0 8 16 Kilometers

DATUM PROVISORIO SUDAMERICANO 1956
PROYECCION TRANSVERSAL DE MERCATOR UTM
mapa6.apr

MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS
DIRECCION GENERAL DE AGUAS
DEPTO DE ADM DE RECURSOS HIDRICOS
VSM

III.2.2 MODELO CHACABUCO

Los niveles estáticos en el sector Nororiente (Estero Chacabuco) se ubican entre los 25 y 60 m de profundidad. Entre Huechun y Punta de Peuco se mantiene esta situación pero los niveles se ubican entre los 30 y 10 m respectivamente. Hacia aguas abajo de Punta de Peuco los niveles se encuentran más superficiales a menos de 10 m, en el primer estrato el cual produce el confinamiento del acuífero principal.

En los sectores de Chacabuco y TilTil los niveles presentan sólo variaciones estacionales, en cambio en la zona baja de Polpaico, a parte de la variación estacional se aprecia en los últimos diez años una tendencia al descenso hasta 1996 y luego una recuperación a partir del año 1997 producto de las precipitaciones del año 1997.

La principal fuente de recarga en la zona es producto de los excedentes de riego, desde los cauces superficiales y desde los embalses. Los flujos subterráneos desde zonas altas no tienen relevancia salvo en el extremo nororiente del valle donde el relleno presenta alta permeabilidad.

Como flujos de entrada al sistema se pueden reconocer las recargas provenientes de las percolaciones de riego, los aportes desde cauces superficiales, la infiltración desde embalses (Huechun y Las Tortolas), percolaciones por pérdidas de conducción en canales, percolaciones por precipitación directa sobre el sector y percolaciones por pérdidas de la red de agua potable en las zonas urbanas. Los flujos subterráneos de entrada en las cabeceras de los valles son poco importantes en magnitud y se simularon a través de celdas de nivel constante en los extremos Nororiente, Oriente, Suroriente y Norponiente. Como flujos de salida, se tiene el flujo propio de la napa en el extremo aguas abajo del valle (Chicauma), que aflora con abundancia y las extracciones desde pozos y norias.

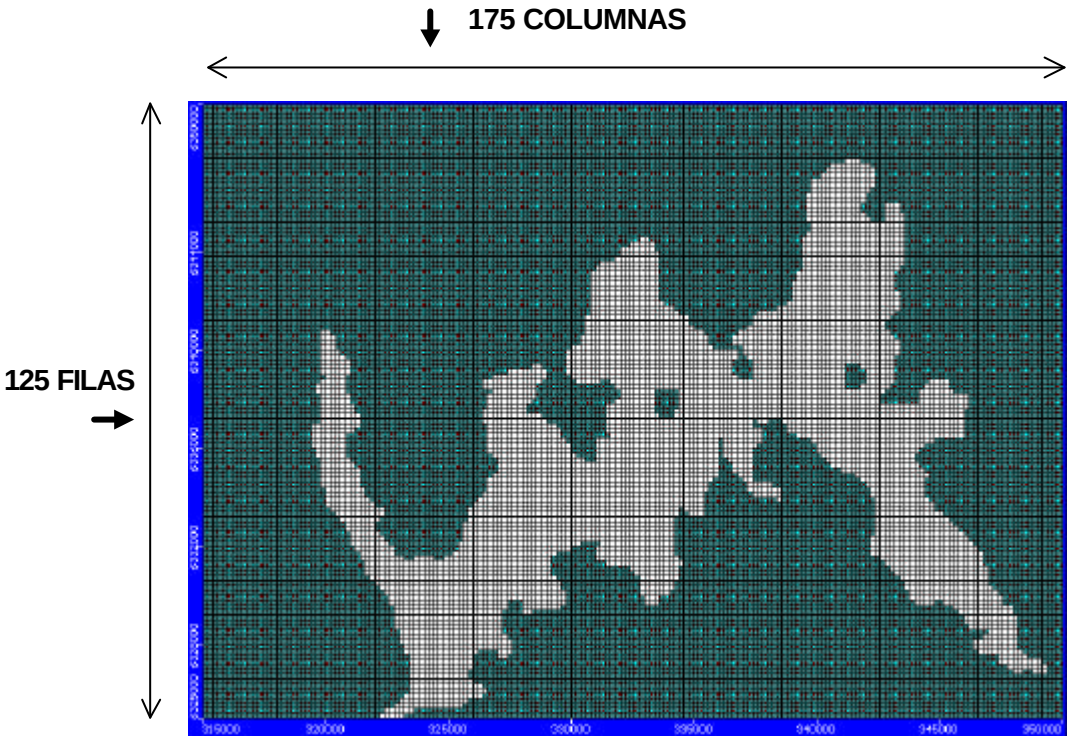
III.2.2.1 Discretización Espacial y Temporal Modelo Chacabuco

Discretización Espacial Horizontal

El Modelo Chacabuco comprende las cuencas de los esteros Peldehue, Quilapilún, Chacabuco y Polpaico, cuya área se encuentra comprendida aproximadamente entre las coordenadas UTM: 6.350.000 m – 6.325.000 m Norte y 350.000 m – 315.000 m Este (Mapa 7).

La discretización espacial en planta se refiere a la forma en que es subdividida el área de estudio en celdas rectangulares, definidas por filas y columnas. El número de filas es de 125 y el de columnas 175, lo que implica un total de 21.875 celdas en planta, aunque no todas ellas se encuentran activas. En cuanto a las dimensiones de cada celda estas son de 200 x 200 m. Una representación de esta subdivisión se presenta en la figura siguiente.

Figura Nº4. Discretización Horizontal del Modelo Chacabuco



Discretización Espacial Vertical

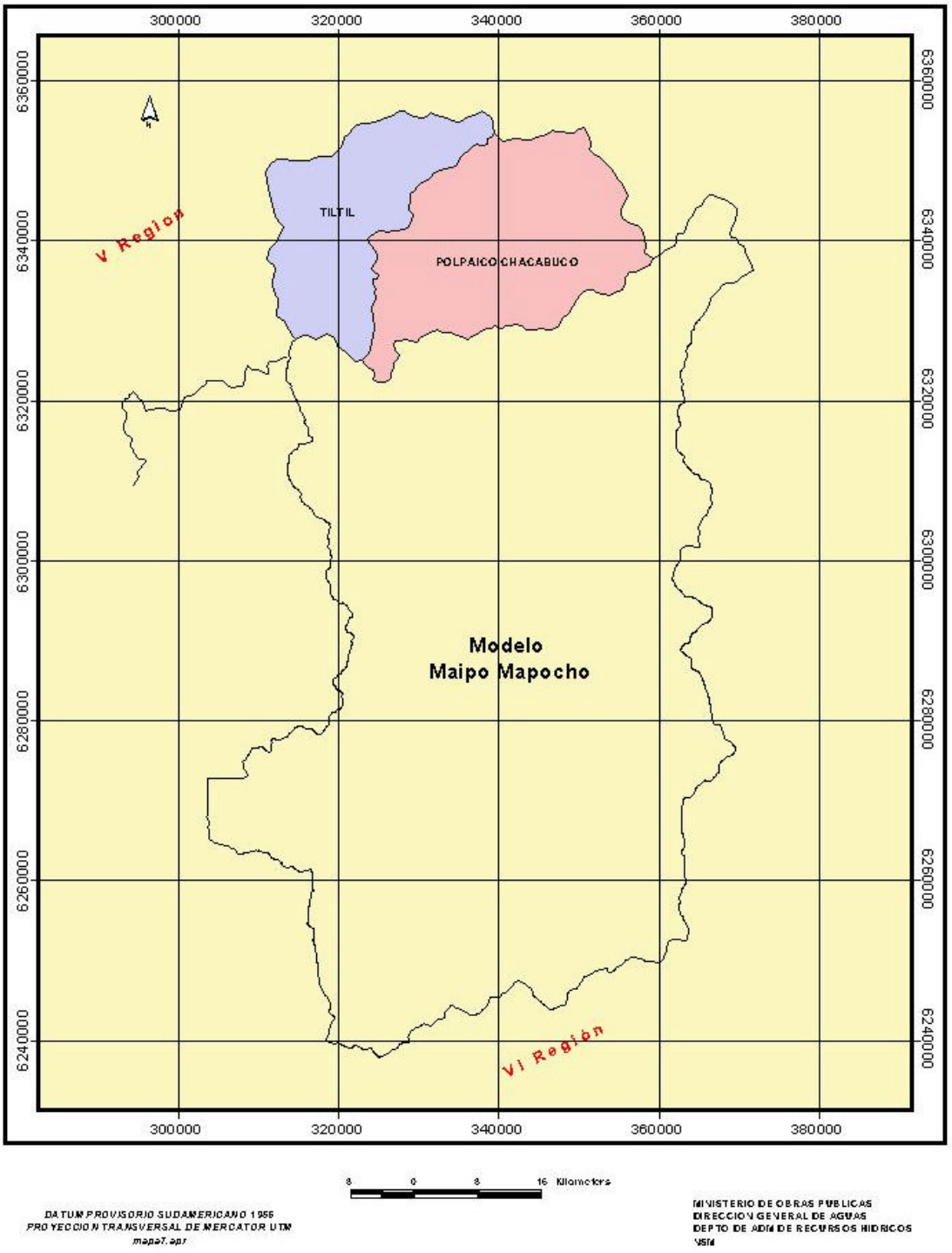
La división del relleno en sentido vertical, en el modelo hidrogeológico se ha representado el sistema a través de un estrato único equivalente. El estrato superficial en algunos sectores queda por sobre el nivel estático y donde esto no ocurre, debido a su baja calidad acuífera y su reducido espesor tiene un efecto secundario en la dinámica del sistema. De los antecedentes recopilados se presume que estrato inferior posee una calidad acuífera más baja que el estrato intermedio.

