



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

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CUENCA DEL RÍO MATAQUITO

TOMO I

INFORME FINAL Y PLANOS

REALIZADO POR:

AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

S.I.T. N° 296

Santiago, Diciembre 2012

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas
Abogada Sra. Loreto Silva Rojas

Director General de Aguas
Abogado Sr. Francisco Echeverría Ellsworth

Jefe División de Estudios y Planificación
Ingeniero Civil Adrián Lillo Zenteno

Inspector Fiscal
Ingeniero Civil Miguel Ángel Caro

AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

Jefe de Proyecto
Ingeniero Civil Jorge Baechler Rojas

Profesionales

Ingeniero Civil Jaime Vargas P
Hidrogeólogo Carlos Parraguez D.
Ingeniero Civil Marcelo Matthey
Geofísico Manuel Araneda C.
Geóloga Sofía Aravena F.
Ingeniero Civil en Geografía Juan Atán D.
Ingeniero Civil en Geografía Ivonne Carvajal E.
Ingeniero Geomensor Javier Bustamante E.

ÍNDICE GENERAL
TOMO I INFORME FINAL Y PLANOS

INDICE INFORME FINAL

1.	INTRODUCCION Y OBJETIVOS	1
1.1.	Introducción	1
1.2.	Objetivo General y Específicos	1
1.3.	Etapas del Estudio.	2
1.4.	Contenido del Presente Informe.	2
2.	RECOPIACIÓN DE ESTUDIOS E INFORMACIÓN	5
2.1.	Labores Realizadas	5
2.2.	Estudios Recopilados de Carácter Regional o a Nivel Cuencas.....	5
2.3.	Expedientes de Aguas Subterráneas.....	18
3.	ESTUDIO HIDROLOGICO CUENCA RIO MATAQUITO	20
3.1.	Pluviometría	20
3.1.1	Recopilación de la información disponible	21
3.1.2	Corrección, Relleno y Extensión de Estadísticas.....	23
3.1.3	Análisis de Frecuencia de las Estadísticas	25
3.2.	Fluviometría	29
3.2.1	Introducción	29
3.2.2	Recopilación de la información disponible	29
3.2.3	Corrección, Relleno y Extensión de Estadísticas.....	31
3.2.4	Análisis de Frecuencia de las Estadísticas	32
4.	GEOLOGIA CUENCA MATAQUITO.....	35
4.1	Antecedentes Generales	35
4.2	Recopilación y Análisis de Antecedentes.....	35
4.3	Geología	35
4.3.1	Rocas Estratificadas	35
4.3.2	Depósitos Cuaternarios	39
4.3.3	Rocas Intrusivas.....	40
4.3.4	Rocas Metamórficas	41
5.	ESTUDIO GEOFISICO	43
5.1	Consideraciones Generales	43
5.2	Metodología Utilizada en el Estudio	44
5.2.1	Generalidades.....	44
5.2.2	Correcciones.....	45
5.2.3	Elección de densidades en las correcciones.....	46
5.2.4	Efectos regionales	46
5.3	Trabajo de Terreno	46
5.3.1	Labores Geofísicas	46

TOMO I INFORME FINAL Y PLANOS
INDICE INFORME FINAL (Continuación)

5.3.2	Labores Topográficas	47
5.4	Interpretación	50
5.5	Resultados y Conclusiones	50
5.6	Consideraciones	56
6.	CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA CUENCA RÍO MATAQUITO	58
6.1.	Aspectos Generales	58
6.2.	Bases de Datos Captaciones- Catastro de Pozos y Medición de Niveles	58
6.3.	Definición de Acuíferos	65
6.4.	Unidades Hidrogeológicas	66
6.4.1.	Generalidades	66
6.4.2.	Unidades Hidrogeológicas	67
6.4.3.	Perfiles Hidrogeológicos.....	68
6.5.	Curvas Isofreáticas y Sentido de Escurrimiento	77
6.6.	Parámetros Elásticos.....	78
6.7.	Afloramientos	82
6.8.	Explotación y Uso de las Aguas Subterráneas	86
7.	ESTIMACION RECARGA ACUIFERO CUENCA RIO MATAQUITO.....	88
7.1.	Aspectos Generales	88
7.2.	Generación de Caudales en Cuencas No Controladas	96
7.3.	Calibración del Modelo.....	98
7.4.	Análisis de Sensibilidad	100
7.5.	Resultados de la Modelación.....	101
8.	MODELO HIDROGEOLÓGICO	103
8.1.	Generalidades.....	103
8.2.	Definición del Dominio de Modelación	103
8.3.	Superficies de Terreno y Basamento Rocoso.....	107
8.4.	Condiciones de Borde Definidas	107
8.4.1.	Condiciones de Borde de Nivel Constante.....	107
8.4.2.	Condiciones de Borde de Río	109
8.5.	Recarga Incorporada.....	111
8.6.	Explotación del Acuífero	113
8.7.	Niveles Freáticos Observados	113
8.8.	Parámetros Elásticos.....	113
8.9.	Zone Budget Definidos	114
8.10.	Calibración de los Modelos Numéricos.....	115
8.10.1.	Calibración Modelo Teno-Lontué	115
8.10.2.	Calibración Modelo Mataquito	120

TOMO I INFORME FINAL Y PLANOS
INDICE INFORME FINAL (Continuación)

9.	RESULTADOS DEL MODELO	124
9.1.	Modelo Teno-Lontué	124
9.2.	Modelo Mataquito	126
10.	OPERACIÓN DEL MODELO.....	128
10.1.	Modelo Teno-Lontué	128
10.1.1.	Escenario 1: Recarga Asociada a Probabilidad de Excedencia 50%	128
10.1.2.	Escenario 2: Total de las Captaciones Incorporadas al Modelo	136
10.1.3.	Escenario 3: Variación Factores de Uso en Pozos de Bombeo	140
10.2.	Modelo Mataquito	144
10.2.1.	Escenario 1: Recarga Asociada a Probabilidad de Excedencia 50%	144
10.2.2.	Escenario 2: Total de las Captaciones Incorporadas al Modelo	145
10.2.3.	Escenario 3: Variación Factores de Uso en Pozos de Bombeo	146
10.3.	Comparación Resultados.....	149
10.4.	Análisis Resultados y Conclusiones.....	153

TOMO I - INDICE FIGURAS INFORME FINAL

Figura 3-1	Estaciones Pluviométricas Cuenca de Mataquito
Figura 3-2	Estaciones Fluviométricas Cuenca de Mataquito
Figura 6-2	Identificación Sectores de Afloramiento e Identificación Puntos de Aforo
Figura 7-1	Zonas de riego e Identificación Nudos de Simulación
Figura 8-1	Dominio de Modelación Definido. Modelo 1 Teno –Lontué; Modelo 2 Mataquito
Figura 9-1	Ubicación Pozos de Calibración y Curvas Equipotenciales Calibradas
Figura 10-3	Ubicación Pozos de Calibración y Curvas Equipotenciales Generadas Escenario 1
Figura 10-5	Ubicación Pozos de Calibración y Curvas Equipotenciales Generadas Escenario 2
Figura 10-9	Comparación Resultados Modelo (Niveles Estáticos) Estudio REF1 con Estudio Actual (acuífero Teno-Lontué)
Figura 10-10	Comparación Resultados Modelo (Niveles Estáticos) Estudio REF1 con Estudio Actual (acuífero Mataquito)
Figura 10-11	Ubicación Pozos de calibración y Zonas de Sensibilidad

TOMO I - INDICE PLANOS INFORME FINAL

Plano 4-1	Geología Cuenca Mataquito (escala 1:500.000)
Plano 5-1	Planta Perfiles Gravimétricos
Plano 5-2	Plano Isobático, Cuenca de Mataquito
Plano 6-1	Acuífero Cuenca Río Mataquito y Captaciones Subterráneas
Plano 6-2	Geología Mataquito y Trazado Perfiles Estratigráficos
Plano 6-3	Permeabilidades Acuífero Cuenca Río Mataquito
Plano 6-4	Curvas Isofreáticas y Sentido Esguerrimiento Aguas Subterráneas
Plano 6-5	Rangos de Profundidad Nivel Estático Cuenca Río Mataquito

ÍNDICE GENERAL TOMO II - ÍNDICE ANEXOS

CAPITULO 3

HIDROLOGÍA

ANEXO 3-1	Precipitaciones Mensuales Estadísticas Base
ANEXO 3-2	Correlaciones Precipitaciones Anuales
ANEXO 3-3	Precipitaciones Mensuales Estadísticas Corregidas y Rellenadas
ANEXO 3-4	Curvas Doble Acumuladas Precipitaciones Anuales
ANEXO 3-5	Análisis de Frecuencia Precipitaciones Mensuales
ANEXO 3-6	Caudales Medios Mensuales Estadísticas Base
ANEXO 3-7	Correlaciones Caudales Medios Mensuales
ANEXO 3-8	Caudales Medios Mensuales Estadísticas Corregidas y Rellenadas
ANEXO 3-9	Análisis de Frecuencia Caudales Medios Mensuales

TOMO III - ÍNDICE ANEXOS

CAPITULO 5

ESTUDIO GEOFISICO

ANEXO 5-1	Valores de Gravedad Corregidos Estaciones Gravimétricas
ANEXO 5-2	Anexo Fotográfico Registro Labores Terreno Estudio Gravimétrico
ANEXO 5-3	Monografías PRs
ANEXO 5-4	Topografía Estaciones Gravimétricas
ANEXO 5-5	Resultados Estudio Gravimétrico

CAPITULO 6

HIDROGEOLOGÍA CUENCA MATAQUITO

ANEXO 6-1	Captaciones Subterráneas
ANEXO 6-2	Planos de Construcción, Pruebas de Bombeo (Cuenca Río Mataquito)- Respaldo Magnético
ANEXO 6-3	Permeabilidad Método Cooper-Jacob y Theis
ANEXO 6-4	Fichas Encuestas Pozos Cuenca Río Mataquito
ANEXO 6-5	Aforos Río Teno y Lontué

CAPITULO 7

ESTIMACION RECARGA

ANEXO 7-1	Bases Conceptuales del Modelo
ANEXO 7-2	Resultados Calibración Modelo
ANEXO 7-3	Resultados Balances y Recargas
ANEXO 7-4	Manual de Uso

ÍNDICE GENERAL
TOMO III - ÍNDICE ANEXOS

ANEXO 7-5	Derechos de Aguas Subterráneas
ANEXO 7-6	Métodos de Riego por Sector de Riego
ANEXO 7-7	Transposición Caudales Cuencas No Controladas
CAPITULO 8	MODELO MODFLOW (Respaldo Archivo Magnético)
ANEXO II	ANEXO SIG

1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS

1.1. Introducción

Dentro de las principales funciones que tiene la Dirección General de Aguas (DGA) está el estudio continuo de las fuentes de recursos hídricos, lo anterior con el principal objetivo de que sean aprovechados por el país de manera sustentable hoy y en el futuro.

Chile, al ser un país con una geografía diversa, distribuido entre latitudes tropicales y australes, dispone de recursos hídricos también diversos, presentes de forma muy dispar a lo largo y ancho del territorio. En el Norte, la mayor disponibilidad de agua se encuentra de manera subterránea, lo cual obliga a aproximarse a ella con énfasis en la hidrogeología. Hacia el Sur, y sobre todo en la zona austral, la disponibilidad es principalmente superficial, con lo cual el estudio del recurso se centra en la hidrología de las cuencas. La zona Centro Sur es una zona de transición, habiendo cuencas con avanzada explotación de aguas subterráneas y superficiales, y otras con explotaciones subterráneas incipientes.

Específicamente, la cuenca del río Mataquito, si bien es aprovechada principalmente de manera superficial, el acuífero está siendo cada vez más explotado, lo cual responde a demandas para el desarrollo de diferentes actividades productivas en el territorio, principalmente riego, industria y agua potable.

En este caso, el otorgamiento de derechos ha sido sólo de acuerdo a un análisis local, que ha involucrado la evaluación de la disponibilidad, a nivel de la fuente, a través de una prueba de bombeo. Este procedimiento se estima válido para el tipo de acuíferos en la zona sur, considerando que exhiben montos elevados de recarga y renovables anualmente.

Así, en términos generales, estos acuíferos se observan sin problemas para satisfacer la demanda de agua subterránea. Sin embargo, es de interés conocer el balance hídrico general, el cual permita avanzar en el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas de manera sustentable, que no comprometa ni la fuente ni a los usuarios.

1.2. Objetivo General y Específicos

El objetivo general del estudio es el levantamiento de la información hidrogeológica y, a partir de ello, el desarrollo de un modelo conceptual y numérico (de flujo) del acuífero de la cuenca del río Mataquito.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- a) Generar la geometría basal del acuífero principal (Geofísica)
- b) Revisar y actualizar catastros de la demanda agrícola, sanitaria e Industrial.
- c) Definir y caracterizar unidades acuíferas principales
- d) Realizar catastro de pozos y niveles.
- e) Representar y estimar los flujos de agua subterránea.
- f) Identificar las zonas de recarga y descarga.
- g) Obtener parámetros hidrogeológicos del acuífero.
- h) Representar territorialmente los resultados del estudio en un SIG.
- i) Definir modelo conceptual del acuífero.
- j) Implementar un modelo numérico de flujo preliminar de aguas subterráneas en Visual MODFLOW.

1.3. Etapas del Estudio.

El desarrollo del estudio se dividió en 2 etapas.

Etapas 1 Recopilación y Análisis de Antecedentes, Caracterización Hidrológica e Hidrogeológica Cuenca Río Mataquito.

Etapas 2 Modelo Conceptual y Numérico del Acuífero Mataquito, Conclusiones e Informe Final

El presente documento corresponde al Informe Final del Estudio Hidrogeológico Cuenca del Río Mataquito.

1.4. Contenido del Presente Informe.

De acuerdo a lo estipulado en los términos de referencia que rigen la presente consultaría, los temas o áreas de trabajo desarrollados fueron lo siguientes:

- Recopilación y análisis de estudios y antecedentes existentes cuenca del Río Mataquito.
- Caracterización Hidrológica Cuenca Mataquito (caudales superficiales y precipitaciones)
- Geología acuífero Mataquito
- Estudio Geofísico (Gravimétrico) Acuífero Mataquito
- Caracterización Hidrogeológica acuífero Mataquito.
- Estimación de la Recarga Acuífero Mataquito
- Modelo Conceptual y Numérico Acuífero Mataquito
- Conclusiones

Toda la información generada y procesada junto con los resultados obtenidos fueron vertidos en el SIG que se desarrolló durante la consultoría, de modo de ir conformando un proyecto que permita una visualización y entendimiento de cada una de las variables incorporadas, así como la interacción entre éstas. En el Anexo SIG se incluye una descripción del contenido del SIG elaborado, además se adjunta el archivo magnético con el respectivo respaldo de la información procesada y desarrollada.

En los capítulos siguientes se describen las labores realizadas en cada una de las áreas de trabajo antes indicadas, así como también se muestran los resultados obtenidos.

En el capítulo 2 se identifican y sintetizan los estudios recopilados y las fuentes de información utilizadas en el desarrollo de cada uno de los temas elaborados en el presente informe.

En el capítulo 3 se presenta la caracterización Hidrológica de la Cuenca del Río Mataquito, efectuada en base a las estadísticas pluviométricas y fluviométricas existente en la Cuenca; específicamente se analiza la calidad y extensión de los registros (precipitaciones mensuales y caudales medios mensuales), rellenando aquellas estadísticas que presentan datos incompletos, a través de correlaciones, finalmente se realiza un análisis de frecuencia analítico, a nivel mensual, obteniendo la función de mejor ajuste para diferentes probabilidades de excedencia.

En el capítulo 4 se realiza la descripción y caracterización Geológica de la Cuenca del Río Mataquito, la cual incluye la presentación de planos Geológicos (escala 1:250.000)

En el capítulo 5 se describe la metodología, las labores ejecutadas y los resultados obtenidos del estudio Geofísico realizado en la cuenca del río Mataquito, el cual se ejecutó utilizando Gravimetría, se incluyen planos de planta con la ubicación de los 15 perfiles tomados y perfiles longitudinales que muestran la profundidad de la Roca en cada caso.

En el Capítulo 6 se presenta la caracterización hidrogeológica del acuífero en la cuenca del río Mataquito, apoyada en antecedentes existentes y en los resultados de las labores realizadas en la presente consultoría (catastro de pozos, visitas a terreno, interpretación de pruebas de bombeo de pozos, etc.), se incluye la presentación de planos en base SIG con la información procesada.

En el capítulo 7 se describe la metodología, las labores ejecutadas y los resultados obtenidos en la determinación de la recarga al acuífero en la cuenca del río Mataquito.

En el capítulo 8 se describe la metodología, las labores ejecutadas y los resultados obtenidos en el proceso de Calibración del Modelo Hidrogeológico del Acuífero de la Cuenca del Río Mataquito.

En el capítulo 9 se muestran los resultados y balances en cada uno de los sub acuíferos en que se dividió la Modelación (Acuífero Teno-Lontué y Mataquito).

En el capítulo 10 se muestran los resultados obtenidos con la operación del modelo para tres escenarios distintos, así como también resultados obtenidos en modelaciones ejecutadas en estudios anteriores para la cuenca del río Mataquito; finalmente se entregan las conclusiones del estudio.

2. RECOPIACIÓN DE ESTUDIOS E INFORMACIÓN

2.1. Labores Realizadas

Durante esta etapa se realizó una búsqueda y recopilación de información y antecedentes, la cual y para efectos de presentación y claridad se dividió en dos áreas:

- La primera se centro en buscar estudios relacionados a las materias de interés de la presente consultoría, desarrollados para entidades públicas y privadas, tales como DGA, DOH, CNR, CONAMA.
- La segunda fue la recopilación de antecedentes técnicos de pozos o sondajes construidos en el área en estudio, incluidos en las carpetas de los expedientes de solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas.

En los puntos siguientes se describen las labores y principales resultados obtenidos durante el desarrollo de estas tareas. Cabe indicar que en el punto 2.2 siguiente (Estudios Recopilados) solo se presentan y describen los estudios desarrollados a nivel de cuencas o región con características o contenidos similares al de la presente consultoría; los estudios que involucran temas específicos (como por ejemplo hidrología, geología, etc.) serán citados y descritos en los capítulos correspondientes al desarrollo del tema en cuestión.

2.2. Estudios Recopilados de Carácter Regional o a Nivel Cuencas

- | | |
|-------|--|
| REF 1 | Estudio de Calidad de Aguas Subterráneas en las cuencas de Huasco Mataquito. CNR-GCF Ingenieros Consultores Ltda. Febrero 2006. |
| REF 2 | Estudio e Implementación de Modelos Hidrológicos Acoplados a SIG para el Manejo y Planificación, Cuencas del Maule, Mataquito e Itata. CNR-GCF Ingenieros Consultores Ltda. Abril 2006 |
| REF 3 | Diagnóstico de Caudales Disponibles en Cuencas No Controladas de Recuperación Cuencas de Maule, Mataquito y Rapel. CNR-GCF Ingenieros Consultores Ltda. Agosto 2008. |
| REF 4 | Mejoramiento y Ampliación de Red de Aguas Subterráneas, Regiones VII a X. (Conic BF Ingenieros Civiles. - DGA. S.I.T. N° 223 Diciembre 2010) |
| REF 5 | Estudio Integral de Riego de la Cuenca del Río Mataquito. CNR-CICA Marzo 1978 |

REF 1 Estudio de Calidad de Aguas Subterráneas en las cuencas de Huasco-Mataquito. CNR-GCF Ingenieros Consultores Ltda. Febrero 2006.

El objetivo principal de este estudio fue determinar el estado actual de contaminación de los acuíferos de las cuencas de Huasco y Mataquito producto de la actividad agrícola y otras fuentes, y analizar ante diversos escenarios de desarrollo y explotación, el comportamiento del sistema subterráneo y los efectos generados sobre los pozos existentes, ya sea de riego como de agua potable.

Específicamente las labores desarrolladas fueron:

- a) Estudiar las actividades potenciales generadoras de contaminación de aguas subterráneas en las cuencas en estudio.
- b) Estudiar la hidrogeología de las cuencas en estudio.
- c) Realizar campañas de muestreos de calidad de aguas subterráneas en las cuencas de Huasco y Mataquito.
- d) Modelar el acuífero y el comportamiento de los contaminantes en las aguas subterráneas de las cuencas en estudio.
- e) Estudiar, mediante la modelación, el eventual efecto de contaminación producido sobre el acuífero, y proponer, de ser necesario proponer metodologías de mitigación y manejo sustentable del embalse subterráneo.
- f) Formular un Plan de Manejo Hidrogeológico de las cuencas.

Análisis Hidrogeológico

Una labor fundamental del análisis hidrogeológico consistió de un levantamiento geológico de superficie a partir del cual fue posible caracterizar las unidades hidrogeológicas principales presentes en ambos valles.

La definición de las unidades hidrogeológicas principales fue realizada basándose en rangos estimativos de permeabilidad atribuidas a las unidades geológicas. De esta manera, varias unidades geológicas se agruparon para conformar unidades hidrogeológicas únicas. A continuación se indican las unidades y los rangos de permeabilidad, aplicados de manera estimativa a cada tipo de unidad hidrogeológica definida:

Valle del Mataquito:

- Unidad 1: Medios intergranulares de permeabilidad moderada a alta: $>10^{-1}$ m/día.
- Unidad 2: Medios intergranulares y fracturados de permeabilidad moderada a baja: 10^{-1} a 10^{-4} m/día.

- Unidad 3: Medios rocosos de permeabilidad muy baja a nula: $<10^{-4}$ m/día.

Además, para mejor caracterizar cuantitativamente dichas unidades hidrogeológicas se efectuó una exploración geofísica, específicamente orientada a determinar el espesor del relleno sedimentario y consecuentemente la profundidad de la roca basal. La exploración fue mediante Gravimetría. De esa forma se pudo elaborar una representación general de la profundidad del basamento rocoso en forma tridimensional, dato fundamental para bordar la modelación hidrogeológica de los acuíferos. Las formaciones hidrogeológicas de interés, desde el punto de vista de la existencia y conducción de aguas subterráneas que fueron identificadas se resumen a continuación:

La Unidad 1 corresponde a depósitos sedimentarios de origen fluvial y no fluvial. Los primeros están compuestos por sedimentos fluviales actuales, preactuales y abanicos fluviales, cuya granulometría va desde material grueso (ripios, gravas), medio (gravas arenosas) hasta fino (intercalaciones lenticulares limoarcillosas). Se encuentran presentes en el cauce del río Mataquito y con la unidad de mayor presencia dentro de la zona de rellenos sedimentarios.

Los rellenos de origen no fluvial corresponden a depósitos sedimentarios fluvio-aluviales, gravitacionales, coluviales, eólicos costeros y marinos aterrizados. Se pueden encontrar en los valles de la Cordillera de la Costa y en serranías intermedias.

La Unidad 2 está compuesta por depósitos cineríticos (cenizas volcánicas) con intercalaciones arcillosas. Se emplazan en valles de drenajes secundarios en la Cordillera de la Costa y en serranías intermedias, formando pequeñas planicies alrededor de los depósitos fluviales.

Según el estudio geofísico, y de acuerdo con los antecedentes de captaciones de pozo profundo, el relleno del valle del río Mataquito posee un gran espesor, alcanzando valores de más de 150 m. Los mayores espesores del relleno sedimentario se alcanzan en el sector del valle central, donde además los depósitos logran su mayor amplitud en superficie, llegando incluso a cubrir una zona de hasta 30 Km. de ancho.

Tanto hacia el poniente como al oriente del valle central, el valle del Mataquito y sus principales afluentes (Teno y Lontué) se angosta, lo cual provoca además una notable disminución del espesor de los rellenos sedimentarios, el que sin embargo, no deja de ser importante, pudiendo encontrarse espesores de hasta 100 m principalmente entre la confluencia de los ríos Teno y Lontué y la desembocadura del río Mataquito al mar.

Los antecedentes de captaciones subterráneas ubicadas hacia el oriente del

valle central, son escasos, sin embargo, se observa que hacia este sector del valle de los ríos Teno y Lontué es bastante más estrecho, lo que significa también que el espesor del relleno es de mucho menor importancia que en el resto del valle. En efecto, las pocas captaciones de aguas subterráneas que existen en esta zona, por lo general tienen profundidades que no superan los 50 m.

En relación a los niveles freáticos, es posible afirmar a partir de la campaña de terreno realizada en los meses de marzo y abril del año 2005, que éstos se encuentran a profundidades no mayores de 20 m. Hacia los sectores precordilleranos, los niveles de la napa se encuentran a mayor profundidad.

A grandes rasgos no habría hechos que pudieran señalar una contaminación antrópica claramente definida y extendida, salvo casos puntuales en el valle central.

Modelamiento Hidrogeológico de la Cuenca

Se elaboró un modelo hidrogeológico para los principales rellenos acuíferos de las cuencas del río Mataquito mediante el software Visual MODFLOW. El paso de tiempo fue establecido en un mes debido a que los caudales involucrados en el sistema presentan variaciones importantes entre un mes y otro. La base de datos de simulación incorporó un período de 10 años, por lo que los intervalos de tiempo de la simulación son 120. En cuanto a la discretización espacial, se utilizaron un total de 131.750 celdas para los 2 modelos de Mataquito. Por otra parte, la cota de terreno de cada una de las celdas se obtuvo de la digitalización de las curvas cada 25 m de las cartas IGM escala 1:50.000, mientras que para definir la cota de fondo del relleno sedimentario se utilizó la información de los perfiles gravimétricos del presente estudio y el estudio hidrogeológico del mismo. Por último, esta información se complementó con la profundidad de los sondajes existentes, de manera de asegurar que la profundidad definida sea mayor que la de los pozos que no han alcanzado el basamento.

En cuanto a los parámetros del medio acuífero, éstos fueron obtenidos de los análisis e interpretaciones previas realizadas en el presente estudio, a saber: el levantamiento geológico-geofísico, el análisis de las pruebas de bombeo y cualquier otro antecedente útil.

Las condiciones de borde utilizadas en los modelos corresponden a: condición de borde de nivel conocido, condición de borde tipo río y condición de borde del tipo recarga. La condición de borde de nivel conocido se obtuvo del completo catastro de captaciones realizado por este consultor para el estudio. En el caso de la desembocadura de los ríos en el océano pacífico, la condición de borde fue de un nivel igual a cero.

En el caso de la condición de borde tipo río, se utilizaron celdas tipo "river" de Visual Modflow, cuya ventaja es que permite representar las variaciones estacionales de la interacción napa-río, cuando por efecto de la variación de los caudales en el río y/o posición de la napa, se generan diferentes valores de los flujos de intercambio, en un sentido y en el otro (recuperación o infiltración). En el caso del modelo del Mataquito se representaron los ríos Teno, Lontué y Mataquito.

En relación con la condición de borde del tipo recarga, se consideraron porcentajes que van desde un 15% a un 20% de la precipitación que cae sobre la zona de estudio y de un 5% a un 10% de los aportes de laderas y cuencas de quebradas que rodean el valle. Los porcentajes mayores corresponden a valores adoptados en la cuenca del Mataquito y los menores a los adoptados en la cuenca del Huasco. También se consideró la recarga por percolación en las zonas de riego, la cual es dependiente del tipo de cultivo y la metodología de riego utilizada.

El proceso de calibración del modelo debe tomar en cuenta muchas variables y magnitudes, siendo los siguientes los más importantes:

- Niveles en el tiempo (limnigramas) de los sondajes ubicados dentro de la zona modelada.
- Caudales de infiltración desde los cauces hacia el acuífero, los que deben ser compatibles con la estimación de pérdidas que se tengan según los estudios existentes.
- Caudales de recuperación hacia los cauces principales, y también coherentes con las estimaciones que se tengan.
- Balance general del sistema acuífero, que de cuenta de valores plausibles y reales según las estimaciones que se tengan del funcionamiento general del sistema hídrico asociado a la zona de estudio.

Debido a la falta de registros históricos, el modelo de la cuenca del Mataquito solo fue calibrado en régimen permanente (verificado en transiente). Los resultados de la calibración en ambas cuencas fueron satisfactorios obteniéndose un error relativo de ajuste de niveles (RMS6) de menos de 4%. Finalmente, en cuanto al resultado de los balances hídricos, la calibración en régimen permanente de la cuenca del Mataquito entregó un error de cierre del 2.97%.

Plan de Manejo Hidrogeológico

Una propuesta de manejo de las aguas subterráneas debe considerar en primer lugar la necesidad de conocer en la situación actual el estado de las demandas y de la oferta de esas aguas.

En el caso de la cuenca del río Mataquito se considera como relevante las perspectivas de desarrollo agrícola del valle, el estado basal actual de los acuíferos, en cuanto a la calidad de sus aguas, y la potencialidad de que pueden ser contaminados, lo que ocurre, casi exclusivamente, a través de la zona no saturada. El valle del Mataquito ha adquirido ya un desarrollo agrícola suficiente, de modo que aunque los proyectos futuros existen, no serían ni tan sensibles al tema de la disponibilidad de aguas subterráneas, ni al de su calidad. En particular, se tienen las siguientes perspectivas de desarrollo:

- En la zona de Romeral y Teno (área nor-oriental), sería adecuada la intensificación con berries, manzanos y cerezos que poseen una adecuada rentabilidad por hectárea.
- En la zona de Curicó, se da una amplia gama de especies, entre las que se recomiendan vides viníferas, cerezos, manzanos y berries.
- En Molina (sector sur-oriental), el principal rubro a explotar es la vid vinífera, además de algunos berries y cerezos.
- En la zona intermedia, donde se ubican las comunas de Sagrada Familia, Rauco y Hualañé, además de considerar en cultivo de vides viníferas, se debe pensar en la introducción de frambuesa y olivos para la producción de aceite.
- En el área costera, específicamente Licantén y Curepto, se plantea el cultivo de frutillas y olivos.

REF 2. Estudio e Implementación de Modelos Hidrológicos Acoplados a SIG para el Manejo y planificación, Cuencas de Maule, Mataquito e Itata. GCF Ingenieros Consultores Ltda. (CNR, 2006).

El objetivo principal de este estudio fue recopilar y generar información para ser ingresada a la aplicación SIG-MAGIC (CNR-DGA 2005) existente, para su aplicación en las cuencas de los ríos Maule, Mataquito e Itata y el mejoramiento de esta aplicación en aspectos de calibración y generación de caudales en cuencas sin control fluviométrico.

Específicamente las labores desarrolladas fueron:

- a) Analizar todos los antecedentes de recursos básicos existentes, tanto en modelos de estudios existentes, como de la información propia del SIIR de la CNR, para las cuencas de Maule, Mataquito e Itata.
- b) Estudiar y mejorar la aplicación Interfaz SIG-MAGIC (CNR-DGA 2005) desarrollada.
- c) Implementar la aplicación Interfaz SIG-MAGIC existente con la información recopilada y evaluar la información faltante para su generación, particularmente para la cuenca del Maule; Generar la información necesaria para el correcto funcionamiento del modelo de

acuerdo a los requerimientos del presente Estudio; Calibrar y validar los Modelos Implementados.

- d) Desarrollar e incorporar una aplicación para el cálculo del mejor ajuste de calibración.
- e) Mejorar o Diseñar una aplicación que incorpore el cálculo de la escorrentía en cuencas no controladas, y que considere la mayor cantidad de información física disponible en el llenado de su base de datos.

Se realizó una recopilación de los antecedentes disponibles que tienen relación con los parámetros y tablas que considera el MAGIC y con los posibles datos que pudiesen adicionarse con el tiempo. Asociado a lo anterior se recopiló antecedentes respecto a estadísticas pluviométricas, fluviométricas y meteorológicas, coberturas bases (curvas de nivel, hidrografía, caminos, etc.), características de canales de riego, zonas de riego, acuíferos, catastros de pozos, embalses, centrales hidroeléctricas, entre otras. La recopilación de antecedentes se realizó principalmente a través de la revisión de información bibliográfica.

Se analizaron los modelos realizados en estudios anteriores y publicaciones existentes con el fin aprovechar la información útil, a nivel de topología, elementos y variables existentes. Se elaboró una reseña de los antecedentes analizados, entregando los datos relevantes que cada estudio, informe o documento proporcione.

Con los antecedentes recopilados, se realizó un análisis de suficiencia de información, con el propósito de poder calificar el uso que se le dará durante el desarrollo del estudio y determinar aquellos antecedentes que se requiere actualizar, complementar y en ciertos casos generar.

Las 51 tablas de datos que utiliza el programa MAGIC para realizar la simulación de caudales, pueden ser agrupadas en 13 tipos principales. Esta clasificación fue considerada como de referencia durante el análisis de los antecedentes disponibles, procurando identificar la información relevante para cada grupo definido. Se revisaron una serie de publicaciones asociadas a las cuencas de interés, siendo presentadas junto a una breve descripción de las materias, por grupos de cuenca donde pueden ser utilizados.

En base a las labores antes mencionadas se realizó la generación de Información en la Cuenca del Río Maule, para luego implementar **el Modelo MAGIC en la misma Cuenca.**

Finalmente se realizó la generación de información para la Cuenca **del Río Mataquito e Itata.**

Utilidad para el Presente Trabajo: la información recopilada y procesada para la cuenca del río Mataquito en este estudio de referencia, representa una base importante de antecedentes en las áreas de hidrología, catastro de pozos, caracterización de infraestructura (redes de canales, embalses), sectorización áreas o zonas de riego, y conformación topológica o coberturas bases del SIG a desarrollar.

REF 3 Diagnóstico de Caudales Disponibles en Cuencas No Controladas de Recuperación Cuencas de Maule, Mataquito y Rapel. CNR-GCF Ingenieros Consultores Ltda. Agosto 2008.

La Comisión Nacional de Riego (CNR) desarrolló entre los años 2004 y 2006 el Estudio e Implementación de Modelos Hidrológicos Acoplados a SIG para el Manejo y Planificación, Cuencas de Maule, Mataquito e Itata.

El trabajo anterior permitió el desarrollo de una interfaz SIG en ambiente MapObject, que permite el ingreso de información, preparación de los datos, construcción de topología y observación de los resultados del modelo de simulación hidrológico operacional, Modelo Genérico MAGIC desarrollado por la Dirección General de Aguas (DGA).

El modelo MAGIC es un programa de simulación de balances de agua para análisis de la dinámica integrada de cuencas y acuíferos, que permite simular a través del tiempo el comportamiento de los elementos superficiales que componen una cuenca y relacionar dicho comportamiento con las variaciones de volumen experimentadas por los acuíferos subyacentes a dicha cuenca.

Para la CNR, el fenómeno y la dinámica de los derrames y recuperaciones captados y reutilizados en riego son de especial relevancia; primero por un aumento sostenido en la cantidad de proyectos postulados a la Ley 18.450 en áreas regadas por sistemas hidrológicos de recuperación; y segundo, la complejidad de su medición y de la estimación de los caudales probabilísticas de seguridad 85% que es requisito exigible para el otorgamiento del subsidio.

Es en torno a esta problemática que surge el requerimiento de definir una metodología clara que permita cuantificar los caudales en las zonas de recuperación, mediante la interfaz SIG MAGIC (CNR - DGA - 2006) la que será aplicada en las cuencas de Maule, Mataquito y Rapel

El objetivo principal de este estudio fue cuantificar los caudales en las zonas de recuperación como fuentes de recursos hídricos para el subsector riego, para

las cuencas, tanto controladas como no controladas, de Maule, Mataquito y Rapel, usando SIG MAGIC (CNR - DGA - 2006).

Los objetivos específicos del estudio fueron los siguientes:

- a) Recopilar y analizar todos los antecedentes de recursos básicos existentes necesarios al estudio, tanto de fuentes externas como de la información propia del SIIR de la CNR, para las cuencas de Maule, Mataquito y Rapel.
- b) Determinar las zonas de recuperación en cada cuenca
- c) Estudiar, validar y mejorar (si un análisis crítico así lo estima) la actual aplicación Interfaz SIG-MAGIC (CNR - DGA - 2006) desarrollada previamente por estudio CNR.
- d) Crear nuevos objetos de modelación, para el cálculo de caudales en las zonas de recuperación, en el modelo MAGIC ya implementado para las cuencas de Maule, Mataquito y Rapel
- e) Determinar los caudales con seguridad de riego de 50% y 85% para las zonas de recuperación en las cuencas de Maule, Mataquito y Rapel.
- f) Utilizar los resultados obtenidos, en las zonas de recuperación, para comparar los caudales obtenidos por los postulantes a los proyectos de la Ley 18.450 con otros métodos de estimación.
- g) Establecer una metodología para el seguimiento y actualización del modelo

REF 4 Mejoramiento y Ampliación de Red de Aguas Subterráneas, Regiones VII a X. (Conic BF Ingenieros Civiles. - DGA. S.I.T. N° 223 Diciembre 2010)

El objetivo central del trabajo fue la formulación y/o proposición de una red de medición de aguas subterráneas para la zona comprendida entre el río Mataquito (VII Región) y el río Maullín (X Región de Los Lagos).

Dentro de las labores desarrolladas se efectuó, para cada región, una descripción Geológica e Hidrogeológica, incluyendo esta última aspectos tales como: catastro de captaciones, definición de acuíferos, profundidad de niveles y dirección de escurrimiento.

A continuación se resumen las consideraciones y resultados obtenidos en dos de las labores ejecutadas:

Catastro de Captaciones

- Los catastros recopilados consideraron los estudios más recientes efectuados, estudios que a su vez han recopilado todos los catastros efectuados en trabajos anteriores.
- Como los catastros recopilados usaban coordenadas de los pozos en distintos Datum, se transformaron al Datum WGS 84 Huso 19, de modo de trabajar con un Datum común. La transformación se realizó a través de un procedimiento que trae incorporado el software ArcGis 9.2.
- Respecto a la información del CPA, se eliminaron todas las captaciones con caudales constituidos menores que 3 l/s, y aquellos cuyos derechos de agua estaban pendientes y denegadas.
- Finalmente, se hizo un filtro eliminando aquellas captaciones que se repetían entre un catastro y otro.
- Específicamente el catastro de pozos constituido en la región VII alcanzó un total de 1.974 captaciones.

Medición de Niveles de Aguas Subterráneas.

- Para la red de pozos propuesta que conformaría la red de medición de Aguas Subterráneas, se realizó una campaña de terreno, la cual consideró entre otros aspectos la medición del nivel estático. En la región VII se seleccionaron 21 pozos, para los cuales se cuenta con el nivel del agua subterránea en diciembre del 2010.

Utilidad para el Presente Trabajo: la información que será de utilidad corresponde al catastro de pozos conformado, ya que se cuenta con una recopilación y georeferenciación de estas captaciones a un solo sistema (WGS 84 Huso 19). Específicamente los estudios o catastros utilizados para configurar el catastro final fueron:

- i. Estudio Hidrogeológico del Secano Interior y Costero. Regiones VI, VII y VIII. IICA, 2001.
- ii. Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección, CNR, 2001
- iii. Catastro Público de Aguas

Adicionalmente la otra información de utilidad será los registros de niveles estáticos medidos en Diciembre del año 2010 en los pozos seleccionados como parte de la red y que están dentro del área en estudio. Esta última información permitirá visualizar el comportamiento de esta variable en el tiempo, ya que se cuenta con registro de niveles en otros períodos.

REF 5 Estudio Integral de Riego de la Cuenca del Río Mataquito. CNR-CICA Marzo 1978 (Tomo A, Informe General-Tomo F, Hidrología-Tomo G, Hidrogeología)

Este estudio presenta una completa y detallada caracterización de los recursos hídricos superficiales a través del estudio hidrológico y de los recursos subterráneos, dentro del capítulo de hidrogeología. Abarca la totalidad de la cuenca del río Mataquito, incluyendo tanto los ríos Teno como Lontué.

Especial significación tiene para el presente estudio la información agrológica, la cual se encuentra tanto en forma descriptiva como cartográfica. Esta fue elaborada a escala 1:50.000 y presentada finalmente a escala 1:40.000, debido a ajustes en la elaboración del álbum de planos.

En relación con la hidrogeología, el estudio menciona que "en el área del proyecto, el interés hidrogeológico se concentra sobre todo en los sedimentos que rellenan el Valle Central y, en forma secundaria, en el valle que forma el río Mataquito.

Los sondajes en los valles de los ríos Teno y Lontué señalan la existencia de un acuífero cuya profundidad media es de alrededor de 60 m. La falta de sondajes a profundidades mayores ha limitado el estudio a la zona acuífera superior.

La zona presenta sedimentos gruesos en la caja de los ríos y sedimentos finos en el sector interfluvial. Se caracteriza por ser un acuífero semi-confinado, con transmisibilidades máximas de 8.000 m²/día y mínimas de 1.000 m²/día. El coeficiente de almacenamiento a largo plazo se estima en $S_y = 0,20$ y el valor instantáneo en $S_e = 0,00025$.

La alimentación del sistema proviene de la infiltración del agua de riego, de las precipitaciones y de la conexión río-acuífero..."

En el Tomo G de dicho estudio, dedicado exclusivamente al aspecto hidrogeológico, se realiza un análisis mucho más detallado del sistema, el cual se resumen a continuación:

Características Acuíferas

El acuífero principal correspondería a los primeros 60 m de sedimentos del valle central, los cuales sobreyacen a una capa de arcilla bajo la cual se encontraría una secuencia sedimentaria de limos arenosos y arcilla que, si bien poseería características acuíferas, no presentaría la calidad de la superficial.

De las pruebas de agotamiento recopiladas a través de los planos de construcción de los sondajes, se trazó un plano de isotransmisibilidades el cual indica que los valores más altos (8.000 m²/día) coinciden con los cauces actuales o antiguos de los ríos Teno y Lontué. Los valores menores serían del

orden de los 1.000 m²/día, los que se registrarían en la zona ubicada al Oriente del río Lontué.

En cuanto al coeficiente de almacenamiento de napa S_y , las pruebas de bombeo realizadas indicaron que éste se encontraría en el rango de 0,15 a 0,23. Adoptar un valor de 0,20 como representativo del valle resultó ser adecuado.

Volumen Almacenado

En función del coeficiente de almacenamiento de largo plazo y de la profundidad saturada promedio, se ha determinado para las cuencas de los ríos Teno y Lontué, los volúmenes de agua subterránea almacenados. Para el río Teno, se estimó un volumen total de 4.310 millones de m³ y para el acuífero asociado al río Lontué, un volumen total almacenado de 3.306 millones de m³.

En total, el volumen almacenado en todo el valle alcanzaría a los 7.616 millones de m³, el que equivale a un caudal medio continuo de 4,8 m³/s durante un período de 50 años.

Recargas

El trabajo analizado determinó las recargas producto de la percolación profunda de los excedentes del riego para la situación agrícola vigente a la fecha de realización del estudio (esto es, mediados de los años 70).