Sobre la base de lo anterior, para la representación del sistema real en el modelo se definió un estrato único de propiedades elásticas equivalentes. a las de los tres estratos reales, de espesor igual a la suma de dichos estratos, esto es considerando la superficie del terreno natural y el basamento rocoso (Figura 2, representación no a escala).

Discretización Temporal

El periodo seleccionado para realizar la calibración y validación del modelo fue dividido en 16 semestres (stress periods) y corresponde al periodo entre Abril de 1990 y Marzo 1998.

MAPA 7
MODELO CHACABUCO



III.3 *Descripción Escenarios de Simulación*

A través de estos Modelos, es posible simular la operación y comportamiento de los acuíferos de la Región Metropolitana de acuerdo a un conjunto de condiciones predeterminadas, de manera que es posible establecer la capacidad de estos de soportar distintos caudales de explotación en el largo plazo y los descensos de niveles equipotenciales asociados.

Las sucesivas actualizaciones de la demanda de solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas presentadas ante la Dirección General de Aguas han significado el replanteo de distintos escenarios.

Para el caso del **Modelo Chacabuco**, que simula una explotación conjunta de los sectores **TilTil y Chacabuco-Polpaico** y para efectos de este estudio, se consideraron los resultados del escenario (d) del estudio "Modelo de Simulación Hidrogeológico Operacional Cuencas de los Río Maipo y Mapocho".

Para el caso de **Modelo Maipo-Mapocho** se utilizaron los resultados de tres escenarios de explotación:

Escenario Nº1: Simula la explotación de los sectores acuíferos de Colina Inferior, Lampa, Colina Sur, Santiago Norte, Chicureo, Mapocho Alto subsector Las Gualtatas, Mapocho Alto subsector Lo Barnechea, Mapocho Alto subsector Vitacura.

Escenario Nº2: Contempla la simulación del escenario Nº1 incorporando el sector de Santiago Central.

Escenario Nº3: Contempla la simulación del escenario Nº2 incorporando el sector de Santiago Sur.

III.4 *Resultados de la Modelación*

La modelación hidrogeológica obtenida es adecuada puesto que en la calibración se ha logrado un buen nivel de ajuste a las condiciones históricas registradas en pozos con control de niveles. Así, desde la perspectiva de la gestión del recurso hídrico, la Dirección General de Aguas puede asegurar una correcta administración de los recursos en el largo plazo.

La determinación de la disponibilidad supone en cualquier caso identificar las diferentes fuentes y los diversos mecanismos que intervienen, todo ello a partir de la información disponible para el área de estudio, integrando una gran variabilidad tanto espacial como temporal de antecedentes, en valores medios validos para un territorio extenso.

La evaluación efectuada ha permitido estimar valores medios de disponibilidad por sectores, los cuales conllevan un nivel de incertidumbre asociado. Los factores anteriormente señalados se han considerado frente a la determinación de acciones a seguir en las zonas del área de estudio.

Modelo Chacabuco:

A continuación se presenta el cuadro con los resultados del balance del Modelo Chacabuco, en el cual se ha considerado en forma conjunta los sectores de TilTil y Chacabuco Polpaico:

MODELO CHACABUCO

Sector Acuíferos TilTil y Chacabuco-Polpaico							
Entradas (m^3/s)					Almacenamiento		
Almacenamiento	Flujo Subterráneo Entrada	Variación desde Embalses	Recarga Superf.	Total Entradas	Variación por vaciado	Variación por llenado	Diferencia Neta
0.487	**0.115**	**0.367**	**1.709**	**2.191**	**0.476**	**0.487**	**-0.011**
Salidas (m^3/s)							
Almacenamiento	Bombeo pozos	Afloramiento		Total salidas	Bombeo Inicial	Bombeo final	
0.476	**2.121**	**0.078**		**2.199**	**2.955**	**1.847**	

Producto de los balances realizados se ha podido constatar que la explotación en los sectores de TilTil y Chacabuco Polpaico es intensa y que en la actualidad la demanda sobrepasa la disponibilidad definida de acuerdo a los criterios de la Dirección General de Aguas. Los resultados de los balances indican además que los caudales de bombeo exceden a los flujos de recarga del sistema, produciendo un descenso de los niveles pero logrando un nuevo equilibrio en el largo plazo.

De este se puede inferir que en los sectores de TilTil y Chacabuco Polpaico, la explotación sustentable implica caudales en torno a los 2,95 m^3/s.

Modelo Maipo Mapocho.

Los sectores involucrados en el Modelo Maipo Mapocho se presentan a continuación:

- Lampa
- Colina Inferior
- Colina Sur
- Chicureo
- Mapocho Alto Subsector Las Gualtatas
- Mapocho Alto Subsector Lo Barnechea
- Mapocho Alto Subsector Vitacura
- Santiago Norte
- Santiago Central
- Santiago Sur

Los siguientes cuadros presentan los resultados de los balances en los sectores analizados por el Modelo Maipo-Mapocho para cada uno de los tres escenarios analizados.

ACUÍFERO MAIPO MAPOCHO

Escenario Nº1

Sector Acuífero Lampa

ENTRADA (m3/s)

	Almacenamiento	Condición de Borde	Recarga Cauces	Recarga Superficial		Zona Colina Sur--> Lampa	Zona Stgo Norte --> Lampa	Total Entradas
	0,530	0,020	0,180	2,060		0,060	0,300	2,630

SALIDA(m3/s)

	Almacenamiento	Condición de Borde	Bombeo Pozos	Afloramiento Drenes	Afloramiento Cauces	Zona Lampa --> Colina Sur	Zona Lampa --> Stgo Norte	Total Salidas
	0,430	0,010	1,340	0,000	0,030	0,580	0,760	2,730

ALMACENAMIENTO

Variación por Vaciado (m3/s)	Variación por Llenado (m3/s)	Diferencia Neta (m3/s)
0,430	0,530	-0,100

Bombeo Inicial (m3/s)	Bombeo Final (m3/s)
1,490	1,300

Sector Acuífero Colina Inferior

ENTRADA (m^3/s)

	Almacenamiento	Condición de Borde	Recarga Cauces	Recarga Superficial		Zona Colina Sur-->Colina inferior	Zona Chicureo --> Colina Inferior	Total Entradas
	0,180	0,980	0,060	0,930		0,030	0,030	2,020

SALIDA(m^3/s)

	Almacenamiento	Condición de Borde	Bombeo Pozos	Afloramiento Drenes	Afloramiento Cauces	Zona Colina inferior-->Colina Sur	Zona Colina Inferior -->Chicureo	Total Salidas
	0,170	0,000	1,660	0,000	0,000	0,360	0,010	2,040

ALMACENAMIENTO

Variación por Vaciado (m3/s)	Variación por Llenado (m3/s)	Diferencia Neta (m3/s)
0,170	0,180	-0,010

Bombeo Inicial (m3/s)	Bombeo Final (m3/s)
2,610	1,570

Sector Acuífero Colina Sur

ENTRADA (m3/s)

	Almacenamiento	Condición de Borde	Recarga Cauces	Recarga Superficial		Zona Colina inferior-->Colina Sur	Zona Chicureo --> Colina Sur	Zona Lampa --> Colina Sur	Zona Stgo Norte --> Colina Sur	Zona Stgo Central --> Colina Sur	Total Entradas
	0,750	0,000	0,180	1,700		0,360	0,210	0,580	0,440	0,450	3,930

SALIDA(m3/s)

	Almacenamiento	Condición de Borde	Bombeo Pozos	Afloramiento Drenes	Afloramiento Cauces	Zona Colina Sur-->Colina inferior	Zona Colina Sur--> Chicureo	Zona Colina Sur --> Chicureo	Zona Colina Sur --> Stgo Norte	Zona Colina Sur --> Stgo Central	Total Salidas
	0,530	0,000	3,410	0,000	0,000	0,030	0,090	0,060	0,050	0,510	4,150