Los valores calculados indicaron que las zonas de riego pertenecientes a la cuenca del río Teno generarían una recarga de 6,49 m³/s para un año tipo 50%. A su vez, las zonas de riego del valle del río Lontué, generarían una recarga de 7,09 m³/s para el mismo año 50%.

La infiltración directa de las precipitaciones fue estimada en base a los datos de las intensidades de los distintos eventos de precipitación; ello condujo a que para el valle del río Teno, la recarga directa de lluvias fuese estimada en 7,65 m³/s para un año 50% y para el valle del río Lontué, fuese de 11,60 m³/s.

Finalmente, se realizó un estudio de la infiltración de agua desde el cauce de los ríos Teno y Lontué. Para ello, en función de la profundidad de los niveles freáticos, se determinó que solamente el río Teno, en su sector más alto presentaría recargas al acuífero. Su zona baja, así como el río Lontué corresponderían a zonas de afloramiento según se detalla más adelante.

Cuantitativamente, para el río Teno se ha determinado una tasa de infiltración de 85 l/s/km para el tramo ubicado entre Los Queñes y Cerrillo Verde, y de 185 l/s/km para el tramo entre Cerrillo Verde y Panamericana. Esto representa

un caudal neto de infiltración de 1,8 m³/s para el primer tramo y de 2,1 m³/s para el segundo, totalizando un caudal de infiltración de 3,9 m³/s.

Entre Panamericana y el Puente Rauco, el río Teno presentaría un comportamiento mixto, recargando en invierno y recuperando en época estival. La infiltración potencial estimada para este tramo fue de 0,5 m³/s.

Movimiento

Utilizando la Ley de Darcy se han estimado los flujos subterráneos pasantes por el acuífero principal; para ello se han utilizado los gradientes hidráulicos que han definido las curvas equipotenciales. Para ello sector del río Teno se estimó un flujo subterráneo de 2,83 m³/s en un perfil Norte-Sur ubicado a la altura de Romeral y de 3,55 m³/s para otro perfil ubicado en dirección Sureste-Noroeste a la altura de Curicó.

Para el acuífero del río Lontué, se estimó un flujo pasante de 4,19 m³/s para un perfil transversal al río, ubicado al Sur de Molina, y de 8,21 m³/s para otro perfil transversal al río, ubicado al Sureste de Lontué.

Finalmente, para la zona acuífera ubicada en el inicio del río Mataquito, el flujo pasante fue estimado en sólo 0,34 m³/s, lo que indica claramente que casi la totalidad del flujo subterráneo del valle central termina aflorando en las partes bajas de los ríos Teno y Lontué.

Descarga

Las recuperaciones en el río Teno ocurren desde el sector de Panamericana hacia aguas abajo y dependen estacionalmente de los niveles freáticos. El estudio asignó como valor más probable de afloramiento en el cauce del río, un valor de 2,3 m³/s. De manera similar, para el río Lontué se estimó un caudal de afloramiento de 4,9 m³/s.

Otra descarga analizada, aunque muy menor en comparación con las recuperaciones en los cauces, correspondió a las pérdidas por evaporación desde las cajas de los ríos. Esta fue estimada en 0,2 m³/s.

Finalmente, el cálculo de caudales explotados por sondajes fue estimado en base al catastro, considerando que un pozo para riego se ocupa en promedio un 16,4% del tiempo y uno dedicado al uso industrial, un 40%. En total el caudal de explotación real de todos los sondajes (para mediados de los años 70) era de 0,43 m³/s.

Fluctuación de Niveles

En el estudio en análisis se presentó una figura con las curvas de isoprofundidad del nivel freático en todo valle central. Esta lámina muestra que

en la parte alta del río Teno los niveles de la napa se encontrarían por sobre los 30 m de profundidad y a medida que se desciende por el valle, la napa pierde profundidad hasta encontrarse prácticamente superficial a unos 5 km al oriente del puente del FFCC.

El acuífero del río Lontué se encuentra en general a menor profundidad; ya en su cabecera, el nivel de la napa se encontraría en torno a los 10 m, y a la altura de Lontué, el nivel freático sería prácticamente coincidente con los niveles de terreno.

Las fluctuaciones estacionales de niveles dentro de un mismo año no son relevantes (según lo muestra la Figura 8.2 del estudio en análisis), ya que las mayores diferencias entre el máximo nivel de la napa (fines de Enero) y el menor valor (comienzos de Octubre) no superaría los 3 m en las cabeceras de los valles. Hacia aguas abajo, estas fluctuaciones serían inferiores a 1 m.

Explotación de Recursos

El estudio analizado definió en función de todos los aspectos reseñados anteriormente, dos zonas de alto potencial de explotación. La primera de ellas corresponde a aquel sector que se ubica entre Curicó y Teno, a ambos costados del río Teno, específicamente en el entorno de la localidad de Sarmiento. Para este sector se propuso una explotación media continua de 9,7 m³/s, valor estimado en base a la suma de todas las recargas al acuífero.

El segundo sector propuesto se ubica en la parte Sur de la cuenca entre las localidades de Lontué y Molina, inmediatamente al Oriente de la carretera Panamericana. Para este sector estimó una explotación en torno a los 8 m³/s.

2.3. Expedientes de Aguas Subterráneas

Con el objeto de complementar la información existente relacionada a pozos, estratigrafías y pruebas de bombeo contenidas en los estudios y catastro indicados en el punto anterior, se procedió a realizar una recopilación y revisión de los antecedentes técnicos incluidos en los expedientes de las solicitudes de derechos de aguas subterráneas en el área en estudio. El procedimiento seguido fue el siguiente:

- i. Se solicitó a la DGA la información de derechos de aguas subterráneas existente para la VII región. La información entregada fue la base de datos de expedientes contenida en el CPA (Catastro Público de Aguas).
- ii. La base de datos entregada incluía el universo total de solicitudes, coexistiendo derechos otorgados, denegados, en trámite, etc., y provenientes también de orígenes disímiles (Artículo 4° y 6°

transitorio, INDAP, Conadi, particulares, etc.), cabe señalar que la base de datos entregada y con la cual se trabajo no indica el tipo de captación asociada a cada solicitud, por lo cual no se sabe a priori cuales corresponden a pozo o sondaje, noria, dren, punteras, etc.

- iii. Por otro lado se solicitaron los expedientes de aguas subterráneas digitalizados o escaneados con el objeto de revisar su contenido y de este modo ir seleccionando aquellas captaciones asociadas a pozos profundos, las cuales proporcionan antecedentes de relevancia para las labores a desarrollar durante el estudio. Específicamente de cada expediente se seleccionó la siguiente información: ubicación de la captación, plano de construcción del pozo, prueba de gasto variable o constante e informe técnico.
- iv. La información técnica, en archivo digital, por expediente o captación del tipo pozo o sondaje se anexa en formato PDF en la presente entregada.
- v. La información recabada de los pozos: niveles de agua subterránea, datos de pruebas de bombeo, estratigrafía e informes técnicos, será utilizada en la caracterización de los acuíferos (calculo de permeabilidad, perfiles estratigráficos, etc.).
- vi. Los sondajes identificados a partir de los expedientes revisados se incorporaron a la base de datos de captaciones subterráneas en desarrollo, por consecuencia están georeferenciados e incorporados al SIG que se esta desarrollando. Específicamente en el plano 6-1. se muestra el catastro de captaciones subterráneas para la cuenca del Río Mataquito.

3. ESTUDIO HIDROLOGICO CUENCA RIO MATAQUITO

3.1. Pluviometría

El análisis de las precipitaciones de la zona de estudio tuvo por objeto generar series estadísticas de precipitaciones mensuales y anuales para el período 1964/65 - 2010/11, para caracterizar el régimen pluviométrico de la zona de estudio, tanto en lo referente a la distribución espacial de las lluvias como en la determinación de precipitaciones para diferentes probabilidades de excedencia.

Para ello se seleccionaron un conjunto de estaciones pluviométricas bien distribuidas en la cuenca de interés y con registros suficientemente extensos y confiables, para luego proceder a recopilar las estadísticas disponibles en tales estaciones, tanto en la Dirección General de Aguas como en la Dirección Meteorológica de Chile.

Al mismo tiempo se revisaron los siguientes estudios realizados anteriormente en esta cuenca:

- Estudio de Calidad de Aguas Subterráneas en las Cuencas de Huasco y Mataquito. (GCF, CNR, 2006).
- Estudio e Implementación de Modelos Hidrológicos Acoplados a SIG para el Manejo y Planificación, Cuencas de Maule, Mataquito e Itata". (GCF, CNR, 2006).
- Diagnóstico de Caudales Disponibles en Cuencas No Controladas de Recuperación, Cuencas de Maule, Mataquito y Rapel". (GCF, CNR, 2008).
- Estudio Integral de Riego de la Cuenca del Río Mataquito". (CICA, CNR, 1978)
- Diagnóstico y Clasificación de los cursos y Cuerpos de Agua según objetivos de Calidad. Cuenca Río Mataquito". (Cade -Idepe, DGA, 2004).

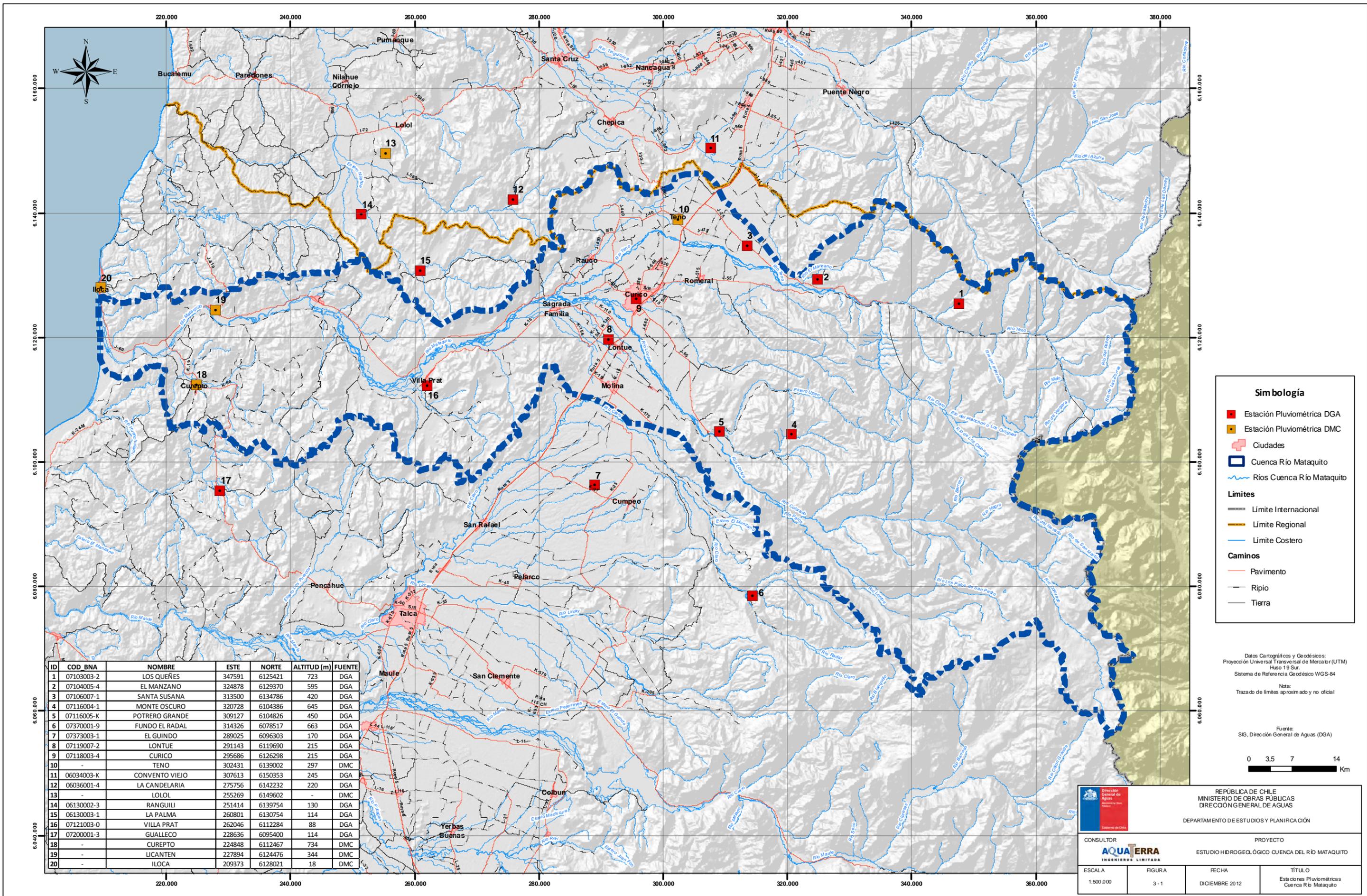
3.1.1 Recopilación de la información disponible

Las estaciones seleccionadas suman un total de 20. Sus antecedentes básicos y ubicación se presentan en el Cuadro N° 3-1 y en la Figura N° 3-1, respectivamente. Las estadísticas de precipitaciones mensuales recopiladas, que conforman las estadísticas pluviométricas base de este estudio, se presentan en el Anexo N°3-1.

En todo caso, como se señaló anteriormente, el criterio para la elección de las estaciones se basó fundamentalmente en la extensión y la calidad de las estadísticas, así como su ubicación en la zona de interés.

Cuadro N° 3-1. Estaciones Pluviométricas Seleccionadas

N°	Estación	Coordenadas UTM (m)		Institución	Período
		E	N		
01	Los Queñes	347.591	6.125.421	DGA	1964-2011
02	El Manzano	324.878	6.129.370	DGA	1964-2011
03	Santa Susana	313.500	6.134.786	DGA	1981-2011
04	Monte Oscuro	320.728	6.104.386	DGA	1994-2011
05	Potrero Grande	309.127	6.104.826	DGA	1971-2011
06	Fundo El Radal	314.326	6.078.517	DGA	1992-2011
07	El Guindo	289.025	6.096.303	DGA	1964-2011
08	Lontué	291.143	6.119.690	DGA	1969-2011
09	Curico	295.686	6.126.298	DGA	1971-2011
10	Teno	302.431	6.139.002	DMC	1964-2001
11	Convento Viejo	307.613	6.150.353	DGA	1971-2011
12	La Candelaria	275.756	6.142.232	DGA	1974-2011
13	Lolol	255.269	6.149.602	DMC	1964-2010
14	Ranguilli	251.414	6.139.754	DGA	1981-2011
15	La Palma	260.801	6.130.754	DGA	1981-2011
16	Villa Prat	262.046	6.112.284	DGA	1992-2011
17	Gualleco	228.636	6.095.400	DGA	1964-2011
18	Curepto	224.848	6.112.467	DMC	1964-2011
19	Licantén	227.894	6.124.476	DMC	1974-2010
20	Iloca	209.373	6.128.021	DMC	1964-2010



ID	COD BNA	NOMBRE	ESTE	NORTE	ALTITUD (m)	FUENTE
1	07103003-2	LOS QUEÑES	347591	6125421	723	DGA
2	07104005-4	EL MANZANO	324878	6129370	595	DGA
3	07106007-1	SANTA SUSANA	313500	6134786	420	DGA
4	07116004-1	MONTE OSCURO	320728	6104386	645	DGA
5	07116005-K	POTRERO GRANDE	309127	6104826	450	DGA
6	07370001-9	FUNDO EL RADAL	314326	6078517	663	DGA
7	07373003-1	EL GUINDO	289025	6096303	170	DGA
8	07119007-2	LONTUE	291143	6119690	215	DGA
9	07118003-4	CURICO	295686	6126298	215	DGA
10	-	TENO	302431	6139002	297	DMC
11	06034003-K	CONVENTO VIEJO	307613	6150353	245	DGA
12	06036001-4	LA CANDELARIA	275756	6142232	220	DGA
13	-	LOLOL	255269	6149602	-	DMC
14	06130002-3	RANGUILI	251414	6139754	130	DGA
15	06130003-1	LA PALMA	260801	6130754	114	DGA
16	07121003-0	VILLA PRAT	262046	6112284	88	DGA
17	07200001-3	GUALLECO	228636	6095400	114	DGA
18	-	CUREPTO	224848	6112467	734	DMC
19	-	LICANTEN	227894	6124476	344	DMC
20	-	ILOCA	209373	6128021	18	DMC

Simbología

- Estación Pluviométrica DGA
- Estación Pluviométrica DMC
- Ciudades
- Cuenca Río Mataquito
- Ríos Cuenca Río Mataquito

Límites

- Límite Internacional
- Límite Regional
- Límite Costero

Caminos

- Pavimento
- Ripio
- Tierra

Datos Cartográficos y Geodésicos:
 Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM)
 Huso 19 Sur.
 Sistema de Referencia Geodésico WGS-84

Nota:
 Trazado de límites aproximado y no oficial

Fuente:
 SIG, Dirección General de Aguas (DGA)

0 3,5 7 14 Km

REPÚBLICA DE CHILE
 MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
 DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
 DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN

CONSULTOR: **AQUATERRA** INGENIEROS LIMITADA

PROYECTO: ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CUENCA DEL RÍO MATAQUITO

ESCALA: 1:500.000	FIGURA: 3-1	FECHA: DICIEMBRE 2012	TÍTULO: Estaciones Pluviométricas Cuenca Río Mataquito
-------------------	-------------	-----------------------	--

3.1.2 Corrección, Relleno y Extensión de Estadísticas

Como primera parte del análisis se correlacionaron las estadísticas de precipitaciones anuales de todas las estaciones, de manera de revisar la consistencia de la información y eventualmente corregir valores alejados de la tendencia general de los puntos.

Se procedió luego a rellenar los vacíos existentes en meses aislados mediante el método de los módulos pluviométricos considerando estaciones con buenas correlaciones anuales y preferentemente cercanas. Se obtuvieron así series anuales de precipitaciones, considerando años con información completa.

Del conjunto de estaciones se identificaron aquellas estaciones con información más extensa y consistente. Se estableció un Patrón para la zona oriente y otro para la zona poniente. Para el sector oriente se eligió la estación Los Queñes, y para el poniente se eligieron las estaciones Lolol y Gualleco. Debe señalarse que las dos primeras fueron incluidas en el Patrón Pluviométrico del estudio de CICA (1978).

Se procedió luego a rellenar las precipitaciones anuales faltantes en cada estación, utilizando las correlaciones realizadas con alguna de las estaciones Patrón. Para la estación Patrón de Lolol se debió rellenar el año 2008/2009 correlacionándola con la estación Gualleco, cuyos registros están completos.

En el Cuadro N°3-2 se presentan los datos de las correlaciones usadas para el relleno de los datos anuales, y en el Anexo N°3-2 se consignan las figuras con las rectas respectivas.

Cuadro N°3-2 Correlación de Precipitaciones Anuales

N°	Estación Y	Estación X	a	b	R ²
01	Los Queñes	Potrero Grande	1,168	55,448	0,904
02	El Manzano	Los Queñes	0,974	-42,730	0,927
03	Santa Susana	Los Queñes	0,623	-2,295	0,861
04	Monte Oscuro	Los Queñes	1,026	87,859	0,963
05	Potrero Grande	Los Queñes	0,773	65,669	0,904
06	Fundo El Radal	Los Queñes	1,255	207,144	0,929
07	El Guindo	Los Queñes	0,462	82,440	0,767
08	Lontué	Los Queñes	0,439	59,904	0,822
09	Curico	Los Queñes	0,510	-4,904	0,850
10	Teno	Los Queñes	0,550	11,634	0,872
11	Convento Viejo	Los Queñes	0,527	-16,117	0,932
12	La Candelaria	Los Queñes	0,639	-48,725	0,891
13	Lolol	Gualleco	0,847	0,058	0,847
14	Ranguilli	Lolol	1,003	37,162	0,938
15	La Palma	Lolol	0,829	108,980	0,846
16	Villa Prat	Lolol	0,985	-21,671	0,652
17	Gualleco	Lolol	1,001	123,599	0,847
18	Curepto	Gualleco	0,875	28,509	0,802
19	Licantén	Gualleco	0,948	-64,209	0,788
20	Iloca	Gualleco	0,884	-2,510	0,675

Una vez rellenos los datos anuales, se procedió a completar las lluvias mensuales, suponiendo igual distribución de las lluvias mensuales con relación a la estación utilizada para el relleno anual.

Las estadísticas rellenas y corregidas finalmente obtenidas, se presentan en el Anexo N° 3-3

Finalmente, se procedió a verificar la homogeneidad de las series anuales definitivas mediante un análisis de Curvas Doble Acumuladas (CDA), considerando los Patrones Pluviométricos indicados.

De acuerdo a estas curvas, presentadas en el Anexo N°3-4, se concluye que las estadísticas finales se pueden considerar rellenas y corregidas adecuadamente.

3.1.3 Análisis de Frecuencia de las Estadísticas

Para las series de precipitaciones mensuales, semestrales y anuales definitivas de cada estación, se efectuaron análisis de frecuencia analíticos, ajustando las distribuciones Normal, Gumbel, Pearson III, Log-Normal, Log-Pearson III y Log-Normal III, considerando 5 probabilidades de excedencia: 5%, 20%, 50%, 85% y 95%.

La bondad del ajuste se determinó en base a un Test Chi-Cuadrado, agrupando los datos en 5 intervalos. La distribución de mejor ajuste es la que entrega el menor valor de Chi-Cuadrado.

En el Anexo N°3-5 se presenta el detalle de los resultados y en el Cuadro N°3-3 se consigna el resumen de este análisis, indicando para cada mes, la distribución de mejor ajuste.

Cuadro N°3-3. Análisis de Frecuencia Precipitaciones Mensuales

01 LOS QUEÑES

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	0,00	36,05	9,38	0,00	14,41	0,00	1,99	0,00	0,00	0,00	0,00	510,50	29,58	611,34
85%	3,85	41,93	108,13	85,13	47,80	28,04	8,82	3,52	0,00	0,00	0,00	0,00	719,10	68,76	844,70
50%	48,76	192,66	279,01	252,07	174,77	79,15	65,05	21,15	11,73	0,08	0,04	6,12	1163,17	150,96	1328,32
20%	118,97	362,33	469,71	439,99	317,69	168,78	128,34	61,78	43,13	2,94	1,54	26,10	1577,41	233,53	1767,59
5%	223,08	582,43	701,72	683,76	503,08	324,93	210,44	133,71	90,48	93,61	48,37	60,05	1980,19	326,90	2185,85
Distribucion	PearsonII	G	PearsonII	G	G	LogPearIII	G	PearsonIII	PearsonIII	LN	LN	PearsonIII	LogPearIII	PearsonIII	LogPearIII
Valor Chi2	0,924	6,607	0,668	1,566	2,545	0,638	0,559	7,467	19,617	12,484	22,524	10,701	0,962	0,541	0,303

02 EL MANZANO

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	0,00	0,00	15,64	0,00	11,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	492,55	19,07	520,62
85%	2,51	34,74	72,78	82,15	41,78	22,48	4,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	670,33	53,82	778,83
50%	38,77	177,16	271,37	244,34	161,24	65,86	59,12	19,93	8,63	1,24	2,05	6,49	1062,15	131,43	1253,69
20%	100,55	337,49	494,93	429,45	295,72	157,66	120,14	62,06	35,83	9,52	17,81	23,84	1503,22	213,83	1672,99
5%	196,21	545,47	784,93	658,05	470,16	362,66	199,30	130,14	77,98	23,38	38,27	51,23	2075,36	310,74	2102,47
Distribucion	PearsonIII	G	G	PearsonII	G	LN	G	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	G	PearsonIII	G	PearsonIII	PearsonIII
Valor Chi2	4,480	7,084	1,197	1,434	2,920	1,282	0,559	8,502	20,184	26,942	34,966	11,623	1,463	0,328	0,510

03 SANTA SUSANA

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	0,00	18,01	2,60	0,00	8,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	304,51	6,68	345,87
85%	1,34	26,77	62,02	52,19	28,07	16,56	1,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	437,92	31,31	519,31
50%	27,57	121,14	171,55	161,50	108,50	45,31	43,49	19,09	5,56	0,83	1,83	2,47	726,04	85,58	830,36
20%	70,77	227,37	298,59	284,54	199,04	98,42	77,49	50,08	23,76	6,67	11,65	15,65	996,12	146,68	1097,81
5%	136,55	365,18	457,11	444,15	316,49	199,48	109,94	90,29	52,75	16,32	24,38	41,79	1257,19	225,93	1365,81
Distribucion	PearsonIII	G	PearsonIII	G	G	LogPearIII	N	G	PearsonIII	PearsonIII	G	PearsonIII	LogPearIII	G	PearsonIII
Valor Chi2	0,772	5,817	1,647	3,916	2,048	3,758	2,271	15,959	16,172	31,319	31,846	9,566	2,962	1,631	0,460

04 MONTE OSCURO

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	0,00	7,31	16,17	32,28	16,94	0,00	0,66	0,00	0,00	0,00	0,00	578,38	28,54	685,47
85%	3,20	47,60	100,79	98,04	64,33	32,23	12,14	2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	805,94	74,61	944,59
50%	54,94	206,81	306,83	278,49	174,86	87,25	69,51	22,48	13,43	0,70	0,02	2,65	1279,05	166,08	1464,31
20%	132,58	386,03	538,77	481,63	339,46	179,26	134,09	66,90	47,48	10,73	1,00	24,99	1707,79	253,34	1912,80
5%	245,26	618,50	839,64	745,13	571,43	332,37	217,86	144,57	98,45	29,71	33,96	79,77	2112,98	348,29	2315,04
Distribucion	PearsonIII	G	G	G	LogPearIII	LogPearIII	G	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LN	PearsonIII	LogPearIII	PearsonIII	LogPearIII
Valor Chi2	0,346	2,697	0,488	2,579	2,895	1,671	0,772	4,070	12,838	18,441	33,234	8,310	1,033	0,226	0,374

05 POTRERO GRANDE

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	0,00	5,29	16,80	25,32	18,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	426,76	14,79	558,10
85%	1,74	42,52	74,18	76,96	49,79	28,49	4,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	594,52	53,78	712,12
50%	41,00	160,37	226,01	209,56	132,20	71,56	51,53	18,84	8,51	1,37	0,02	11,31	952,18	128,54	1051,56
20%	102,37	290,03	396,93	358,83	251,74	138,18	104,95	53,61	33,49	8,78	0,58	47,90	1289,89	197,45	1433,67
5%	193,35	446,28	618,64	552,45	416,12	225,54	174,24	107,42	72,09	21,49	16,30	95,37	1625,05	270,49	1929,34
Distribucion	PearsonIII	PearsonIII	G	G	LogPearIII	PearsonIII	G	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LN	G	LogPearIII	PearsonIII	G
Valor Chi2	0,275	2,028	0,772	1,617	0,455	2,139	1,775	7,489	12,555	21,319	33,963	20,255	0,597	1,282	0,212

06 FUNDO EL RADAL

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	0,00	85,74	34,42	0,00	24,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	752,79	50,25	899,48
85%	0,76	63,84	160,89	138,28	70,62	45,64	13,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1055,39	100,75	1242,53
50%	79,68	264,01	386,93	367,15	233,25	117,95	92,06	41,78	17,24	2,35	5,58	0,27	1663,81	212,05	1908,57
20%	187,04	489,33	671,00	624,81	416,32	232,52	181,00	108,56	60,68	18,60	27,12	21,06	2182,51	337,35	2451,67
5%	334,64	781,63	1007,55	959,03	653,79	413,30	296,36	195,18	125,84	47,04	55,06	112,38	2636,20	499,88	2905,43
Distribucion	PearsonIII	G	LogPearIII	G	G	LogPearIII	G	G	PearsonIII	PearsonIII	G	PearsonIII	LogPearIII	G	LogPearIII
Valor Chi2	4,409	2,028	0,141	3,268	3,608	2,711	1,197	11,177	10,893	15,604	31,927	7,732	2,158	0,587	0,871

07 EL GUINDO

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	16,48	17,39	0,00	18,25	1,87	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	263,18	7,17	290,92
85%	0,00	34,49	57,98	28,73	29,89	12,27	3,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	367,34	29,49	444,73
50%	27,09	98,89	147,44	126,52	69,30	43,94	23,42	11,22	6,87	0,18	0,46	4,98	595,08	80,95	706,74
20%	66,96	195,64	248,14	236,61	137,18	86,30	60,00	32,31	27,36	6,85	10,63	23,95	818,66	137,08	919,51
5%	124,08	329,75	378,77	379,41	263,20	143,96	118,97	64,40	57,65	20,35	29,40	57,22	1050,66	204,32	1122,57
Distribucion	PearsonIII	LogPearIII	G	G	LN	PearsonIII	LogPearIII	PearsonIII	N						
Valor Chi2	9,566	2,340	0,668	2,342	0,778	0,502	2,565	9,921	22,899	21,319	28,766	12,028	0,638	0,431	2,893

Cuadro N°3-3. (Continuación) Análisis de Frecuencia Precipitaciones Mensuales

08 LONTUE

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	0,00	14,94	4,38	10,04	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	247,43	12,64	294,05
85%	0,00	25,84	53,89	38,94	26,17	10,39	4,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	348,23	26,37	419,76
50%	28,45	106,03	141,66	120,72	73,12	41,76	25,73	11,25	2,38	0,31	0,02	4,66	561,63	69,94	646,02
20%	70,66	171,15	235,55	211,83	134,06	84,26	56,84	32,20	18,62	5,31	0,49	18,39	759,08	123,42	841,30
5%	125,41	233,29	346,55	322,56	215,60	142,58	101,53	63,83	49,13	14,95	12,25	41,81	949,30	181,23	1037,61
Distribucion	G	N	PearsonIII	LN	PearsonIII	LogPearIII	LogPearIII	PearsonIII							
Valor Chi2	11,106	7,702	0,962	1,155	1,519	2,626	4,480	11,106	11,906	22,686	33,396	13,446	0,303	0,342	2,644

09 CURICO

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	18,19	21,84	0,74	0,00	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	194,79	0,00	311,20
85%	1,19	27,40	51,46	42,07	19,31	9,87	2,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	349,09	19,99	415,24
50%	22,13	80,05	137,30	133,14	97,10	40,20	22,92	6,98	4,37	0,21	0,01	1,99	611,94	73,05	644,54
20%	58,65	176,94	248,40	235,67	160,27	81,99	54,60	28,06	19,40	5,03	0,23	13,75	825,38	116,14	902,66
5%	115,82	332,57	396,76	368,66	220,55	139,86	100,89	67,46	43,13	16,21	4,51	38,92	1029,09	157,26	1237,49
Distribucion	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	G	N	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LN	PearsonIII	N	N	G
Valor Chi2	2,626	2,097	0,952	4,241	1,562	1,732	1,410	7,985	14,338	14,267	37,844	8,218	1,276	0,772	2,360

10 TENO

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	239,70	5,96	319,68
85%	0,00	13,80	37,58	35,59	23,73	8,02	1,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	402,40	18,12	457,23
50%	23,56	107,97	165,05	142,48	113,22	43,93	24,47	8,33	3,83	0,01	0,00	2,54	679,54	67,65	744,43
20%	61,50	213,98	308,54	262,81	185,88	94,10	57,97	32,49	15,37	0,22	0,05	17,21	904,60	127,62	1000,27
5%	117,70	351,49	494,67	418,90	255,24	164,13	106,40	78,89	33,04	18,64	3,25	44,62	1119,38	177,78	1233,57
Distribucion	PearsonIII	G	G	G	N	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII	LogPearIII	PearsonIII	N	LogPearIII	LogPearIII
Valor Chi2	10,042	2,626	0,964	2,778	2,048	2,312	3,831	7,165	17,945	35,787	42,342	15,969	1,519	2,729	0,212

11 CONVENTO VIEJO

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	0,00	21,57	0,00	0,00	4,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	214,77	1,90	314,54
85%	0,00	25,11	47,45	34,92	21,43	9,82	1,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	366,80	21,16	409,69
50%	23,86	104,80	138,95	136,31	100,93	31,16	22,68	7,13	4,29	0,18	1,19	0,10	625,77	63,62	642,67
20%	60,29	188,11	266,76	250,44	165,49	79,56	52,79	29,85	19,83	3,95	11,67	4,82	836,06	111,42	926,32
5%	113,55	285,04	424,12	398,50	227,10	194,68	95,59	71,87	44,38	10,64	25,26	207,79	1036,76	173,42	1313,10
Distribucion	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII	G	N	LN	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	G	LogPearIII	N	G	LN
Valor Chi2	9,921	3,629	0,374	3,264	7,367	3,078	2,383	8,431	22,403	28,289	31,207	22,129	1,671	0,516	1,803

12 LA CANDELARIA

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	0,00	15,15	0,00	0,00	6,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	297,78	0,00	289,75
85%	0,00	24,34	58,31	42,33	22,97	13,76	2,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	424,16	19,88	484,00
50%	26,70	118,27	172,12	159,83	116,37	42,55	23,12	7,13	0,11	0,70	1,50	1,17	707,81	76,15	814,89
20%	73,99	220,40	309,97	292,09	192,21	97,42	57,87	29,34	6,01	5,30	11,70	14,15	993,24	121,85	1083,59
5%	146,50	342,48	486,77	463,67	264,59	200,26	111,77	68,39	273,60	12,89	24,93	41,54	1294,91	165,46	1340,04
Distribucion	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	G	N	LogPearIII	PearsonIII	PearsonIII	LN	PearsonIII	G	PearsonIII	LogPearIII	N	N
Valor Chi2	8,999	2,383	0,516	2,626	2,616	2,168	2,545	9,637	17,702	22,686	35,817	17,914	0,658	4,814	2,644

13 LOLOL

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	2,51	0,00	28,09	11,19	0,00	4,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	243,20	6,28	256,00
85%	2,91	19,18	47,95	42,30	13,48	12,30	1,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	359,42	18,61	415,43
50%	16,51	101,26	119,22	126,66	96,72	39,94	16,75	5,16	2,67	0,01	0,01	2,01	594,04	56,49	687,03
20%	56,31	197,85	249,78	230,93	164,32	81,77	50,30	25,46	16,16	0,34	0,27	18,88	821,44	107,45	907,57
5%	133,44	319,51	505,95	366,35	228,83	142,76	108,21	66,14	39,55	6,81	5,88	53,45	1071,90	177,06	1118,06
Distribucion	PearsonIII	PearsonIII	LN	PearsonIII	N	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LN	LN	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	N
Valor Chi2	6,346	4,054	0,226	1,844	2,312	1,548	2,616	6,395	14,267	26,992	34,936	17,702	0,922	1,027	2,224

14 RANGUILI

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	2,31	0,00	23,76	0,00	6,23	2,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	223,09	5,09	286,21
85%	2,87	13,61	58,45	37,23	25,37	12,53	2,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	381,09	21,21	449,04
50%	17,98	109,12	150,01	138,52	81,60	45,15	20,78	6,51	4,23	0,55	1,55	0,91	650,22	64,58	726,41
20%	60,20	216,64	260,97	252,54	155,09	89,35	55,30	29,41	19,40	4,52	7,98	18,60	868,77	117,88	951,66
5%	140,67	356,11	403,35	400,45	253,78	149,98	110,92	72,70	44,07	11,67	16,32	55,68	1077,35	186,85	1166,62
Distribucion	PearsonIII	G	PearsonIII	G	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	G	PearsonIII	N	PearsonIII	N
Valor Chi2	5,037	3,517	0,936	1,491	2,097	1,211	1,410	8,431	16,243	20,062	31,846	11,987	0,907	0,091	2,863

Cuadro N°3-3. (Continuación) Análisis de Frecuencia Precipitaciones Mensuales

15 LA PALMA

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	0,00	28,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	275,30	0,00	301,64
85%	0,00	18,31	57,30	27,70	8,78	6,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	376,22	8,59	440,37
50%	20,28	99,54	148,41	124,30	77,58	40,78	16,32	5,28	1,56	0,90	1,74	3,10	590,28	60,68	676,70
20%	68,18	190,97	258,92	233,04	155,02	87,03	51,97	25,24	17,85	5,25	10,14	21,94	794,03	119,32	868,60
5%	153,40	309,58	378,04	374,09	255,49	150,45	110,62	64,46	47,94	10,90	21,04	54,61	1000,27	195,38	1051,76
Distribución	PearsonIII	G	LogPearIII	G	G	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	G	G	PearsonIII	LogPearIII	G	N
Valor Chi2	7,489	2,626	0,638	2,909	2,261	3,679	7,773	8,502	15,402	35,179	28,938	19,049	0,257	2,048	2,370

16 VILLA PRAT

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	1,86	0,00	21,07	16,21	4,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	187,29	6,52	258,68
85%	2,40	22,85	42,93	36,00	17,94	5,23	1,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	309,50	17,76	362,08
50%	16,58	101,14	117,53	109,73	66,38	37,19	16,60	4,90	3,42	0,02	1,21	1,20	555,95	54,05	605,76
20%	55,80	191,74	224,53	221,22	138,82	84,82	49,55	24,40	17,05	0,46	6,90	15,63	794,55	104,36	874,17
5%	130,31	304,63	376,08	371,87	243,77	153,68	105,94	63,68	39,19	10,09	14,29	48,97	1057,12	174,29	1191,87
Distribución	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LN	G	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII
Valor Chi2	7,921	1,775	2,212	1,519	1,878	2,261	2,383	6,607	16,243	23,902	31,846	14,054	1,637	0,737	1,432

17 GUALLECO

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	0,00	33,35	0,00	0,00	4,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	323,93	4,53	363,51
85%	2,10	23,51	69,25	48,19	22,20	11,99	1,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	444,86	24,36	517,80
50%	23,99	129,96	168,27	160,19	94,51	43,86	19,40	11,11	3,11	1,17	1,70	3,34	708,80	68,06	799,80
20%	71,16	249,79	292,16	286,26	175,91	94,66	49,30	31,44	16,02	6,11	11,21	21,86	970,61	117,25	1047,18
5%	152,41	405,23	454,28	449,80	281,50	170,74	94,96	61,24	38,19	13,93	27,02	57,59	1247,88	181,06	1299,21
Distribución	PearsonIII	G	PearsonIII	G	G	PearsonIII	LogPearIII	G	PearsonIII						
Valor Chi2	4,480	2,838	0,516	0,893	1,197	3,302	1,197	12,838	12,808	20,184	23,659	13,375	1,604	5,977	3,296

18 CUREPTO

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	5,93	9,26	31,38	0,00	0,00	3,87	6,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	278,97	8,45	321,65
85%	6,27	20,60	63,08	36,83	13,81	10,49	7,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	390,30	19,58	443,78
50%	17,46	80,37	157,70	141,19	94,36	40,26	13,65	7,81	3,12	0,54	1,11	0,12	640,12	58,65	711,15
20%	57,45	242,77	266,46	258,67	185,04	89,69	40,91	26,64	13,27	3,90	9,66	5,85	895,16	109,43	976,62
5%	140,41	697,25	377,17	411,07	302,67	156,59	101,20	57,72	30,29	10,02	24,62	244,24	1171,82	164,79	1257,40
Distribución	PearsonIII	LN	LogPearIII	G	G	LogPearIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LN	LogPearIII	LogPearIII	LogPearIII
Valor Chi2	11,533	8,559	1,084	1,461	2,950	0,342	12,526	8,502	11,744	17,874	19,161	14,257	0,942	1,878	3,546

19 LICANTEN

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	0,00	35,00	11,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	266,06	0,00	319,11
85%	0,00	17,19	56,69	38,66	18,53	5,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	367,26	13,16	414,38
50%	27,53	109,70	134,75	127,83	97,48	39,74	15,71	10,06	2,19	0,25	0,64	1,89	603,90	57,47	646,69
20%	72,99	216,72	250,15	252,18	161,58	87,79	41,69	33,95	12,38	4,06	8,83	17,17	864,02	97,51	928,23
5%	131,96	350,04	416,32	425,57	222,77	155,40	79,53	64,93	29,85	11,11	23,58	48,86	1173,17	139,29	1310,56
Distribución	G	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	N	PearsonIII	PearsonIII	G	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII	PearsonIII	LN
Valor Chi2	13,771	5,148	0,952	4,680	4,693	1,177	8,502	19,576	20,255	28,766	26,020	12,200	0,212	7,732	2,411

20 ILOCA

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	3,00	8,17	34,41	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	240,58	3,15	262,94
85%	3,71	24,91	62,29	35,60	21,67	5,01	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	353,27	21,69	408,24
50%	18,53	100,20	145,04	148,17	80,51	38,77	23,85	8,15	4,35	1,24	0,63	2,87	601,62	62,54	692,21
20%	57,67	208,77	250,50	274,89	153,64	87,28	49,82	29,14	18,40	6,09	9,11	17,85	881,20	108,53	958,94
5%	130,74	323,20	380,22	439,28	248,93	156,05	81,01	61,12	41,46	13,39	24,56	45,00	1243,86	168,18	1245,80
Distribución	PearsonIII	LogPearIII	LogPearIII	G	PearsonIII	G	G	PearsonIII							
Valor Chi2	7,519	1,878	0,530	0,275	2,239	0,680	6,516	11,106	12,200	31,319	21,319	12,838	0,085	3,078	0,871

3.2. Fluviometría

3.2.1 Introducción

El análisis fluviométrico de la zona de estudio tuvo por objeto generar series estadísticas de caudales medios mensuales para el período 1964/65 - 2010/11, en los distintos cauces del área de estudio que cuentan con control fluviométrico, para así disponer de una herramienta que permita generar caudales en cuencas no controladas, ya sea por transposición de escorrentía superficial o mediante la aplicación de un método de Escorrentía-Precipitación.

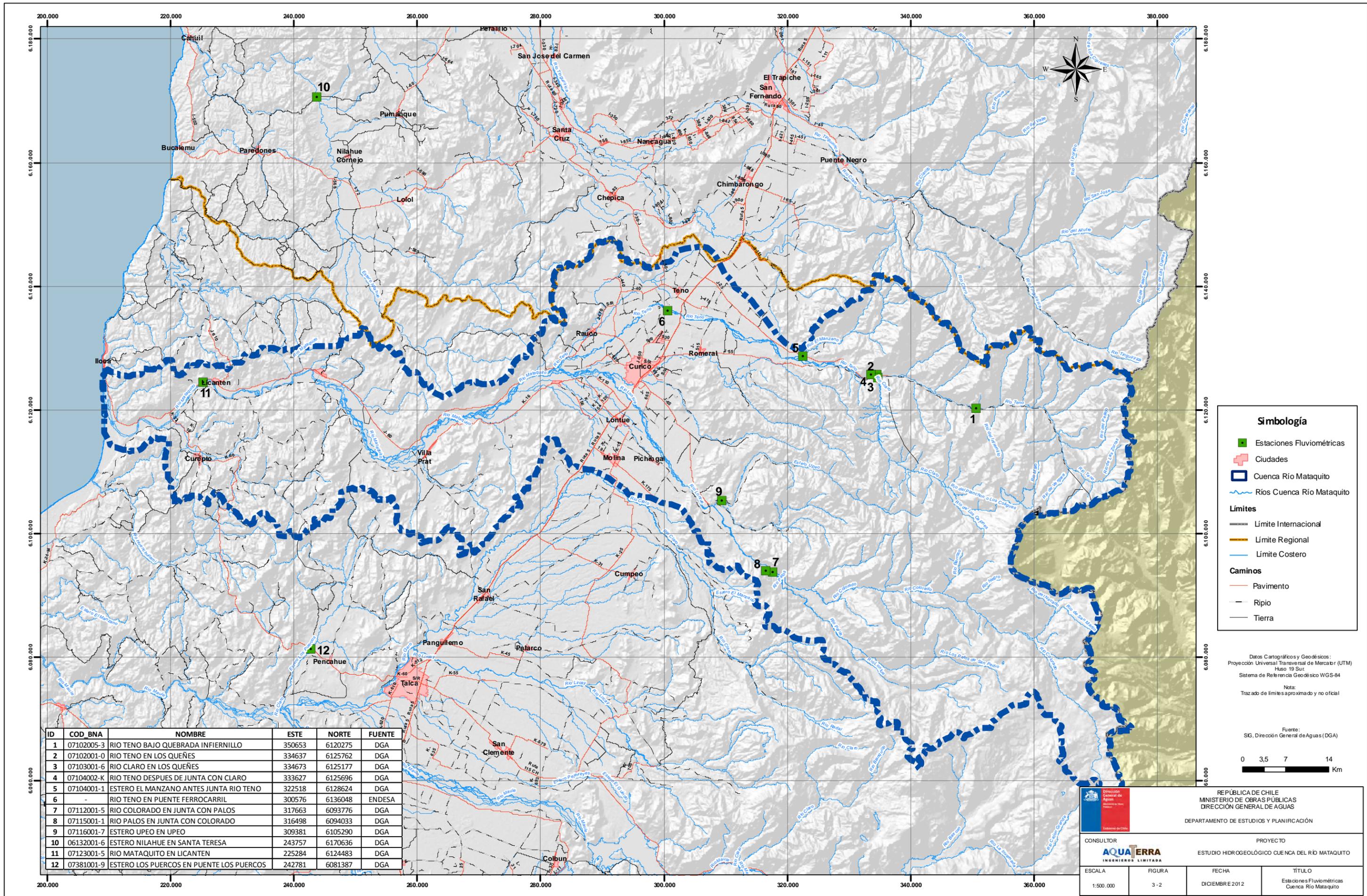
Se seleccionaron un total de 12 estaciones, considerando su distribución en el área de estudio y la extensión de sus estadísticas.

3.2.2 Recopilación de la información disponible

Se recopilaron las estadísticas de caudales medios mensuales observadas de las estaciones seleccionadas, que se indican en el Cuadro N° 3-4, y cuya ubicación se consigna en la Figura N° 3-2. Los datos recopilados en la Dirección General de Aguas, corresponden a las series base de este estudio, y se presentan en el Anexo N°3-6.

Cuadro N°3-4 Estaciones Fluviométricas Seleccionadas

N°	Estación	Coordenadas UTM (m)		Período
		E	N	
01	Río Teno bajo Quebrada Infiernillo	350.653	6.120.275	1985-2011
02	Río Teno en Los Queñes	334.637	6.125.762	1938-1985
03	Río Claro en Los Queñes	334.673	6.125.177	1929-2011
04	Río Teno después Junta con Claro	333.627	6.125.696	1947-2011
05	Estero El Manzano antes Junta Río Teno	322.518	6.128.624	1959-1984
06	Río Teno en Puente Ferrocarril	300.576	6.136.048	1962-1976
07	Río Colorado en Junta con Palos	317.663	6.093.776	1917-2011
08	Río Palos en Junta con Colorado	316.498	6.094.033	1947-2011
09	Estero Upeo en Upeo	309.381	6.105.290	1963-2011
10	Estero Nilahue en Santa Teresa	243.757	6.170.636	1987-2011
11	Río Mataquito en Licantén	225.284	6.124.483	
12	Estero Los Puercos en Puente Los Puercos	242.781	6.081.387	1985-2011



Simbología

- Estaciones Fluviométricas
- + Ciudades
- Cuenca Río Mataquito
- ~ Ríos Cuenca Río Mataquito

Límites

- Límite Internacional
- Límite Regional
- Límite Costero

Caminos

- Pavimento
- Ripio
- Tierra

Datos Cartográficos y Geodésicos:
 Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM)
 Huso 19 Sur
 Sistema de Referencia Geodésico WGS-84

Nota:
 Trazado de límites aproximado y no oficial

Fuente:
 SIG, Dirección General de Aguas (DGA)

0 3,5 7 14 Km

ID	COD_BNA	NOMBRE	ESTE	NORTE	FUENTE
1	07102005-3	RIO TENO BAJO QUEBRADA INFIERNILLO	350653	6120275	DGA
2	07102001-0	RIO TENO EN LOS QUEÑES	334637	6125762	DGA
3	07103001-6	RIO CLARO EN LOS QUEÑES	334673	6125177	DGA
4	07104002-K	RIO TENO DESPUES DE JUNTA CON CLARO	333627	6125696	DGA
5	07104001-1	ESTERO EL MANZANO ANTES JUNTA RIO TENO	322518	6128624	DGA
6	-	RIO TENO EN PUENTE FERROCARRIL	300576	6136048	ENDESA
7	07112001-5	RIO COLORADO EN JUNTA CON PALOS	317663	6093776	DGA
8	07115001-1	RIO PALOS EN JUNTA CON COLORADO	316498	6094033	DGA
9	07116001-7	ESTERO UPEO EN UPEO	309381	6105290	DGA
10	06132001-6	ESTERO NILAHUE EN SANTA TERESA	243757	6170636	DGA
11	07123001-5	RIO MATAQUITO EN LICANTEN	225284	6124483	DGA
12	07381001-9	ESTERO LOS PUERCOS EN PUENTE LOS PUERCOS	242781	6081387	DGA



REPÚBLICA DE CHILE
 MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
 DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN

PROYECTO
 ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CUENCA DEL RÍO MATAQUITO

CONSULTOR
AQUATERRA
 INGENIEROS LIMITADA

ESCALA
 1:500.000

FIGURA
 3-2

FECHA
 DICIEMBRE 2012

TÍTULO
 Estaciones Fluviométricas
 Cuenca Río Mataquito

Se debe señalar que se agregaron a las estaciones de la cuenca del río Mataquito, las estaciones Estero Nilahue en Santa Teresa y Estero Los Puercos en Puente Los Puercos, de las cuencas del Río Rapel y Río Maule, respectivamente, para evaluar su potencialidad en la generación de caudales en cuencas pluviales no controladas. Sin embargo, y como se señala más adelante, estas dos estaciones se encuentran muy influenciadas por el riego, y debieron ser descartadas para estos fines. De manera que estas estadísticas no fueron corregidas ni rellenadas. Es necesario agregar que la estación Estero Manzano antes Junta Río Teno, que al igual que las anteriores tiene un régimen pluvial, también presenta influencia de riego, sin embargo fue incluida en la corrección y relleno de estadísticas y análisis de frecuencia, pues al concentrarse las distorsiones del régimen natural solo en la temporada de riego, esta estación es de suma importancia para la validación de la metodología de generación de caudales por transposición que se utiliza en el capítulo de modelación.

3.2.3 Corrección, Relleno y Extensión de Estadísticas

Se realizaron correlaciones de caudales medios mensuales entre estaciones vecinas, con el objeto de detectar puntos anómalos que debieran ser corregidos. La detección de puntos anómalos se logra mediante correlaciones cruzadas, que en forma resumida corresponde a lo siguiente: si en una correlación entre estaciones A y B, un punto aparece alejado de la tendencia general, se realiza una correlación con una nueva estación C, de manera que si en la correlación A-C el punto aparece dentro de la tendencia general, es el valor de la estación B el que debe ser corregido. Si en cambio, es en la correlación B-C donde el punto se encuentra dentro de la tendencia general, entonces es el valor de la estación A el que debe ser corregido

Estos puntos anómalos fueron eliminados de las estadísticas, conformándose así series mensuales depuradas, con correlaciones que luego fueron utilizadas para el relleno de los meses sin información y para la corrección de los puntos defectuosos.

Como se señaló anteriormente, las estadísticas de las estaciones Estero Nilahue en Santa Teresa y Estero Los Puercos en Puente Los Puercos, están alteradas en forma importante por el riego, lo que se visualiza claramente en la dispersión de puntos y los bajos coeficientes de correlación con otras estaciones, en los meses de la temporada de riego. Por esta razón, estas estaciones no fueron consideradas en el relleno de estadísticas ni en el análisis de frecuencia posterior.

En el Anexo N°3-7 se presentan las correlaciones realizadas, y en el Anexo N°3-8 la estadísticas rellenadas y corregidas de la estaciones seleccionadas.

3.2.4 Análisis de Frecuencia de las Estadísticas

Para las series de caudales medios mensuales, semestrales y anuales definitivas de cada estación, se efectuaron análisis de frecuencia analíticos, ajustando las distribuciones Normal, Gumbel, Pearson III, Log-Normal, Log-Pearson III y Log-Normal III, considerando 5 probabilidades de excedencia : 5%, 20%, 50%, 85% y 95%.

Como se señaló anteriormente, la bondad del ajuste se determinó en base a un Test Chi-Cuadrado, agrupando los datos en 5 intervalos. La distribución de mejor ajuste es la que entrega el menor valor de Chi-Cuadrado.

En el Anexo N°3-9 se presenta el detalle de los cálculos realizados, y en la Figura N°3-3 se presentan las curvas de variación estacional. Estas curvas permiten identificar claramente el régimen pluvial de las estaciones Río Mataquito en Licantén y Estero Upeo en Upeo, que las diferencia del régimen nivo-pluvial del resto de las estaciones.

Por otra parte, se considera que la estación Estero Upeo en Upeo, resulta confiable para la generación de caudales en cuencas pluviales, dada las buenas correlaciones establecidas y la extensión de los datos observados. Además la pequeña magnitud de su cuenca aportante, igual a 195 km², le dan poca variabilidad espacial a las precipitaciones en esa cuenca, lo que le da menor incertidumbre a una transposición por unidad de superficie y por unidad de precipitación media anual.

Para las cuencas nivo-pluviales, no es necesario generar escorrentía, pues se dispone, en todos los casos, de estadísticas fluviométricas observadas.

Figura N°3-3 Curvas de Variación Estacional de Caudales

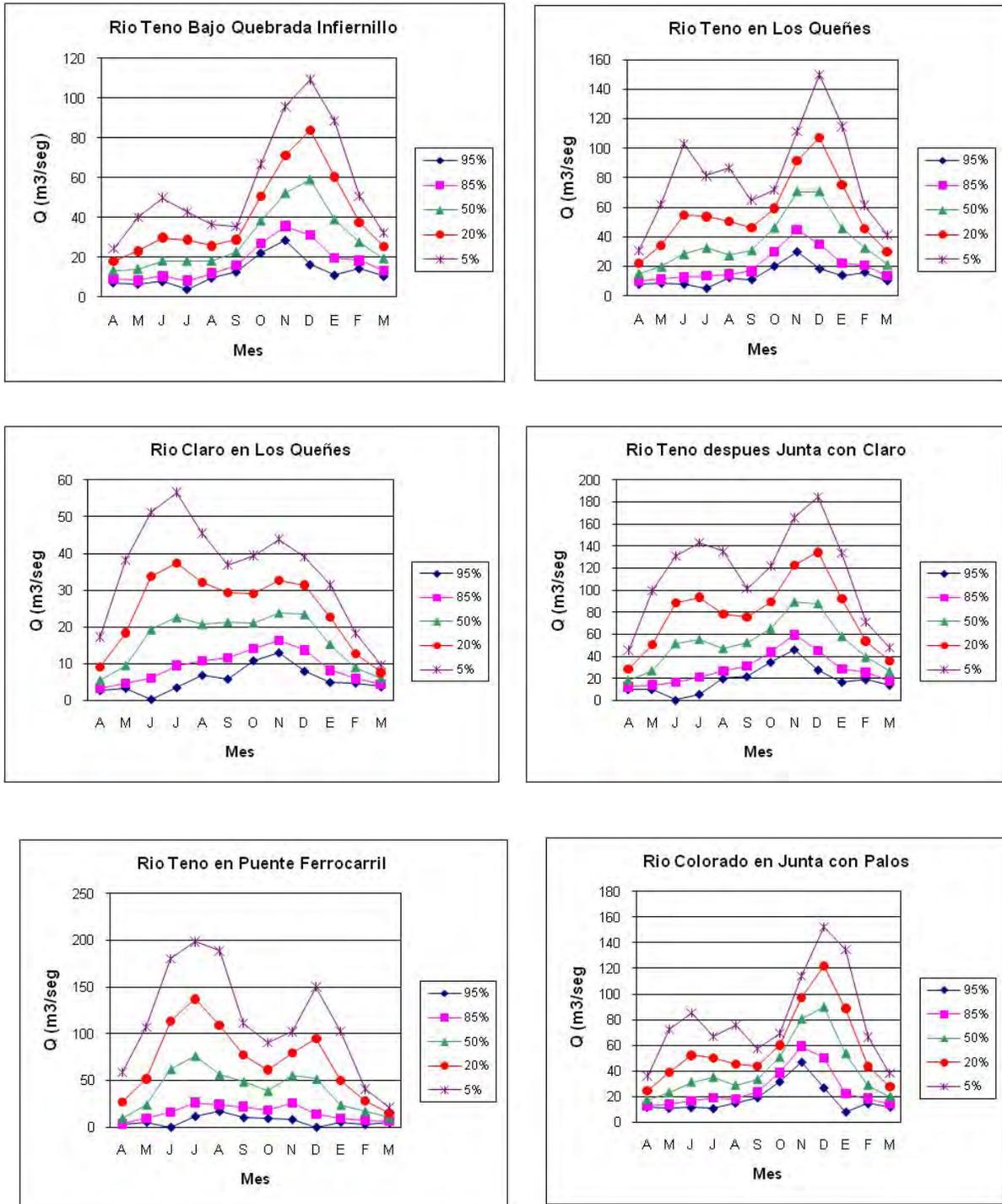
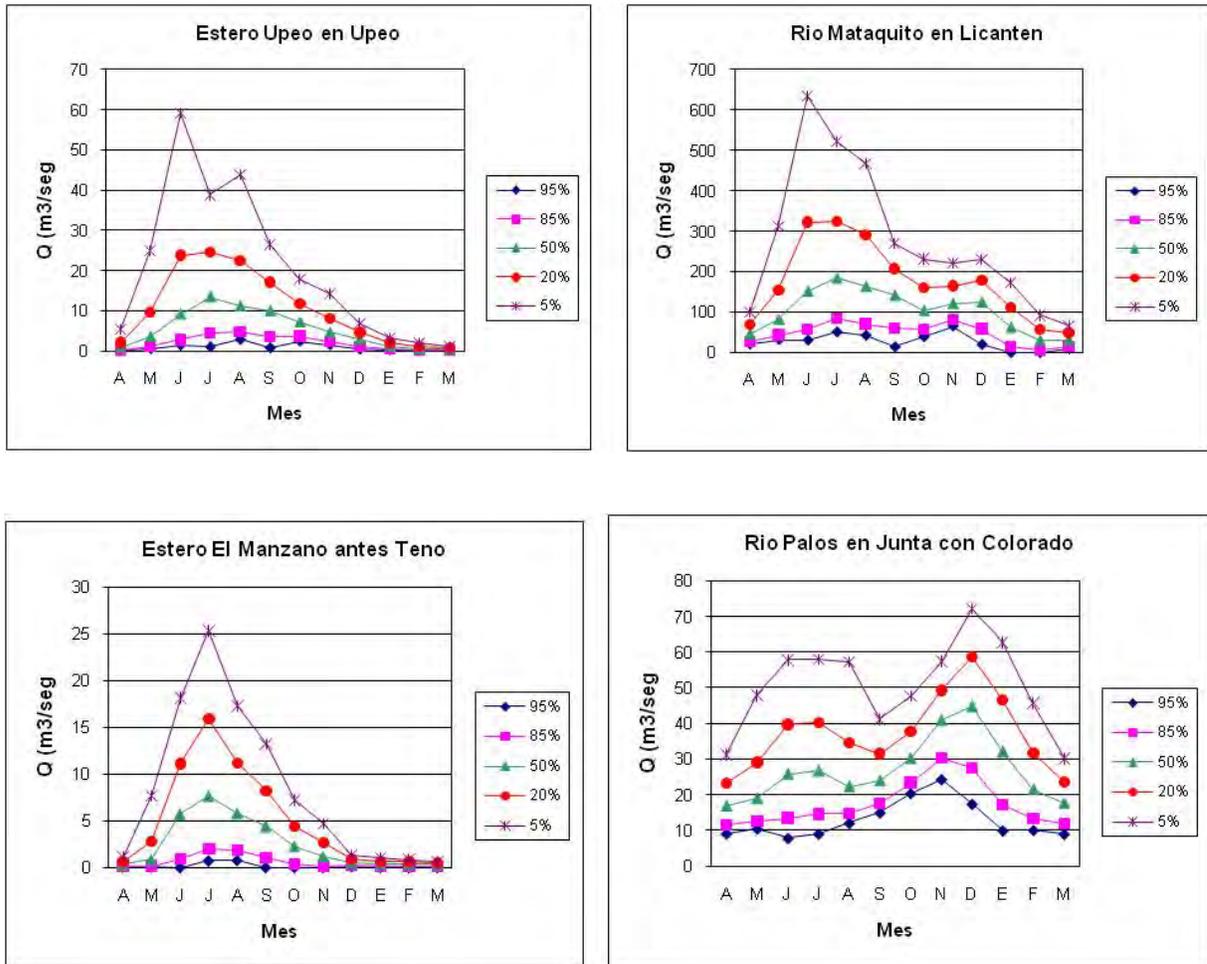


Figura N°3-3 (Continuación) Curvas de Variación Estacional de Caudales



4. GEOLOGIA CUENCA MATAQUITO

4.1 Antecedentes Generales

El área de estudio se encuentra emplazada en la VII Región del Maule y comprende la cuenca hidrográfica del río Mataquito.

En esta etapa del estudio se recopiló la información del área de interés, que se encontraba disponible, con el objeto de estructurar un mapa geológico a escala 1:250.000. (Ver Plano 4.1 adjunto)

4.2 Recopilación y Análisis de Antecedentes

Para la realización del presente estudio se tuvieron a la vista antecedentes previos, los cuales han sido elaborados por diversas instituciones públicas, tales como Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), Dirección General de Aguas, Comisión Nacional de Riego.

A continuación se presenta el listado de los principales informes consultados

- Mapa Geológico de Chile Escala 1:1.000.000 Versión Digital N°4, de Servicio Nacional de Geología y Minería 2003.
- Estudio Integral de Riego de la Cuenca del Río Mataquito Prefactibilidad. Comisión Nacional de Riego. 1978.
- Estudio de Calidad de Aguas subterráneas en las Cuencas de Huasco y Mataquito. Comisión Nacional de Riego. Desarrollado por GCF Ingenieros Consultores Ltda.

4.3 Geología

La geología del área de estudio se divide en Rocas Estratificadas, Depósitos cuaternarios y Rocas Intrusivas.

4.3.1 Rocas Estratificadas

En el área de estudio afloran una gran cantidad de unidades sedimentarias las cuales presentan diferentes génesis asociadas a las características geotectónicas que ocurrieron en el momento de su formación, ellas son:

Tr. Fms. El Cisne, Crucero de los Sauces y Estero de la Higuera (Triásico Superior)

Este conjunto de unidades se ubica en la zona oeste del área de la cuenca del Mataquito y corresponden a:

Fm. El Cisne: Definida por Corvalán et al. (1975) en Escobar et al. (1977) y corresponde a una secuencia de lutitas fósiles, subgrauvacas de grano medio fino y ortoconglomerados cuarcíferos. La formación se encuentra en contacto transgresivo sobre el granito paleozoico e infrayace de forma pseudo – concordante a la Fm. Laguna Tilicura, lo que permite asignarle una edad triásica superior.

Fm. Crucero de los Sauces y Fm. Estero de la Higuera. Definida por Corvalán et al. (1975) en Escobar et al. (1977). La Formación Crucero de los Sauces está conformada por ignimbritas y tobas brechosas en contacto depositacional con el granito paleozoico. La Formación Estero de la Higuera comprende niveles de areniscas cuarcíferas de grano medio y conglomerádicas. La presencia de fósiles guías, Monotis y Halobiaque, permite asignarle a estas unidades estratigráficas una edad Triásica Superior.

Jim. Fm. Laguna de Tilicura, Fm. Rincón de Núñez y Estratos El Guindo (Jurásico Inferior – Medio)

Estas se ubican en la Cordillera de la Costa, en las coordenadas 34°15´ y 35°10´ y son definidas por Escobar et al. en 1977. En la zona de estudio, al borde del río Mataquito, Corvalán y Dávila (1976) (en Escobar et al., 1977) indican que presenta un contacto pseudo –concordante con las unidades más jóvenes.

Fm. Laguna de Tilicura. Compuesta por lutitas fisibles, arcosas y ortoconglomerados cuarcíferos de edad hettangiana – sinemuriana, definida por fósiles guías y se encuentra entre la zona de Vichuquén – Tilicura (Corvalán y Dávila, 1976).

Fm. Rincón de Núñez. En el lado norte de la ribera del río Mataquito, se observan rocas de edad Jurásico Inferior (Hettangiano – Sinemuriano) con espesores aproximados de 130 m, con presencia de lutitas fisibles y fauna de Psiloceras y Schoteimia, además de areniscas y subgrauvacas intercaladas con lutitas.

Estratos El Guindo. Paralela a Fm. Rincón de Núñez en la ribera sur del río Mataquito el Jurásico Inferior se observa nuevamente sobre el Triásico Superior (Escobar et al., 1977). Esta unidad comprende lutitas, areniscas de grano medio a grueso y conglomerados. Por presencia fosilífera es posible atribuirle una edad hettangiana – sinemuriana.

Jmah. Fm. Altos de Hualmapu (Jurásico)

La formación esta definida por Morel (1981) como una secuencia volcánica – clástica compuesta esencialmente por andesitas y brechas volcánicas de color gris verdoso. En su base se ubica el contacto depositacional relativamente concordante con areniscas procedentes de la Formación Rincón de Núñez. Al sur del río Mataquito Bravo (2001) define el techo como un contacto discordante subyaciendo andesitas porfídicas y tufitas pardo rojizas de la Unidad Estratos del Laurel. Al norte cambia la relación de contacto a una concordante subyaciendo a la Fm. La Lajuela de edad cretácica, proporcionando a esta unidad una edad Jurásica.

Jsrđ Fm. Río Damas (Kimmeridgiano)

Se ubica la Cordillera Principal específicamente en el área de igual nombre, compuesta por secuencias de areniscas rojas continentales, detríticas y unidades volcánicas, con un espesor aproximado de 3700 m según Charrier (1981). Esta se conforma principalmente por brechas con clastos volcánicos y abundantes intercalaciones volcánicas e infrayace en conformidad al Miembro Santa Elena de la Fm. Nacientes del Teno y en contacto transicional a la Formación Baños del Flaco.

Kilp. Fm. La Lajuela y Fm. Estratos de El Laurel (Cretácico Inferior)

Las unidades se ubican en la Cordillera de la Costa y según Bravo (2001) ambas son correlacionables directamente con los depósitos marinos y continentales pertenecientes a la Formación Lo Prado.

Fm. La Lajuela. Se define por Bravo (2001) como una secuencia que tiene una potencia de 4100 m, que comprende a rocas andesíticas porfídicas de color gris violáceo, tobas de cristales y autobrechas andesíticas, intercaladas con areniscas calcáreas, calizas, margas, lutitas calcáreas y lutitas negras fisibles fosilíferas. En su techo se encuentra en contacto concordante a los Estratos de El Laurel.

Fm. Estratos de El Laurel. Se reconoce en la zona de Mataquito. Compuesta por lavas, tobas y brechas de composición andesítica, de color gris rojizo a gris morado.

Kisc. Fm. Colimapu (Albiano – Cenomaniano)

Unidad sedimentaria definida por Klohn (1960). Corresponde a una secuencia continental de areniscas y lutitas rojizas, conglomerados de matriz arenosa e intercalaciones volcánicas de tobas y lavas andesíticas y calizas con facies laterales discontinuas. Presentan un espesor aproximado de 2000 m (Thiele, 1980). Su edad mínima es Albiana por presencia de fósiles Carofitos y su edad máxima, por su relación en concordancia con la Formación Lo Valdés, cenomaniana.

Kivn. Fm. Veta Negra (Cretácico Inferior – Cretácico Superior)

Esta formación se encuentra asociada a rocas de origen volcánico continental que se superponen concordantemente sobre Formación Lo Prado (Nasi y Thiele, 1982) y subyace de la misma forma a la Formación Las Chilcas. La edad se limita al Cretácico Inferior – Cretácico Superior Tardío (Charrier et al., 2007)

Kpy. Fm. Plan de Los Yeuques (Cretácico Inferior Alto-Cretácico Superior Bajo)

Corresponde a rocas volcánicas continentales, efusivas y piroclásticas de composición ácida, intercaladas con sedimentos continentales. Su base está constituida por brechas y tobas concordantes sobre la Formación Abanico y hacia el sur en discordancia bajo la Formación Cola de Zorro (González y Vergara, 1962).

Kslv. Fm. Lo Valle (Cretácico Superior)

Definida por Thomas en 1958 y reconocida en el borde oriental de la Cordillera de la Costa, en la depresión longitudinal. El estrato tipo contiene ignimbritas y lavas dacíticas de color rosado, que se intercalan con areniscas, lutitas, conglomerados, tufitas y andesitas porfídicas y basaltos. En el área de estudio, según Bravo (2001), se reconoce andesitas porfídicas, tobas líticas y cristalinas grisáceas y areniscas finas, que corresponden a esta formación. La relación de contacto es concordante sobre las brechas volcánicas pertenecientes a los Estratos de El Culenar y su techo a una superficie de erosión actual. La edad sería equivalente a la de la Formación Las Chilcas, es decir Cenomaniano – Turoniano, pero litológicamente no serían comparables (Bravo, 2001).

Oma. Fm. Abanico (Eoceno Superior – Mioceno Inferior)

Definida por Aguirre (1960), corresponden a lavas basálticas e intermedias, rocas piroclásticas ácidas con intercalaciones sedimentarias de características continentales, fluviales, aluviales y lacustres, que forman lentes de espesores considerables, de aproximadamente 500 m (Charrier et al., 2002a; Nyström et al., 2003). El espesor de esta unidad es aproximadamente de 3000 m, tomando en consideración que se encuentra afectada por las intrusiones locales, las cuales pueden aumentar virtualmente el espesor (Aguirre, 1960). Según dataciones radiométricas y presencia fosilífera se acota a una edad Eoceno Superior – Mioceno Inferior (e.g. Vergara y Drake, 1979; Wyss et al., 1994; Charrier et al., 1996, 2002a; Gana y Wall, 1997; Vergara et al., 1999; Sellés, 1999; Fuentes et al., 2000; Sellés et al., 2000; Fuentes et al., 2002; Muñoz, 2005). Por el lado Este, la formación se encuentra limitada por fallas regionales, las cuales ponen en contacto a la unidad con depósitos mesozoicos (Godoy et al., 1999; Baeza, 1999; Charrier et al., 2002; Bustamante, 2001). A su vez infrayace a la Fm. Farellones y se encuentra en contacto transicional, con la Fm. Coya – Machalí (Charrier et al., 2002; Godoy et al., 1999).

Tcf. Fm. Corona de Fraile (Mioceno Inferior-Medio)

Ubicada en su máxima expresión en la zona oriental de Los Queñes, entre los ríos Teno y Claro. Corresponde a brechas, conglomerados y areniscas medias, con niveles tobáceos y brechas de matriz túfica y de lapilli, de color gris verdoso claro y una disposición subhorizontal. Se separa de la Formación Abanico por una discordancia angular y de erosión en su base. Su edad se obtiene mediante relación estratigráfica con la Formación Abanico, delimitándola a Post–Abanico y es correlacionada por Klohn (1960) y Aguirre (1960) con la Formación Farellones.

Pcd. Fm. Cola del Zorro (Plioceno-Pleistoceno)

Se denomina al conjunto de rocas volcánicas andesíticas – basálticas, compuestas por coladas, basaltos de piroxenos y rocas piroclásticas de similar composición que se caracterizan por su gran extensión y tener una disposición horizontal a subhorizontal (Escobar et al., 1977). Se ubica sobre la Formación Malla – Malla (Eoceno) en contacto por discordancia, que limita su edad máxima a Post –Eoceno y por relaciones estructurales y de erosión glaciaria en su base a una edad mínima Plioceno – Pleistoceno (González y Vergara, 1962).

4.3.2 Depósitos Cuaternarios

Se atribuyen a depósitos de génesis volcánica, relleno de valles fluviales, glaciares y zonas costeras y se ubican principalmente en la Cordillera Principal, vinculada con erupciones y actividad volcánicas, actividades glaciares y en la Depresión Central se presentan como rellenos de cuencas por flujos fluviales, aluviales, de cenizas y causas actuales.

Qdg. Volcánicas del Grupo Descabezado Grande (Pleistoceno)

Compuesta de basaltos grises oscuros a negros, de textura afanítica y vesicular, intercalados con brechas de similar composición (González y Vergara, 1962). Esta unidad se extiende desde el Volcán Descabezado Grande hacia Río Claro con un área de cobertura de aproximadamente 184 km². La edad pleistocena se asigna por su relación con el cono volcánico del Descabezado y la morfología del sector.

Qpv. Lavas y flujos piroclásticos de planicies y valles (Pleistoceno – Holoceno)

Esta unidad se restringe a los depósitos de piroclastos y lavas que rellenan antiguos valles glaciares y fluviales configurando terrazas de cota aproximada 300 ms.n.m. En dichos valles (González y Vergara, 1962). Su techo corresponde a una superficie de erosión actual.

Ova. Vulcanitas recientes (Pleistoceno - Holoceno)

Incluye esta denominación a coladas de lavas cordadas, conos volcánicos actuales y de escoria, además de los originados por actividad volcánica reciente, escorias y piroclastos de composición basáltica, andesítica y riolítica. Afloran en la zona de la Cordillera Principal, específicamente en la parte sur oriental del área de estudio y tiene relación con los conos volcánicos actuales o fisuras por donde las coladas han extruído. Los centros volcánicos que se observan en la zona son Complejo Volcánico Planchón – Peteroa y Complejo Volcánico Descabezado Grande – Quizapu – Cerro Azul.

Qc (Plesitoceno – Holoceno)

En la zona costera, se observan grandes extensiones de sedimentos eólicos semiconsolidados, que se ubican principalmente al borde del basamento metamórfico y en continuidad areal con los depósitos de playa modernos (Escobar et al., 1977).

Q1 (Pleistoceno – Holoceno)

Depósitos aluviales, coluviales y de remoción en masa, con menor proporción fluvio-glaciales, deltaicos, litorales o indiferenciados. En la zona corresponden a abanicos mixtos de depósitos aluviales y fluvioaluviales con intercalación de depósitos volcanoclásticos.

Qf (Pleistoceno-Holoceno)

Depósitos fluviales, gravas, arenas y limos que corresponden a los transportados por los cursos de ríos actuales, o sus terrazas de inundación subactuales y llanuras de inundación.

4.3.3 Rocas Intrusivas

A continuación se describen los cuerpos intrusivos que afloran en la zona de estudio.

Bg Intrusivos Carbonífero – Pérmico (328 – 235 Ma)

Definido por González – Bonorino, 1970; Herve et al. 1976 como Batolito de La Costa. Presenta composiciones petroquímicas que van desde granitos, granodioritas, tonalitas y dioritas, con mineralización de hornblenda y biotita. Se encuentra ubicada al lado Oeste de los afloramientos metamórficos del área de estudio y constituye en su mayoría a la Cordillera de La Costa. Presenta relaciones de contacto por intrusión con las rocas pertenecientes al Basamento Metamórfico e infrayace en discordancia erosiva con las unidades sedimentarias y volcano – sedimentarias del Triásico.

Kiag Intrusivos Cretácico Inferior Alto–Cretácico Superior Bajo (123-85 Ma)

Intrusiones dioríticas y monzodioríticas de piroxenos y hornblenda, con presencia menor de granodioritas, monzogranitos de hornblenda y biotita de textura fina, ubicados en la zona oriental de la Cordillera de la Costa. Su orientación es semejante a la que exhiben los intrusivos de edad carbonífera–pérmica, es decir, dirección NNE – SSW.

Jig (Jurásico Inferior)

Ubicado en la zona central de la Cordillera de la Costa (Bravo, 2001), al lado oriental del Batolito Costero. Presenta textura holocristalina de composición diorita a granodiorita y microtonalitas. En localidades puntuales, Bravo (2001) ubica un conjunto de stock pórfido diorítico y monzonítico.

Mg Intrusivos Miocenos (18 – 6 Ma)

Corresponde a una extensión plutónica extensa, de orientación NNE – SSW. La composición petrográfica corresponde a granodioritas, dioritas y tonalitas, ubicadas en la zona de la Cordillera Principal.

Mimg Intrusivos Mioceno Inferior – Medio (22-16 Ma)

Complejos plutónicos de orientación N–S ubicados en la Cordillera de la Costa, con composiciones que van desde granodioritas, monzogranitos, monzonitas y dioritas de biotita y hornblenda.

4.3.4 Rocas Metamórficas

El basamento metamórfico ubicado al oeste de la región de estudio, en la zona costera, se compone principalmente por pizarras, filitas, esquistos, metarenitas y rocas córneas (Escobar et al., 1977) y son divididas en Series Occidental y Serie Oriental (Aguirre et al. (1972) (en Escobar et al., 1977)

Pz4b Serie Oriental (Silúrico? – Carbonífero)

Compuesta principalmente por filitas, pizarras, metarenitas, esquistos y en menor proporción gneiss (Herve, 1977). Localmente rocas calcosilicatadas, córneas y migmatitas, en contacto con el Batolito Costero. De facies esquistos verdes y granulita (Gajardo, 1981). Según Hervé (1988) el protolito corresponde a turbiditas.

Pz4a Serie Occidental (Silúrico? –Carbonífero)

La serie comprende pizarras, filitas y meta–areniscas con metamorfismo de bajo P/T y se ubican en la zona de la Cordillera de la Costa, comprendiendo facies de esquistos verdes al oeste, granulitas y anfibolitas al este.

5. ESTUDIO GEOFISICO

5.1 Consideraciones Generales

El presente estudio da a conocer resultados del levantamiento gravimétrico realizado en el área de la cuenca del río Mataquito, VII Región.

El estudio tuvo como objetivo principal determinar la morfología del basamento subterráneo de acuerdo a la escala de ubicación de las estaciones gravimétricas en el área. Los resultados proporcionan antecedentes generales de la morfología del basamento subterráneo del Valle Central entre las latitudes 34°50'S y 35°30'S aproximadamente. Se realizaron 15 perfiles, de los cuales 12 se localizan en el Valle Central. Adicionalmente se realizaron perfiles en los sectores costeros de Hualañe, Lora y Curepto. La distribución de las estaciones fue cada 2 kilómetros aprox. y algunos con distancias menores de acuerdo a los objetivos requeridos. En Cuadro 5-1 siguiente se presenta las principales características de cada perfil gravimétrico efectuado.

Cuadro 5.1 Principales Características de Los Perfiles Gravimétricos

Perfil N°	N° Estaciones Gravimétricas	Longitud (m.)
1	5	5.121
2	20	28.384
3	11	12.293
4	12	15.728
5	14	21.206
6	12	20.521
6-A	7	7.621
7	25	33.928
8	8	9.414
9	8	11.637
10	11	12.639
11	6	6.721
12-Hualañe	6	1.962
13-Curepto	6	1.515
14-Lora	6	2.151
Total	157	190.841

En el Plano 5-1 (escala 1:250.000), adjunto en el Anexo de Planos, se muestra el trazado en planta de los 15 perfiles, incluyendo la ubicación e identificación de cada uno de los puntos gravimétricos tomados. La distribución de los puntos estuvo de acuerdo a los objetivos planteados, complementados con observaciones "in situ".

5.2 Metodología Utilizada en el Estudio

5.2.1 Generalidades

El método gravimétrico de prospección se sustenta normalmente en medidas realizadas en la superficie de la tierra del campo potencial de ella. Este campo potencial se ve perturbado por la distribución de estructuras geológicas de densidades y profundidades variables, por lo que conociendo aquellas se puede llegar a una interpretación lo más probable de su distribución de cuerpos de diferentes densidades en profundidad. Los fundamentos físicos del método son la 1era y 2da ley de Newton expresadas de la siguiente forma:

$$\mathbf{1^{era}} \quad F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

en que:

F= fuerza ejercida entre las partículas de masa m_1 y m_2

R= distancia entre las partículas

G= constante de gravitación universal cuyo valor obtenido experimentalmente es $6.670 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ seg}^{-2}$.

$$\mathbf{2^{da}} \quad a = G \frac{m_2}{r^2}$$

en que:

a = aceleración de un cuerpo de masa m_1 atraído por una masa m_2 .

El procedimiento del método es medir en superficie pequeñas variaciones de la componente vertical del campo de gravedad. Para ello en la actualidad se han diseñado instrumentos que miden la centésima y milésima de un miligal (1 miligal = $10^{-3} \text{ gal} = 10^{-3} \frac{\text{cm}}{\text{seg}^2}$).

Estos instrumentos se instalan en superficie con su eje en la dirección del campo mediante niveles de burbuja. Como las anomalías de la gravedad son muy pequeñas comparadas con el valor medio del campo gravitatorio terrestre se deduce que la dirección es prácticamente constante, normal a la superficie según se vio anteriormente. Los datos de gravedad son tomados en lugares diferentes, estos requiere que sean referidos a un plano datum para ser comparables entre ellos, normalmente este datum es el nivel medio del mar.

Usando esta referencia se pueden eliminar los efectos que influyen sobre las medidas y son los siguientes: latitud, altura, Bouguer, topografía y el efecto de mareas, esta última es de magnitud pequeña por lo que normalmente se

asimila a la corrección por deriva, corrección instrumental. A continuación se describen brevemente las correcciones realizadas a los datos.

5.2.2 Correcciones

a) Corrección de altura

Esta corrección considera la variación de la gravedad por efecto de altura, considerando como referencia el nivel medio del mar, su valor es de 0.3086 [mGal/m].

b) Corrección de Bouguer

Esta corrección considera el efecto de masa existente entre la estación medida y el plano datum. Para corregir este efecto se resta la atracción de una placa horizontal plana de extensión infinita de altura igual a la de la estación sobre el plano datum. El valor es de 0.0419ρ [mGal/m], en que ρ corresponde a la densidad de la placa considerada.

El valor de esta corrección depende de la densidad del material involucrado. En este caso se asignó un valor de 2.1 [gr/cm³] para los sedimentos cuaternarios que se ubican en el Valla Central. Con la densidad considerada la corrección de Bouguer toma el valor de 0.08799 [mGal/m].

c) Corrección por latitud

Esta corrección considera el efecto de gravedad debido a la latitud en que se encuentra la lectura de las estaciones de gravedad. Para ello se usa la fórmula:

$$g_0 = g_{ec} (1 + C_1 \text{Sen}^2 \varphi + C_2 \text{Sen}^2 2\varphi)$$

donde: g_0 = Gravedad Teórica (mGal)

g_{ec} = 978031.85 mGal (valor de gravedad normal en el Ecuador)

C_1 = 0.005302357

C_2 = - 0.000005864

φ = latitud

d) Corrección por marea y deriva instrumental

La corrección por marea considera el efecto atractivo de la luna y el sol en el instante en que se efectúa la medida de gravedad y la deriva instrumental considera el efecto de elasticidad en el tiempo del sistema interno del gravímetro. Estos efectos son considerados en el programa computacional que fue usado.

5.2.3 Elección de densidades en las correcciones

Una de las variables más importante en la interpretación gravimétrica es la elección de las densidades usadas en el modelamiento de estructuras geológicas. En el caso de depósito sedimentario Cuaternario del Valle Central se consideró una densidad media de 2.1 [gr/cm³], y al basamento subterráneo 2.6 [gr/cm³], por lo tanto el contraste usado en el modelamiento de las secciones gravimétricas fue de 0.5 [gr/cm³]. El valor de densidad 2.1 [gr/cm³] es representativo del relleno sedimentario del Cuaternario.

5.2.4 Efectos regionales

La disminución de la gravedad en el sentido oeste-este por efecto de la isostacia de los Andes se presenta con diferentes magnitudes que dependen de la latitud que se considera. Este efecto se denomina regional.

Normalmente estos regionales se utilizan para estudiar los efectos de estructuras geológicas de grandes dimensiones.

En el caso de los perfiles realizados en la zona de estudio las secciones modeladas son asignadas a cuerpos geológicos de mediana magnitud. Este hecho hace considerar como regional aquellos determinados entre afloramientos rocosos de una misma sección o perfil o sondaje que cortan la roca basal. Este procedimiento fue utilizado en nuestro estudio.

5.3 Trabajo de Terreno

5.3.1 Labores Geofísicas

El trabajo de terreno se efectuó en dos etapas (29 a 31 de Julio y 27 de Agosto). En ambas etapas se tomaron 165 estaciones de gravedad. La planificación inicial del estudio fue realizada en Santiago, para ello se utilizó la cartografía Base del SIG de la DGA, la cual esta construida en base las planchetas IGM (escala 1:25.000; 1:50.000), por otro lado, se consideró como punto de partida el trazado de los perfiles gravimétricos incluidos en los términos de referencia. Considerando o tomando como premisa que las estaciones gravimétricas deben estar ubicadas en lugares de fácil acceso, se adoptó como norma trazar los perfiles por rutas o caminos existentes, de este modo los trazados iniciales se adaptaron y/o trasladaron a rutas cercanas existentes. Posteriormente en terreno hubo pequeños cambios debido a las modificaciones de las rutas consideradas inicialmente en la cartografía base. Estas modificaciones siempre estuvieron de acuerdo con los objetivos del Proyecto.

En el estudio de gravedad se utilizó un gravímetro LaCoste y Romberg modelo G y N° de serie 463 de SEGMI. La precisión de este instrumento es de la centésima de un miligal, (10-3 gales). La fábrica especifica una deriva instrumental aproximada de 1 [miligal/mes].