ALMACENAMIENTO

Variación por Vaciado (m3/s)	Variación por Llenado (m3/s)	Diferencia Neta (m3/s)
0,530	0,750	-0,220

Bombeo Inicial (m3/s)	Bombeo Final (m3/s)
3,41	3,410

Sector Acuífero Santiago Norte

ENTRADA (m3/s)

	Almacenamiento	Condición de Borde	Recarga Cauces	Recarga Superficial		Zona Colina Sur--> Stgo Norte	Zona Lampa --> Stgo Norte	Zona Stgo Central -->Stgo Norte	Total Entradas
	0,490	0,000	0,470	2,130		0,050	0,760	0,110	3,510

SALIDA (m3/s)

	Almacenamiento	Condición de Borde	Bombeo Pozos	Afloramiento Drenes	Afloramiento Cauces	Zona Stgo Norte --> Colina Sur	Zona Stgo Norte --> Lampa	Zona Stgo Norte --> Stgo Central	Total Salidas
	0,460	0,000	1,300	0,080	0,580	0,440	0,300	0,850	3,560

ALMACENAMIENTO

Variación por Vaciado (m3/s)	Variación por Llenado (m3/s)	Diferencia Neta (m3/s)
0,460	0,490	-0,030

Bombeo Inicial (m3/s)	Bombeo Final (m3/s)
1,300	1,300

Sector Acuífero Chicureo									ALMACENAMIENTO		
ENTRADA (m3/s)									Variación por Vaciado (m3/s)	Variación por Llenado (m3/s)	Diferencia Neta (m3/s)
	Almacenamiento	Condición de Borde	Recarga Cauces	Recarga Superficial		Zona Colina Inferir --> Chicureo	Zona Colina Sur-->Chicureo	Total Entradas			
	0,110	0,000	0,000	0,240		0,010	0,090	0,340	0,080	0,110	-0,030
SALIDA(m3/s)											
	Almacenamiento	Condición de Borde	Bombeo Pozos	Afloramiento Drenes	Afloramiento Cauces	Zona Chicureo --> Colina Inferior	Zona Chicureo --> Colina Sur	Total Salidas	Bombeo Inicial (m3/s)	Bombeo Final (m3/s)	
	0,080	0,000	0,130	0,000	0,000	0,030	0,210	0,370	0,550	0,100	

Sector Acuifero Mapocho Alto Subsector Lo Barnechea										ALMACENAMIENTO		
ENTRADA (m3/s)										Variación por Vaciado (m3/s)	Variación por Llenado (m3/s)	Diferencia Neta (m3/s)
	Almacenamiento	Condición de Borde	Recarga Cauces	Recarga Superficial		Zona Vitacura --> Lo Barnechea	Zona Stgo Central--> Lo Barnechea	Zona Las Gualtatas --> Lo Barnechea	Total Entradas			
	0,010	0,590	0,310	0,100		0,000	0,280	0,960	2,230	0,010	0,010	0,000
SALIDA (m3/s)												
	Almacenamiento	Condición de Borde	Bombeo Pozos	Afloramiento Drenes	Afloramiento Cauces	Zona Lo Barnechea --> Vitacura	Zona Lo Barnechea --> Stgo Central	Zona Lo Barnechea --> Las Gualtatas	Total Salidas	Bombeo Inicial (m3/s)	Bombeo Final (m3/s)	
	0,010	0,000	0,500	0,000	0,000	1,260	0,370	0,110	2,240	0,50	0,50	

Sector Acuífero Mapocho Alto Subsector Vitacura									ALMACENAMIENTO		
ENTRADA (m3/s)									Variación por Vaciado (m3/s)	Variación por Llenado (m3/s)	Diferencia Neta (m3/s)
	Almacenamiento	Condición de Borde	Recarga Cauces	Recarga Superficial		Zona Stgo Central-->Vitacura	Zona Lo Barnechea --> Vitacura	Total Entradas			
	0,010	0,000	0,780	0,220		0,230	1,260	2,490	0,010	0,010	0,000
SALIDA (m3/s)											
	Almacenamiento	Condición de Borde	Bombeo Pozos	Afloramiento Drenes	Afloramiento Cauces	Zona Vitacura -->Stgo Central	Zona Vitacura --> Lo Barnechea	Total Salidas	Bombeo Inicial (m3/s)	Bombeo Final (m3/s)	
	0,010	0,000	0,540	0,000	0,000	1,960	0,000	2,500	0,540	0,540	

Sector Acuifero Mapocho Alto Subsector Estero Gualtatas"								ALMACENAMIENTO		
ENTRADA (m3/s)								Variación por Vaciado (m3/s)	Variación por Llenado (m3/s)	Diferencia Neta (m3/s)
	Almacenamiento	Condición de Borde	Recarga Cauces	Recarga Superficial		Zona Lo Barnechea --> Las Gualtatas	Total Entradas			
	0,040	0,000	0,450	0,490		0,110	1,050	0,040	0,040	0,000
SALIDA (m3/s)										
	Almacenamiento	Condición de Borde	Bombeo Pozos	Afloramiento Drenes	Afloramiento Cauces	Zona Las Gualtatas --> Lo Barnechea	Total Salidas	Bombeo Inicial (m3/s)	Bombeo Final (m3/s)	
	0,040	0,000	0,090	0,000	0,000	0,960	1,050	0,09	0,090	

Escenario Nº1. Fuente" *Modelo de Simulación Hidrogeológico Operacional Cuencas de los Río Maipo y Mapocho. SIT Nº62 de 2000".*

Escenario Nº 2

Sector Acuífero Santiago Central											
ENTRADA (m3/s)											
	Almacenamiento	Condición de	Recarga	Recarga		Zona	Zona	Zona	Zona	Zona	Total
		Borde	Cauces	Superficial		Colina Sur --> Stgo Central	Stgo Norte --> Stgo Central	Vitacura -->Stgo Central	Stgo Sur --> Stgo Central	Lo Barnechea --> Stgo Central	Entradas
	3,250	0,000	2,830	15,284		**0,431**	**1,211**	**1,124**	**9,200**	**0,226**	30,305
SALIDA (m3/s)											
	Almacenamiento	Condición de	Bombeo	Afloramiento	Afloramiento	Zona	Zona	Zona	Zona	Zona	Total
		Borde	Pozos	Drenes	Cauces	Stgo Central --> Colina Sur	Stgo Central -->Stgo Norte	Stgo Central-->Vitacura	Stgo Central -->Stgo Sur	Stgo Central--> Lo Barnechea	Salidas
	2,570	0,000	14,143	0,000	13,179	**0,237**	**0,074**	**0,272**	**2,859**	**0,226**	30,990

ALMACENAMIENTO

Variación por Vaciado (m3/s)	Variación por Llenado (m3/s)	Diferencia Neta (m3/s)
2,570	3,250	-0,680

Bombeo Inicial (m3/s)	Bombeo Final (m3/s)
15,62	13,87

***Escenario Nº2**. Fuente"Minuta Técnica AM Nº 4 de 11 de Octubre de 2000, Departamento de Estudios y Planificación".*

Escenario Nº3

Sector Acuífero Santiago Sur							
ENTRADA (m3/s)							
	Almacenamiento	Condición de	Recarga	Recarga		Zona	Total
		Borde	Cauces	Superficial		Stgo Central -->Stgo Su	Entradas
	5,073	1,442	6,506	32,944		2,854	43,746
SALIDA (m3/s)							
	Almacenamiento	Condición de	Bombeo	Afloramiento	Afloramiento	Zona	Total
		Borde	Pozos	Drenes	Cauces	tgo Sur --> Stgo Centr	Salidas
	4,810	2,675	6,663	0,529	25,874	8,383	44,124

ALMACENAMIENTO

Variación por Vaciado (m3/s)	Variación por Llenado (m3/s)	Diferencia Neta (m3/s)
4,810	5,073	-0,263

Bombeo Inicial (m3/s)	Bombeo Final (m3/s)
6,696	6,654

***Escenario Nº2**. Fuente"Memo AM Nº12 de 5 de Mayo de 2004, Departamento de Estudios y Planificación".*

De los resultados entregados, se puede señalar que:

MODELACIÓN ESCENARIO Nº1

De la modelación realizada en este escenario, se puede inferir que en los sectores que se presentan a continuación, los caudales de extracción neta implican caudales en torno a los siguientes valores:

Tabla Nº3. Cuadro Resumen Caudales de Extracción Neta

Sector	**Caudales (m^3/s)**
Colina Inferior	1,70
Lampa	1,49
Chicureo	0,55
Colina Sur	3,41
Mapocho Alto Subsector Las Gualtatas	0,09
Mapocho Alto Subsector Lo Barnechea	0,50
Mapocho Alto Subsector Vitacura	0,54
Santiago Norte	1,30

MODELACIÓN ESCENARIO Nº2

De la modelación realizada en este escenario, se puede inferir que el caudal de extracción neta para el sector de **Santiago Central** implica caudales en torno a los 16 m^3/s.