La determinación de las alturas y coordenadas de las estaciones gravimétricas fueron tomadas mediante el sistema satelital GPS de doble frecuencia lo que da una precisión suficiente para el estudio realizado. (ver punto 5.3.2 siguiente)

Para el control de los circuitos gravimétricos se utilizó la base establecida en San Fernando perteneciente a la Red Nacional de Gravedad de Chile. Posteriormente se estableció una base auxiliar en el acceso del Hostal Oregon (Fotografía Anexo 5-2) en la ciudad de Curico. Los parámetros de las estaciones se muestran en el Cuadro siguiente

Cuadro 5-2 Punto Red Nacional de Gravedad

Estación	Gravedad [mGal]	Altura [m]	Latitud	Longitud
San Fernando 9302SF	979.556,58	339.68	34° 35.40'S	72° 59.10'O
Hostal Oregon (Curicó)	979.639,89	210.61	34° 59.04'S	71° 14.19'O

El procedimiento en terreno fue iniciar las medidas en la mañana de cada día en la base auxiliar mencionada anteriormente y cerrar en la misma estación durante la tarde del mismo día. Este hecho tuvo como finalidad comprobar el funcionamiento del instrumento, y referir los datos a la Red Nacional de Gravedad. Estos valores con sus respectivas correcciones se muestran en el Anexo 5-1, adicionalmente en el Anexo 5-2 se adjuntan fotografías que muestran diferentes fases del estudio en terreno.

5.3.2 Labores Topográficas

Se realizó un levantamiento topográfico de perfiles gravimétricos en el sector de la cuenca del Río Mataquito.

En las extensiones cubiertas por los trabajos de topografía se identificaron todos los puntos que componen los perfiles en donde se tomo lectura gravimétrica, para una buena representación de cada uno de estos.

El procedimiento adoptado en terreno para el desarrollo de las labores de levantamiento, consistió en primer lugar construir una red geodésica primaria que abarcara toda la cuenca en estudio, vinculada al sistema de coordenadas WGS84 proyección UTM, para la cual se utilizo como referencia el Vértice IGM de la Red SIRGAS, GYCN.

El procedimiento utilizado para georeferenciar la Red Primaria, fue el método GPS Modo Diferencial Estático con soluciones en Post-Proceso, con observaciones independientes de los vectores, y formando una figura cerrada que pueda ser ajustada. (Ver Figura 5.1)

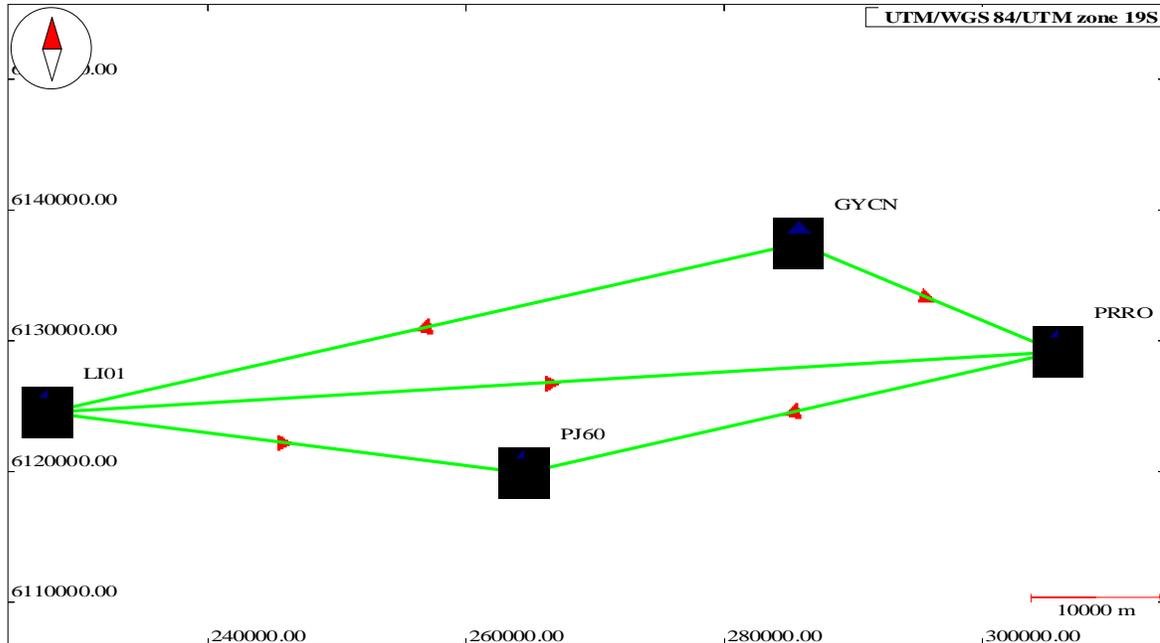


Figura 5.1 –Red Geodésica Primaria Utilizada

A partir de la Red Geodésica Primaria, se realizó el levantamiento de los Perfiles Gravimétricos mediante el método Cinemático Post-proceso, también denominado “Stop and Go”, que consiste en tener dos receptores GPS, uno establecido como base en unos de los vértices de la red primaria y un segundo equipo recorriendo y levantando cada punto en donde se posee información gravimétrica. El equipo móvil se detiene y se miden épocas (cantidad de medición en un determinado tiempo) durante 5 minutos, se graba la información y posteriormente se avanza al siguiente punto teniendo la precaución de no perder la conexión con los satélites en ningún momento. La distancia entre la base al punto a medir como ideal no debe superar la distancia de 25 km, pudiendo así lograr precisiones de hasta 2 cm + 1 ppm. (ver Figura 5.2)

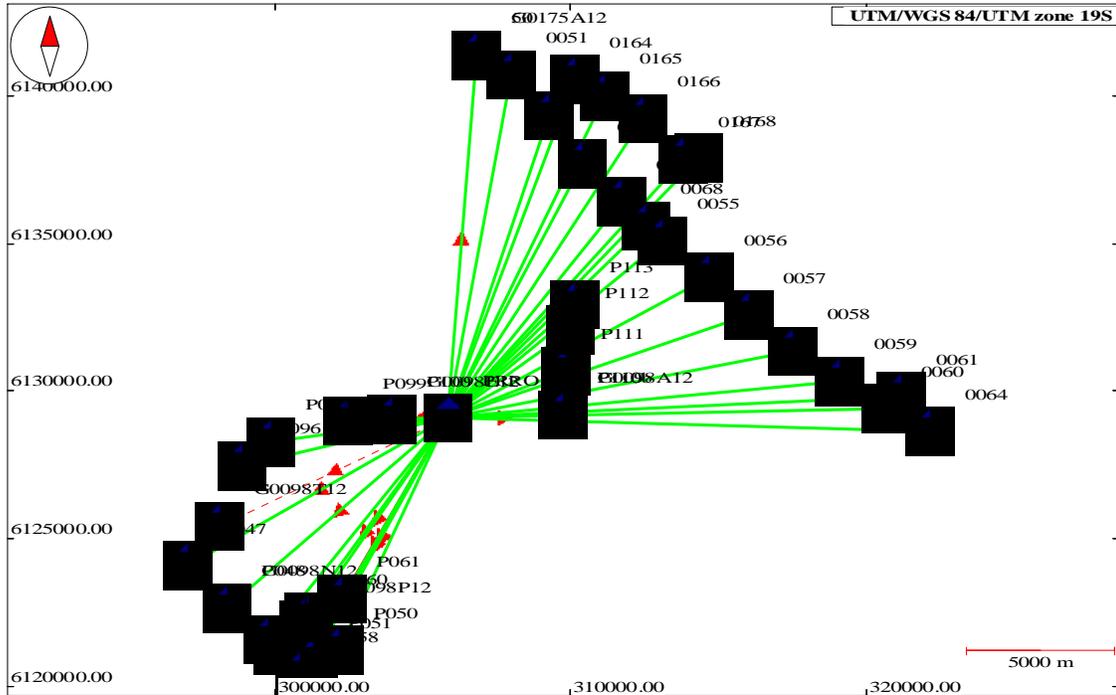


Figura 5.2 Esquema Procedimiento Utilizado en la Medición de Cada Punto

El instrumental utilizado para las labores de levantamiento consistió en Receptores Geodésicos GPS, de doble frecuencia modelo Promark 200, marca ASHTECH, con memoria interna para el almacenamiento de la información registrada, con una precisión de:

- Modo Estático: 3 mm + 0,5 ppm en horizontal y 5 mm + 0,5 ppm en vertical.
- Modo Cinemático: 10 mm + 1 ppm en horizontal y 15 mm + 1 ppm en vertical.

El Post-Proceso de los datos fue totalmente automatizado mediante el uso de un software especializado. Los archivos de captura fueron traspasados directamente a una estación de trabajo (PC) y procesados por medio del software GNSS SOLUTION, de ASHTECH, para la generación de los vectores utilizados obteniendo las coordenadas geográficas, UTM WGS 84 y cotas ortométricas definitivas de cada uno de los puntos GPS.

Las coordenadas UTM Geodésicas en el sistema WGS84 de los vértices de la poligonal que se obtuvieron son las siguientes:

**Cuadro 5-3 Coordenadas UTM Geodésicas. Datum WGS84
Poligonal Primaria**

PUNTO	ESTE	NORTE	COTA (NMM)
<i>GYCN</i>	285.685,311	6.137.407,934	252,489
<i>LI01</i>	227.579,061	6.124.499,647	12,936
<i>PRRO</i>	305.873.564	6.129.096,298	299,862
<i>PJ60</i>	264.514,963	6.119.782,305	110,261

En el Anexo 5-3 se presentan las monografías de los PRS utilizados en la Red Primaria. Por otro lado las coordenadas UTM, cotas y distancia entre estaciones obtenidas para cada uno de los 157 puntos que conforman los 15 perfiles gravimétricos tomados, se presentan en el Anexo 5-4.

5.4 Interpretación

La interpretación se basa en encontrar el modelo que mejor se ajusta al residual calculado de cada perfil, considerando los datos de densidades de las formaciones involucradas así como toda la información de geología, sondajes y otras observaciones interesantes que cubran el área investigada.

El proceso inicial en la interpretación es tener los datos de gravedad corregidos, es decir llevados a un mismo plano de referencia. Posteriormente se introduce en el programa de modelamiento (GM SYS INT), el cual por medio de iteraciones sucesivas se obtiene el cuerpo que mejor se ajusta a la gravedad observada (residual).

Los resultados de la interpretación se pueden observar en los Gráficos 1 a 13, incluidos en el Anexo 5-5 las cuales corresponden a los perfiles ejecutados en cada sector. Estas figuras muestran la anomalía de Bouguer calculada, el ajuste del modelo calculado al residual obtenido y el modelo del basamento calculado complementado con antecedentes geológicos, sondajes y observaciones de terreno.

5.5 Resultados y Conclusiones

En general el método de gravedad es un método geofísico indirecto que en la mayoría de los casos da una buena aproximación de la profundidad a la que se encuentra el contacto sedimento – roca basal. En el caso estudiado se tomaron como fundamentales para la interpretación todos aquellos perfiles que en sus extremos se midieron sobre roca.

Adicionalmente en el Cuadro 5.4 siguiente se presenta para cada estación gravimétrica de los perfiles realizados: la cota de terreno, la distancia entre estaciones y la profundidad de la roca.

El resultado final que cumple con el objetivo principal del estudio se muestra en el Plano 5-2 adjunto, el cual muestra un plano isobático del área del valle central de la cuenca de Mataquito, obtenido mediante las profundidades de cada perfil y las secciones calculadas en los sectores de interés del proyecto.

**Cuadro 5-4 Estaciones Gravimétricas por Perfil
(Cota Terreno-Distancia y Profundidad Roca)**

Perfil 1			
Punto	Cota Terreno (m)	Distancia Parcial (m)	Profundidad Roca (m)
115	331,22		325
116	348,31	1.179	239
117	369,52	1.495	105
118	388,03	1.906	38
119	390,25	540	30

Perfil 2			
Punto	Cota Terreno (m)	Distancia Parcial (m)	Profundidad Roca (m)
1	299,3		0
2	277,9	716	72
3	273,5	1.008	148
4	272,1	1.168	220
5	279,5	1.689	349
6	290,4	1.690	406
7	305,6	1.446	439
8	320,9	1.358	458
9	338,9	1.889	348
10	355,3	1.992	277
11	374,4	1.840	239
12	385,8	1.176	220
13	393,9	752	200
14	421,4	1.973	72
15	438,5	1.872	129
16	464,4	1.909	258
17	482,4	1.912	167
18	505,7	1.800	181
19	523,8	677	57
20	514,4	1.518	0

**Continuación Cuadro 5-4 Estaciones Gravimétricas por Perfil
(Cota Terreno-Distancia y Profundidad Roca)**

Perfil 3			
Punto	Cota Terreno (m)	Ditancia Parcial (m)	Profundidad Roca (m)
14	385,8		220
21	386,4	1.480	263
22	367,4	1.301	263
23	363,4	506	263
24	377,9	1.117	239
25	378,6	891	210
26	348,9	1.401	167
27	341,2	1.482	181
28	328,9	1.112	183
29	327,8	1.586	91
30	337,3	1.417	0

Perfil 4			
Punto	Cota Terreno (m)	Ditancia Parcial (m)	Profundidad Roca (m)
31	287,3		0
32	262,8	1.071	239
33	257,7	1.482	477
34	254,0	1.654	573
35	252,5	1.485	525
36	249,8	2.083	320
37	239,7	1.469	387
38	230,2	1.899	387
39	222,7	1.854	377
40	217,8	584	353
41	216,9	1.132	229
42	211,0	1.015	0

Perfil 5			
Punto	Cota Terreno (m)	Ditancia Parcial (m)	Profundidad Roca (m)
43	186,3		0
44	191,5	1.816	115
45	200,5	1.776	115
46	206,1	1.958	38
47	203,0	1.873	134
48	203,6	1.903	38
49	203,9	1.339	57
50	213,5	1.255	0
51	205,6	1.870	325
52	212,3	1.089	363
53	225,7	1.959	400
54	238,3	1.751	191
55	250,6	1.667	95
56	260,8	950	0

**Continuación Cuadro 5-4 Estaciones Gravimétricas por Perfil
(Cota Terreno-Distancia y Profundidad Roca)**

Perfil 6			
Punto	Cota Terreno (m)	Ditancia Parcial (m)	Profundidad Roca (m)
57	271,97		0
58	272,24	1.423	153
59	280,59	1.673	243
60	277,77	1.442	229
61	285,55	1.493	243
62	289,70	963	291
63	288,04	945	282
64	311,13	3.151	439
65	324,03	3.691	305
66	315,41	1.798	205
67	298,87	1.870	150
68	309,41	2.072	229

Perfil 6-A			
Punto	Cota Terreno (m)	Ditancia Parcial (m)	Profundidad Roca (m)
59	280,59		243
69	269,41	1.318	177
70	271,40	1.311	0
71	251,39	1.118	162
72	241,25	1.073	215
73	238,97	1.506	215
74	241,42	1.295	115

Perfil 8			
Punto	Cota Terreno (m)	Ditancia Parcial (m)	Profundidad Roca (m)
99	300,34		0
100	280,31	1.925	15
101	264,50	1.450	30
102	254,82	1.393	90
103	243,50	1.362	190
104	232,22	1.252	260
105	225,48	935	221
106	222,40	1.096	0

Perfil 11			
Punto	Cota Terreno (m)	Ditancia Parcial (m)	Profundidad Roca (m)
131	238,06		215
132	243,58	1.839	396
133	254,11	1.572	477
134	242,94	1.023	492
135	237,23	1.739	515
136	234,62	548	530

**Continuación Cuadro 5-4 Estaciones Gravimétricas por Perfil
(Cota Terreno-Distancia y Profundidad Roca)**

Perfil 7			
Punto	Cota Terreno (m)	Ditancia Parcial (m)	Profundidad Roca (m)
75	149,97		0
76	153,76	923	100
77	158,90	1.862	100
78	159,80	1.555	38
79	163,11	251	38
80	163,83	664	38
81	173,92	1.663	119
82	182,16	1.784	220
83	193,59	1.796	157
84	201,58	1.446	200
85	215,25	1.849	277
86	225,69	1.496	358
87	237,70	1.493	458
88	242,35	1.710	505
89	250,81	1.347	558
90	267,49	1.881	616
91	284,12	1.948	597
92	296,52	1.045	558
64	311,13	1.835	439
93	328,28	1.709	339
94	332,84	807	396
95	348,01	1.664	300
96	365,20	1.446	200
97	371,10	838	138
98	387,07	916	0
Perfil 9			
Punto	Cota Terreno (m)	Ditancia Parcial (m)	Profundidad Roca (m)
107	352,69		260
108	347,76	1.682	220
109	335,63	1.576	220
110	346,66	2.460	86
111	344,79	444	86
112	336,00	1.579	29
113	304,39	1.516	62
114	275,80	2.378	0

**Continuación Cuadro 5-4 Estaciones Gravimétricas por Perfil
(Cota Terreno-Distancia y Profundidad Roca)**

Perfil 10			
Punto	Cota Terreno (m)	Ditancia Parcial (m)	Profundidad Roca (m)
120	252,47		525
121	263,98	1.669	611
122	266,68	1.188	620
123	267,42	459	606
124	265,62	724	592
125	246,40	1.829	601
126	231,52	1.943	539
127	233,51	1.037	444
128	230,76	1.339	272
129	224,17	1.000	300
130	216,07	1.451	57

Perfil 12-Hualañe			
Punto	Cota Terreno (m)	Ditancia Parcial (m)	Profundidad Roca (m)
137	29,84		0
138	28,71	545	54
139	26,51	415	77
140	25,17	328	84
141	33,18	327	27
142	60,21	347	16

Perfil 13- Curepto			
Punto	Cota Terreno (m)	Ditancia Parcial (m)	Profundidad Roca (m)
143	13,05		0
144	7,38	303	58
145	7,78	315	82
146	10,02	264	90
147	11,27	288	63
148	32,03	344	0

Perfil 14-Lora			
Punto	Cota Terreno (m)	Ditancia Parcial (m)	Profundidad Roca (m)
149	19,29		0
150	8,37	452	51
151	10,37	554	93
152	7,54	444	100
153	7,19	444	55
154	14,57	256	0

5.6 Consideraciones

Para comparar o introducir información dentro de un banco de datos establecidos de gravedad es fundamental que dicha información esté referida a la Red Nacional de Gravedad la que a su vez está ligada a la Red Internacional de Gravedad (IGNS 71). De no cumplir con esta premisa es imposible obtener información coherente. El procedimiento seguido en este estudio cumple con lo expuesto anteriormente.

En el cálculo de la anomalía de Bouguer se utilizó una densidad de 2.1 gr/cm³ para el paquete sedimentario y 2.6 gr/cm³ para la roca base. Esta elección es coherente con el modelo calculado.

En general la zona estudiada mediante el método de gravedad se observan importantes variaciones de la anomalía de Bouguer que interpretadas, indican un modelo isobático con variaciones de la profundidad a la que se encuentra el basamento (ver Plano 5-2). La morfología de éste se obtuvo fundamentalmente de la interpolación de aquellos perfiles que fueron amarrados sobre afloramiento rocoso de la Cordillera de la Costa y Cordillera de los Andes. Lo más relevante es la aparición de dos subcuencas con mas de 450 metros de profundidad separadas por un alto del basamento a la latitud del cerro Condell en la parte este de la ciudad de Curico.

La distribución de las estaciones de gravedad cada 2 km y grandes extensiones en que no existieron medidas de gravedad pueden influir notoriamente en el modelo calculado. De todas formas del análisis de la estructura del basamento se puede concluir la existencia de una gran depresión en la zona central, correspondiente al Valle Central de Chile con dirección norte-sur que se ve interrumpida por el alto en el basamento a la latitud del cerro Condell.

Finalmente cabe indicar que existen perfiles gravimétricos que fueron desarrollados en el estudio de la REF 1, al respecto se realizó un análisis de las consideraciones y los resultados obtenidos con el objeto de incluirlos en el presente estudio. El resultado de este análisis arrojó lo siguiente:

- Los perfiles tomados en el valle central no se encuentran amarrados y/o ligados a roca en alguno de sus extremos.
- Los valores de densidad de relleno y roca considerados en el estudio de la REF1 fueron: relleno sedimentario 1.7 gr/cm³, Roca: 2.5 gr/cm³ y 2.1 gr/cm³. En el presente estudio los valores considerados 2.1 gr/cm³ para el paquete sedimentario y 2.6 gr/cm³ para la roca base.
- Los puntos tomados en el presente estudio están referidos a la Red Nacional de Gravedad.
- Al comparar las profundidades de roca determinadas en uno y otro estudio no fue posible establecer una relación que permitiera la transformación de los valores determinados en el estudio de la REF1 al presente.

- Sin embargo los perfiles tomados en el Valle de Mataquito, en el estudio de la REF1, si se encontraban ligados a roca en cada uno de sus extremos. (el valle en ese sector es estrecho). Las profundidades de roca determinadas en una sección transversal del valle eran relativamente concordantes en ambos estudios. Finalmente por las razones antes indicadas se utilizaron los datos de profundidad de roca determinados en el estudio de la REF1, con lo cual se complementó la información del basamento rocoso para este tramo de la cuenca del Río Mataquito. En el Plano 5-1 se muestran los perfiles gravimétricos desarrollados en el presente estudio y los utilizados del estudio de la REF1.

6. CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA CUENCA RÍO MATAQUITO

6.1. Aspectos Generales

Para definir las características del acuífero de la cuenca del río Mataquito, se trabajó en las siguientes áreas temáticas:

- Base de Datos Captaciones Subterráneas, Catastro de pozos y medición de niveles estáticos (Agosto-Septiembre 2012)
- Identificación y descripción Unidades Hidrogeológicas
- Generación de Curvas Equipotenciales y sentido de escurrimiento de las aguas subterráneas
- Identificación de sectores de isoprofundidad.
- Parámetros Elásticos (Permeabilidad)

En los puntos siguientes se describen las labores realizadas y resultados obtenidos en cada uno de los aspectos mencionados.

6.2. Bases de Datos Captaciones- Catastro de Pozos y Medición de Niveles

6.2.1 Base de Datos Captaciones Subterráneas

Con el objeto de generar una base de datos de captaciones de aguas subterráneas para el área de estudio, se realizó un análisis de la información obtenida del Catastro Público de Aguas (CPA) y de los estudios correspondientes a la REF 1 y REF 4, identificados en el capítulo 2 del presente informe. Este análisis se llevó a cabo inicialmente trabajando de forma independiente con cada fuente de información, para luego contrastar y sintetizar el trabajo en una única base de datos que será utilizada en la caracterización de los acuíferos en etapas posteriores de este estudio. Para esto se siguió el procedimiento que se detalla a continuación:

- i. Se solicitó a la DGA la información de derechos de aguas subterráneas existente para la Región del Maule VII región. La información entregada fue la base de datos de expedientes contenida en el CPA (Catastro Público de Aguas).
- ii. La base de datos entregada incluía el universo total de solicitudes, coexistiendo derechos otorgados, denegados, en trámite, etc. Cabe señalar que la base de datos entregada y con la cual se trabajó no indica el tipo de captación asociada a cada solicitud, por lo cual no se sabe a priori cuáles corresponden a pozo o sondaje, noria, dren, punteras, etc. Por las razones anteriores y dado el gran volumen de información, no toda

de utilidad para los fines del presente estudio, se realizó una serie de filtrados y/o depuración de la base de datos, hasta llegar al universo de expedientes finalmente revisados.

- iii. Específicamente los filtros y consideraciones efectuadas en la depuración del listado inicial de expedientes entregados fue la siguiente:
- Se identificó dentro de la región las comunas que están contenidas total o parcialmente en la cuenca del Río Mataquito, las cuales son: Curepto, Curicó, Hualañe, Licantén, Molina, Rauco, Romeral, Sagrada Familia y Teno. Luego, se filtró en la base de datos obtenida del CPA todos aquellos expedientes correspondientes a dichas comunas y que además tuviesen coordenadas definidas ya que son de mayor utilidad para caracterizar los acuíferos en la cuenca.
 - De los expedientes resultantes, se realizó un nuevo filtro por cuenca para identificar aquellos expedientes que corresponden a la cuenca del Río Mataquito y no considerar los expedientes presentes en comunas parcialmente contenidas en la cuenca, pero que por su ubicación corresponden a otra cuenca.
 - Considerando que la información entregada por el CPA clasifica el expediente por su estado, se realizó un filtro para separar aquellos expedientes con derechos aprobados de los expedientes con derechos en pendientes o denegados. De este modo quedaron en el listado o universo de expedientes a revisar los asociados a solicitudes de derechos de aguas **subterráneas aprobados y con coordenadas en la cuenca de estudio**, que corresponden a 564 en total.

COMUNA	DERECHOS EN TRÁMITE	DERECHOS APROBADOS
Curepto	9	24
Curicó	122	128
Hualañe	12	49
Licantén	3	9
Molina	53	78
Rauco	25	37
Romeral	17	43
Sagrada Familia	45	93
Teno	44	103
TOTAL	330	564

- iv. A partir del catastro de captaciones subterráneas obtenido del estudio de la REF 4, se seleccionaron todas aquellas captaciones que por coordenadas se encuentran ubicadas en la cuenca de Mataquito y que

corresponden a un total de 551 captaciones. Luego, se realizó un cruce de esta información con los derechos aprobados en la cuenca para determinar cuáles de las captaciones de la REF 4 correspondían a derechos aprobados y cuáles no. En el entendido de generar una única base de datos con captaciones subterráneas en la cuenca, se consideraron para la estructuración de ésta las 165 captaciones correspondientes a la REF 4 sin derecho aprobado para no generar una doble contabilidad de captaciones. Todo lo anterior se resume en la siguiente tabla:

COMUNA	CAPTACIONES CON DERECHO REF 4	CAPTACIONES SIN DERECHO REF 4	TOTAL REF 4
Curepto	8	12	20
Curicó	107	37	144
Hualañé	10	18	28
Licantén	6	23	29
Molina	54	17	71
Rauco	33	6	39
Romeral	45	26	71
Sagrada Familia	41	9	50
Teno	82	17	99
TOTAL	386	165	551

- v. A su vez, se cruzó la información contenida en el catastro de captaciones subterráneas de la REF 1 con el catastro de la REF 4, en primer lugar, y luego con las captaciones del CPA, para determinar cuáles de ellas no estaban contenidas en las otras referencias e incluirlas en la base de datos en desarrollo. Es decir, para la base de datos final, no se consideraron las captaciones de la REF 1 que se repetían en la REF 4 y/o CPA. Así, de 409 captaciones en la REF 1, 153 de ellas no se repiten en las otras referencias.

COMUNA	CAPT REF1	CAPT REPETIDAS EN REF4 Y CON DERECHO	CAPT NO REPETIDAS EN REF 4 Y CON DERECHO	TOTAL PARA BD
Curepto	17	15	0	2
Curicó	102	53	1	48
Hualañé	20	14	0	6
Licantén	22	20	0	2
Molina	54	33	1	20
Rauco	29	13	1	15
Romeral	61	37	5	19
Sagrada Familia	33	17	1	15
Teno	71	39	6	26
TOTAL	409	241	15	153

Sin perjuicio de lo anterior, como las captaciones de la REF 1 correspondían en su totalidad a pozos, fue posible asignar el tipo de obra correspondiente a aquellas captaciones en las otras referencias que coincidían con las de la REF 1 y que no tenían el tipo de obra. Además, esto se complementó para la REF 4 con la información que traían algunas captaciones y que correspondían a pozo.

- vi. Por otro lado, se decidió considerar todos aquellos derechos aprobados sin coordenadas que correspondiesen comunas que estuvieran totalmente contenidas en la cuenca. Es el caso de las comunas de Curicó, Romeral y Sagrada Familia. A estos derechos se les asignó como coordenadas el centroide de cada comuna.

COMUNA	DERECHOS SIN COORDENADAS
Curicó	79
Romeral	23
Sagrada Familia	16
TOTAL	118

- vii. Finalmente, en la siguiente tabla se presenta un resumen de la base de datos de captaciones subterráneas en la cuenca:

COMUNA	CPA		CPA - Sin Coordenadas		REF1		REF4		TOTAL
	Pozo	Otra	Pozo	Otra	Pozo	Otra	Pozo	Otra	
Curepto	0	24	0	0	2	0	10	2	38
Curicó	27	101	79	0	48	0	18	19	292
Hualañe	0	49	0	0	6	0	13	5	73
Licantén	4	5	0	0	2	0	16	7	34
Molina	25	53	0	0	20	0	7	10	115
Rauco	11	26	0	0	15	0	3	3	58
Romeral	22	21	23	0	19	0	12	14	111
Sagrada Familia	9	84	16	0	15	0	6	3	133
Teno	29	74	0	0	26	0	9	8	146
TOTAL	127	437	118	0	153	0	94	71	1000

(Nota: Otra Se refiere a captaciones sin identificar el tipo de obra asociada, pudiendo ser noria, dren, puntera o pozo eventualmente)

En el Anexo Planos, se incluye el Plano 6-1 con la ubicación del total de las captaciones subterráneas, además en el Anexo 6-1 se adjunta un listado con los 1000 captaciones subterráneas identificadas, el listado incluye antecedentes tales como N° Expediente, nombre propietario, coordenadas UTM, Caudal solicitado, profundidad pozo, nivel estático y dinámico (en los casos en los cuales se cuente con la información).

6.2.2 Campaña de Terreno Medición de Niveles

Se realizó una campaña de medición de niveles estáticos en pozos localizados en la cuenca del río Mataquito, específicamente esta labor se desarrolló en el período comprendido entre los meses de Agosto y Septiembre del año 2012, se encuestaron y/o midieron 201 pozos en la cuenca, dicha labor fue realizada por dos técnicos de manera independiente, cada uno de ellos contaba con todos los implementos necesarios para un correcto trabajo de terreno:

- Movilización propia
- Pozómetro
- GPS
- Máquina Fotográfica
- Celular
- Ficha de Encuesta
- Planos con ubicación de pozos
- Carta Credencial

Cabe indicar que se alcanzó un rendimiento promedio entre 5 a 6 pozos diarios efectivamente encuestados y/o medidos, es importante mencionar que al

habitual escenario de desarrollo de esta actividad (el cual involucra visita a pozos sellados, imposibilidad de ubicar al propietario, no se permite el acceso, pozos abandonados, etc.), se sumo la variable climática en este período (precipitaciones abundantes) lo cual disminuyó el avance y/o rendimiento diario de pozos encuestados.

Para definir los pozos a encuestar se contaba con el catastro de pozos elaborado en la presente consultoría, el cual contiene entre otros antecedentes la ubicación en coordenadas UTM (Datum WGS 84 huso 19) de cada una de las captaciones. Cabe recordar que gran parte de la información elaborada esta siendo incorporada al SIG, motivo por el cual fue posible visualizar la posición y/o ubicación espacial de las captaciones del catastro.

Específicamente en la cuenca del río Mataquito se cuenta con un catastro de 1000 captaciones subterráneas, en base a este universo y con el objeto de realizar una encuesta de pozos que permitiera conocer el comportamiento del acuífero (profundidad de nivel estático, sentido de escurrimiento de las aguas) en toda su extensión, se subdividió el acuífero central de la cuenca del río Mataquito en ejes verticales (norte –sur) equidistantes a 5 Km., lo anterior permitió visualizar, seleccionar e identificar preliminarmente los sectores y los pozos que se debían encuestar para obtener una distribución espacial de la información lo más completa y uniforme posible.

Cabe indicar que durante el recorrido de terreno se identificaron nuevos pozos que se incorporaron al catastro inicial. Se encuestaron 201 pozos, en la página siguiente se adjunta la ficha tipo utilizada en la encuesta realizada y en el Anexo 6-4, se presenta cada una de las fichas elaboradas.

Ficha Catastro Pozos Utilizada

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO CUENCA DE MATAQUITO (AÑO 2012)			
REGISTRO DE POZOS			
1.- UBICACIÓN			
NUMERO DEL POZO :	1	EXPEDIENTE	
COMUNA :	TENO		
LOCALIDAD :	LA LAGUNA		
NOMBRE DEL PREDIO:			
PROPIETARIO:	COMUNIDAD DE AGUAS LA LAGUNA		
ENTREVISTADO :	DOMINGO TOBAR		
COORDENADAS UTM	NORTE: 6129522	ESTE:	318918
COTA	469		
DATUM	1984	HUSO :	19
2.- CARACTERISTICAS POZO Y DIAGNOSTICO A LA FECHA			
NIVEL ESTATICO (m):	12	PROFUNDIDAD (m):	40
NIVEL DINAMICO (m):		DIAMETRO (pulg):	8
CAUDAL (l/s):	20	POTENCIA BOMBA	
FECHA CONSTRUCCIÓN.	1984		
DERECHOS DE AGUA:			
USO ACTUAL:	RIEGO () POTABLE (X) INDUSTRIAL () OTRO () SIN USO ()		
3.- FRECUENCIA DE BOMBEO			
VERANO	HORAS <u>24</u>	DIAS <u>7</u>	MESES <u>12</u>
INVIERNO	HORAS _____	DIAS _____	MESES _____
OBSERVACIONES:	_____ _____ _____		
ENCUESTADOR:	JORGE FARIÑA		
FECHA:	14-08-2012		
			

6.3. Definición de Acuíferos

Para definir los acuíferos en el área en estudio, se tomo como base la información geológica desarrollada en el capítulo 4 del presente Informe, de este modo se consideró toda el área como un solo gran acuífero, el cual se subdividió en 2 zonas o sub acuíferos, las cuales se diferencian entre si por el tipo de relleno permeable presente o constituyente.

La extensión en planta del acuífero corresponde al límite roca-relleno definido y presentado en el Plano Geológico (ver Plano 4-1). A continuación se indica el tipo de relleno que conforma cada una de las unidades acuíferas definidas:

- Sub-Acuífero 1: Unidad **Q1** Depósitos fluvio –aluviales de valles actuales (Pleistoceno-Holoceno)
- Sub-Acuífero 2: Unidad **Qf** F Depósitos fluviales de ríos actuales (Pleistoceno-Holoceno)

En el Cuadro N° 6-1 se presenta un resumen para cada sub acuífero definido, con el tipo de relleno que lo constituye y su extensión.

Cuadro N° 6-1 Definición Sub-Acuíferos Cuenca Mataquito

Sub- Acuífero N°	Unidad Geológica	Área (km2)
1	Q1	1.076,55
2	Qf	382,56
	Total	1.459,11

En el Plano 6-1 Definición de Acuíferos y Captaciones Subterráneas se muestra la delimitación y extensión de los 2 sub sectores o sub acuíferos definidos.

6.4. Unidades Hidrogeológicas

6.4.1. Generalidades

Utilizando la información geológica de superficie y en especial en base a los antecedentes aportados por los sondajes existentes en el área de estudio (geología de subsuperficie), se han definido las unidades hidrogeológicas en la cuenca del río Mataquito.

Para estos efectos se consideró muy especialmente las características sedimentológicas de los depósitos no consolidados existentes en la cuenca y consecuentemente su permeabilidad, mientras que el origen de tales rellenos se consideró sólo en forma secundaria.

La primera etapa del trabajo consistió en analizar las estratigrafías de los sondajes de la cuenca, cuya información se encuentra en gran parte en los expedientes administrativos existentes en la Dirección General de Aguas. En base a estos antecedentes se reconocieron tres unidades hidrogeológicas que se muestran los seis perfiles desarrollados en la parte central (Depresión Intermedia) de la cuenca del río Mataquito, los cuales se indican más adelante.

Cabe señalar que en función a la experiencia de estos consultores y a la calidad de los datos estratigráficos aportados por los numerosos pozos existentes, para la estructuración de los perfiles hidrogeológicos se seleccionaron los sondajes que presentaban descripciones de mayor detalle y precisión. Durante el estudio se contó con un total de 69 pozos con información estratigráfica y en algunos casos son antecedentes gráficos de pruebas de bombeo.

Un aspecto relevante a destacar es que a lo largo de toda la cuenca, donde afloran las unidades geológicas terciarias superiores y cuaternarias, se reconoce la existencia de un solo acuífero de carácter freático, que exhibe variaciones tanto laterales como en profundidad, lo que ha permitido reconocer en ella dos unidades denominadas en este trabajo unidad 1 y unidad 2. Los perfiles hidrogeológicos levantados muestran precisamente la situación descrita, extensos sectores con bajo contenido de arcillas asociados a permeabilidad moderada a alta (Unidad 1), condición representativa, en un porcentaje importante, de este gran acuífero y una unidad acuífera de desarrollo limitado que presenta mayor contenido de limos y arcillas (mayor 30%), lo que la clasifica como una unidad de permeabilidad moderada a baja (Unidad 2).

La razón de esta característica hidrogeológica, vale decir la existencia de un gran reservorio de buenas características hidráulicas tiene su explicación en la génesis de los depósitos que lo conforman. Los autores que han definido la geología de la zona reconocieron grandes extensiones con depósitos recientes de origen aluvial, coluvial y fluvial, tales como gravas, arenas y en menor medida limos asociados al cauce principal del valle del río Mataquito, así como a quebradas tributarias, los cuales se muestran en el Mapa Geológico (Q1 y Qf).

Respecto de los sedimentos con un contenido de finos mayor al 30% (permeabilidad moderada a baja) es conveniente aclarar que éstos no constituyen condiciones de borde del escurrimiento subterráneo. En efecto, de acuerdo a los antecedentes analizados, sólo constituirían heterogeneidades o singularidades estratigráficas que afectarían localmente captaciones ubicadas en esos sectores.

Lo señalado significa, que durante la etapa 2 del estudio, cuando se este implementando el modelo matemático de simulación hidrogeológica en la cuenca, se considerará, preliminarmente e inicialmente, una sola unidad acuífera con variaciones de la conductividad hidráulica conforme a la distribución areal de las unidades 1 y 2.

A continuación se presenta una descripción más detallada de las unidades hidrogeológicas reconocidas.

6.4.2. Unidades Hidrogeológicas

En la zona de estudio se reconocen en 3 unidades hidrogeológicas de acuerdo a sus características sedimentológicas, las cuales, a su vez, determinan su permeabilidad.

a) Unidad 1: Medios intergranulares de bajo contenido de finos (< 30%).

Esta unidad con bajo contenido de finos determina una permeabilidad moderada a alta, presumiblemente del orden de 1-10 m/d.

Esta unidad posee una granulometría variable, la cual está compuesta por bolones, gravas, arenas gruesas a finas, limos y poca arcilla, por lo cual presenta una permeabilidad media (1-10 m/día). Se define como la unidad con mayor potencial hidrogeológico.

Bajo esta denominación se encuentran principalmente los depósitos sedimentarios de origen fluvial de alta energía que se distribuyen en los cauces de los ríos Teno, Lontué y Mataquito. Superficialmente, se ubican en la llanura del Valle Central, al Este de la Cordillera de la Costa y al Oeste del borde preandino.

Secundariamente la conforman depósitos de origen no fluvial, es decir, depósitos sedimentarios fluvio-aluvionales, gravitacionales, coluviales, eólicos costeros y marinos aterrizados. Estos depósitos, rellenan valles de la Cordillera de la Costa y serranías intermedias.

b) Unidad 2: medios intergranulares con abundante contenido de arcillas (> 30%)

La segunda unidad hidrogeológica de la cuenca del río Mataquito, corresponde a depósitos de mala selección con abundantes arcillas (>30%). Presenta una permeabilidad moderada a baja (10⁻¹ a 10⁻⁴ m/d).

Está compuesta principalmente por depósitos de remoción en masa o corrientes de barro, los cuales posteriormente fueron transportados por el agua y finalmente redepositados. Superficialmente, se reconocen en mayor medida en el Valle Central, y subordinadamente en valles de drenaje secundarios en los sectores de la Cordillera de la Costa y Serranías Intermedias.

Bajo esta denominación también se han incluido depósitos lacustres representados por arcillas y arcillas limosas, las cuales se habrían depositado en aguas tranquilas, probablemente por represamiento temporal, producto de barreras de depositación de sedimentos. En el área del Valle Central, esta unidad se identificó de manera restringida o limitada, por lo cual en los perfiles se representó en forma de lentes de escasas dimensiones.

c) Unidad 3: medios rocosos de muy baja a nula permeabilidad

Esta unidad corresponde a rocas consolidadas de tipo intrusivas, metamórficas y, en menor proporción, sedimentarias y volcanoclásticas. Afloran en la parte oeste de la cuenca del río Mataquito, en el sector de la Cordillera de la Costa y las Serranías Intermedias (Ver Plano 6-2).

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

6.4.3. Perfiles Hidrogeológicos

Se elaboraron un total de 6 perfiles hidrogeológicos, los cuales incluyen la posición (perfil) del basamento rocoso (información extraída del plano isobático 5-2 desarrollado en el presente estudio). Los perfiles estratigráficos están ubicados en la zona de mayor desarrollo de la cuenca del río Mataquito : zona de confluencia de los ríos Teno y Lontué, en las cercanías de las localidades homónimas. Estos perfiles se han elaborado sobre la base de la descripción de las columnas geológicas efectuadas por personal de las diversas empresas contratistas, por lo tanto, no hay una homologación en los criterios descriptivos.

A continuación se presenta una descripción de cada uno de los perfiles elaborados en el presente estudio, cuya ubicación, en planta se presenta en el Plano 6-2 adjunto.

Perfil A – A'

Este perfil tiene orientación NNE-SSW y tiene una longitud de aproximadamente 24 km. En su extremo Norte es cortado por el cauce río Teno y los perfiles D-D' y E-E', y en la zona sur se encuentra cercano al cauce del río Lontué

Estratigráficamente, se reconoce los depósitos de permeabilidad media a alta de la Unidad 1 con una potencia de hasta 110 metros a lo largo de todo el perfil, menos en la zona central del mismo, donde aflora basamento rocoso correspondiente a rocas volcánicas que separan, en parte, las subcuencas de los ríos Teno y Lontué (Unidad 3). Además, En esta zona se observan dos niveles de la Unidad 2, de 30 y 45 metros de espesor. El primero, justo al norte del basamento, aflorando en superficie, y el segundo al norte del anterior con una profundidad de 30 metros.

En la zona de este perfil, la Unidad 3 consiste en lavas basálticas e intermedias con intercalaciones sedimentarias, correspondientes a la Formación Abanico (Oma), cuya profundidad se desconoce, pero, al menos en la parte sur del perfil, superaría los 150 a 200 m.

Perfil B – B'

Se ubica en la zona centro de la Depresión Intermedia o Valle Central, con una orientación NNE-SSW, y una longitud aproximada de 35 km. Pasa por el extremo oriental de la ciudad de Curicó, además de cortar el cauce de los ríos Teno, por el Norte y Lontué, en el sector centro-sur.

En el perfil se reconoce principalmente la Unidad 1, cuya potencia reconocida alcanza la menos los 90 metros. En la zona norte del perfil se observan niveles de profundidad máxima 50 metros y potencia promedio 20 metros, correspondientes a la Unidad 2, específicamente en la zona de los sondajes P1, P6 y P9. En esta misma zona también se observa un nivel de espesor 50 metros que aflora en la superficie en la parte norte, similar al perfil anterior (P1).

A lo largo de este perfil no se reconoció el basamento rocoso correspondiente a la Unidad 3.

Perfil C – C'

Se localiza en la parte occidental del Valle Central, posee una orientación NNE-SSW y es cortado por los ríos Teno y Lontué (Ver Plano 6-2), pasando cerca de la zona de interfluvio.

Se reconoce, en forma subsuperficial la Unidad 1 a lo largo de todo el perfil con un espesor máximo reconocido de 120 metros, y niveles aislados de granulometría con mayor contenido de finos, correspondientes a la Unidad 2 en la zona norte, centro y sur del perfil, con una potencia promedio de 15 metros.

Perfil D – D'

Este perfil se ubica en la zona norte de la cuenca del río Mataquito, en el Valle Central y posee orientación principalmente W-E (Ver Plano 6-2).

En él se observa la presencia predominante de sedimentos correspondientes a la Unidad 1, cuya potencia alcanzaría al menos 100 metros. En los pozos P51 y P6 se reconoció sedimentos con mayor contenido de finos, asociados a la Unidad 2, con potencias no superiores a los 15 y 25 m, respectivamente. La localización puntual y discontinua de estos sedimentos no permite establecer la existencia continuidad de esta unidad a mayores profundidades bajo la Unidad 1.

Se desconoce la potencia máxima del acuífero en este sector, ya que los sondeos en este perfil no alcanzaron el basamento rocoso (Unidad 3).

Perfil E – E'

Perfil trazado en la zona central de la cuenca en el Valle Central, al sur del Perfil D-D' (Ver Plano 6-2). Posee orientación WS y cruza el río Lontué y algunos canales que captan las aguas de este río y la distribuyen en diversas zonas de riego. En este perfil se reconoce la Unidad 1 en todos los pozos, al menos hasta una profundidad de 70 metros. En la zona occidental, a unos 50 m de profundidad se reconoce la Unidad 2 con una potencia de 10 m, en el sector del pozo P64.

Se desconoce la profundidad del relleno sedimentario ya que ninguno de los sondeos alcanzó el basamento rocoso (Unidad 3).

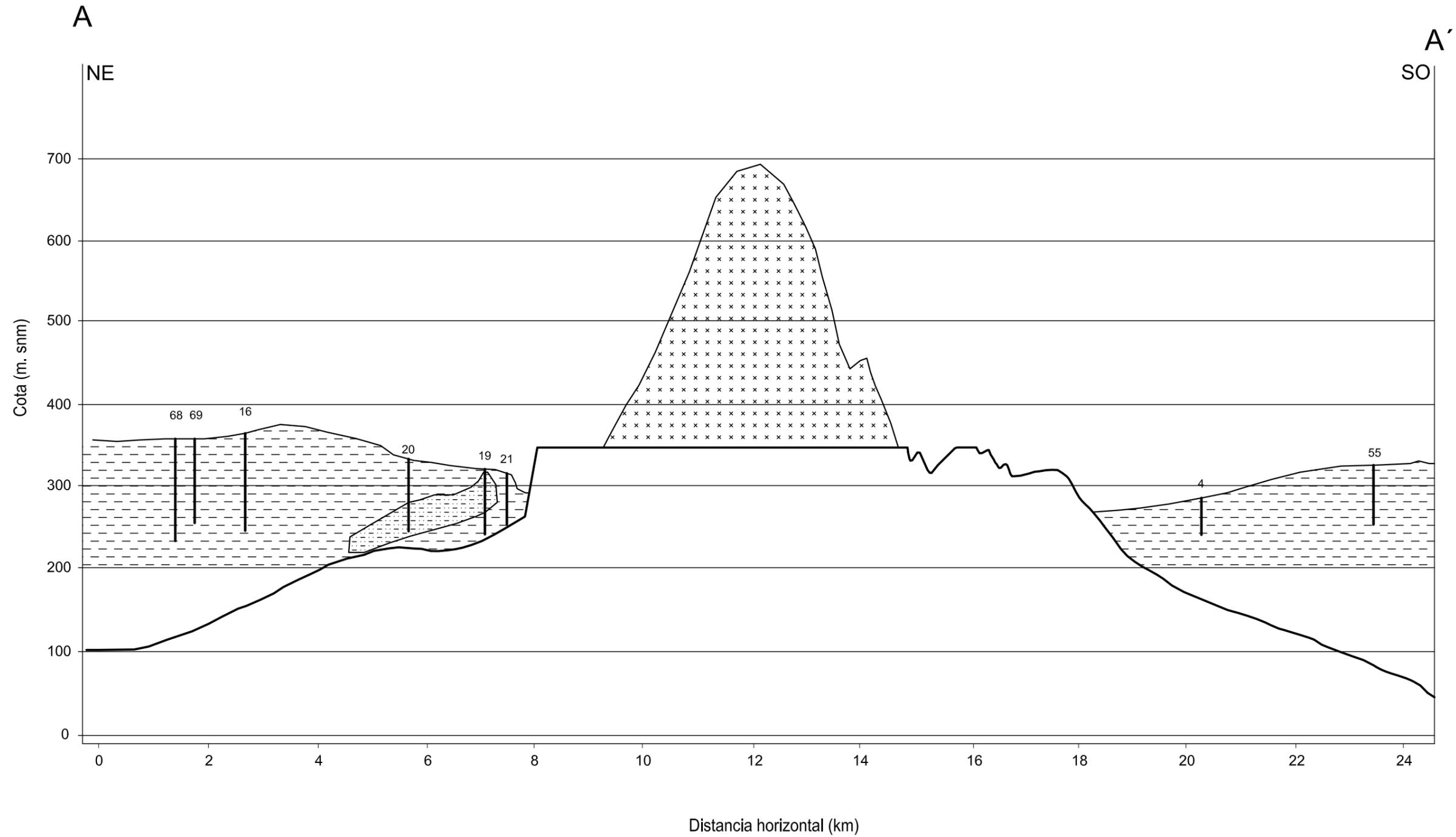
Perfil F – F'

Se ubica en la parte oeste del Valle Central y posee una orientación NW (Plano 6-2) y es cruzado en la parte norte por los ríos Teno y Lontué.

Se reconocen al menos 50 metros de potencia de depósitos correspondientes a la Unidad 1 en casi todo el perfil, a excepción de la zona suroriental. En esta zona se observan 2 niveles de la Unidad 2 de espesores 15 y 20 metros, a profundidades de 30 y 45 metros, respectivamente.

En las páginas siguientes se presentan los perfiles estratigráficos elaborados, pudiéndose apreciar en cada uno de ellos, las unidades acuíferas en vertical atravesadas y definidas en este estudio.

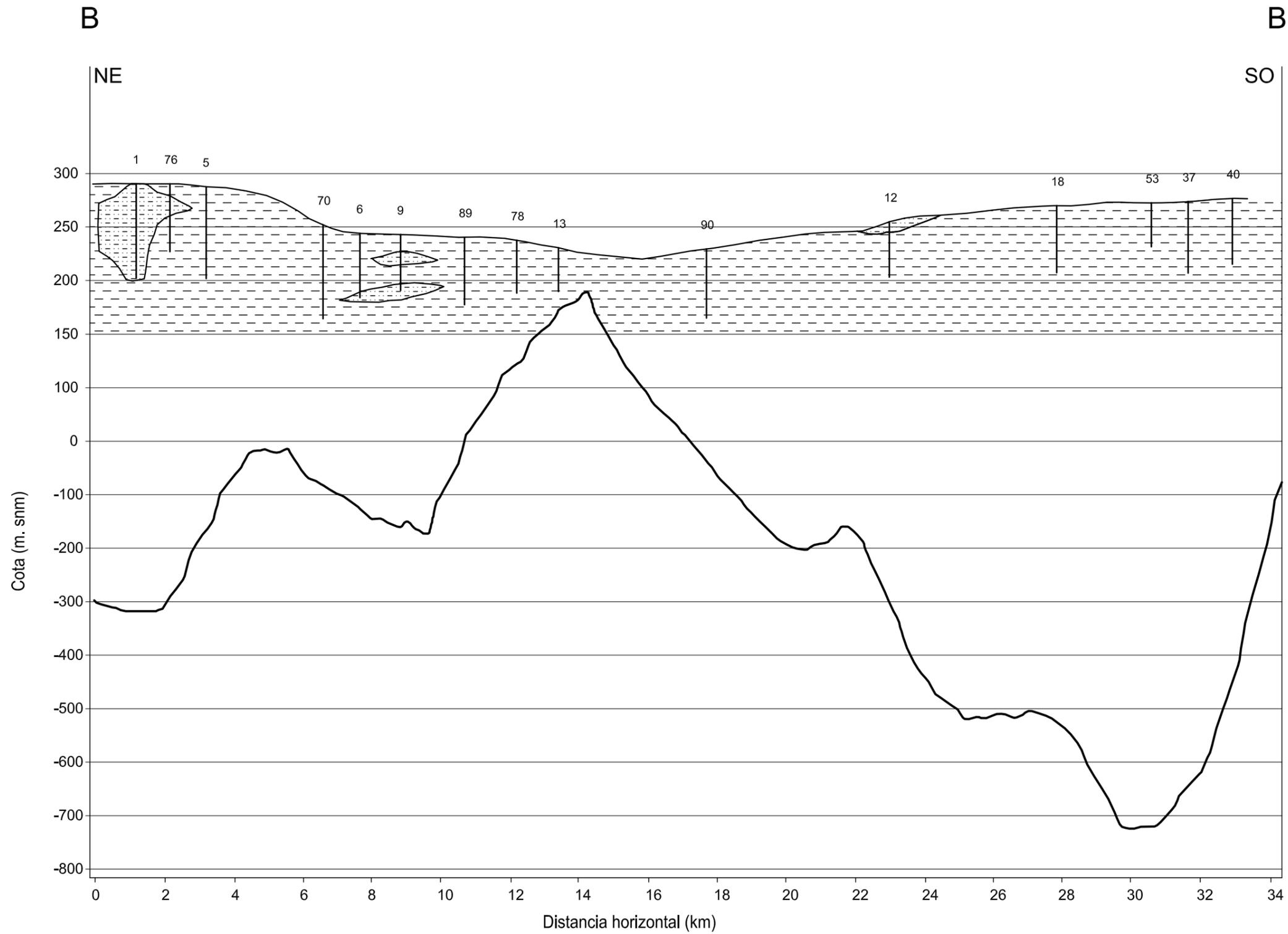
PERFIL A-A'

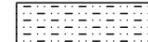


- Perfil Roca
- Unidad Alta Importancia Hidrogeológica
- xxx Unidad Media a Baja Importancia Hidrogeológica
- xxx Unidad Nula Importancia Hidrogeológica
- Unidad Sin Información

	REPÚBLICA DE CHILE MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN	
	PROYECTO ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CUENCA DEL RÍO MATAQUITO	
CONSULTOR 	ESCALA Gráfica	FECHA DICIEMBRE de 2012
PERFIL ESTRATIGRAFICO A-A' CUENCA RÍO MATAQUITO		

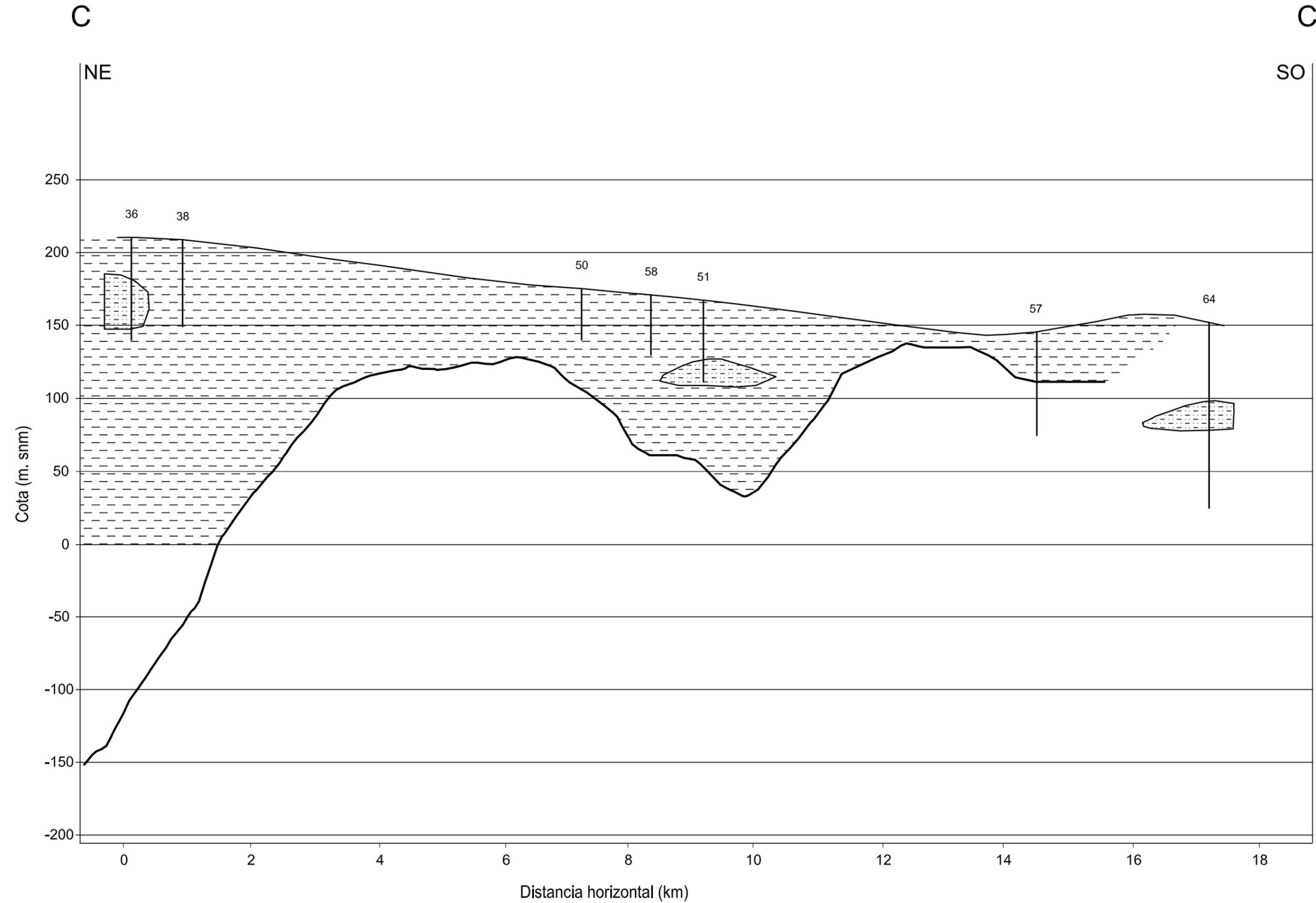
PERFIL B-B'



-  Perfil Roca
-  Unidad Alta Importancia Hidrogeológica
-  Unidad Media a Baja Importancia Hidrogeológica
-  Unidad Sin Información

 Dirección General de Aguas Gobierno de Chile	REPÚBLICA DE CHILE MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN	
	CONSULTOR  AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA	
ESCALA Gráfica	FECHA DICIEMBRE de 2012	PROYECTO ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CUENCA DEL RÍO MATAQUITO PERFIL ESTRATIGRAFICO B-B CUENCA RÍO MATAQUITO

PERFIL C-C'

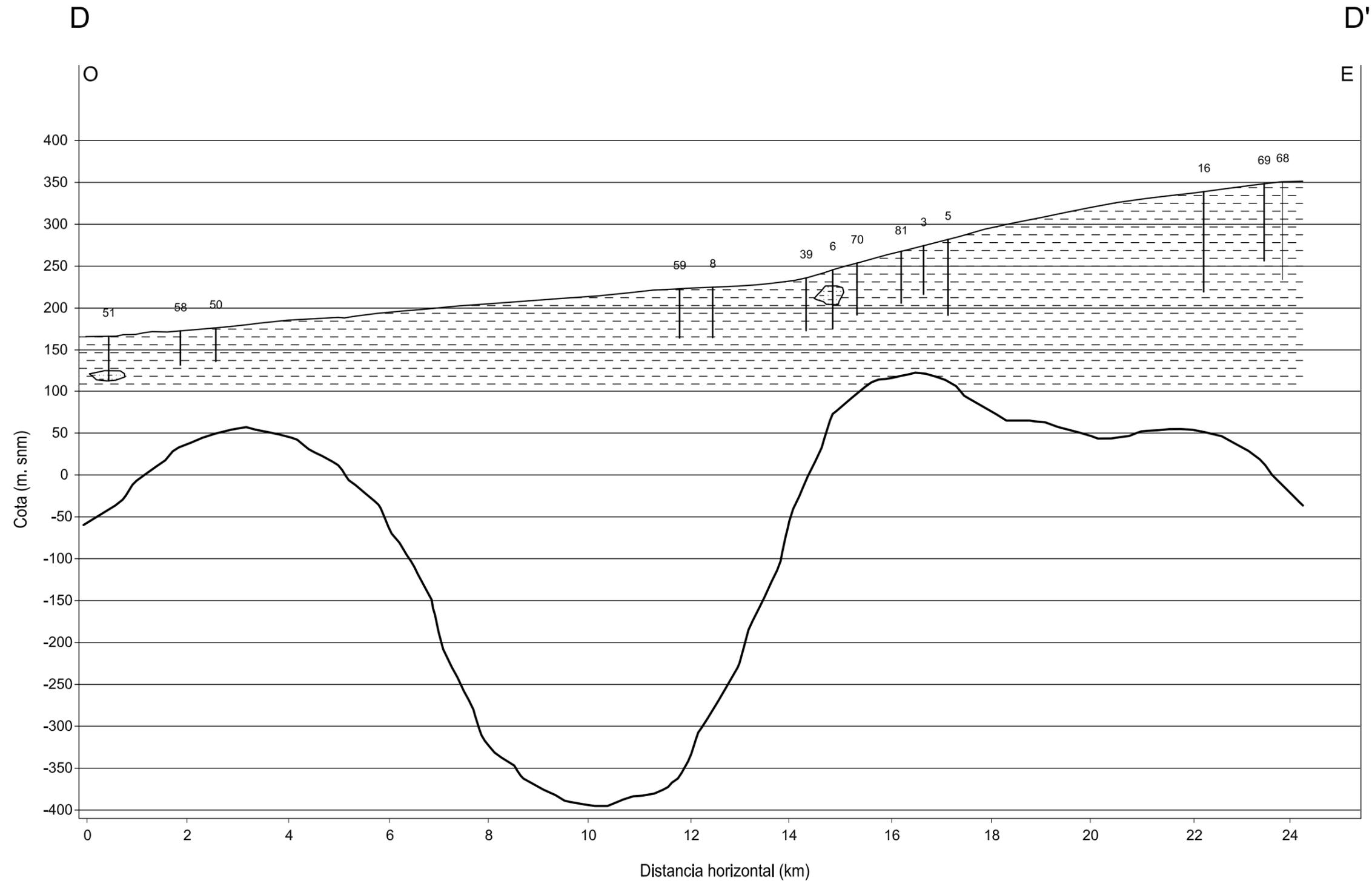


NOTA: La profundidad de roca en el pozo N° 57 es de 76 mt. Sector pozo 64, fuera del isobatico de profundidad de roca

-  Perfil Roca
-  Unidad Alta Importancia Hidrogeológica
-  Unidad Media a Baja Importancia Hidrogeológica
-  Unidad Sin Información

 CONSULTOR 	REPÚBLICA DE CHILE MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN	
	PROYECTO ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CUENCA DEL RÍO MATAQUITO	
ESCALA Gráfica	FECHA DICIEMBRE de 2012	PERFIL ESTRATIGRAFICO C-C CUENCA RÍO MATAQUITO

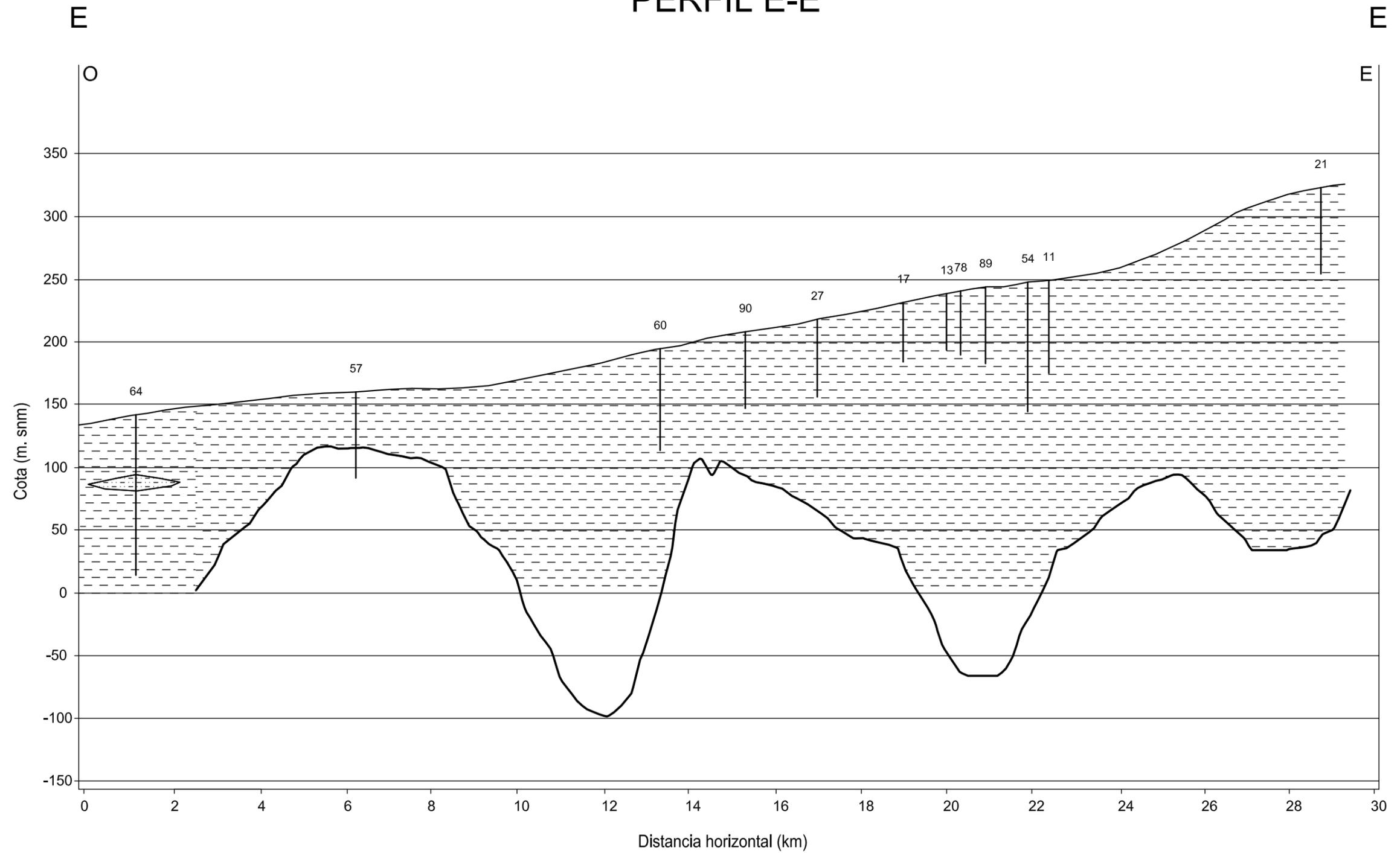
PERFIL D-D'



-  Perfil Roca
-  Unidad Alta Importancia Hidrogeológica
-  Unidad Media a Baja Importancia Hidrogeológica
-  Unidad Sin Información

	REPÚBLICA DE CHILE MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS	
	DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN	
CONSULTOR 	PROYECTO ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CUENCA DEL RÍO MATAQUITO	
ESCALA Gráfica	FECHA DICIEMBRE de 2012	PERFIL ESTRATIGRAFICO D-D CUENCA RÍO MATAQUITO

PERFIL E-E'

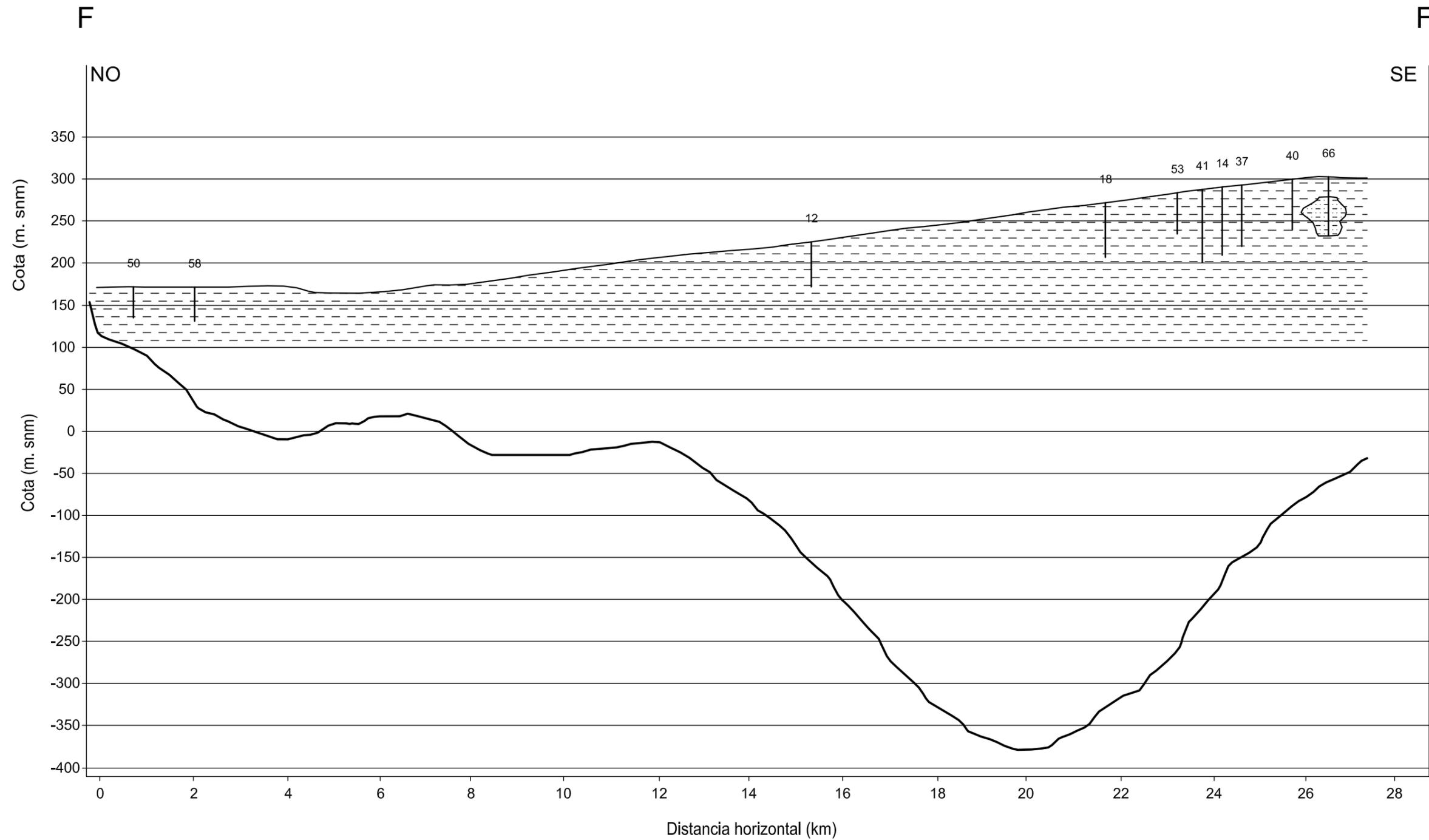


NOTA: La profundidad de roca en el pozo N° 57 es de 76 mt.

-  Perfil Roca
-  Unidad Alta Importancia Hidrogeológica
-  Unidad Media a Baja Importancia Hidrogeológica
-  Unidad Sin Información

	REPÚBLICA DE CHILE MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN	
	CONSULTOR 	PROYECTO ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CUENCA DEL RÍO MATAQUITO
ESCALA Gráfica	FECHA DICIEMBRE de 2012	PERFIL ESTRATIGRAFICO E-E CUENCA RÍO MATAQUITO

PERFIL F-F'



-  Perfil Roca
-  Unidad Alta Importancia Hidrogeológica
-  Unidad Media a Baja Importancia Hidrogeológica
-  Unidad Sin Información

	REPÚBLICA DE CHILE MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN	
	CONSULTOR 	
PROYECTO ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CUENCA DEL RÍO MATAQUITO		PERFIL ESTRATIGRAFICO F-F CUENCA RÍO MATAQUITO
ESCALA Gráfica	FECHA DICIEMBRE de 2012	

6.5. Curvas Isofreáticas y Sentido de Escurrimiento

Durante la campaña de terreno realizada en esta etapa (Agosto y Septiembre del año 2012), se procedió entre otras labores, a medir el nivel estático de 201 pozos distribuidos espacialmente en la cuenca del río Mataquito; cada pozo fue georeferenciado en coordenadas UTM (Datum WGS 84) y en cota a través de un GPS navegador. (ver descripción punto 6.2 anterior).

En base a la información de cotas del nivel estático se generó un plano con curvas isofreáticas o equipotenciales cada 20 m, el rango comprendido de las curvas fue entre los 500 msnm y los -15 msnm. Específicamente para generar las curvas se analizaron y/o probaron distintos métodos de interpolación (Natural Neighbor, Kriging e IDW) incluidos como alternativas dentro de las opciones de herramienta del software ARGIS. Finalmente y de acuerdo a los resultados obtenidos, se adoptó la interpolación Natural Neighbor (“cercanía” o “proximidad natural”) para generar el plano de isofreáticas o equipotenciales. Este método genera una triangulación de Delauney a partir de las locaciones medidas y selecciona los nodos más cercanos para crear polígonos o escudos convexos alrededor de las locaciones que los conforman. Luego, pondera sus valores en base a un área proporcionada. Este método es el más adecuado cuando los valores se encuentran distribuidos de manera desigual. Es una técnica de interpolación muy adecuada para propósitos genéricos y posee la ventaja de no tener parámetros específicos y complejos como radio, cercanía, lag, sill u otros

En el Anexo Planos, se adjunta el plano 6-4 con las curvas equipotenciales trazadas.

Sentido Escurrimiento

El patrón general de flujo, muestra claramente una tendencia de escurrimiento similar a la de la cuenca hidrográfica. La orientación general de las curvas equipotenciales es SE-NW, perpendiculares al flujo superficial de ríos y esteros.

En general la zona de las subcuencas de los ríos Teno y Lontué comprendida al oriente de la ruta 5 Sur, presenta un escurrimiento de las aguas subterráneas en dirección SE-NW y valores del gradiente hidráulico comprendido entre 0.0161 y 0.0082.

Luego al poniente de la ruta indicada anteriormente, se produce un cambio en la dirección de escurrimiento de las aguas subterráneas en cada una de las subcuencas, específicamente el sentido de escurrimiento y el gradiente hidráulico asociado a cada una de estas subcuencas es:

- Subcuenca río Teno sentido escurrimiento NE-SW, gradiente hidráulico 0.0043

- Subcuenca río Lontué sentido escurrimiento E-W, gradiente hidráulico 0.0040

Finalmente todas las aguas subterráneas de la cuenca convergen al sector de confluencia de los ríos Teno y Lontué (inicio Mataquito) y escurren en el mismo sentido de las aguas superficiales del río Mataquito, entre su inicio y la desembocadura en el mar, con un gradiente hidráulico que fluctúa entre 0.0031 y 0.0016. Cabe indicar que en el tramo antes indicado, se incorporan flujos subterráneos de menor importancia, provenientes del sur y asociados a las subcuencas de los esteros Culenar y Curepto respectivamente.

En el plano 6-4 se muestran las curvas equipotenciales generadas, el sentido de escurrimiento de las aguas subterráneas y los gradientes hidráulicos calculados.

Profundidad Nivel Estático

Finalmente con la información de profundidad de niveles estáticos medidos se generó un plano con sectores o zonas comprendidas en un mismo rango de profundidad. De acuerdo a los datos incluidos en el Anexo 6- 4, se estratificó en cinco tramos la profundidad del nivel estático. En el Cuadro 6.3 siguiente se muestran los rangos de cada uno de los tramos definidos y la cantidad de pozos existente en cada tramo.

Cuadro 6.3 Tramos Con Rangos de Profundidad Nivel Estático Definidos

Rango Profundidad Nivel Estático (m)	Cantidad de Pozos	% de pozos del Total
0-5	38	18,9 %
5-10	53	26,4 %
10-25	59	29,4 %
25-50	41	20,4 %
>50	10	4,90 %
Totales	201	100 %

En el Plano 6-5 se muestra la distribución espacial de los sectores, por rango de profundidad definidos, para la cuenca del Mataquito. Cabe indicar que el método de interpolación utilizado para generar este plano fue el mismo que se utilizó para la generación de las curvas equipotenciales (Natural Neighbor)

6.6. Parámetros Elásticos

Para la determinación de los parámetros elásticos de los acuíferos asociados a la cuenca del río Mataquito, se ha empleado la información técnica contenida en los expedientes de solicitudes de derechos de aguas subterráneas asociados a captaciones tipo pozo profundo. Específicamente los antecedentes utilizados fueron: planos de construcción de pozos, pruebas de bombeo de gasto variable y

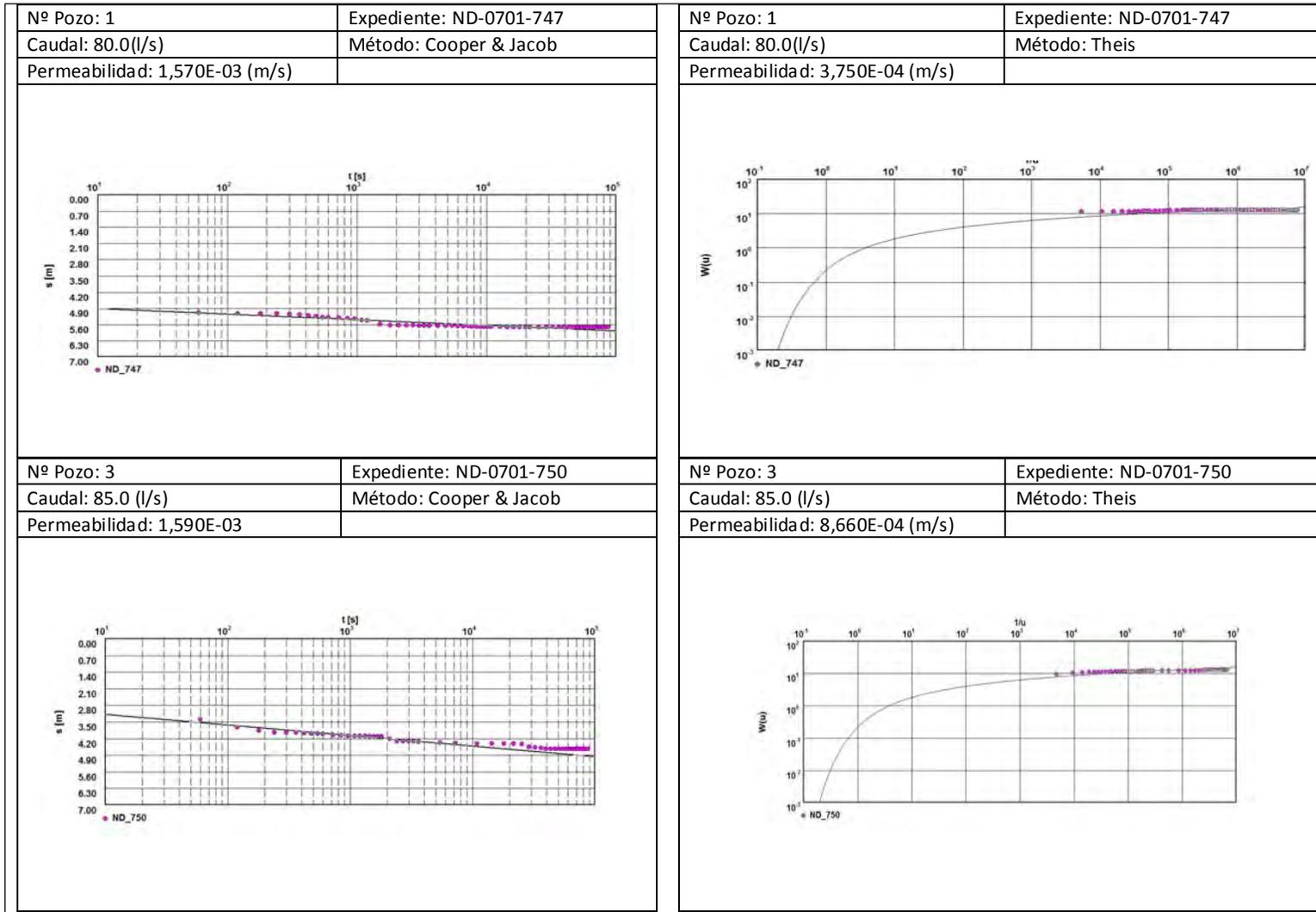
constante e informes técnicos incluidos en expedientes. Complementariamente se utilizó la información de permeabilidades calculada en los estudios de referencia, identificados en el capítulo 2 del presente informe.

Para determinar la permeabilidad del acuífero de Mataquito se utilizó la información proveniente de la prueba de gasto constante y variable de 173 pozos.

En el presente estudio y para un total de 50 pozos se calculó la permeabilidad del acuífero en base a los datos de la prueba de gasto constante incluida en los antecedentes técnicos de los expedientes recopilados. Para lo anterior se utilizó el Software Aquifer Test versión 2.5 para Windows, desarrollado por Waterloo Hydrogeologic Inc. Específicamente se determinó la permeabilidad utilizando los métodos de Cooper – Jacob y Theis. Los datos utilizados y los resultados obtenidos para cada uno de los pozos analizados se adjunta en el Anexo 6-3. A manera de ejemplo en la Figura 6-1 siguiente se presenta los gráficos obtenidos para dos pozos en particular.

El resto de los valores de permeabilidad utilizados ($173-50=123$) se obtuvieron del estudio de la REF 2. (Estudio e Implementación de Modelos Hidrológicos Acoplados a SIG para el Manejo y Planificación, Cuencas del Maule, Mataquito e Itata. CNR-GCF Ingenieros Consultores Ltda. Abril 2006). De acuerdo a lo señalado en dicho estudio, los valores de permeabilidad se calcularon utilizando los datos de pruebas de gasto constante y variable.

Figura 6-1 Resultado Calculo Transmisibilidad Utilizando Datos prueba de Gasto Constante Método Cooper & Jacob y Theis



Finalmente en el Anexo 6-3, se adjunta los valores de permeabilidad calculados por cada uno de los métodos antes señalados. El valor final adoptado corresponde al promedio de ambos métodos, para cada uno de los 50 pozos analizados. Con los valores obtenidos se pudo visualizar los rangos entre los cuales fluctúa la permeabilidad en la zona en estudio, en el Cuadro 6-4 siguiente se muestran los rangos definidos y la cantidad de pozos existente en cada tramo.

Cuadro 6-4 Rango de Permeabilidad Obtenidos

Rango Permeabilidad (m/s)	Cantidad de Pozos	% de pozos del Total
< 1,14E-04	39	22,5 %
1,14E-04 - 2,28E-04	36	20,8 %
2,28E-04 – 3,43E-04	27	15,6 %
3,43E-04 – 5,72E-04	27	15,6 %
5,72E-04 – 1,13E-03	24	13,9 %
> 1,13E-03	20	11,6 %
Totales	173	100 %

Finalmente se confeccionó un plano (ver Plano 6-5) en el cual se visualiza espacialmente las zonas o sectores con los distintos rangos de transmisibilidad definidos. Específicamente para generar este plano se analizaron y/o probaron distintos métodos de interpolación (Natural Neighbor, Kriging e IDW) incluidos como alternativas dentro de las opciones de herramienta del software ARGIS. Finalmente y de acuerdo a los resultados obtenidos, se adoptó la interpolación Natural Neighbor (“cercanía” o “proximidad natural”) para generar el plano de isotransmisibilidades. Este método genera una triangulación de Delauney a partir de las locaciones medidas y selecciona los nodos más cercanos para crear polígonos o escudos convexos alrededor de las locaciones que los conforman. Luego, pondera sus valores en base a un área proporcionada. Este método es el más adecuado cuando los valores se encuentran distribuidos de manera desigual. Es una técnica de interpolación muy adecuada para propósitos genéricos y posee la ventaja de no tener parámetros específicos y complejos como radio, cercanía, lag, sill u otros.

Coefficiente de Almacenamiento

En relación al coeficiente de almacenamiento, el estudio de la REF 1 incorpora valores estimados en base a referencias de estudios anteriores y de la bibliografía sobre el particular, teniendo en cuenta el tipo de relleno. Esto debido a la falta de información necesaria (pruebas de bombeo con pozos de observación) para calcularlos directamente. Por otro lado, el estudio de la REF 5 incorpora coeficientes de almacenamiento asociados a 3 sectores, resultantes de pruebas de bombeo realizadas puntualmente en los recintos de agua potable de Lontué, Teno y Molina. Estas entregan como resultado valores oscilantes entre 0,15 y 0,25.

6.7. Afloramientos

Respecto a la existencia de antecedentes de afloramientos, el estudio de la REF 5 incorpora un análisis de las descargas del acuífero. En este se indica la existencia de afloramientos en torno al río Teno y al río Lontué. El río Teno presenta un régimen de recuperaciones subterráneas coincidentes con las zonas identificadas como sectores de nivel estático en torno a 1 m de profundidad. Esta situación ocurre en el sector entre el inicio de la carretera Panamericana y el puente Rauco, durante el período de primavera, y entre el puente Rauco y la confluencia con el río Lontué, durante el período de riego. Se estima un volumen anual asociado a los afloramientos mencionados del orden de $73,9 \times 10^6$ m³.

De acuerdo al informe del estudio integral de riego, el río Lontué presenta importantes recuperaciones en el tramo de río comprendido entre Pichingal y Puente de la carretera Panamericana. Estos se producen durante la temporada de riego, tanto del río Lontué como del Estero Río seco. Sin embargo el estudio concluye que no es posible determinar con certeza que ambos tengan aportes subterráneos, pudiendo aseverar que sólo el primero puede asociarse a afloramientos con un volumen anual del orden de $152,4 \times 10^6$ m³.