MODELACIÓN ESCENARIO Nº3

De la modelación realizada en este escenario, se puede inferir que en el caudal de extracción neta para el sector de **Santiago Sur** implica caudales en torno a los 7 m^3/s. En el balance se muestra que el bombeo inicial es en torno a los 6,7 m^3/s, pero este bombeo no incluye aquellos pozos que se encuentran fuera de la zona modelada, por lo tanto para definir el caudal de extracción neta en este estudio se han adicionado estos caudales a los bombeos señalados en el balance.

Los resultados indican que en general los sectores de las provincias de Chacabuco y Santiago en la Región Metropolitana, se encuentran a un nivel de explotación intensivo donde no soportaron los bombeos impuestos y con descenso de niveles en la mayor parte de estos.

Los valores antes indicados corresponden a los caudales de extracción neta y sirven de base para la determinación de los derechos de Aprovechamiento susceptibles de ser otorgados en el acuífero. En el Anexo 2, se presentan las gráficas de descenso de niveles producto de la simulación del bombeo impuesto en cada sector.

IV Interferencia sobre los caudales del río Maipo Mapocho, producto del bombeo[1].

Para evaluar la interferencia a las aguas superficiales producto del aumento del bombeo en la zona de Santiago Sur (zonas correspondientes a Pirque, Buin, Paine y el Monte) se eligió como escenario base el escenario "ESC 5" , el cual se describe a continuación:

Escenario Base: ESC 5, del Informe Modelo de Simulación Hidrológico Operacional cuencas de los ríos Maipo Mapocho, escenario correspondiente a bombeos de derechos constituidos y solicitados hasta marzo 1998, con situación de recargas calculadas con el MOS en situación futura.

Este escenario fue escogido como base para la evaluación de la interferencia, por tener una modalidad de simulación igual a la del escenario a evaluar, (Esc 16-marzo 2004), en donde la Interferencia puede ser atribuible sólo al efecto del aumento del bombeo y no a otra acción dentro del sistema.

Por otro lado, el ESC 5 corresponde a una situación anterior de demanda, marzo 1998, la cual es considerada sin interferencia al río.

Metodología y Desarrollo del cálculo de la Interferencia a las aguas superficiales.

Para el cálculo de la interferencia, se trabajan los resultados a partir de la modelación realizada con el modelo subterráneo Visual Modflow, para cada uno de los escenarios en análisis: ESC 5 (marzo 1998) y ESC 16 (marzo 2004).

Desde el modelo subterráneo, una vez simulado los 48 años para todo el acuífero Maipo, se extraen los resultados por zonas de balances, correspondientes a las recargas de los ríos al acuífero (River leakage in) y los afloramientos de cauce (River leakage out), para cada uno de las zonas de balance que se desea conocer. De esta forma se obtienen los flujos netos de cada una de las zonas, a través del tiempo a una escala mensual, que nos indicará a la vez si la zona actúa como recarga al acuífero o como afloramiento hacia el río.

El análisis de la interferencia, se realizará sólo en las zonas en la cuales se ha aumentado el bombeo para el escenario Esc 16- marzo 2004, ya que en las demás zonas, en relación con la situación de derechos ya otorgados, la situación está resuelta.

A continuación, la Figura 5 y Tabla Nº4 se señalan las zonas de balance del sistema Maipo Mapocho modelado.

[1] Fuente: Departamento de Estudios y Planificación. DGA.

Figura Nº5. Zonas de Balance Maipo-Balance para la zona estudiada

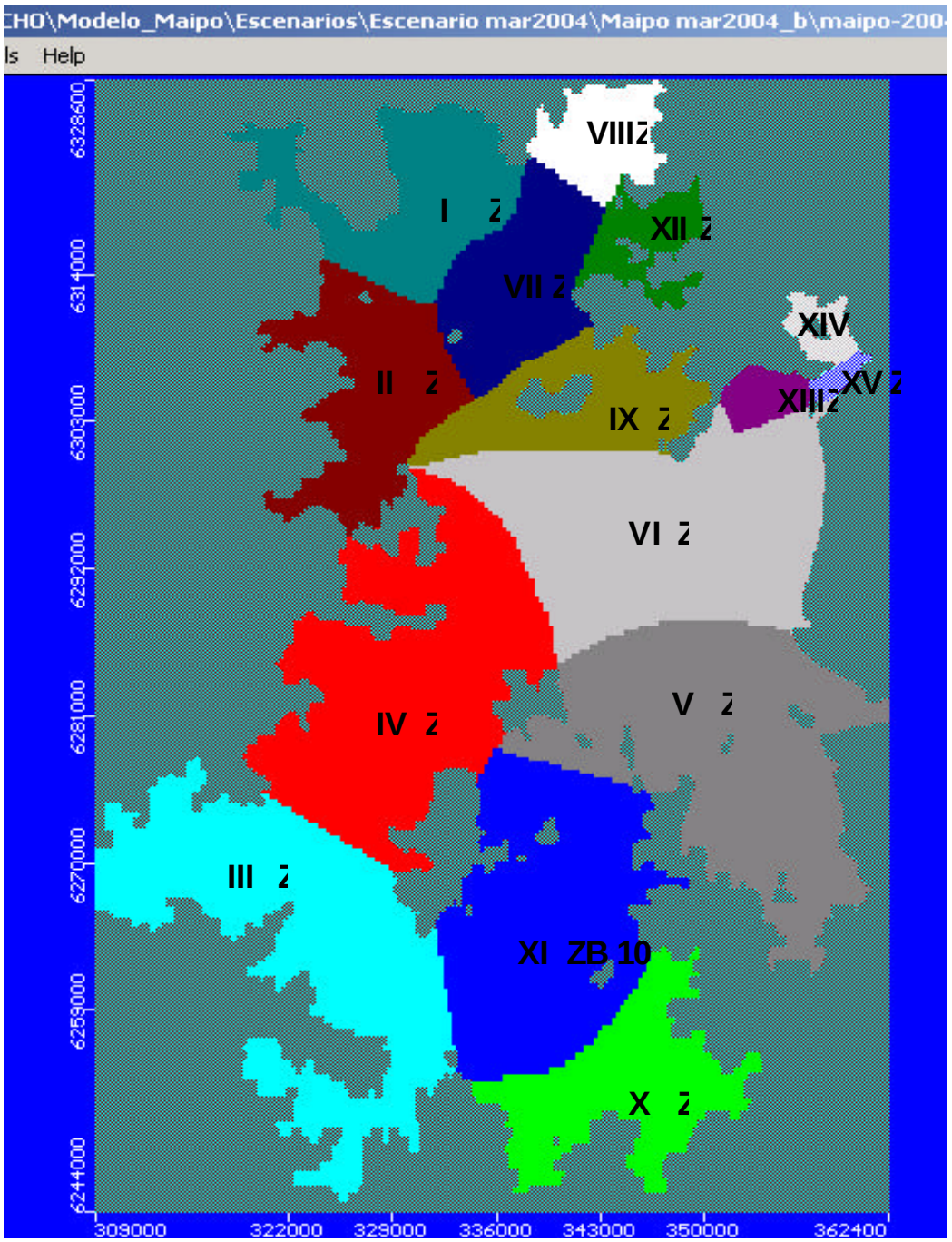


Tabla Nº4. Caracterización Zonas de Balance (ZB)

ZONA DE BALANCE	NOMBRE
ZB 1	Colina Inferior
ZB 2	Colina Sur
ZB 3	Chicureo
ZB 4	Lampa
ZB 5	Santiago Norte
ZB 6	Mapocho Alto (A): Vitacura
ZB 7	Renca
ZB 8	Santiago Centro
ZB 9	**Pirque**
ZB 10	**Buin**
ZB 11	**Paine**
ZB 12	**El Monte**
ZB 13	Peñaflor
ZB 21	Mapocho Alto C: Estero las Gualtatas
ZB 23	Mapocho Alto B: Lo Barnechea

En negrita se han marcado los sectores a los cuales corresponde evaluar la interferencia: Pirque, Buin, Paine y El Monte.