Por otro lado, en la presente consultoría se realizó el siguiente ejercicio teórico: se superpusieron las curvas equipotenciales generadas y las curvas de nivel generadas (ver anexo II SIG), obteniéndose en aquellos sectores de intersección (zona donde el nivel del agua subterránea coincide con la cota de terreno); posibles zonas de afloramiento. La información resultante anterior, se comparó con los sectores de recuperación definidos en los estudios antes señalados, obteniéndose los siguientes sectores:

1. Estero Potrero Grande.(sector inicio)
2. Estero Chenquelmo.(sector inicio)
3. Río Lontué entre Pichingal y Ruta 5.
4. Estero Patagual (entre ruta K-156 y Sagrada Familia)
5. Río Teno entre Ruta 5 y Puente Rauco
6. Río Teno entre Puente Rauco y confluencia río Lontué
7. Estero Trapiche (sector Rauco)
8. Algunos tramos del Río Mataquito
9. Estero río Seco

Durante el desarrollo del presente estudio se realizaron dos campañas de aforos, con el objeto determinar y/o verificar el comportamiento del sistema acuífero – río, lo anterior se focalizó en los principales cauces del área, específicamente se seleccionaron los ríos Teno y Lontué, en los siguientes tramos y/o sectores:

- i) Río Teno (entre Pte. Ruta 5 y Pte. Rauco)
- ii) Río Teno (entre Pte. Rauco y aguas arriba confluencia Estero Trapiche)
- iii) Río Lontué (entre Pichingal y Pte. Ruta 5)

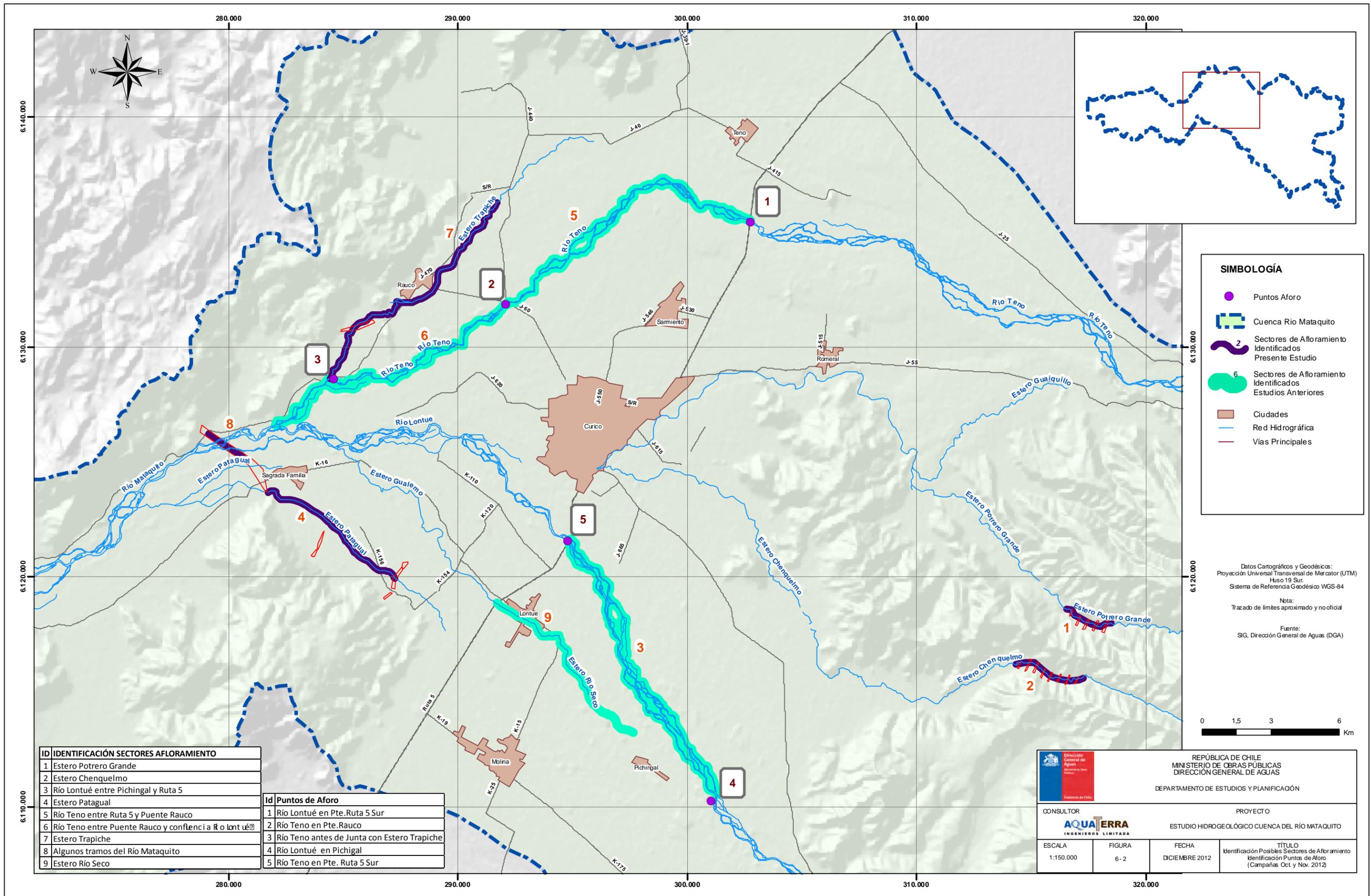
En la Figura 6-2 siguiente, se muestran los puntos donde se efectuaron los aforos, tanto en el río Teno, como Lontué, así como también los sectores de afloramientos potenciales determinados según el procedimiento descrito en el párrafo anterior. Por otro lado, en los Cuadros 6-5 y 6-6 se presentan los valores de caudal medidos en cada punto y campaña de terreno respectivamente; finalmente en el Anexo 6-5 se incluye el detalle de cada uno de los aforos realizados.

Cuadro 6-5 Caudales Aforados en Ríos Teno y Lontué (1^{era} campaña)

Punto	Descripción	Fecha Aforo	Q (m3/s) medido
1	Río Teno en Pte. Ruta 5 (brazo 1)	13/10/2012	1,444
1	Río Teno en Pte. Ruta 5 (brazo 2)	13/10/2012	6,205
	Total Río Teno Pte. Ruta 5		7,649
2	Río Teno en Pte. Rauco	13/10/2012	1,093
	Total Río Teno Pte. Rauco		1,093
3	Río Teno antes Junta Est. Trapiche (brazo 1)	13/10/2012	1,449
3	Río Teno antes Junta Est. Trapiche (brazo 2)	13/10/2012	1,654
	Total Río Teno antes Junta Est. Trapiche		3,103
4	Río Lontué en Pichigal (brazo 1)	15/10/2012	8,438
4	Río Lontué en Pichigal (brazo 2)	15/10/2012	21,664
	Total Río Lontué en Pichigal		30,102
5	Río Lontué en Pte. Ruta 5 (brazo 1)	15/10/2012	2,237
5	Río Lontué en Pte. Ruta 5 (brazo 2)	15/10/2012	18,402
	Total Río Lontué Pte. Ruta 5		20,639

Cuadro 6-6 Caudales Aforados en Ríos Teno y Lontué (2^{da} campaña)

Punto	Descripción	Fecha Aforo	Q (m3/s) medido
1	Río Teno en Pte. Ruta 5 (brazo 1)	10/11/2012	1,996
1	Río Teno en Pte. Ruta 5 (brazo 2)	10/11/2012	7,452
	Total Río Teno Pte. Ruta 5		9,448
2	Río Teno en Pte. Rauco	10/11/2012	0,659
	Total Río Teno Pte. Rauco		0,659
3	Río Teno antes Junta Est. Trapiche (brazo 1)	10/11/2012	0,971
3	Río Teno antes Junta Est. Trapiche (brazo 2)	10/11/2012	0,744
	Total Río Teno antes Junta Est. Trapiche		1,715
4	Río Lontué en Pichigal (brazo 1)	12/11/2012	27,638
4	Río Lontué en Pichigal (brazo 2)	12/11/2012	9,417
	Total Río Lontué en Pichigal		37,055
5	Río Lontué en Pte. Ruta 5 (brazo 1)	12/11/2012	30,172
	Total Río Lontué Pte. Ruta 5		30,172



SIMBOLOGÍA

- Puntos Aforo
- Cuenca Río Mataquito
- Sectores de Afloramiento Identificados Presente Estudio
- Sectores de Afloramiento Identificados Estudios Anteriores
- Ciudades
- Red Hidrográfica
- Vías Principales

Datos Cartográficos y Geodésicos:
 Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM)
 Huso 19 Sur.
 Sistema de Referencia Geodésico WGS-84

Nota:
 Trazado de límites aproximado y no oficial

Fuente:
 SIG, Dirección General de Aguas (DGA)



ID	IDENTIFICACIÓN SECTORES AFLORAMIENTO
1	Estero Potrero Grande
2	Estero Chenquélmo
3	Río Lontué entre Pichingal y Ruta 5
4	Estero Patagual
5	Río Teno entre Ruta 5 y Puente Rauco
6	Río Teno entre Puente Rauco y confluencia a Río Lontué
7	Estero Trapiche
8	Algunos tramos del Río Mataquito
9	Estero Río Seco

Id	Puntos de Aforo
1	Río Lontué en Pte. Ruta 5 Sur
2	Río Teno en Pte. Rauco
3	Río Teno antes de Junta con Estero Trapiche
4	Río Lontué en Pichingal
5	Río Teno en Pte. Ruta 5 Sur

		REPÚBLICA DE CHILE MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN	
CONSULTOR AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA		PROYECTO ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CUENCA DEL RÍO MATAQUITO	
ESCALA 1:150.000	FIGURA 6-2	FECHA DICIEMBRE 2012	TÍTULO Identificación Posibles Sectores de Afloramiento Identificación Puntos de Aforo (Campañas Oct y Nov. 2012)

Conclusiones Aforos

Tramo 1 Río Teno (entre Pte. Ruta 5 y Pte Rauco)

De acuerdo a los resultados mostrados en los cuadros anteriores, en este tramo se tiene la siguiente situación:

	Aforo 13/10/12	Aforo 10/11/12
Q Inicio Tramo	7,649	9,448
Q Final tramo	1,093	0,659
Diferencia	6,556 (-)	8,829 (-)

En ambos aforos se produce una disminución del caudal en el tramo, sin embargo cabe indicar que en este tramo existen un total de 16 canales que se alimentan directamente desde el río Teno, y cuya capacidad de conducción asciende a 20,75 m³/s, por otro lado, durante la medición efectuada se constató que efectivamente los canales estaban extrayendo agua desde el río. El escenario antes descrito no permite indicar si efectivamente existe afloramiento en este tramo del río.

Tramo 2 Río Teno (entre Pte. Rauco y antes confluencia Estero Trapiche)

De acuerdo a los resultados mostrados en los cuadros anteriores, en este tramo se tiene la siguiente situación:

	Aforo 13/10/12	Aforo 10/11/12
Q Inicio Tramo	1,093	0,659
Q Final tramo	3,103	1,715
Diferencia	2,01 (+)	1,056 (+)

En ambos aforos se constató un aumento del caudal en el tramo, lo cual indica que efectivamente se producen afloramientos del acuífero, los cuales serían mayores a los valores indicados en la tabla, ya que en este tramo, al igual que en el anterior, se materializan extracciones para riego por medio de tres canales cuya capacidad de conducción en conjunto es de 1.55 m³/s.

Tramo 1 Río Lontué (entre Pinchigal y Pte. Ruta 5)

De acuerdo a los resultados mostrados en los cuadros anteriores, en este tramo se tiene la siguiente situación:

	Aforo 15/10/12	Aforo 12/11/12
Q Inicio Tramo	30,102	37,055
Q Final tramo	20,639	30,172
Diferencia	9,463 (-)	6,883 (-)

En ambos aforos se produce una disminución del caudal en el tramo, sin embargo cabe indicar que en este tramo existen un total de 7 canales que se alimentan directamente desde el río Lontué y cuya capacidad de conducción

asciende a 16,6 m³/s, por otro lado durante la medición efectuada se constató que efectivamente los canales estaban extrayendo agua desde el río, sin embargo dada la menor diferencia de caudal medido en el mes de noviembre en relación a la de octubre y considerando que durante el mes de noviembre se materializa una mayor o igual extracción de agua para riego que en el mes de octubre, es indicativo pensar que efectivamente en este tramo del río Lontué se producen afloramientos de la napa.

6.8. Explotación y Uso de las Aguas Subterráneas

Para estimar y determinar la explotación y uso de las aguas subterráneas en la cuenca del río Mataquito, se utilizó por una parte la información de derechos otorgados, entregada por la DGA, y los antecedentes recopilados en estudios anteriores. El procedimiento seguido fue el siguiente:

- La DGA entregó a este consultor un listado con las solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas otorgados, en trámite y denegados para la cuenca del río Mataquito.
- La información entregada identifica para cada solicitud, el número de expediente respectivo, el nombre del peticionario, la ubicación (comuna, coordenadas), el caudal solicitado y el estado de la solicitud, es decir, se indica si ésta ha sido otorgada, denegada, o si se encuentra pendiente. En el cuadro siguiente se muestra el número de expedientes totales (con y sin coordenadas) con derecho de agua subterránea otorgado y el monto total de caudal otorgado (el detalle de cada uno de los expedientes se puede apreciar en el Anexo 6.1)

Q otorgado	
Total (l/s)	Nº Expedientes
14.356,2	682

- Cabe mencionar que el listado anterior no indica el uso que le será dado a los recursos subterráneos solicitados, motivo por el cual, la distribución del uso y caudal de las captaciones subterráneas se basará, de manera preliminar, en los antecedentes incluidos en la REF 1 antes identificada. En el cuadro siguiente se presenta la distribución del recurso subterráneo por uso y caudal.

Pozos por Uso	Cantidad	Distribución por uso %	Q (l/s) Otorgado	Distribución por Q %
Agua Potable	218	32 %	3.589	25 %
Industrial	55	8%	2.153	15 %
Riego	389	57%	8.614	60 %
Sin Información	20	3%		- %
Total	682	100,0%	14.356	100 %

- Finalmente cabe recordar que existe un total de 1000 captaciones subterráneas identificadas en la cuenca del Mataquito, de las cuales 682, tienen asociado un número de expediente y un derecho de aprovechamiento otorgado; el resto de las 318 captaciones identificadas, se encuentran en alguno de los siguientes situaciones:
 - Captación con solicitud y/o expediente y con derecho denegado, en trámite y/o pendiente.
 - Captación sin solicitud de derecho de aprovechamiento.

7. ESTIMACION RECARGA ACUIFERO CUENCA RIO MATAQUITO

7.1. Aspectos Generales

Para estimar preliminarmente las recargas al acuífero se desarrollo un modelo de simulación hidrológico simplificado, el cual fue implementado en una planilla Excel, con hojas de datos y hojas de resultados interrelacionadas entre sí.

El modelo considera la interacción de sectores de riego, cauces superficiales, embalses y pozos de bombeo. Se simulan 12 meses de un año con disponibilidad de agua para una probabilidad de excedencia dada, tanto en lo que se refiere a los cauces superficiales como a las precipitaciones.

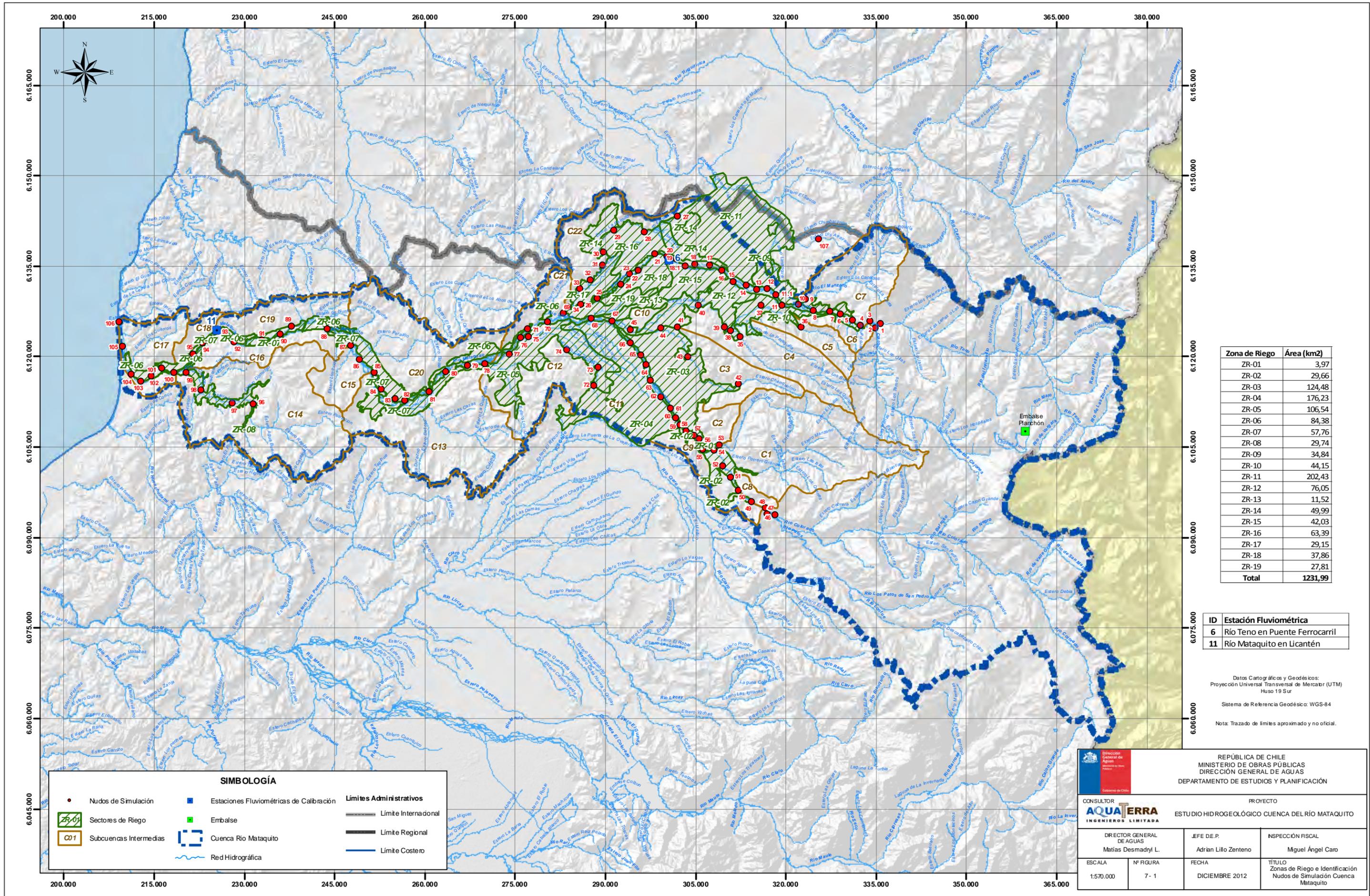
A continuación se describe cada una de las partes del modelo.

a) Sectores de Riego

Cada sector de riego posee un área de cultivo y un área no cultivada, ésta última compuesta de bosques, sectores de cerros, etc. A su vez, dentro del área de cultivo, una parte es de riego y la restante es de secano. En esta área se tiene una diversidad de cultivos con una demanda evapotranspirativa, que se calcula con la información mensual de la evapotranspiración potencial y el coeficiente de cultivo. Parte de esa demanda es satisfecha por la precipitación efectiva, luego por el agua captada en un cauce superficial, luego por el agua disponible en un embalse, y si aún faltara, por el agua bombeada desde pozos. Se considera que al interior de los predios existe un reuso de los derrames, por lo que la demanda de riego a nivel predial es inferior a la demanda de riego a nivel de cultivos.

Un sector de riego puede ser abastecido por un embalse, y un embalse puede abastecer a varios sectores de riego. En cada embalse se tiene una cierta disponibilidad anual de agua, y esa disponibilidad se distribuye entre esos sectores, de acuerdo a un porcentaje preestablecido. La distribución mensual del agua en cada sector se hace proporcionalmente a la distribución de la demanda.

Se considera un total de 26 sectores de riego. Estos sectores corresponden a las mismas zonas de riego del estudio "Diagnóstico de Caudales Disponibles en Cuencas No Controladas de Recuperación, Cuencas de Maule, Mataquito y Rapel" (DGA, CNR, 2008). En este caso sin embargo, algunas de ellas debieron subdividirse, pues en el estudio señalado aparecen muy extendidas, como son las zonas que riegan las riberas del Mataquito, que se asocian a un solo número, desde el inicio del Mataquito hasta la desembocadura. Para la modelación eso no es recomendable, pues a cada sector se le debe asociar un punto de captación, y no resulta bien representado un único sector de riego en el río Mataquito, con una única bocatoma. En la Figura N°7-1 se presenta la zonificación del estudio citado y en el Cuadro N°7-1 se indica la relación entre estas zonas, y los sectores de riego considerados en la modelación.



Zona de Riego	Área (km2)
ZR-01	3,97
ZR-02	29,66
ZR-03	124,48
ZR-04	176,23
ZR-05	106,54
ZR-06	84,38
ZR-07	57,76
ZR-08	29,74
ZR-09	34,84
ZR-10	44,15
ZR-11	202,43
ZR-12	76,05
ZR-13	11,52
ZR-14	49,99
ZR-15	42,03
ZR-16	63,39
ZR-17	29,15
ZR-18	37,86
ZR-19	27,81
Total	1231,99

ID	Estación Fluviométrica
6	Río Teno en Puente Ferrocarril
11	Río Mataquito en Licantén

Datos Cartográficos y Geodésicos:
 Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM)
 Huso 19 S Sur
 Sistema de Referencia Geodésico: WGS-84
 Nota: Trazado de límites aproximado y no oficial.

SIMBOLOGÍA

● Nudos de Simulación	■ Estaciones Fluviométricas de Calibración	— Límites Administrativos
▭ Sectores de Riego	■ Embalse	— Límite Internacional
▭ Subcuencas Intermedias	■ Cuenca Río Mataquito	— Límite Regional
	— Red Hidrográfica	— Límite Costero


 REPÚBLICA DE CHILE
 MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
 DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
 DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN

CONSULTOR: **AQUATERRA** INGENIEROS LIMITADA
 PROYECTO: ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CUENCA DEL RÍO MATAQUITO

DIRECTOR GENERAL DE AGUAS Matías Desmadryl L.	JEFE DE P. Adrián Lillo Zenteno	INSPECCIÓN FISCAL Miguel Ángel Caro
ESCALA 1:570.000	Nº FIGURA 7 - 1	FECHA DICIEMBRE 2012
TÍTULO Zonas de Riego e Identificación Nudos de Simulación Cuenca Mataquito		

Los cultivos considerados en la modelación son los mismos del estudio citado, y mantienen la misma distribución porcentual de cada sector de riego. Igualmente se mantiene el porcentaje de área de riego, de área de secano, y área de no cultivo, dentro del área total de cada sector. En el Cuadro N°7-1 se presentan el detalle de superficies por sector.

Hay que señalar que en el caso de las Zonas Z4, Z9 y Z11 se debió hacer una subdivisión, considerando por una parte el área de riego que se encuentra dentro de la cuenca del río Mataquito, y el área de riego que está fuera de la cuenca. Hay que precisar que el río Teno riega zonas de la cuenca del río Rapel, incluidas en las zonas Z9 y Z11, que ahora pasan a llamarse Z9b y Z11b. Igualmente una parte de la zona Z4, pertenece a la cuenca del río Maule, y es regada por el río Lontué. Esta subzona se llama ahora Z4b.

Las zonas Z6 y Zb, corresponden a las zonas deniego de la ribera norte y sur del río Mataquito, respectivamente, y que ahora fueron subdivididas en 3 sectores de igual superficie, que al sumarse dan la superficie de la zona original.

Cuadro N°7-1 Superficie por Sector de Riego

Zona de Riego (1)	N° Sector	Superficie de Riego (há)	Superficie No Cultivada (há)
Z1	1	306,2	91,1
Z2	2	2.462,6	503,0
Z3	3	9.594,6	2.853,7
Z4a	4	12.931,0	3.351,8
Z4b	5	10.64,6	275,9
Z5	6	6.515,2	4.139,0
Z6a	7	1.580,6	1.232,2
Z6b	8	1.580,6	1.232,2
Z6c	9	1.580,6	1.232,2
Z7a	10	699,3	1.226,0
Z7b	11	699,3	1.226,0
Z7c	12	699,3	1.226,0
Z8	13	585,5	2.388,1
Z9a	14	1.546,4	1.155,2
Z9b	15	448,1	334,7
Z10	16	3.246,3	1.168,3
Z11a	17	5.371,6	4.012,5
Z11b	18	6.216,1	4.643,3
Z12	19	5.695,3	1.909,3
Z13	20	888,1	264,1
Z14	21	2.915,3	2.083,3
Z15	22	3.125,6	1.077,4
Z16	23	3.777,7	2.561,7
Z17	24	1.928,3	986,9
Z18	25	2.794,5	991,4
Z19	26	1.860,6	920,3
TOTAL		80.113,2	43.085,6

(1) Denominación basada en Estudio GCF (2008)

Para la Evapotranspiración Potencial y los coeficientes de cultivo, igualmente se mantuvieron los datos de este estudio, los cuales se presentan en los Cuadros N°7-2 y N°7-3. Los métodos de riego por cultivo y sector se presentan en Anexo 7-6

**Cuadro N°7-2
Evapotranspiración Potencial por Zona de Riego (mm)**

Zona	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	Total
Z1	104,50	64,20	34,80	24,00	34,80	64,30	104,50	144,80	174,20	185,00	174,20	144,70	1254,00
Z2	104,36	64,08	34,68	23,88	34,68	64,16	104,36	143,85	174,04	184,83	174,04	144,55	1251,48
Z3	105,63	64,80	34,94	23,99	34,94	64,82	105,63	146,46	176,31	187,26	176,31	146,43	1267,53
Z4	106,16	65,04	34,96	23,93	34,96	65,06	106,16	147,29	177,37	188,40	177,37	147,27	1273,97
Z5	106,45	65,25	35,16	24,12	35,16	65,33	106,45	147,66	177,75	188,79	177,75	147,58	1277,44
Z6	102,05	62,70	33,98	23,44	33,98	62,78	102,05	141,39	170,11	180,66	170,11	141,31	1224,56
Z7	102,17	63,32	34,99	24,56	34,99	63,41	102,17	141,03	169,36	179,79	169,36	140,93	1226,09
Z8	93,31	57,04	30,53	20,82	30,53	57,09	93,31	129,58	156,09	165,81	156,09	129,54	1119,75
Z9	103,68	63,54	34,20	23,45	34,20	63,59	103,68	140,14	173,16	183,90	173,16	143,77	1240,44
Z10	103,77	63,63	34,29	23,54	34,29	63,68	103,77	141,00	173,25	184,00	173,25	143,86	1242,32
Z11	105,67	64,82	34,96	24,00	34,96	64,85	105,67	146,51	176,38	187,34	176,38	146,49	1268,03
Z12	105,84	64,87	34,92	23,93	34,92	64,90	105,84	146,81	176,76	187,75	176,76	146,78	1270,08
Z13	106,95	65,13	34,56	23,37	34,56	65,19	106,95	148,78	179,35	190,54	179,35	148,71	1283,41
Z14	106,03	65,00	34,99	23,98	34,99	65,01	106,03	147,05	177,06	188,07	177,06	147,05	1272,30
Z15	106,03	65,00	34,99	23,98	34,99	65,01	106,03	147,05	177,07	188,07	177,07	147,05	1272,34
Z16	106,67	65,09	34,69	23,56	34,69	65,13	106,67	148,24	178,64	189,78	178,64	148,20	1280,00
Z17	107,40	65,19	34,35	23,06	34,35	65,28	107,40	149,62	180,46	191,74	180,46	149,53	1288,85
Z18	107,33	65,18	34,38	23,12	34,38	65,27	107,33	149,47	180,27	191,53	180,27	149,39	1287,90
Z19	107,43	65,19	34,33	23,05	34,33	65,29	107,43	149,67	180,53	191,82	180,53	149,58	1289,17

Cuadro N° 7-3 Coeficientes de Cultivo Kc

Cultivo	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar
Aji	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,78	1,05	1,00	0,90	0,00	0,00
Alcachofa	0,65	0,75	0,80	0,80	0,90	0,95	0,95	0,95	0,95	0,90	0,15	0,45
Alfalfa	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Avena	0,00	0,40	0,82	0,99	1,15	1,15	1,15	0,75	0,33	0,00	0,00	0,00
Cebada	0,00	0,40	0,82	0,99	1,15	1,15	1,15	0,75	0,33	0,00	0,00	0,00
Cerezo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	0,66	0,84	1,03	1,03	0,78
Ciruelo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	0,72	0,86	0,98	0,98	0,70
Durazno	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,65	0,75	0,90	0,90	0,80	0,75
Frambuesa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,55	0,80	1,05	1,05	0,78	0,50
Frutilla	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,63	0,85	0,85	0,80	0,75
Garbanzo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,80	1,05	1,05	0,30	0,00
Huerta Casera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	0,64	1,03	1,17	0,65	0,48
Kiwi	1,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,73	1,05	1,05	1,05	1,05
Maíz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	0,83	1,20	1,20	0,84	0,48
Maíz Silo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,83	1,05	1,05	1,05	0,00
Manzano	0,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	0,68	0,88	1,08	1,08	0,96
Olivo	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,55	0,65	0,75	0,90	0,90	0,80	0,75
Papa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,73	1,15	0,75	0,00
Peral	0,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	0,68	0,88	1,08	1,08	0,96
Pimenton	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,78	1,05	1,00	0,90	0,00	0,00
Poroto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,78	1,15	1,15	0,35	0,00
Pradera Mixta	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Pradera Natural	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Remolacha	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	0,87	1,39	1,20	1,20	0,95	0,70
Sandia	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,60	0,80	1,00	1,00	0,75	0,00	0,00
Semillero Maíz	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	0,83	1,20	1,20	0,84	0,48
Semillero Maravilla	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,42	0,69	0,95	1,10	0,70	0,30
Tabaco	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,35	0,35	0,40	0,45	0,45	0,45
Tomate	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68	0,92	1,15	1,15	0,98	0,80	0,00
Tomate Industrial	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,45	0,80	1,15	1,15	1,15	1,00
Trigo	0,00	0,40	0,82	0,99	1,15	1,15	1,15	0,75	0,33	0,00	0,00	0,00
Uva de Mesa	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,55	0,80	1,05	1,05	0,95	0,85
Vid Vinífera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,55	0,80	1,05	1,05	0,95	0,85

Para los datos pluviométricos y fluviométricos se utilizaron los cuadros de resultados de análisis de frecuencia del análisis hidrológico del presente estudio, de manera que para cada estación se tienen los valores de precipitación o escorrentía, para las diferentes probabilidades de excedencia consideradas.

El cálculo de la precipitación efectiva se realizó con la fórmula de Blanney Criddle. Este método calcula la precipitación efectiva como un factor "a" de la precipitación mensual P, que varía según el rango en que se encuentra P. En el Cuadro N° 7-4 se indican los valores de a.

Cuadro N° 7-4 Cálculo de Precipitación Efectiva Según Blanney y Criddle

Rango de P (mm)	a	Prec. Efec max (mm)	Prec.Efec (mm)
0<P<25	0,95	23,75	a * P
25<P<50	0,90	46,25	a * (P-25) + 23,75
50<P<75	0,82	66,75	a * (P-50) + 46,25
75<P<100	0,65	83,00	a * (P-75) + 66,75
100<P<125	0,45	94,25	a * (P-100) + 83,00
125<P<150	0,25	100,50	a * (P-125) + 94,25
150<P	0,05		a * (P-150) + 100,50

En lo que dice relación con los derechos de captación de cada bocatoma, se asumió una relación proporcional a la superficie de riego, en cada cauce. En el Cuadro N°7-5 se indica para cada sector de riego, el cauce del cual capta sus aguas, y que proporción del caudal puede captar como máximo.

Finalmente, para cada sector de riego se estableció el caudal máximo de bombeo de aguas subterráneas, según los distintos usos, de acuerdo al listado de derechos obtenido del "Estudio e Implementación de Modelos Hidrológicos Acoplados a SIG para el Manejo y Planificación, Cuencas de Maule, Mataquito e Mataquito. (GCF, CNR, 2006). Según estos datos, los usos y sus proporciones dentro del área de estudio son: Agua Potable (3,2%), Industrial (28,2%) y Riego (68,7%). La distribución de estos caudales para cada zona de riego, se hizo proporcionalmente a la superficie de cada una de ellas. En el Cuadro N°7-6 se indican los caudales por sector.

Para efectos de la modelación del sistema de riego, se considera únicamente el caudal máximo explotable para riego. Sin embargo, para el cálculo final de la recarga neta al acuífero, se debe considerar aparte del bombeo resultante del modelo, el bombeo debido a los restantes usos, pues la recarga neta es igual a la percolación menos el bombeo.

Cuadro N° 7-5 Derechos de Agua por Sector como Porcentaje del Caudal Pasante

Sector	Cauce de captación	Derechos (%)
1	Lontue	0,93
2	Lontué	7,49
3	Lontué	29,19
4	Lontué	39,33
5	Lontué	3,24
6	Lontué	19,82
7	Mataquito	23,11
8	Mataquito	23,11
9	Mataquito	23,11
10	Mataquito	10,22
11	Mataquito	10,22
12	Mataquito	10,22
13	Lien	100,00
14	Teno	3,88
15	Teno	1,13
16	Teno	8,15
17	Teno	13,49
18	Teno	15,61
19	Teno	14,30
20	Teno	2,23
21	Teno	7,32
22	Teno	7,85
23	Teno	9,49
24	Teno	4,84
25	Teno	7,02
26	Teno	4,67

Cuadro N° 7-6
Derechos Constituidos (l/s) de Agua Subterránea y Su Uso

Sector	Agua Potable	Industrial	Riego	Total
1	1,3	11,2	27,3	39,8
2	9,4	83,7	204,1	297,2
3	39,5	351,5	856,7	1247,7
4	51,6	459,8	1120,6	1632,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0
6	33,8	300,8	733,2	1067,9
7	8,9	79,4	193,6	281,9
8	8,9	79,4	193,6	281,9
9	8,9	79,4	193,6	281,9
10	6,1	54,4	132,5	193,0
11	6,1	54,4	132,5	193,0
12	6,1	54,4	132,5	193,0
13	9,4	84,0	204,6	298,0
14	8,6	76,3	185,9	270,8
15	0,0	0,0	0,0	0,0
16	14,0	124,7	303,8	442,5
17	29,8	265,0	645,8	940,6
18	0,0	0,0	0,0	0,0
19	24,1	214,7	523,4	762,2
20	3,7	32,5	79,3	115,5
21	15,9	141,1	344,0	501,0
22	13,3	118,7	289,3	421,3
23	20,1	179,0	436,3	635,4
24	9,2	82,3	200,6	292,2
25	12,0	106,9	260,6	379,5
26	8,8	78,5	191,4	278,7
TOTAL	349,6	3.112,2	7.585,2	11.047,0

b) Embalses

El único embalse en la zona de estudio es el Embalse El Planchón, ubicado en la zona cordillerana, en la cabecera de la cuenca del río Teno. Sin embargo, la influencia de este embalse en el régimen natural del río Teno es poco significativa. Además, al encontrarse en la alta cordillera, no aporta infiltración a la zonas de riego, que corresponde al área donde interesa cuantificar las recargas al acuífero. En consecuencia, este embalse no fue considerado en la modelación.

c) Cauces Superficiales

Con respecto a la modelación de los cauces, se consideraron los cauces superficiales relevantes, los que fueron discretizados en una serie de nudos. Entre pares de nudos consecutivos se producen pérdidas por percolación en el lecho, que son función de un coeficiente PI (%/km), que permite calcular la percolación total en cada tramo, en función del caudal o volumen de agua entrante y la longitud del tramo. Por otra parte, en un nudo puede haber una captación hacia un sector de riego, se pueden producir aportes de cuencas de cabecera o laterales, o también puede haber una entrada de escorrentía superficial proveniente de alguno de los 26 sectores de riego considerados.

d) Transvases

Se considera dentro de la modelación el funcionamiento del Canal Teno-Chimbarongo, que transvasa aguas desde la cuenca del río Teno a la cuenca del río Rapel, captando las aguas en el río Teno inmediatamente aguas arriba de la ruta 5. Para la modelación se consideró que este canal capta el 21 % del caudal pasante por el río. En un año con probabilidad de excedencia del 50%, esto implica un volumen anual de transvase igual a 263 millones de m³, es decir, un caudal medio igual a 8,35 m³/s. En el "Estudio Integral de Riego de la Cuenca del Río Mataquito" (CICA, CNR, 1978) se consideró un transvase anual de 240 millones de m³.

7.2. Generación de Caudales en Cuencas No Controladas

La generación de caudales medios mensuales se hizo solo en cuencas pluviales, pues las cuencas pluvio-nivales quedan aguas arriba de la zona modelada, y quedan representadas por los caudales medios mensuales de la estaciones Río Teno en Los Queñes, Río Claro en Los Queñes, Río Colorado antes junta con Río Palos y Río Palos en junta con Río Colorado. Los caudales de estas 4 estaciones son entrada para el modelo y están disponibles como resultados del estudio hidrológico.

La generación se realizó por transposición de caudales por unidad de superficie y por unidad de precipitación anual con 50% de probabilidad de excedencia. La estación base utilizada para la transposición es Estero Upeo en Upeo.

El modelo genera internamente los caudales medios mensuales en cada cuenca no controlada. Para ello se requiere la superficie de la cuenca y una estación pluviométrica representativa. Para la cuenca de la estación base Estero Upeo en Upeo, se consideró como representativa, la estación pluviométrica Fundo El Radal, cuya precipitación anual con 50% de probabilidad de excedencia es igual a 1909 mm.

Este método de generación de caudales fue validado en la cuenca de Estero El manzano antes junta Río Teno, donde existe una estación fluviométrica. Si bien esta estación presenta alteraciones debida al riego durante el período estival, estas alteraciones no son significativas a nivel anual, e inexistentes en el invierno. En la Figura N°2 se presentan los caudales generados y los observados en el Estero El manzano antes Junta Río Teno, en un año con probabilidad 50% de excedencia.

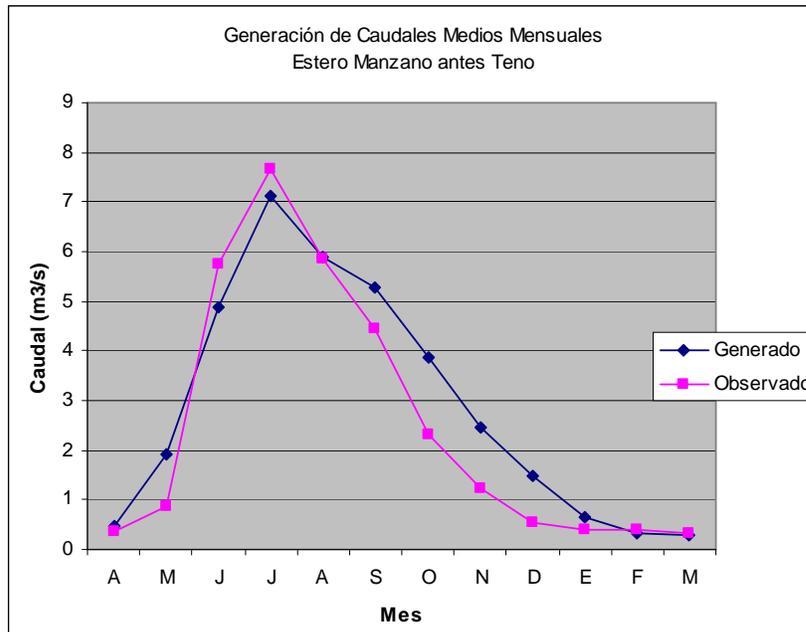


Figura N°7-2 Validación de Método de Generación de Caudales

En el Anexo N° 7-7 se presentan mayores detalles de esta validación y se adjunta un cuadro con el cálculo de los factores de transposición de cada una de las cuencas no controladas que se consideraron en el modelo.

7.3. Calibración del Modelo

El modelo fue calibrado comparando volúmenes de agua simulados y volúmenes de agua observados en 2 estaciones Fluviométricas:

- Río Teno en Puente Ferrocarril
- Río Licantén en Mataquito.

La calibración consistió en ajustar los parámetros del modelo para una probabilidad de excedencia del 50%. Los valores ajustados se probaron para las probabilidades de 20% y 85%, y si bien las curvas simuladas y observadas muestran una mayor diferencia, esta diferencia, a nivel de caudales medios anuales es inferior al 12 %. En el Cuadro N°7-7 y en la Figura N°7-3 se consignan los resultados.

Se calibró únicamente el porcentaje de percolación mensual en cauces. Los resultados se presentan en el Cuadro N° 7-8. Estos resultados indican en general una percolación de 0,2% del caudal entrante, por cada kilómetro de cauce. En el río Mataquito sin embargo, esta percolación se registra solo entre junio y julio, y el resto de los meses la percolación es nula. En el río Teno, el comportamiento es totalmente diferente: existe una variación mensual de la percolación, que varía entre -0,2 y 1,0 %/km. El valor -0,2 %/km, indica que en el mes de julio se producen recuperaciones en el río Teno. Esta recuperación, en términos de caudales implica, para una probabilidad de excedencia del 50%, un caudal de 6 m³/s en 45 km de recorrido, es decir, 0,132 m³/s/km. En el estudio de CICA (1978) se indican recuperaciones en este río, pero durante el período de riego: se estima una tasa promedio de recuperación de 0,180 m³/s/km.

Debe señalarse, en todo caso, que los resultados de la calibración, especialmente en la estación Río Teno en Puente Ferrocarril, son muy dependientes del sistema de operación del Canal Teno-Chimbarongo, y por lo tanto, el valor de los parámetros calibrados varían, si se modifican los caudales transvasados a la cuenca del río Rapel.

Con respecto a los parámetros de riego y precipitación, indicados en los Cuadros 7-9 y 7-10, se adoptaron los valores utilizados en otro estudio desarrollado por este consultor (Modelo de Simulación Estudio Hidrogeológico Cuenca Itata (DGA - 2011).