Una vez que se tienen los flujos netos por zona, a escala mensual (Anexo IV.3-RCH Neta), se consideran como interferencia al río, sólo aquellos meses en los cuales hay una disminución en el flujo neto, es decir, cuando la diferencia de los flujos netos es positiva. Esta nomenclatura se debe a que para obtener la interferencia se hace la diferencia del flujo neto del escenario actual (Esc 16) menos el flujo neto del escenario base (Esc 5). En anexos se puede apreciar las tablas para cada una de las zonas y las interferencias a nivel mensual (Columna Delta Real). Los signos negativos siempre implicarán afloramientos y aumentos de agua, desde el punto de vista del río. Signos positivos implican percolaciones y disminuciones en el flujo, es decir, interferencia.

La interferencia global del sistema se estima como el promedio de las interferencias netas (Delta Real) mensuales, para cada una de las zonas, es decir, lo que deja de percibir el río como flujo o afloramiento desde el acuífero.

Para estimar el grado de importancia de la interferencia, se calcula el porcentaje de interferencia en la zona referido al caudal pasante en el río. Para ello, se escogieron registros históricos en puntos de cabecera para cada uno de los sectores analizados, que corresponden a nodos del sistema de modelación superficial MOS Maipo.

Para la zona de Pirque, se escogió el N02 (río Maipo a la altura del estero El Manzano); para Buin el N04 (río Maipo altura junta río Clarillo); para Paine, los nodos N13 + N15, para incluir el aporte del río Angostura y del Estero Escorial respectivamente; y para el Sector El Monte, los nodos N22 + N43, que corresponden a los caudales de cabecera del sector provenientes del río Mapocho y del río Maipo respectivamente. (Para mayor detalle de la Ubicación espacial de los nodos, referirse al Plano E-1 del Estudio Modelo de Simulación Hidrológico Operacional Cuencas de los ríos Maipo Mapocho, Tomo Planos, DGA-AC 1998).

Los caudales considerados, corresponden a los caudales históricos simulados por el Modelo de Simulación MOS Maipo, recalibrado en abril 2003, con un rango de caudales mensuales desde abril 1950 hasta marzo 1998. Se decidió usar esta información, porque no se cuenta con estadística observada para cada uno de los sectores de cabecera ni con esa amplitud de años y porque los caudales afluentes a los nodos estimados por el modelo bajo las condiciones históricas reflejan la situación mas parecida a la realidad que se tiene.

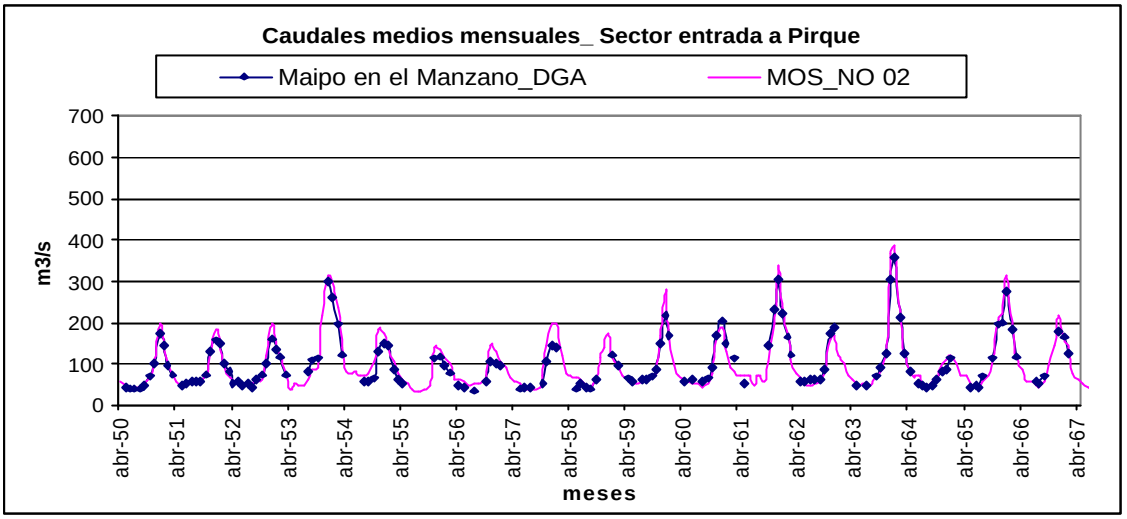
Para corroborar lo anterior, la DGA cuenta con dos estaciones de observación de caudales medios mensuales, que pueden ser asimilados a algunos de estos nodos y comprobar, además de la calibración abril 2003, que los caudales que el modelo estima, son similares a los que las estaciones miden.

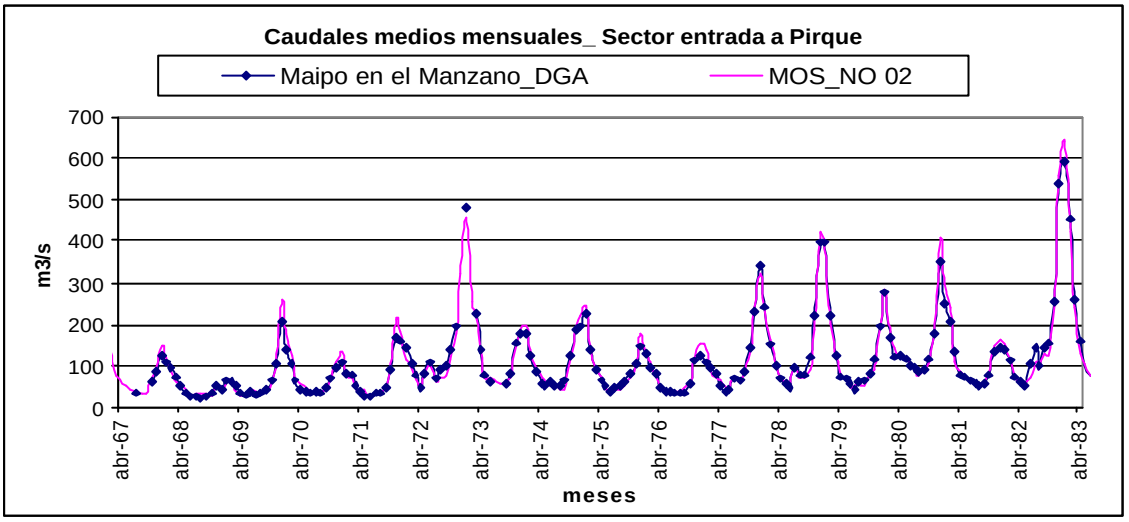
La Estación Mapocho en Rinconada de Maipú se puede relacionar con el Nodo 40 del Modelo Mos Maipo, sector Peñaflor, con caudales medios anuales de 25,1m^3/s y 30,4m^3/s respectivamente; y la estación Maipo en el Manzano, se puede relacionar con el N02 de la zona de Pirque, con caudales medios anuales de 110,4m^3/s y 108,9m^3/s respectivamente. Las figuras 6 y 7 se muestra la variación mensual para cada uno de los nodos y estaciones mencionados anteriormente.

Así, teniendo en consideración los resultados de la calibración del Modelo Mos Maipo y el análisis para los sectores de Peñaflor y Pirque, se asume que los caudales entregados por el modelo representan adecuadamente los caudales pasantes o afluentes al río, y son éstos los considerados para el cálculo de la interferencia al río.

En Anexos IV.1, se presentan los valores tabulados los caudales medios mensuales en los nodos de cada uno de los sectores, como también los caudales observados por la DGA para las estaciones comparadas.