Cuadro N° 7-7 Calibración del Modelo de Simulación Caudales Medios Anuales (m³/s)

Probabilidad Excedencia (%)	20		50		85	
	Sim	Obs.	Sim	Obs.	Sim	Obs.
Río Teno en Puente Ferrocarril	54,22	55,69	30,79	31,22	13,40	11,98
Río Mataquito en Licantén	184,21	175,20	104,97	104,20	46,571	48,34

Cuadro N° 7-8 Calibración Parámetro de Percolación en Cauces (% Q entrada/km) (1)

Cauce	abr.	may	jun.	jul.	ago	sep	oct.	nov.	dic.	ene	Feb.	mar
Río Teno	0,5	0,5	0,0	-0,2	0,0	0,5	1,0	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2
Río Lontué	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Río Mataquito	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Resto de Cauces	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

(*) El porcentaje es con respecto al caudal entrante en el tramo considerado

Cuadro N° 7-9 Calibración Parámetro de Precipitación Proporción Mensual F de Precipitación en Exceso que Percola

Mes	F (%)
Enero	5
Febrero	5
Marzo	5
Abril	10
Mayo	20
Junio	30
Julio	20
Agosto	5
Septiembre	5
Octubre	5
Noviembre	5
Diciembre	5

Cuadro N° 7-10 Calibración Parámetros de Riego

Parámetro	Valor Parámetro
	(%)
Proporción Excedente Agua Predial que percola	50
Reuso de Derrame	10

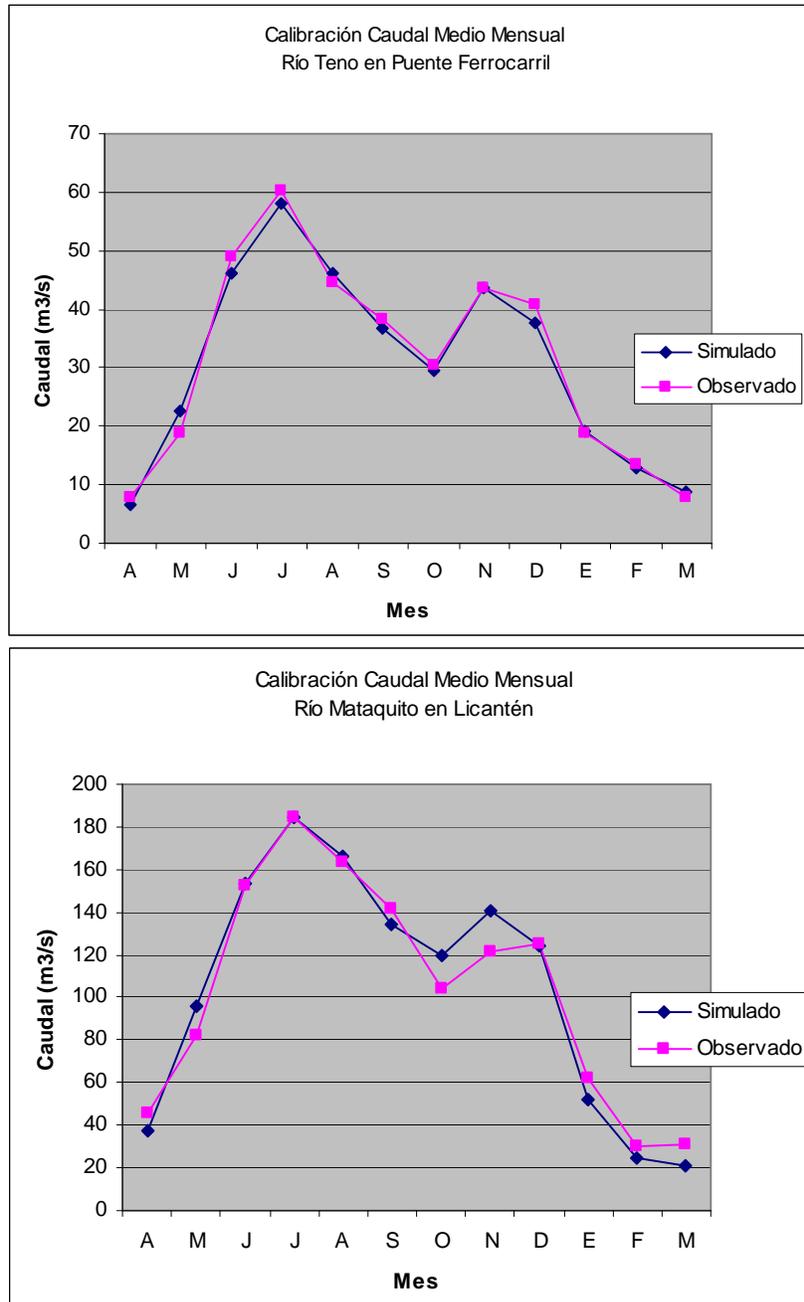


Figura N°7-3 Calibración Modelo de Simulación

7.4. Análisis de Sensibilidad

Además se realizó un análisis de sensibilidad de distintos parámetros asociados al riego, a las precipitaciones y a los cauces, en cuanto a sus efectos sobre los volúmenes de percolación hacia el acuífero. Se constata una incidencia muy importante del parámetro de percolación por Km. en cauces, una incidencia algo menor de los parámetros de porcentaje de precipitación en exceso y excedentes

de riego que Pesca, y una incidencia mínima del reuso de derrames en zonas de riego. Esto se puede ver en el Cuadro N° 7-11.

**Cuadro N° 7-11 Análisis de sensibilidad de Parámetros modelados.
Efectos sobre la Percolación**

a) Parámetros de Zonas de Riego

Parámetro	Valor Parámetro	Percolación Anual Sectores		Percolación Total Anual	
		(Mill m3)	(m3/s)	(Mill m3)	(m3/s)
Proporción Exced. Agua Predial que percola	10	308,54	9,78	948,98	30,09
	90	681,91	21,62	1308,22	41,48
Reuso de Derrame	10	497,95	15,79	1130,99	35,86
	90	490,43	15,55	1126,49	35,72

b) Parámetros de Precipitación

Parámetro	Valor Parámetro	Percolación Anual Sectores		Percolación Total Anual	
		(Mill m3)	(m3/s)	(Mill m3)	(m3/s)
Proporción de P en exceso que percola (%)	20	518,62	16,45	1149,91	36,46
	80	823,38	26,11	1416,27	44,91

c) Parámetros de Cauces

Parámetro	Valor Parámetro	Percolación Anual Cauces		Percolación Total Anual	
		(Mill m3)	(m3/s)	(Mill m3)	(m3/s)
Percolación en cauces (%/km)	0,10	576,66	18,29	1077,45	34,17
	1,00	3268,70	103,65	3733,93	118,40

7.5. Resultados de la Modelación

Se modeló el sistema para probabilidades de excedencia del 20%, 50% y 85%, y se obtuvieron los balances hídricos y las recargas al acuífero, a nivel mensual y anual, tanto en forma detallada para cada elemento del sistema – sectores de riego, embalses, pozos y tramos de cauces - como a nivel global. Los resultados para una probabilidad de 50 % se resumen en los Cuadros N° 7-12 y 7-13. El resto de los resultados se detalla en el Anexo 7-3.

Si se compara con los resultados de recarga del Modelo Hidrológico de Itata (DGA-Aquaterra, 2011), en ese estudio se determinó, para una probabilidad de excedencia del 50%, una recarga media anual de 123,575 (m3/s) en una superficie de 3463 km², es decir, 0,035 m3/s/km². En este caso, la recarga media anual es de 30,957 (m3/s) en una superficie de 1232 km², es decir, 0,025 m3/s/km².

**Cuadro N°7-12. Balance Global del Sistema (Caudales en m³/s)
Probabilidad de excedencia 50 %**

	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Anual
Entrada													
Aporte Cuencas	61,152	94,950	165,249	205,002	172,571	174,903	195,675	246,178	246,942	154,722	95,933	68,698	157,277
Aporte Lluvia	12,420	49,521	73,596	64,306	43,930	20,152	12,082	4,656	1,743	0,165	0,261	1,438	23,838
Aporte Bombeo	1,669	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,361	1,168	4,194	5,129	5,050	1,445
TOTAL	75,24	144,47	238,85	269,31	216,50	195,06	207,76	251,19	249,85	159,08	101,32	75,19	182,56
Salida													
Precipitación													
Evapotranspirada	7,066	13,337	7,632	5,119	7,566	11,520	11,299	4,423	1,656	0,152	0,235	1,304	5,971
Evaporación Sectores	3,270	0,506	0,523	0,552	1,058	2,460	2,745	3,282	4,420	4,977	3,998	3,089	2,564
Precolación Sectores	7,806	6,540	11,928	7,957	3,248	1,796	9,313	25,864	37,167	35,290	25,566	17,439	15,790
Riego Sectores	8,244	0,000	0,000	0,000	0,000	1,675	11,998	33,612	48,647	46,168	33,868	23,635	17,255
Precolación Cauces	7,247	13,854	43,150	43,965	9,191	22,108	36,243	24,170	17,059	11,463	6,737	4,938	20,074
Caudal Saliente Cuenca	41,609	110,234	175,612	211,715	195,439	155,497	136,160	159,843	140,904	61,030	30,919	24,781	120,906
TOTAL	75,24	144,47	238,85	269,31	216,50	195,06	207,76	251,19	249,85	159,08	101,32	75,19	182,56

**Cuadro N°7-13
Recarga Neta al Acuífero (Caudales en m³/s). Probabilidad de excedencia 50 %**

	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Anual
Entrada													
Percolación Sectores	7,806	6,540	11,928	7,957	3,248	1,796	9,313	25,864	37,167	35,290	25,566	17,439	15,790
Percolación Cauces	7,247	13,854	43,150	43,965	9,191	22,108	36,243	24,170	17,059	11,463	6,737	4,938	20,074
TOTAL	15,052	20,395	55,078	51,922	12,439	23,903	45,556	50,034	54,226	46,753	32,303	22,378	35,864
Salida													
Bombeo a Riego	1,669	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,361	1,168	4,194	5,129	5,050	1,445
Otros Bombeos	3,462	3,462	3,462	3,462	3,462	3,462	3,462	3,462	3,462	3,462	3,462	3,462	3,462
TOTAL	5,131	3,462	3,462	3,462	3,462	3,462	3,462	3,822	4,630	7,655	8,591	8,512	4,906
Recarga Neta al Acuífero	9,922	16,933	51,616	48,460	8,977	20,441	42,094	46,211	49,596	39,097	23,712	13,866	30,957

8. MODELO HIDROGEOLÓGICO

8.1. Generalidades

Considerando las características geológicas y morfológicas de la cuenca del río Mataquito, el nivel de información existente y las características de las herramientas de modelación, se realizaron 2 modelos numéricos complementarios en la cuenca, cada uno desarrollado y calibrado de manera independiente.

El primer modelo corresponde a los acuíferos asociados a los ríos Teno y Lontué, ubicados en la zona este de la cuenca, cuyo límite hacia aguas abajo se definió en la localidad de Sagrada Familia. Este modelo se denominó "Teno-Lontué".

El segundo modelo corresponde al relleno fluvial asociado al valle del río Mataquito, desde la localidad de Sagrada Familia hasta su desembocadura. Este modelo se denominó "Mataquito".

Ambos modelos fueron desarrollados y calibrados en régimen permanente, debido principalmente a la ausencia de limnigramas de niveles freáticos sostenidos en el tiempo. El modelo fue calibrado considerando principalmente los niveles obtenidos mediante la campaña de terreno realizada durante los meses de Agosto y Septiembre del presente año (ver punto 6.2 anterior).

El modelo hidrogeológico fue desarrollado mediante el software Visual Modflow 4.2, el cual resuelve las ecuaciones que rigen el movimiento del agua subterránea en un medio poroso utilizando el método de diferencias finitas.

Visual Modflow requiere definir una malla de elementos que representa espacialmente el sistema a representar, así como una discretización temporal. El programa, a su vez, permite obtener la carga hidráulica dentro del medio para cualquier posición y tiempo del dominio definido, así como los flujos relevantes dentro del sistema.

8.2. Definición del Dominio de Modelación

Para el Modelo Teno-Lontué, el dominio fue definido por los siguientes límites (coordenadas sistema WGS 84):

- Límite Norte-Sur: 6.104.000 – 6.149.000 UTM Norte
- Límite Este-Oeste: 282.000 – 328.000 UTM Este

Estos límites definen un rectángulo de 46 Km. de ancho por 45 Km. de largo, y una superficie de 2.070 Km². El tamaño de las celdas definido fue de 200 m x 200 m. La malla definitiva posee 225 filas y 230 columnas.

Para el Modelo Mataquito, el dominio fue definido por los siguientes límites (coordenadas sistema WGS 84):

- Límite Norte-Sur: 6.095.000 – 6.135.000 UTM Norte
- Límite Este-Oeste: 207.000 – 287.000 UTM Este

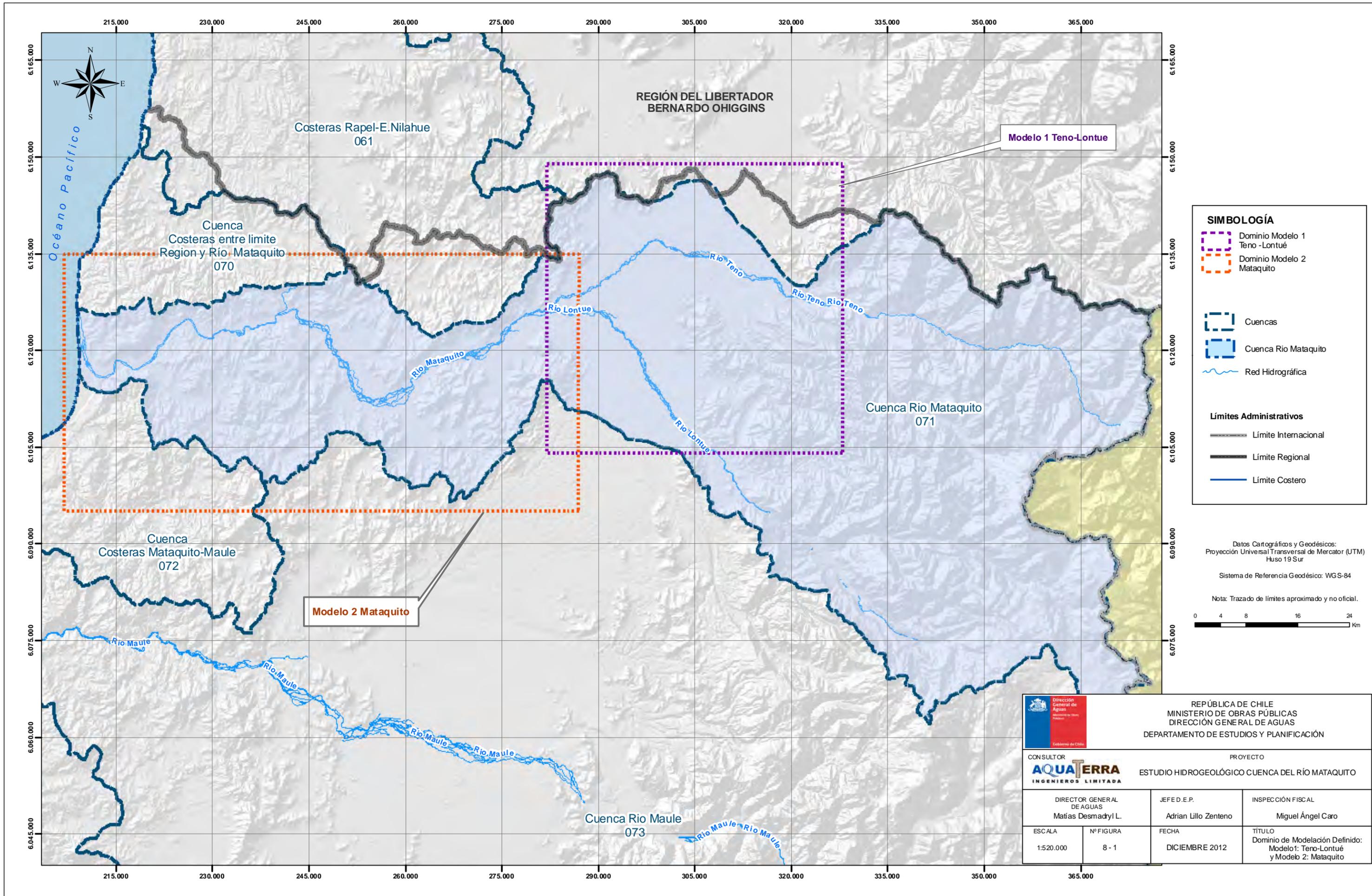
Estos límites definen un rectángulo de 80 km de ancho por 40 km de largo, y una superficie de 3.200 Km². El tamaño de las celdas definido también fue de 200 m x 200 m. La malla definitiva posee 200 filas y 400 columnas.

En ambos casos, la superficie activa del modelo se definió en función de los límites del estrato acuífero identificado, lo que genera superficies a modelar menores a las presentadas anteriormente. Además, por motivos de convergencia numérica del modelo, se desactivaron aquellas zonas del acuífero asociadas a pequeñas quebradas afluentes a los cauces principales donde aflora el basamento rocoso y el espesor de las celdas tiende a su valor mínimo.

En sentido vertical, el acuífero fue representado con dos estratos. El primer estrato fue definido desde la superficie de terreno hasta una profundidad de 200 m, la cual corresponde aproximadamente a las máximas profundidades de los pozos con registros litológicos. El segundo estrato, por ende, fue definido desde la profundidad mencionada hasta el basamento rocoso.

El estrato superior es representativo de la unidad acuífera caracterizada hidrogeológicamente en el punto 6.4 anterior. El estrato inferior en tanto, si bien corresponde a la misma unidad acuífera, abarca un sector donde no se posee información hidrogeológica, por lo que se consideró adecuado y conservador representar de manera independiente el acuífero a partir de los 200 m de profundidad.

A continuación, en la Figuras 8-1 se muestran los dominios definidos en ambos modelos, mientras que las Figuras 8-2 y 8-3 se presentan las mallas de modelación definidas.