Figura Nº6. Variación Mensual en estación Maipo en el Manzano y Nodo 02





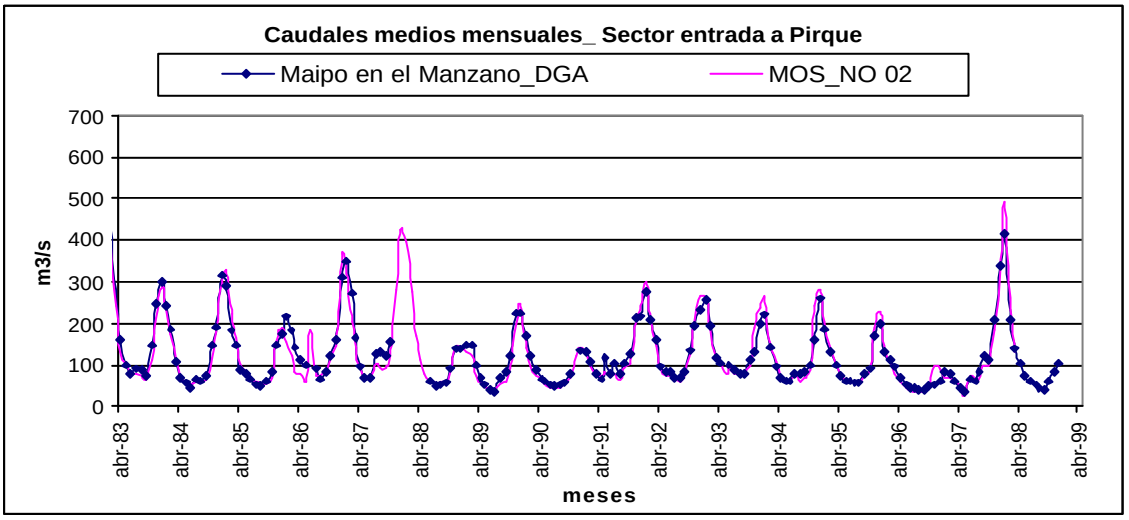
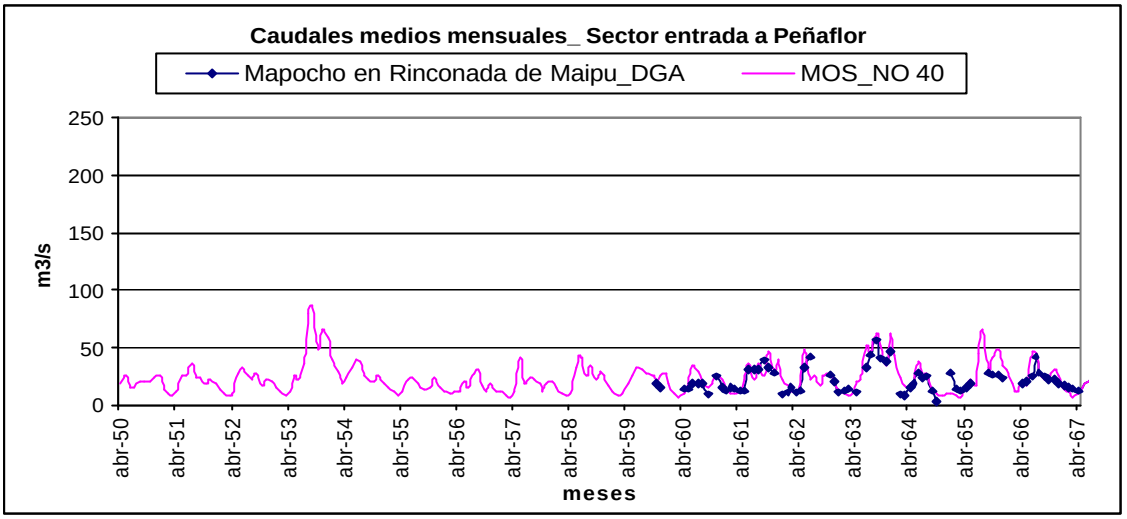
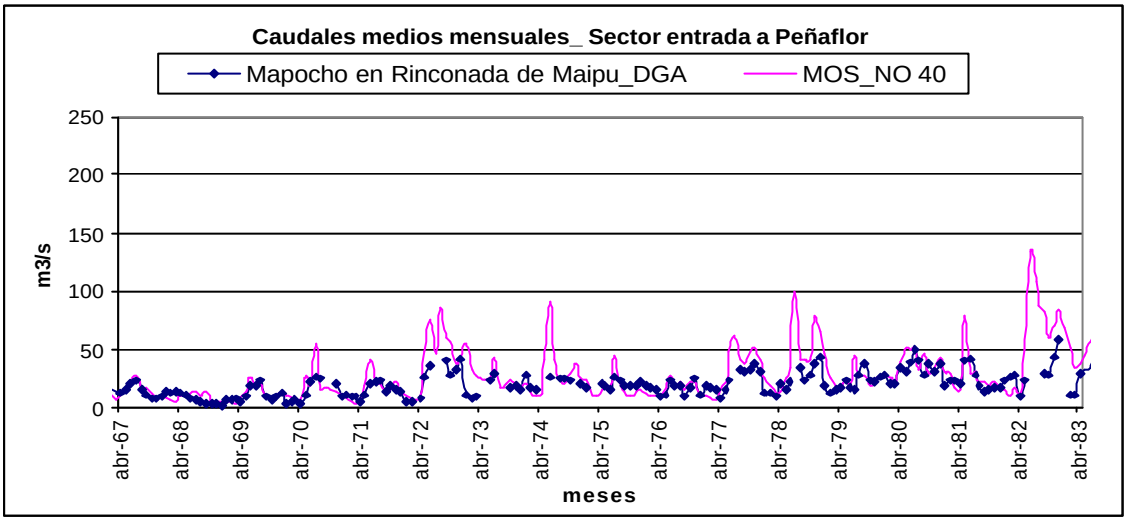
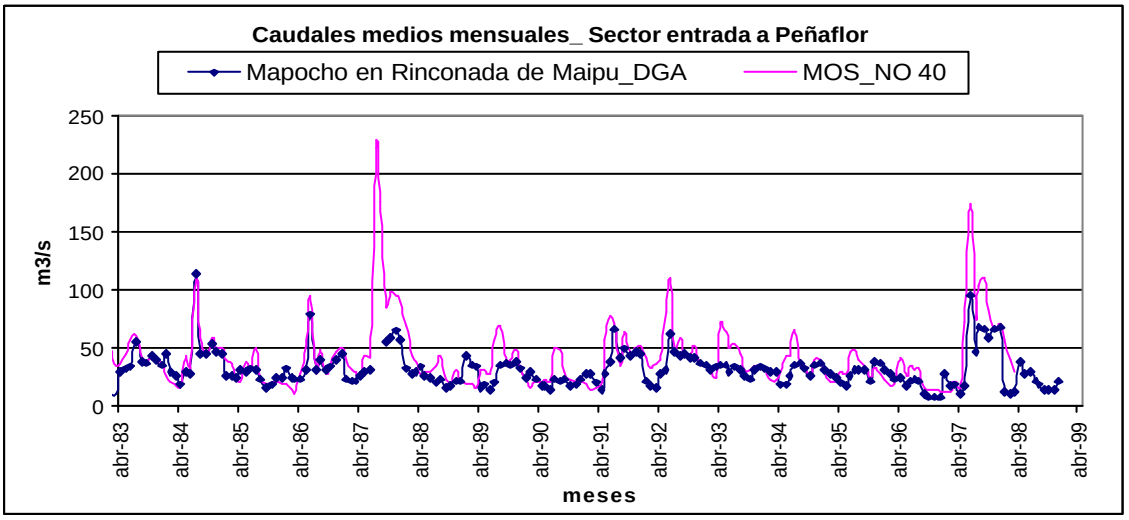


Figura Nº7. Variación mensual estación Mapocho en Rinconada y Nodo 40







Con los datos de los caudales medios mensuales de cada uno de los sectores, se realiza un análisis de frecuencia a nivel mensual para todo el período comprendido entre 1950-1998. El caudal a considerar para estimar el porcentaje (%) de interferencia al río, es el promedio de los meses de enero, febrero y marzo, de la curva de 85% de probabilidad de excedencia, que obedece al criterio de considerar el caudal de máxima demanda en período de estiaje para caudales mensuales con probabilidad de excedencia del 85%. La distribución aplicada es la Lognormal, en base a que dado el rango de datos que se tienen y a la experiencia del análisis de frecuencia para caudales medios en cuencas, ésta presentaría el mejor ajuste de análisis de frecuencia.

En Anexo IV.2, se presentan las curvas de variación estacional para las probabilidades de excedencia analizadas, incluyendo la del 85%, y para cada uno de los sectores analizados.

A continuación, la siguiente tabla muestra los resultados finales y resumidos para cada uno de los sectores analizados.

Tabla Nº5. Resumen de la Interferencia a las Aguas Superficiales en Maipo Sur.

SECTOR	NODO MOS	Interferencia (m^3/s)	Modelo Qma (m^3/s)	DGA Qma (m^3/s)	PROM_EST Qmm 85% (m^3/s)	Interf al río %
Pirque	N02	0,149	108,90	110,4 *	85,73	**0,2**
Buin	N04	0,160	69,06		45,50	**0,4**
Paine	N13 + N15	0,340	10,27		5,56	**6,1**
El Monte	N22 + N43	0,981	101,00		35,01	**2,8**

donde:

Qma : Caudal Medio Anual
Qmm: Caudal Medio Mensual
Prom_EST: Caudal promedio ene-feb-mar para Ppexc 85% mensual
Interf al río (%) : porcentaje de interferencia al río relativo al caudal **Prom_EST**
Interferencia : Caudal que deja de percibir el río entre escenario base (marzo 1998) y escenario actual (marzo 2004). En m^3/s

***** Qma Estación Dga: Maipo en el Manzano

Conclusiones.

A la luz de los resultados, y tomando en consideración el criterio que se describe en el Manual de Procedimientos de la Dirección General de Aguas (Cap 3, pág. 3.5.38), para considerar interferencia a las aguas superficiales, se puede decir, que los sectores de Pirque, Buin y el Monte tienen un caudal de interferencia menor que el 10% del Q85%, y se asume que no es significativa y que en consecuencia se considera admisible.

El sector de Paine es el que presenta con mayor valor, pero también está dentro del límite del 10% del Q85%, por lo que la interferencia del 6,2% es considerada un valor admisible también.

Es importante señalar que, cualquier escenario futuro de demanda, debe ser evaluado de la misma manera, con el fin de evitar la afección a derechos de terceros en cuanto a aguas superficiales de trate y por ser el sector de Santiago Sur: Pirque, Buin, Paine y el Monte, sectores con el nivel freático muy ligado al recurso superficial, por lo que, estas zonas actúan con un flujo neto que varía entre recarga y afloramiento dependiendo de las condiciones a que se vean sometidos y cualquier modificación y aumento en la explotación subterránea, generará impactos negativos en el recurso superficial.

El acuífero en el sector de Paine, por ser un sector de cabecera de orientación en el Sur del modelo y de dimensiones estrechas, se ve más afectado que el resto de los sectores tanto por las condiciones de explotación, como mayoritariamente por el régimen hidrológico, muy variable, que las subcuencas de cabecera tienen.

Si se analizan la variación de los niveles en el tiempo, se puede destacar que el sector de Paine también resulta ser el con mayor variación de los niveles freáticos producidos por la demanda subterránea, con descensos que varían entre 5 y 40 metros, dependiendo del sector de ubicación de los pozos, en donde aún los máximos descensos tienen una estabilización, y considerando que el espesor medio del relleno acuífero en la zona de Paine no supera en ningún caso los 150 m (ver Anexos Niveles Escenario 16)

V Derechos de Aprovechamiento

V.1 *Demanda de Aguas Subterráneas*

Analizando las peticiones presentadas en la Cuenca del río Maipo hasta la confluencia con el estero Puangue, se determinó que la demanda vigente de derechos de aprovechamiento al 1 de marzo de 2004 para cada uno de los sectores acuíferos se presenta en la siguiente tabla:

Tabla Nº6. Resumen demanda vigente zona de estudio

SECTOR	DEMANDA Q (l/s)	N° POZOS	N° EXP
Til Til	1911	90	41
Chacabuco-Polpaico	12689	281	179
Colina Superior	0	0	0
Colina Inferior	6555	153	122
Lampa	7404	143	124
Chicureo	1570	59	46
Colina Sur	8762	202	182
Las Gualtatas	786	46	41
Lo Barnechea	2253	81	53
Vitacura	2458	100	61
Santiago Norte	7911	136	84
Santiago Central	51733	1215	986
Santiago Sur	19980	499	407
Total	**124042**	**3005**	**2326**

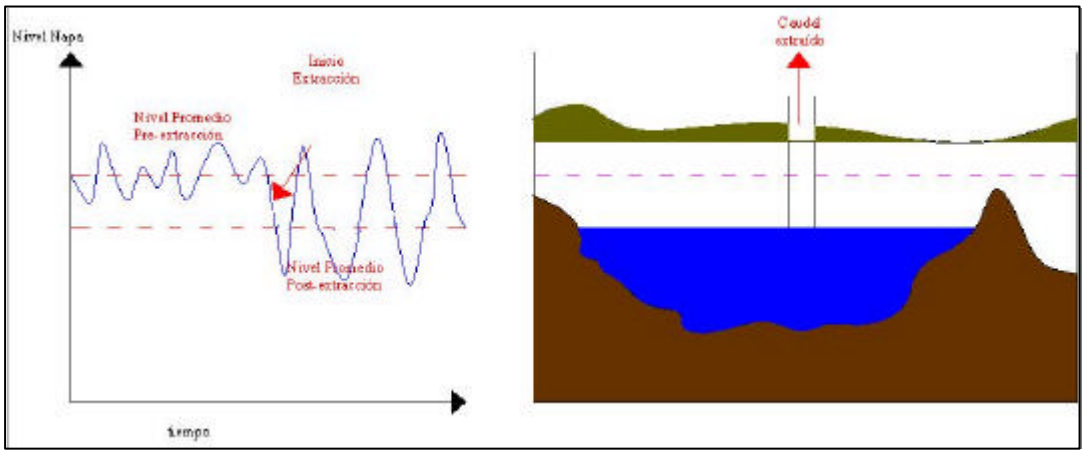
La determinación de la demanda vigente de solicitudes de aguas subterráneas, en algunos sectores no ha considerado aquellas obras de captación que se ubican fuera del área de relleno y más precisamente aquellos ubicados en roca. Lo anterior se debe a que no ha sido posible establecer el nexo entre los recursos propios del acuífero (asociado al relleno de depósitos sedimentarios) y aquellos que se encuentran en el medio rocoso.

En Anexo 1 se presenta los listados con las solicitudes de aguas subterráneas, correspondientes al área de estudio, ingresadas a la Dirección General de Aguas que se encuentran constituidas, en trámite y aquellas que pueden ser regularizadas a través del Art. 2° Transitorio del Código de Aguas. No se incluyen en estos listados las solicitudes que han sido denegadas.

V.2 *Determinación de los Derechos de Aprovechamientos Sustentable a Explotar en el Acuífero.*

Los Derechos de Aprovechamiento susceptibles de ser otorgados en un acuífero, deben corresponder a una explotación sustentable que no perjudique ni menoscabe derechos de terceros ni al medio ambiente y debe asegurar que la fluctuación de los niveles del acuífero sea estable en el tiempo(figura Nº8).

Figura Nº8. Fluctuación de niveles estable bajo una explotación sustentable



Lo descrito en el párrafo anterior equivale a la siguiente relación:

$$E(Qs) = E(Qb)$$

Donde:

E(Qb) = Corresponde al valor esperado de los Derechos Susceptibles de constituirse en el acuífero, en carácter de permanentes y definitivos; cuya explotación es sustentable en el tiempo y no afecta derechos de terceros ni al medio ambiente.

y

E(Qs) = Corresponde al caudal total de explotación sustentable, el que debe incluir los retornos producidos por la explotación continua de los derechos otorgados y los susceptibles de otorgarse.

Es decir:

$$E(Qs) = Q_{\textit{extracción neta sustentable}} + \text{Retornos}_{\textit{(producidos por la explotación continua de los Dos_otorgados y susceptibles de otorgarse)}}$$

CAUDAL EXTRACCIÓN NETA: Corresponde al caudal de bombeo neto modelado, que permite asegurar que la fluctuación de los niveles del acuífero sea estable en el tiempo.

Los retornos producidos por la explotación de los derechos corresponden a:

RETORNOS DE RIEGO = Corresponde a los excedentes que se producen al considerar una extracción de los derechos previstos para riego y que retornan al acuífero. Estos excedentes se producen debido a que al considerar una extracción permanente de estos derechos, las extracciones son mayores que las demandas hídricas de los cultivos definidas por la Evapotranspiración potencial[2]. Esta demanda está limitada por las necesidades de agua propias de los cultivos (que está determinada por las etapas de desarrollo de éstos) y por la capacidad de los suelos de retener agua para ser aprovechada por un cultivo cuyos valores se encuentran entre la Capacidad de Campo[3] y el Punto de Marchitez Permanente[4] del suelo.

En general esta recarga inducida de riego se estima en promedio a un 82% al considerar una extracción permanente en el tiempo, de los derechos para riego.

RETORNOS DE AGUA POTABLE = Corresponde a las pérdidas originadas de situaciones propias de la operación tales como roturas de cañerías o filtraciones. En el proceso de tarificación la Superintendencia de Servicios Sanitarios considera que el porcentaje de pérdida de la "Empresa Modelo" alcanza aproximadamente entre el 25% y 30% de las extracciones totales de los derechos de aprovechamiento de agua potable. En consecuencia se considera un 30% como pérdidas por conducción y que retornan al acuífero, de los derechos previstos para agua potable.

Basado en los resultados obtenidos a través del uso de los **Modelos Hidrogeológicos** se tiene que el **CAUDAL EXTRACCIÓN NETA** (que corresponde al caudal de bombeo neto modelado, que permite asegurar que la fluctuación de los niveles del acuífero sea estable en el tiempo) sustentable de extraer en el acuífero Maipo-Mapocho es:

---

2 *Evapotranspiración Potencial (Etp)= corresponde a la cantidad de agua transpirada en una unidad de tiempo por un cultivo corto, verde, cubriendo completamente la superficie del suelo, de altura uniforme y nunca falto de agua.*

3 *Capacidad de Campo (CC) = Indica el límite superior o máximo de agua útil para la planta que queda retenida en el suelo contra la fuerza de gravedad.*

4 *Punto de Marchitez Permanente (PMP) = Indica el límite inferior o mínimo de agua útil para la planta.*

Tabla Nº7. Caudales extracción Neta (m^3/s)

Sector	**Caudales Extracción Neta (m^3/s)**
Til-Til	0,432
Chacabuco-Polpaico	2,521
Colina Inferior	1,70
Lampa	1,49
Chicureo	0,55
Colina Sur	3,41
Mapocho Alto Subsector Las Gualtatas	0,09
Mapocho Alto Subsector Lo Barnechea	0,50
Mapocho Alto Subsector Vitacura	0,54
Santiago Norte	1,30
Santiago Central	15,62
Santiago Sur	7,05

De los resultados de la modelación se determinó el **CAUDAL DE EXTRACCIÓN NETA**para cada sector acuífero del área estudiada y con los datos de la demanda vigente se realizan pruebas iterativas para determinar el valor de los derechos que permiten la explotación sustentable en cada uno de los acuíferos, en la siguiente tabla se presentan los **DERECHOS** susceptibles de ser constituidos en cada sector, con los siguientes caudales utilizados en Riego y Agua Potable.

Tabla Nº8. Derechos (l/s) susceptibles de constituirse en el acuífero de Maipo-Mapocho hasta la junta con el estero Puangue.

Sector	Caudal de extracción Neta (l/s)	Derechos (l/s)		Retornos (l/s)		Caudal de explotación sustentable (l/s)
		Riego	Agua Potable	Riego	Agua Potable	
Til-Til	420	921	195	755	59	1233
Chacabuco_Polpaico	2535	9620	477	7889	143	10567
Colina Inferior	1700	2491	1860	2043	558	4301
Lampa	1300	4265	538	3497	161	4959
Chicureo	550	520	487	426	146	1123
Colina Sur	3410	2732	3288	2240	986	6637
Las Gualtatas	90	111	336	91	101	281
Lo Barnechea	500	465	1167	381	350	1232
Vitacura	540	316	1745	259	524	1322
Santiago Norte	1300	4763	391	3906	117	5323
Santiago Central	15620	9810	16116	8044	4835	28499
Santiago Sur	7059	14014	4764	11491	1429	19980
						85456

Retornos de Riego = 82 %
Pérdidas por agua Potable = 30 %

Tabla Nº9. Cuadro comparativo Derechos susceptibles de constituirse v/s Demanda vigente en el acuífero de Maipo-Mapocho hasta la junta con el estero Puangue.

Sector	Derechos Susceptibles de Constituirse (l/s)	Demanda vigente al 1 de marzo 2004 (l/s)
Til-Til	1233	1911
Chacabuco_Polpaico	10567	12689
Colina Inferior	4301	6555
Lampa	4959	7404
Chicureo	1123	1570
Colina Sur	6637	8792
Las Gualtatas	281	786
Lo Barnechea	1232	2253
Vitacura	1322	2458
Santiago Norte	5323	7911
Santiago Central	28499	51733
Santiago Sur	19980	19980
total	85456	124042

De la tabla anterior se ha podido establecer los derechos susceptibles de constituirse en carácter de permanente y definitivo de aguas subterráneas, en los sectores acuíferos de la Región Metropolitana asociados a la cuenca del río Maipo hasta la confluencia con el estero Puangue, determinándose que:

En el **Sector acuífero de Til Til** no es posible el otorgamiento de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en carácter permanente y definitivo después del expediente ND-1301-628. Es decir, a partir del 1 de enero de 1998 no es posible constituir nuevos derechos en carácter de permanente y definitivos.

En el **Sector acuífero de Chacabuco Polpaico**, no es posible el otorgamiento de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas de carácter permanente y definitivo después del expediente ND-1301-547. Es decir, a partir del 1 de junio de 1997 no es posible constituir nuevos derechos en carácter de permanente y definitivos.

En el **Sector acuífero de Colina Inferior**, no es posible el otorgamiento de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas de carácter permanente y definitivo después del expediente ND-1301-525. Es decir, a partir del 1 de junio de 1997 no es posible constituir nuevos derechos en carácter de permanente y definitivos.

En el **Sector acuífero de Lampa**, no es posible el otorgamiento de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas permanente y definitivo después del expediente ND-1301-617. Es decir, a partir del 1 de enero de 1998 no es posible constituir nuevos derechos en carácter de permanente y definitivos.

En el **Sector acuífero de Chicureo**, no es posible el otorgamiento de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas permanente y definitivo después del expediente ND-1301-348. Es decir, a partir del 1 de enero de 1996 no es posible constituir nuevos derechos en carácter de permanente y definitivos.

En el **Sector acuífero de Colina Sur,** no es posible el otorgamiento de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas permanente y definitivo después del expediente ND-1306-670. Es decir, a partir del 1 de julio de 1998 no es posible constituir nuevos derechos en carácter de permanente y definitivos.

En el **Sector acuífero de Mapocho Alto Subsector Las Gualtatas**, no es posible el otorgamiento de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas permanente y definitivo después del expediente ND-1306-398. Es decir, a partir del 1 de marzo de 1994 no es posible constituir nuevos derechos en carácter de permanente y definitivos.

En el **Sector acuífero de Mapocho Alto Subsector Lo Barnechea**, no es posible el otorgamiento de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas permanente y definitivo después del expediente ND-1306-392. Es decir, a partir del 1 de febrero de 1994 no es posible constituir nuevos derechos en carácter de permanente y definitivos.

En el **Sector acuífero de Mapocho Alto Subsector Vitacura**, no es posible el otorgamiento de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas permanente y definitivo después del expediente ND-1306-379. Es decir, a partir del 1 de diciembre de 1993 no es posible constituir nuevos derechos en carácter de permanente y definitivos.

En el **Sector acuífero de Santiago Norte,** no es posible el otorgamiento de derechos nuevos de aprovechamiento de aguas subterráneas permanente y definitivo después del expediente ND-1301-639. Es decir, a partir del 1 de marzo de 1998 no es posible constituir nuevos derechos en carácter de permanente y definitivos.

En el **Sector acuífero de Santiago Central,** no es posible el otorgamiento de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas permanente y definitivo después del expediente ND-1306-795. Es decir, a partir del 18 de diciembre de 1998 no es posible constituir nuevos derechos en carácter de permanente y definitivos.

En el **Sector acuífero de Santiago Sur,** es posible avanzar en el otorgamiento de nuevos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas permanente y definitivo hasta el 1 de marzo de 2004. El hecho de avanzar hasta esta fecha significa que esa fuente se encuentra abierta y en situación de ser estudiada para evaluar su disponibilidad para demandas de agua generadas por solicitudes posteriores a esa fecha.

De acuerdo al estado de situación de las solicitudes presentadas ante la Dirección General de Aguas con derechos de aprovechamiento constituidos o en trámite, para todos los sectores del modelo exceptuando Santiago Sur, ya existen caudales comprometidos por los valores evaluados.

VI Conclusiones

La determinación del caudal susceptible de otorgarse como derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, hecha sobre la base de la oferta neta sustentable de extraer en el acuífero y de las recargas inducidas por efecto de la explotación de los derechos previstos para riego y de las pérdidas por conducción de los derechos previstos para agua potable, ha permitido determinar los derechos posibles de constituir en los sectores acuíferos de la cuenca del río Maipo hasta la confluencia con el estero Puangue, los que contrastados con la demanda vigente al 1 de marzo de 2004, permite concluir que la oferta de caudal para constituir derechos en los acuíferos de la zona estudiada, sólo permite constituir derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en carácter de definitivos, sin producir perjuicios a derechos de terceros para las solicitudes presentadas hasta:

Tabla Nº10. Resumen Situación Sectores Acuíferos.

SECTOR	CONSTITUIR HASTA	
	EXPEDIENTE	FECHA
TILTIL	ND-1301-628	1 ENE 1998
CHACABUCO-POLPAICO	ND-1301-547	1 JUN 1997
COLINA INFERIOR	ND-1301-525	1 JUN 1997
LAMPA	ND-1301-617	1 ENE 1998
CHICUREO	ND-1301-348	1 ENE 1996
COLINA SUR	ND-1306-670	1 JUL 1998
MAPOCHO ALTO SUBSECTOR LAS GUALTATAS	ND-1306-398	1 MAR 1994
MAPOCHO ALTO SUBSECTOR LO BARNECHEA	ND-1306-392	1 FEB 1994
MAPOCHO ALTO SUBSECTOR VITACURA	ND-1306-379	1 DIC 1993
SANTIAGO NORTE	ND-1301-639	1 MAR 1998
SANTIAGO CENTRAL	ND-1306-795	18 DIC 1998
SANTIAGO SUR *		1 MAR 2004

* Para el caso de Santiago Sur, el sector permite avanzar en la constitución de derechos de aprovechamiento de carácter permanente y definitivos al menos hasta el 1 de marzo de 2004 y en situación de ser estudiada para evaluar su disponibilidad para demandas de agua generadas por solicitudes posteriores a esa fecha.

VII ANEXOS