SIMBOLOGÍA

- Dominio Modelo 1 Teno - Lontué
- Dominio Modelo 2 Mataquito
- Cuenca
- Cuenca Río Mataquito
- ~~~~~ Red Hidrográfica

Límites Administrativos

- Límite Internacional
- Límite Regional
- Límite Costero

Datos Cartográficos y Geodésicos:
 Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM)
 Huso 19 Sur

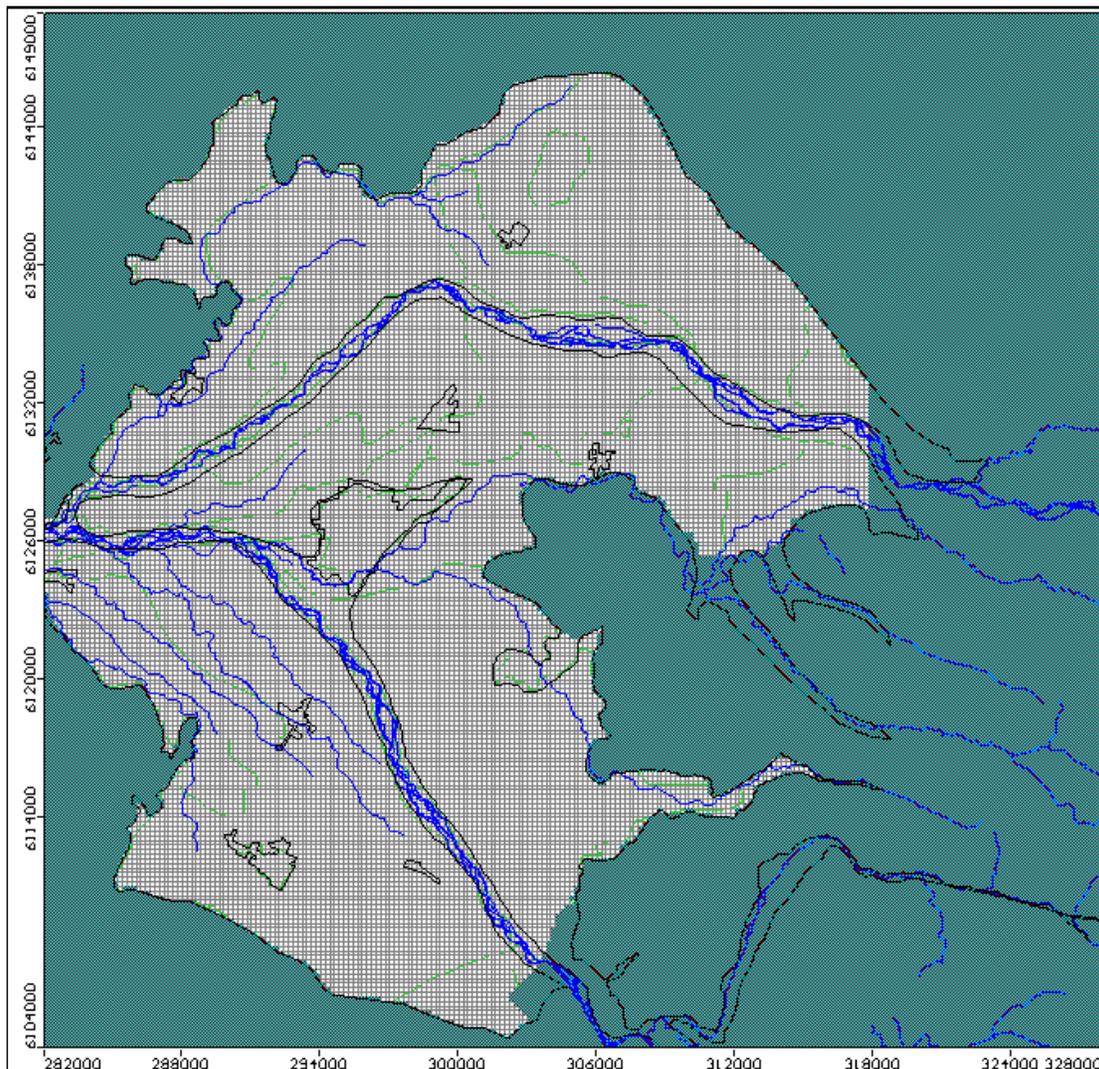
Sistema de Referencia Geodésico: WGS-84

Nota: Trazado de límites aproximado y no oficial.

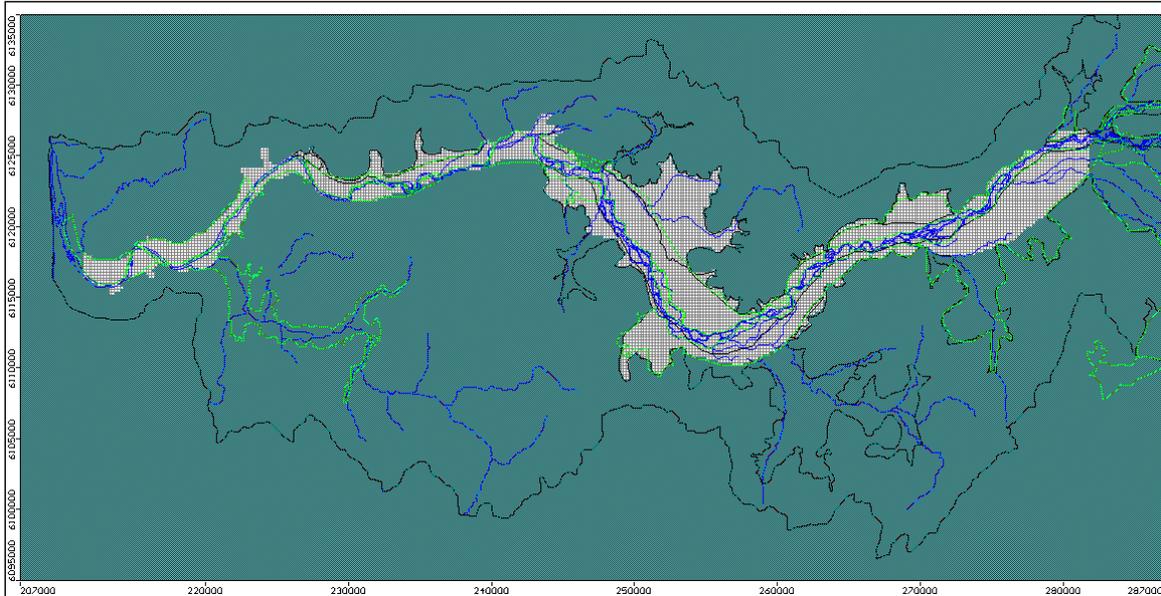
0 4 8 16 24 Km

 REPÚBLICA DE CHILE MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN			
CONSULTOR  AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA		PROYECTO ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CUENCA DEL RÍO MATAQUITO	
DIRECTOR GENERAL DE AGUAS Matías Desmady L.		JEF E.D.E.P. Adrián Lillo Zenteno	INSPECCIÓN FISCAL Miguel Ángel Caro
ESCALA 1:520.000	Nº FIGURA 8 - 1	FECHA DICIEMBRE 2012	TÍTULO Dominio de Modelación Definido: Modelo1: Teno-Lontué y Modelo 2: Mataquito

**Figura 8-2 Malla de Modelación
(Obtenida desde Visual Modflow Modelo Teno Lontué)**



**Figura 8-3 Malla de Modelación
(Obtenida desde Visual Modflow Modelo Mataquito)**



8.3. Superficies de Terreno y Basamento Rocoso

La superficie de terreno fue definida a partir de los modelos ASTER-DEM (en el Anexo II SIG, se incluye el detalle de cómo se obtuvo el manto de la superficie para la cuenca en estudio). La información anterior permitió generar un manto de superficie a lo ancho de toda la cuenca del río Mataquito, desde el cual se obtuvo el nivel de terreno para cada celda de ambos modelos.

Las cotas asociadas al basamento rocoso se obtuvieron directamente a partir de del plano isobático de profundidades de roca generado en el estudio gravimétrico desarrollado y presentado en el capítulo 5 del presente informe.

8.4. Condiciones de Borde Definidas

Las condiciones de borde incorporadas al modelo son de 2 tipos: de nivel constante y de río. A continuación de detallan cada una de éstas.

8.4.1. Condiciones de Borde de Nivel Constante

Se han definido condiciones de borde de nivel constante en aquellas zonas de entrada o salida de flujo subterráneo, y su valor fue obtenido de manera preliminar desde la información proporcionada por las curvas equipotenciales generadas en el presente (medición nivel estático de 201 pozos, ver punto 6.5 anterior y plano 6-4).

A continuación, se presentan las condiciones de borde definidas en ambos modelos.

Figura 8-4. Condiciones de Borde Definidas en Modelo Teno-Lontué.

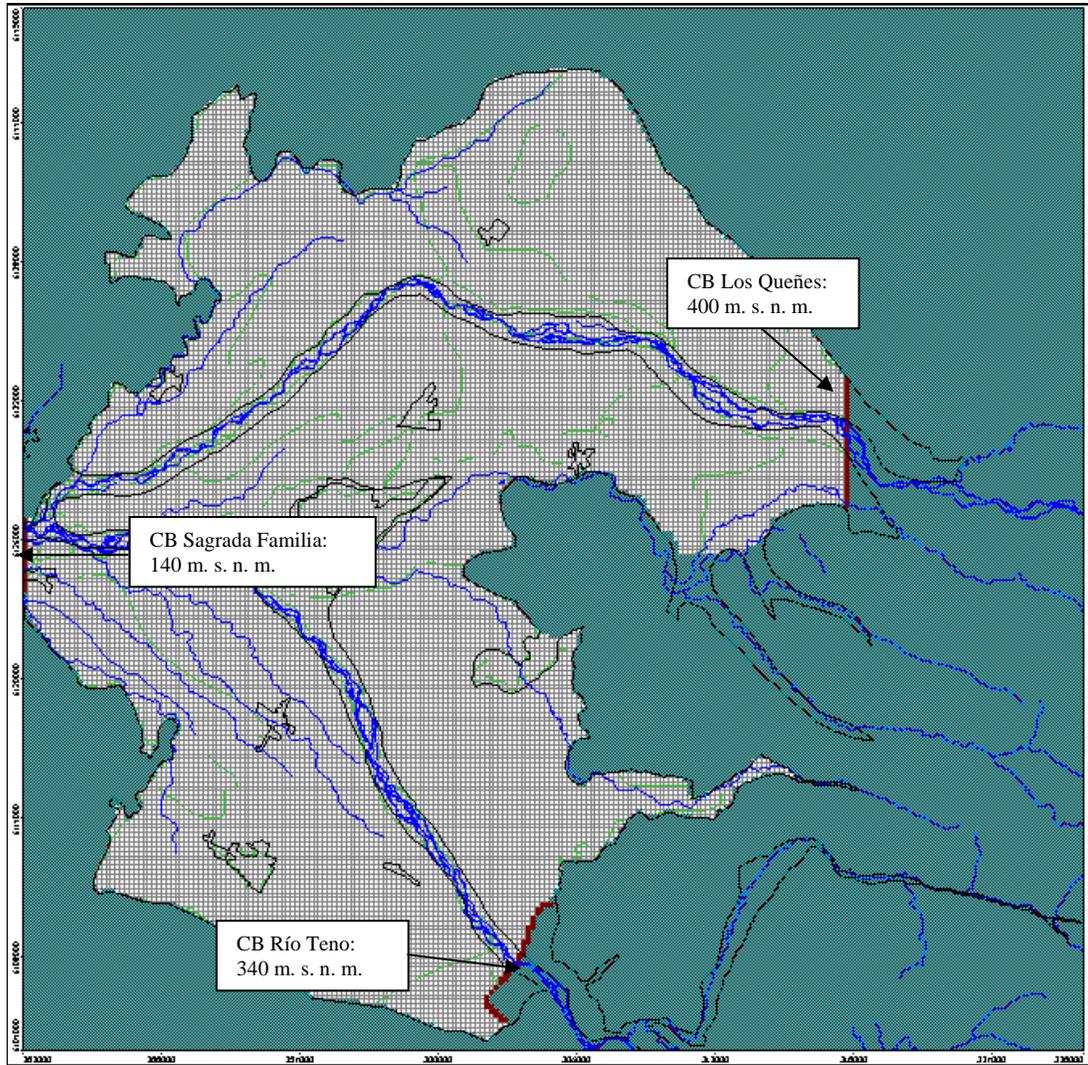
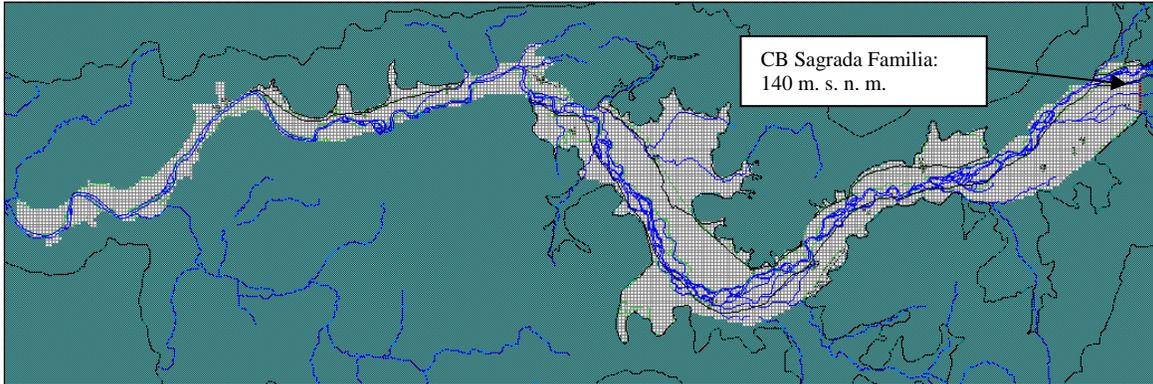


Figura 8-5. Condiciones de Borde Definidas en Modelo Mataquito



8.4.2. Condiciones de Borde de Río

Se definieron mediante celdas tipo river los principales cauces superficiales de la zona (ríos Teno, Lontué y Mataquito; esteros La Palmilla, Guaquilo, Chenquermo, Perhuín, Hualemó, Patagual y Carretones).

De manera preliminar, a estas celdas se les asoció un nivel freático de 2,0 m sobre el nivel de terreno en los ríos, y 1,5 m en los esteros, las cuales eventualmente fueron modificándose en función de la calibración obtenida. Las conductancias también fueron calibradas en función de los resultados de la modelación.

A continuación, las Figuras 8-6 y 8-7 presentan las celdas de río definidas en cada Modelo.

Figura 8-6. Celdas Tipo River Definidas en Modelo Teno-Lontué

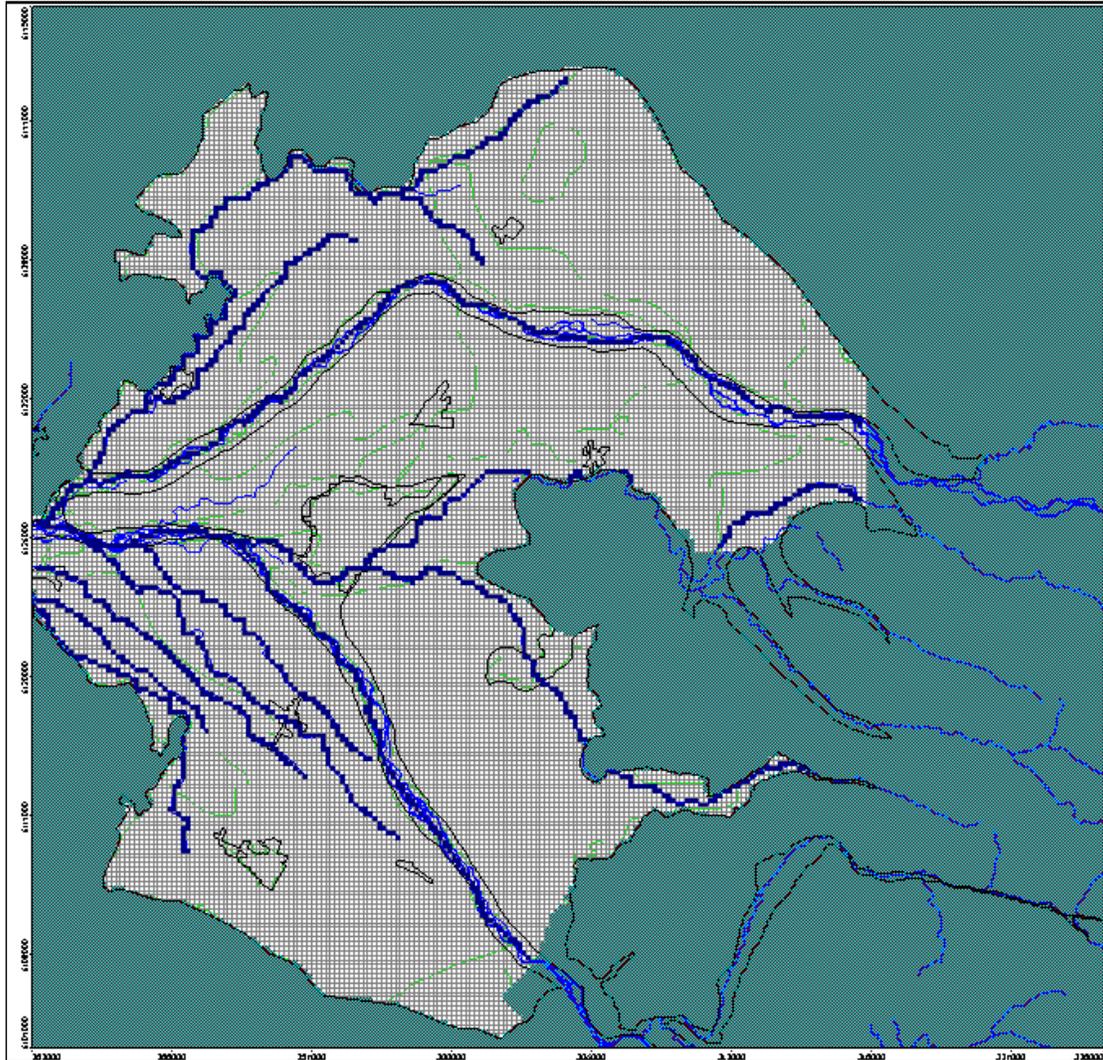
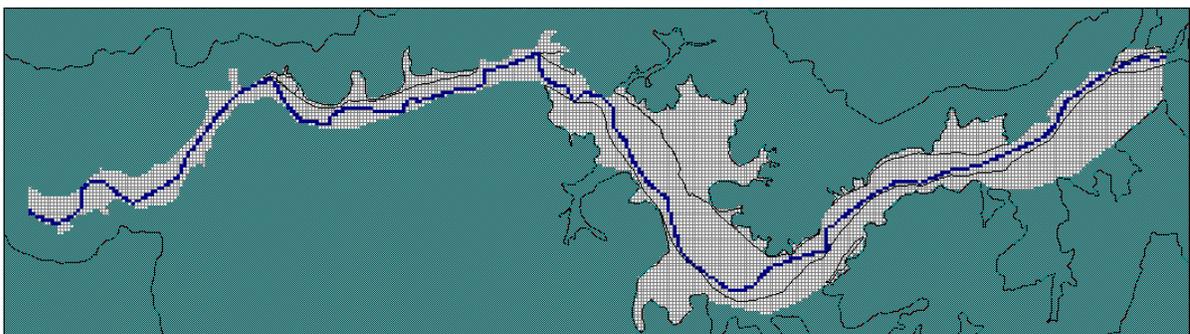


Figura 8-7. Celdas Tipo River Definidas en Modelo Mataquito



Cabe señalar que los cauces naturales anteriores fueron representados mediante celdas con nivel constante, las cuales consideran, por definición, una conexión permanente entre el río y el acuífero.

Esta representación es válida en cauces con régimen pluvio-nival o nivo-pluvial que posean flujos constantes y estables a lo largo del año hidrológico, y por ende, mayor probabilidad de conexión entre el río y el acuífero modelado (tal es el caso de la cuenca del río Mataquito).

En el caso de cuencas netamente pluviales, esta conexión debe estar asociada a una representación en régimen transiente que desconecte las celdas river del acuífero en aquellos períodos donde los flujos en los cauces sean bajos o nulos.

8.5. Recarga Incorporada

Se incorporó al modelo la recarga sectorizada en las distintas zonas de riego definidas en la cuenca. A cada zona se le asoció una infiltración correspondiente a una precipitación anual de 85% de probabilidad de excedencia, más la infiltración efectiva producto de la actividad de riego estimada en cada una de ellas. Esta consideración hidrológica obedece al hecho que los niveles freáticos medidos y representados en el modelo numérico son representativos de un año hidrológicamente más seco que uno normal (2012), cercano al 85%, de acuerdo con la estadística hidrológica observada.

Los valores de recarga utilizados se obtuvieron de la modelación superficial efectuada en el capítulo 7 del presente estudio.

No se incorporó al modelo la evapotranspiración local existente en las zonas de riego, pues ésta se incluyó de manera implícita en el cálculo de la recarga efectiva por los procesos de riego en la cuenca.

A continuación, las Figuras 8-8 y 8-9 presentan las zonas de riego y los valores de recargas incorporados a ambos modelos. Las zonas que aparecen sin recarga asociada, corresponden a localidades, donde se asumió una recarga despreciable, o bien zonas altas de los valles, asociadas a afloramientos rocosos, donde también se consideró recarga nula.

Figura 8-8. Zonas de Riego y Recargas Definidas en el Modelo Teno-Lontué (Valores en mm/año)

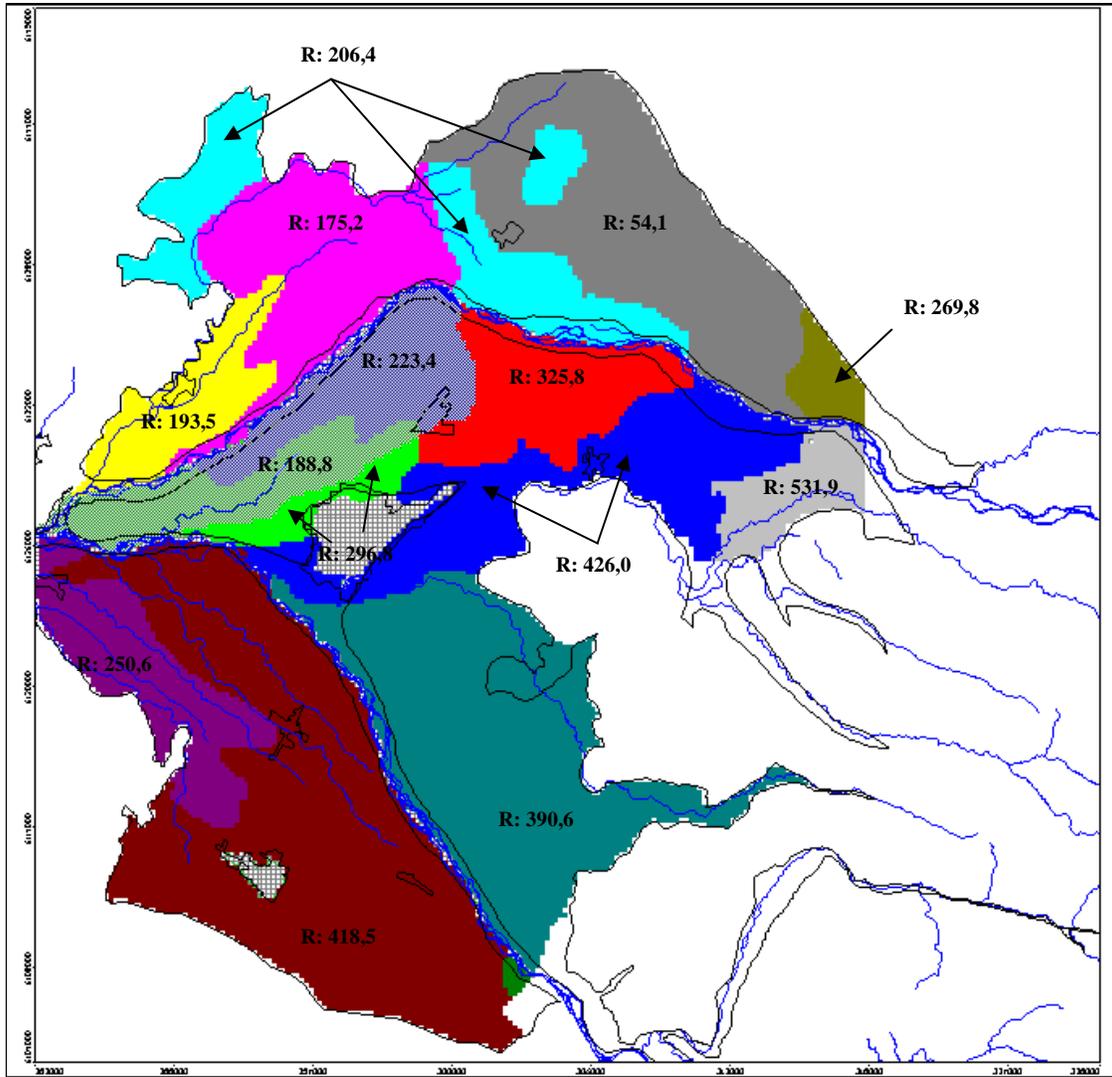
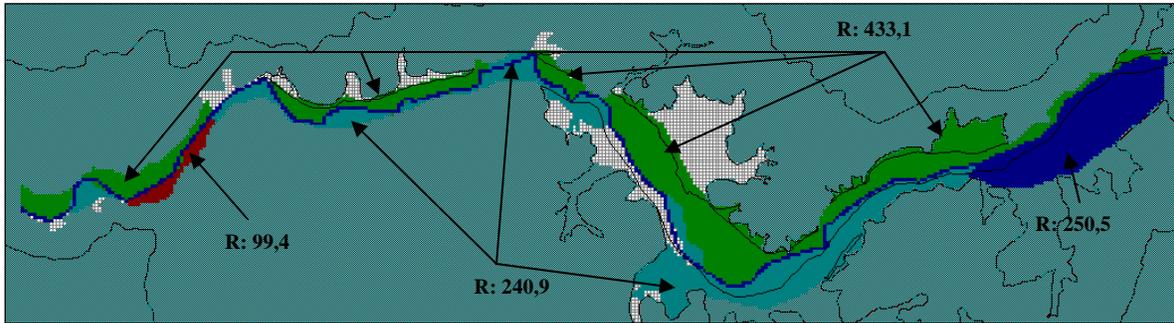


Figura 8-9. Zonas de Riego y Recargas Definidas en el Modelo Mataquito



8.6. Explotación del Acuífero

Se incorporaron a los modelos los pozos de bombeo con derechos asignados dentro de la cuenca. Se consideró un caudal de bombeo igual a los derechos otorgados por la DGA, ponderados por un factor de uso representativo de la eficiencia del uso del recurso. Específicamente los factores de uso utilizados fueron:

USOS	FACTORES
Agua Potable	0,75
Riego	0,2
Industrial	0,3
Doméstico	0,75
Otros	0,4

Los pozos y los caudales asociados se obtuvieron de la base de captaciones subterráneas conformada y presentada en el punto 6.2 y anexo 6-1 del presente informe.

8.7. Niveles Freáticos Observados

Se incorporaron directamente al modelo los pozos con nivel freático observado, cuya información fue determinada en el Catastro de medición de niveles efectuado (ver punto 6.2). Estos niveles fueron la base para el proceso de calibración de los modelos numéricos, el detalle de esta información se puede apreciar en el plano 6-4 y Anexo 6-4 (Fichas Encuestas pozos)

8.8. Parámetros Elásticos

Inicialmente, se incorporó la distribución espacial de permeabilidad determinada en la Caracterización Hidrogeológica de la cuenca, la cual fue incluida en el punto 6.6 del presente informe. Esta distribución fue posteriormente modificada, como parte del proceso de calibración de ambos modelos.

Cabe señalar que, como este modelo preliminar fue implementado en régimen permanente, no se consideró la incorporación de coeficientes de almacenamiento, puesto que este parámetro posee influencia únicamente en la representación transiente en el tiempo de un sistema hidrogeológico.

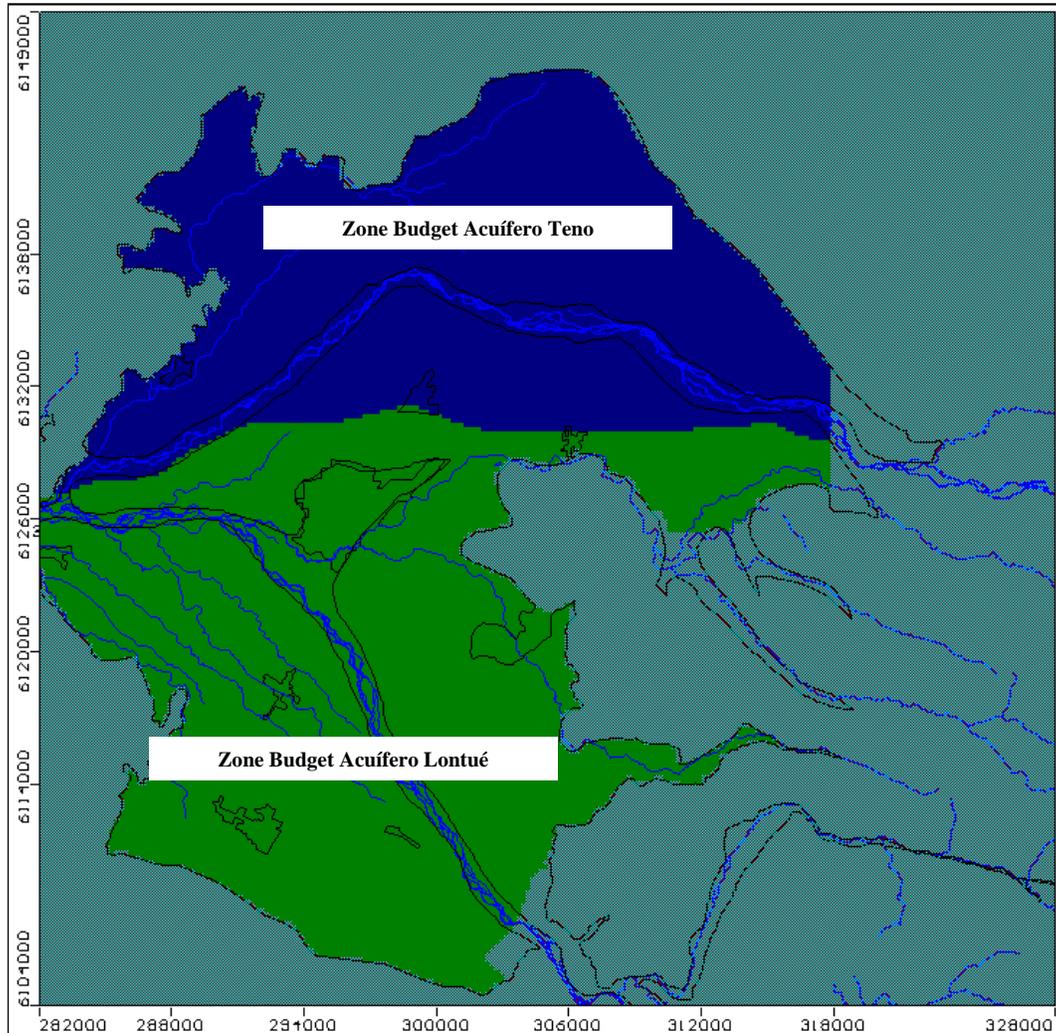
8.9. Zone Budget Definidos

Para el modelo Teno-Lontué, considerando su extensión espacial, y los cauces que involucra, se consideró subdividir el estrato acuífero correspondiente en los subsistemas Teno, Lontué y Mataquito. Esta división genera balances de flujos más detallados por subcuenca, la interacción entre ellas, y el aporte neto sobre el valle del río Mataquito que entregan las subcuencas de Teno y Lontué.

Para esto, se utilizó la herramienta **“zone budget”** de Visual Modflow, la cual permite definir las superficies a partir de las cuales se requiere sectorizar de los resultados de la modelación numérica.

A continuación, la Figura 8-10 muestra las zonas definidas. Para el Modelo del río Mataquito no se consideró ninguna subdivisión, puesto que la morfología de su cuenca no lo hace necesario.

Figura 8-10
Zone Budget Definidos Modelo Teno-Lontué



8.10. Calibración de los Modelos Numéricos

8.10.1. Calibración Modelo Teno-Lontué

A continuación, en el Cuadro 8-1 se presentan los resultados del ajuste obtenido para los pozos considerados en el Modelo Teno-Lontué. El Cuadro 8-2, en tanto muestra los parámetros estadísticos de ajuste típicos que se obtuvieron luego del proceso de calibración. Además, el Gráfico 8-1 presenta los resultados de manera gráfica.

Cuadro 8-1. Resultados Niveles Observados y Calculados Modelo Teno-Lontué

Pozo	Niveles Freáticos (msnm)		Diferencia (m) Calc-Obs (Δ)
	Observado	Calculado	
100	239,0	233,8	-5,2
101	174,0	184,2	10,2
102	161,0	160,3	-0,7
105	155,9	145,9	-10,0
11	244,0	270,5	26,5
12	179,0	203,3	24,3
126	243,0	236,7	-6,3
128	186,0	194,8	8,8
13	231,0	220,3	-10,7
134	150,0	167,7	17,7
135	152,0	154,2	2,2
137	188,0	196,8	8,8
14	187,0	200,1	13,1
146	243,0	244,2	1,2
148	230,0	237,1	7,1
149	248,0	241,9	-6,1
150	247,0	241,2	-5,8
151	236,0	243,4	7,4
152	237,0	230,3	-6,7
153	301,0	298,5	-2,5
154	330,0	308,7	-21,3
155	297,0	271,2	-25,8
156	338,0	316,1	-21,9
158	258,0	257,0	-1,0
159	231,0	232,7	1,7
16	277,0	280,1	3,1
160	306,0	329,4	23,4
162	306,0	308,6	2,6
163	166,0	163,0	-3,0
164	165,4	163,1	-2,3
165	262,0	267,3	5,3
166	237,0	236,0	-1,0
167	172,0	160,7	-11,3
168	165,0	151,5	-13,5
169	161,4	152,0	-9,4
17	177,0	169,8	-7,2
170	214,0	218,6	4,6
171	200,0	217,5	17,5
174	279,0	276,3	-2,7
175	244,0	243,2	-0,8
176	192,0	207,4	15,4
177	205,0	210,8	5,8
178	226,0	225,7	-0,3
179	291,0	273,2	-17,8
181	239,2	231,4	-7,8
184	209,0	212,6	3,6
185	245,0	252,2	7,2

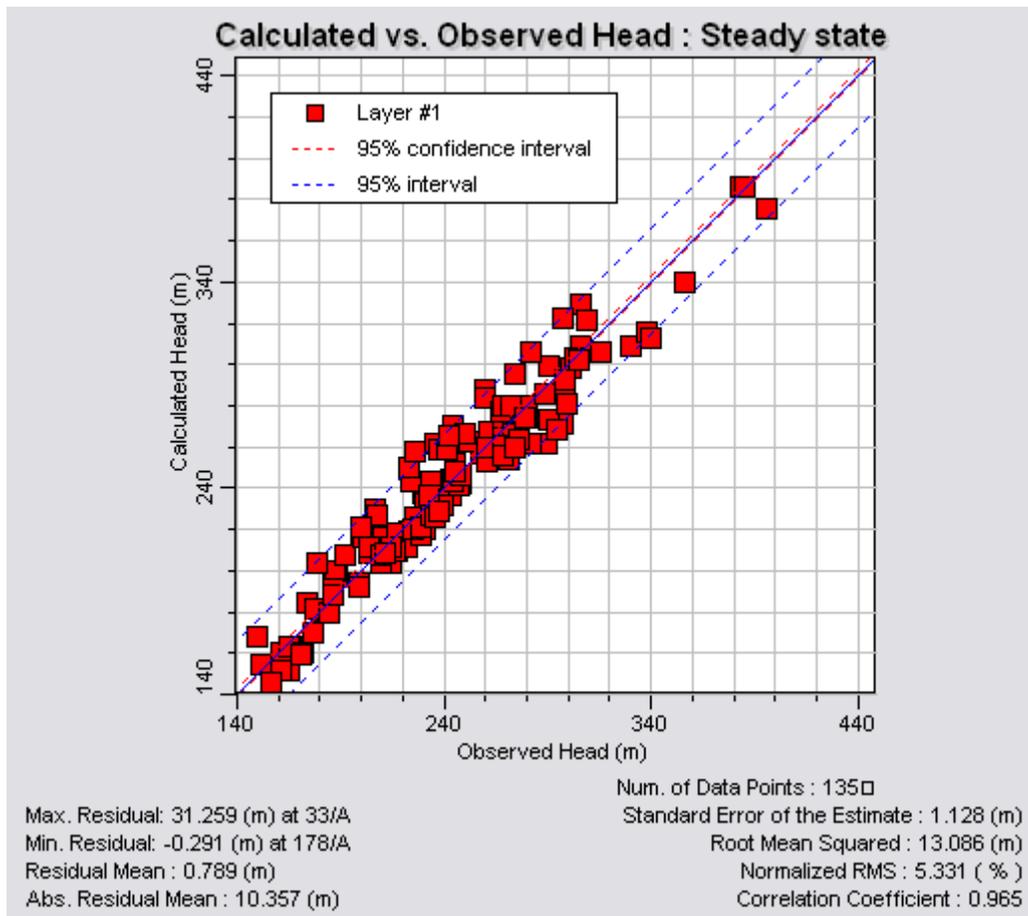
Pozo	Niveles Freáticos (msnm)		Diferencia (m) Calc-Obs (Δ)
	Observado	Calculado	
186	291,0	299,0	8,0
187	303,0	303,5	0,5
188	274,0	295,4	21,4
189	224,0	243,0	19,0
19	234,0	243,6	9,6
190	261,0	252,9	-8,1
191	236,0	262,0	26,0
192	217,0	209,1	-7,9
193	252,0	262,4	10,4
194	248,0	245,7	-2,3
195	222,5	219,0	-3,5
196	220,0	215,5	-4,5
197	214,0	204,0	-10,0
198	222,0	211,8	-10,2
199	171,0	159,1	-11,9
2	215,0	218,2	3,2
20	280,0	279,5	-0,5
200	155,9	145,9	-10,0
21	340,0	312,3	-27,7
23	268,5	272,6	4,1
24	260,0	288,0	28,0
25	223,0	250,0	27,0
26	298,0	286,3	-11,7
27	298,0	287,5	-10,5
3	229,0	216,9	-12,1
31	204,0	208,5	4,5
32	298,5	292,2	-6,3
33	226,0	257,3	31,3
34	305,0	301,9	-3,1
35	179,0	204,1	25,1
36	290,0	261,7	-28,3
37	282,0	261,3	-20,7
38	204,0	211,8	7,8
4	208,0	215,9	7,9
40	268,5	264,5	-4,0
41	261,0	260,0	-1,0
42	273,0	266,2	-6,8
43	271,0	254,4	-16,6
44	268,0	260,8	-7,2
46	356,0	339,4	-16,6
47	260,0	283,5	23,5
48	186,5	190,7	4,2
49	299,0	281,0	-18,0
5	182,0	180,2	-1,8
52	245,0	248,4	3,4
53	316,0	305,7	-10,3
54	178,0	181,9	3,9
55	250,0	266,5	16,5
56	216,7	209,2	-7,5
57	233,0	237,0	4,0
58	276,0	263,7	-12,3
59	268,0	255,5	-12,5

Pozo	Niveles Freáticos (msnm)		Diferencia (m) Calc-Obs (Δ)
	Observado	Calculado	
6	274,0	259,4	-14,6
60	294,0	268,4	-25,6
61	297,2	322,3	25,1
62	211,0	209,1	-1,9
63	214,0	211,9	-2,1
64	237,0	258,7	21,7
67	201,0	216,5	15,5
68	288,6	285,7	-2,9
70	204,0	210,9	6,9
73	209,0	203,5	-5,5
74	225,0	220,4	-4,6
75	229,0	220,8	-8,2
76	281,7	305,7	24,0
77	209,2	207,6	-1,6
78	206,7	230,2	23,5
79	241,0	258,4	17,4
8	383,5	386,0	2,5
80	242,0	265,7	23,7
81	198,4	193,6	-4,9
82	309,0	321,5	12,5
83	207,7	227,2	19,5
84	279,9	274,0	-5,9
85	200,0	221,2	21,2
86	267,5	276,9	9,5
87	268,7	280,0	11,3
88	272,7	280,0	7,4
89	198,6	192,5	-6,1
9	385,0	386,3	1,3
92	279,0	274,2	-4,8
93	395,5	375,6	-19,9
94	234,0	226,8	-7,2
95	235,1	225,6	-9,5
96	211,0	208,8	-2,2
97	184,0	179,1	-4,9
98	186,0	188,7	2,7
99	237,5	229,2	-8,3

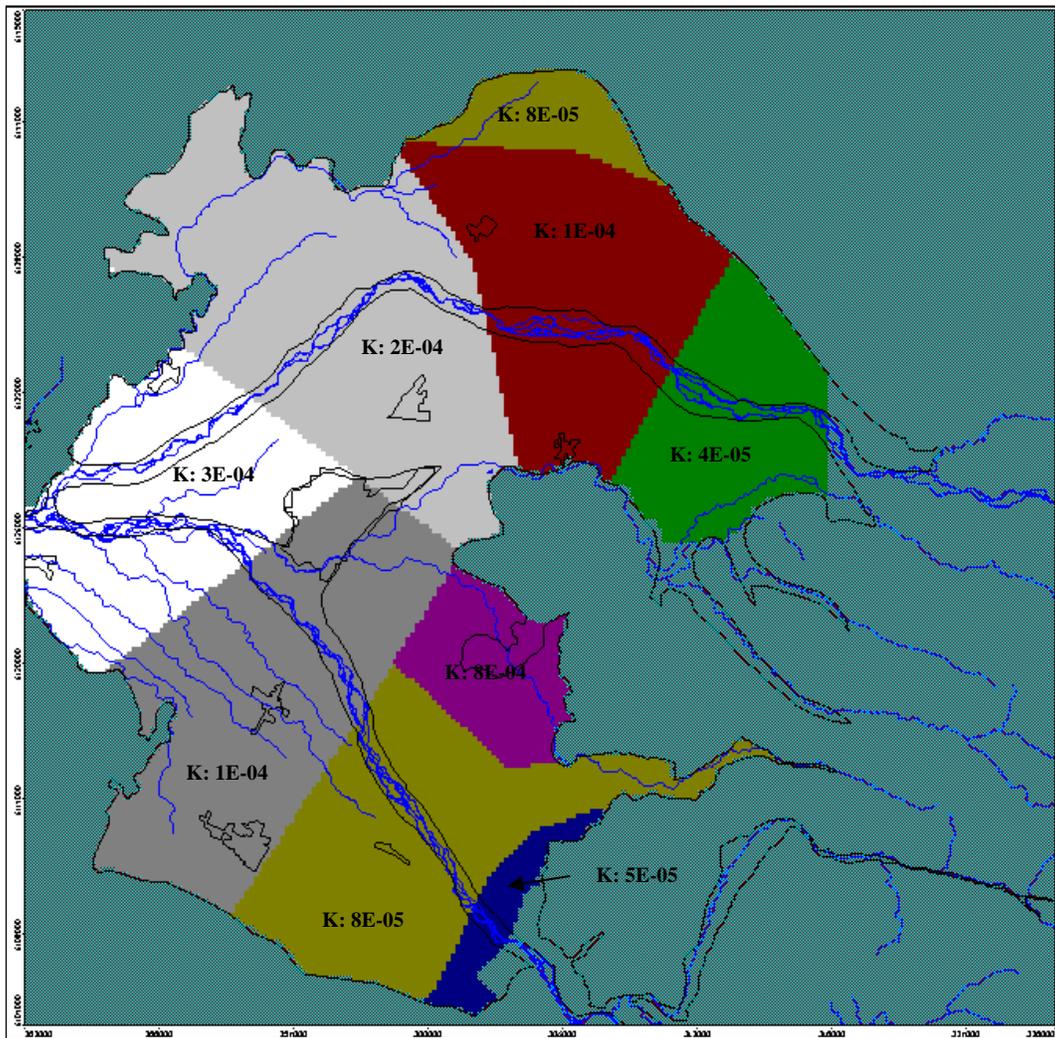
Cuadro 8-2. Parámetros Estadísticos Obtenidos Desde el ajuste Modelo Teno-Lontué.

Parámetro	Fórmula	Valor
Coefficiente de Correlación R	-	0,965
Coefficiente de Determinación R ²	-	0,931
Error Promedio	$(1/N) \sum (N_{CAL} - N_{OBS})$	0,79
Error Promedio Valor Abs.	$(1/N) \sum N_{CAL} - N_{OBS} $	10,36
Máximo Valor Abs. Δ	$\text{Max}(N_{CAL} - N_{OBS})$	31,26
Mínimo Valor Abs. Δ	$\text{Min}(N_{CAL} - N_{OBS})$	0,29
RMS	$\sqrt{\frac{\sum (N_{CAL} - N_{OBS})^2}{N}}$	13,09
RMS Normalizado	$\frac{\text{RMS}}{\text{MAX}(N_{OBS}) - \text{MIN}(N_{OBS})}$	5,33%

Grafico 8-1. Niveles Observados y Calculados Modelo Teno-Lontué



La distribución de permeabilidades ajustadas se muestra en la siguiente figura.
Figura 8-11. Distribución de Coeficientes de Permeabilidad Obtenida en el proceso de recalibración Modelo Teno-Lontué. (Valores en m/s)



8.10.2. Calibración Modelo Mataquito

A continuación, en el Cuadro 8-3 se presentan los resultados del ajuste obtenido para los pozos considerados en el Modelo Mataquito. El Cuadro 8-4, en tanto muestra los parámetros estadísticos de ajuste típicos que se obtuvieron luego del proceso de calibración. Además, el Gráfico 8-2 presenta los resultados de manera gráfica.

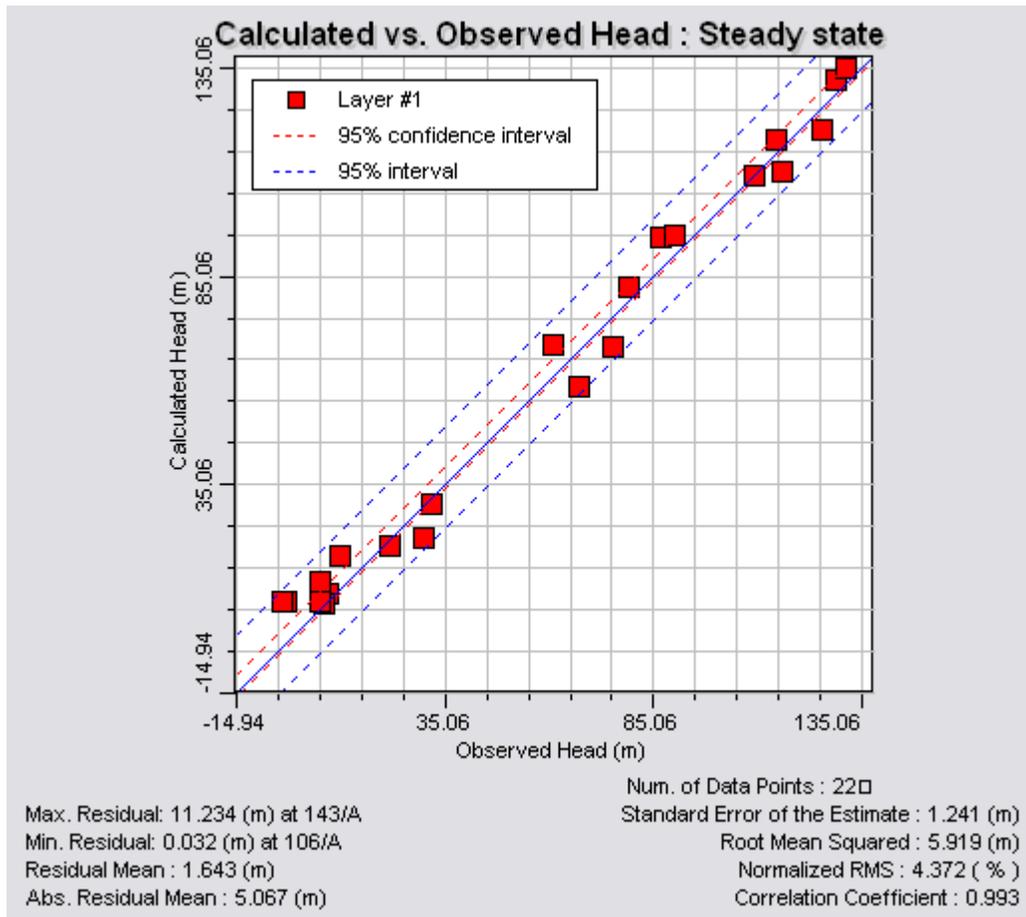
Cuadro 8-3. Resultados Niveles Observados y Calculados Modelo Mataquito

Pozo	Niveles Freáticos (msnm)		Diferencia (m) Calc-Obs (Δ)
	Observado	Calculado	
104	129,0	132,3	3,3
106	109,0	109,0	0,0
107	79,0	82,5	3,5
109	32,0	30,2	-1,8
110	30,0	22,5	-7,5
111	67,0	58,6	-8,4
117	75,5	68,0	-7,5
118	10,0	18,0	8,0
123	7,0	8,8	1,8
124	5,0	11,6	6,6
125	22,0	20,2	-1,8
129	61,0	68,5	7,5
136	87,0	94,4	7,4
140	6,0	6,6	0,6
141	5,0	7,1	2,1
142	-3,0	7,1	10,1
143	-4,0	7,2	11,2
201	90,0	94,7	4,7
22	131,4	134,9	3,5
65	115,9	110,4	-5,5
66	125,3	120,1	-5,2
91	114,4	117,7	3,3

Cuadro 8-4. Parámetros Estadísticos Obtenidos Desde el ajuste Modelo Mataquito.

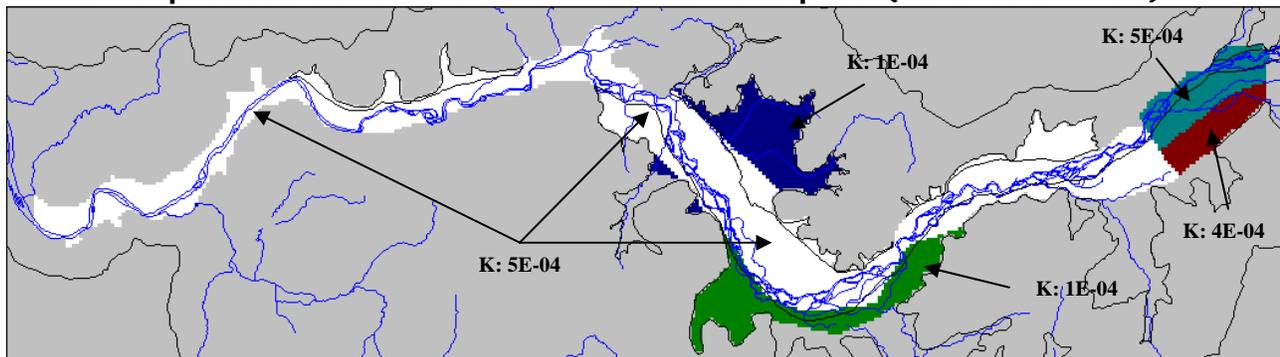
Parámetro	Fórmula	Valor
Coefficiente de Correlación R	-	0,993
Coefficiente de Determinación R ²	-	0,986
Error Promedio	$(1/N) \sum (N_{CAL} - N_{OBS})$	1,64
Error Promedio Valor Abs.	$(1/N) \sum N_{CAL} - N_{OBS} $	5,07
Máximo Valor Abs. Δ	$\text{Max}(N_{CAL} - N_{OBS})$	11,23
Mínimo Valor Abs. D	$\text{Min}(N_{CAL} - N_{OBS})$	0,03
RMS	$\sqrt{\frac{\sum (N_{CAL} - N_{OBS})^2}{N}}$	5,92
RMS Normalizado	$\frac{\text{RMS}}{\text{MAX}(N_{OBS}) - \text{MIN}(N_{OBS})}$	4,37%

Grafico 8-2. Niveles Observados y Calculados Modelo Mataquito



La distribución de permeabilidades ajustadas se muestra en la siguiente figura.

Figura 8-12. Distribución de Coeficientes de Permeabilidad Obtenida en el proceso de recalibración Modelo Mataquito (Valores en m/s).



En el Anexo 8 se adjunta el respaldo magnético con los datos de entrada y resultados obtenidos del Modflow, en el proceso de calibración de los Modelos aquí desarrollados.

9. RESULTADOS DEL MODELO

A partir de los modelos ya calibrados, se obtuvieron los siguientes resultados.

9.1. Modelo Teno-Lontué

A continuación, en la Figura 9-1 se presentan las curvas equipotenciales obtenidas por el modelo Teno-Lontué ya calibrado.

Además, se determinaron balances hídricos asociados a los acuíferos correspondientes a las subcuencas de Teno y Lontué. Estos balances se basaron en los **zone budget** presentados en la Figura 8-10. Los Cuadros 9-1 y 9-2 muestran estos resultados, mientras que la Figura 9-2 los presenta de manera gráfica.

Cuadro 9-1. Balance Hídrico Obtenido Subcuenca Río Teno

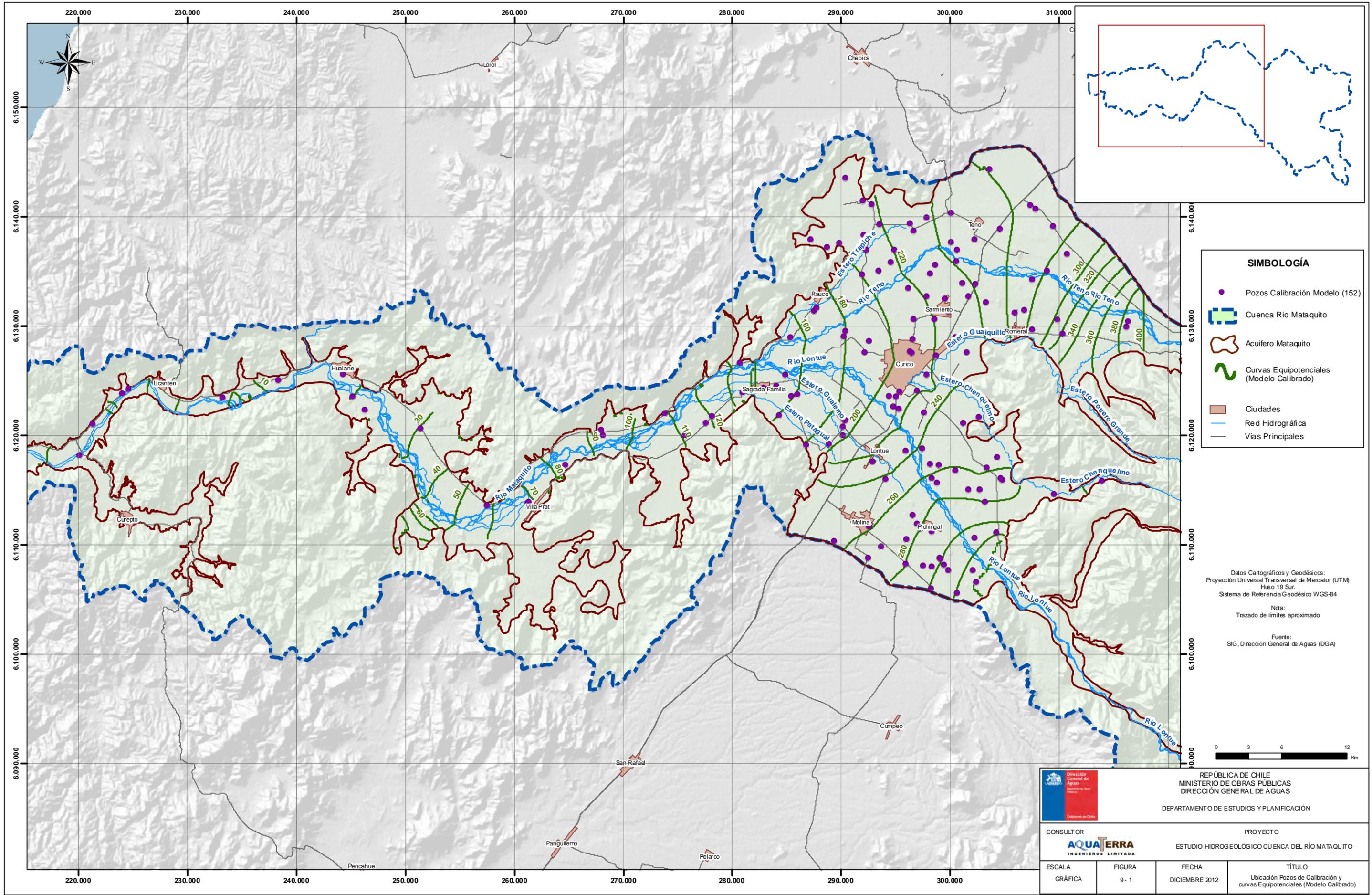
Entradas			Salidas		
Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)	Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)
Flujo Subterráneo	25.060	0,3	Descarga Pozos	195.870	2,3
Recarga Areal	188.310	2,2	Afloramientos Río	434.600	5,0
Recarga Río	354.170	4,1			
Aporte Lontué	62.930	0,7			
Total	630.470	7,3	Total	630.470	7,3
Error: 0,000%					

Se observa un afloramiento neto sobre los cauces de la subcuenca de 0,9 m3/s. Por otro lado y de acuerdo a los resultados de afloramientos presentados en el punto 6.7 anterior, en el río Teno (en el tramo comprendido entre Puente Rauco y antes de la confluencia con el Estero Trapiche) se determinó un valor de afloramiento, en el período Octubre –Noviembre del año 2012, promedio igual a 1.056 m3/s.

Cuadro 9-2. Balance Hídrico Obtenido Subcuenca Río Lontué

Entradas			Salidas		
Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)	Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)
Flujo Subterráneo	83.187	1,0	Flujo Subterráneo	98.354	1,1
Recarga Areal	502.920	5,8	Descarga Pozos	194.780	2,3
Recarga Río	105.730	1,2	Afloramientos Río	335.770	3,9
			Salida Mataquito	62.930	0,7
Total	691.837	8,0	Total	691834	8,0
Error: 0,000%					

Se observa un afloramiento neto sobre los cauces de la subcuenca de 2,7 m3/s.



SIMBOLOGÍA

- Pozos Calibración Modelo (152)
- Cuenca Rio Mataquito
- Acuífero Mataquito
- ~ Curvas Equipotenciales (Modelo Calibrado)
- Ciudades
- Red Hidrográfica
- Vías Principales

Datos Cartográficos y Geodésicos:
 Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM)
 Huso 19 Sur.
 Sistema de Referencia Geodésico WGS-84

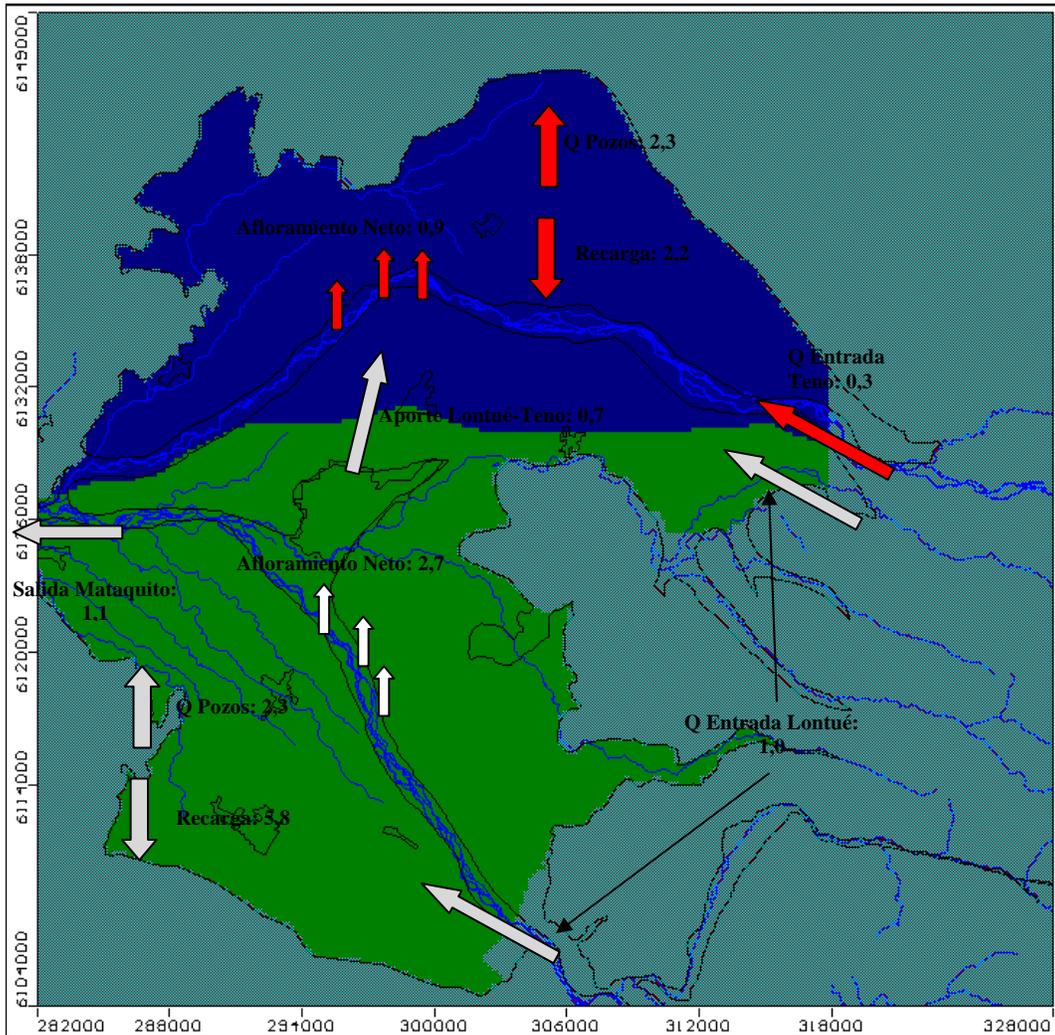
Nda:
 Trazado de límites aproximado

Fuente:
 SIG, Dirección General de Aguas (DGA)



		REPÚBLICA DE CHILE MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN	
CONSULTOR 		PROYECTO ESTUDIO HIDROGEOLOGICO CUENCA DEL RIO MATAQUITO	
ESCALA GRÁFICA	FIGURA 9- 1	FECHA DICIEMBRE 2012	TÍTULO Ubicación Pozos de Calibración y curvas Equipotenciales (Modelo Calibrado)

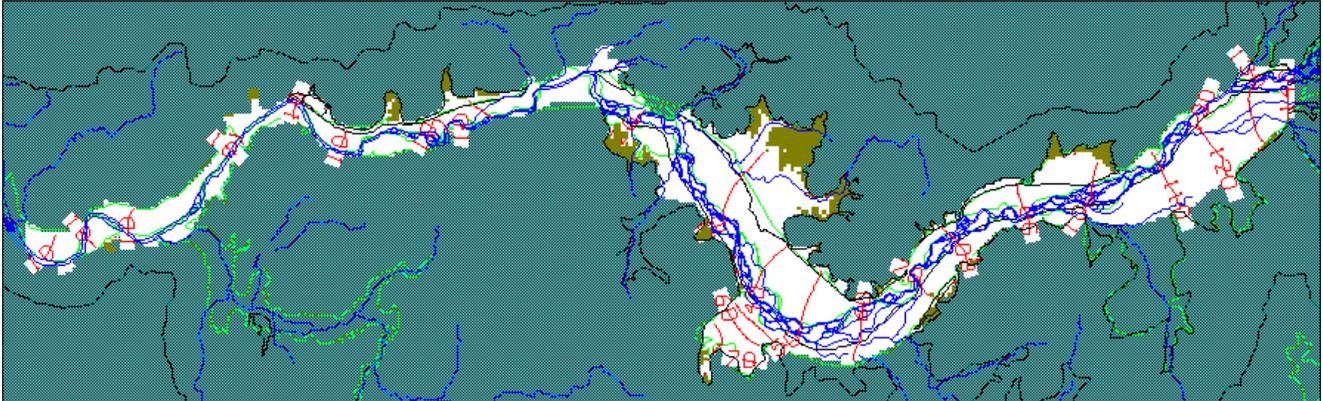
Figura 9-2. Balance Hídrico Modelo Teno–Lontué. (Valores en m³/s)



9.2. Modelo Mataquito

En la Figura 9-3 siguiente se muestran las curvas equipotenciales obtenidas por el modelo Mataquito ya calibrado.

Figura 9-3 Curvas Equipotenciales Obtenidas Modelo Mataquito



Además, se determinaron balances hídricos asociados al acuífero del valle del río Mataquito. A continuación, el Cuadro 9-3 muestra estos resultados.

Cuadro 9-3. Balance Hídrico Obtenido Modelo Mataquito

Entradas			Salidas		
Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)	Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)
Flujo Subterráneo	91.371	1,1	Descarga Pozos	19.802	0,2
Recarga Areal	186.640	2,2	Afloramientos Río	507.640	5,9
Recarga Río	249.430	2,9			
Total	527.441	6,1	Total	527.442	6,1
Error: 0,000%					

Se observa un afloramiento neto sobre el cauce del río Mataquito de 3,0 m3/s.

10. OPERACIÓN DEL MODELO

Con el modelo ya calibrado, se evaluó la dinámica de la cuenca bajo 2 escenarios que representan condiciones alternativas en su operación, respecto a las condiciones de recarga hidrológica por un lado, y a la demanda efectiva sobre el estrato acuífero por el otro. Específicamente, dichos escenarios son:

- **Escenario 1:** Aumento de las recargas de 85% a 50% de probabilidad de excedencia.
- **Escenario 2:** Incorporación de todas las captaciones catastradas, con y sin derechos asociados (y recarga de 85%).
- **Escenario 3:** Variación de Factores de Uso de Pozos de Bombeo.

Una vez operado el modelo con los escenarios anteriores, se obtuvieron resultados de curvas equipotenciales y balances hídricos, los cuales se detallan a continuación.

10.1. Modelo Teno-Lontué

10.1.1. Escenario 1: Recarga Asociada a Probabilidad de Excedencia 50%

Para este escenario, representativo de una condición hidrológica seca, se obtuvieron los resultados que se presentan a continuación.

La Figura 10-1 presenta las recargas incorporadas al modelo para este escenario. Los Cuadros 10-1, y 10-2 presentan los balances hídricos obtenidos en los zone budget definidos, mientras que la Figura 10-2 presenta dichos balances de manera gráfica.

Cabe indicar que las curvas equipotenciales obtenidas en este escenario presentan interesantes variaciones respecto a las obtenidas en el escenario de calibración, especialmente en la zona media del río Teno, al noreste de la localidad de Romeral. Se observa un ligero desplazamiento de las curvas hacia el oeste (de aproximadamente 1 Km.), producto del aumento de las recargas, y por ende, de los flujos subterráneos obtenidos. Esto se ratifica al observar las variaciones de nivel que se registraron en los pozos de calibración, las cuales fueron ligeramente apreciables (en promedio 3,9 m). Las mayores variaciones se observan justamente en la zona señalada anteriormente. (ver Figura 10-3)

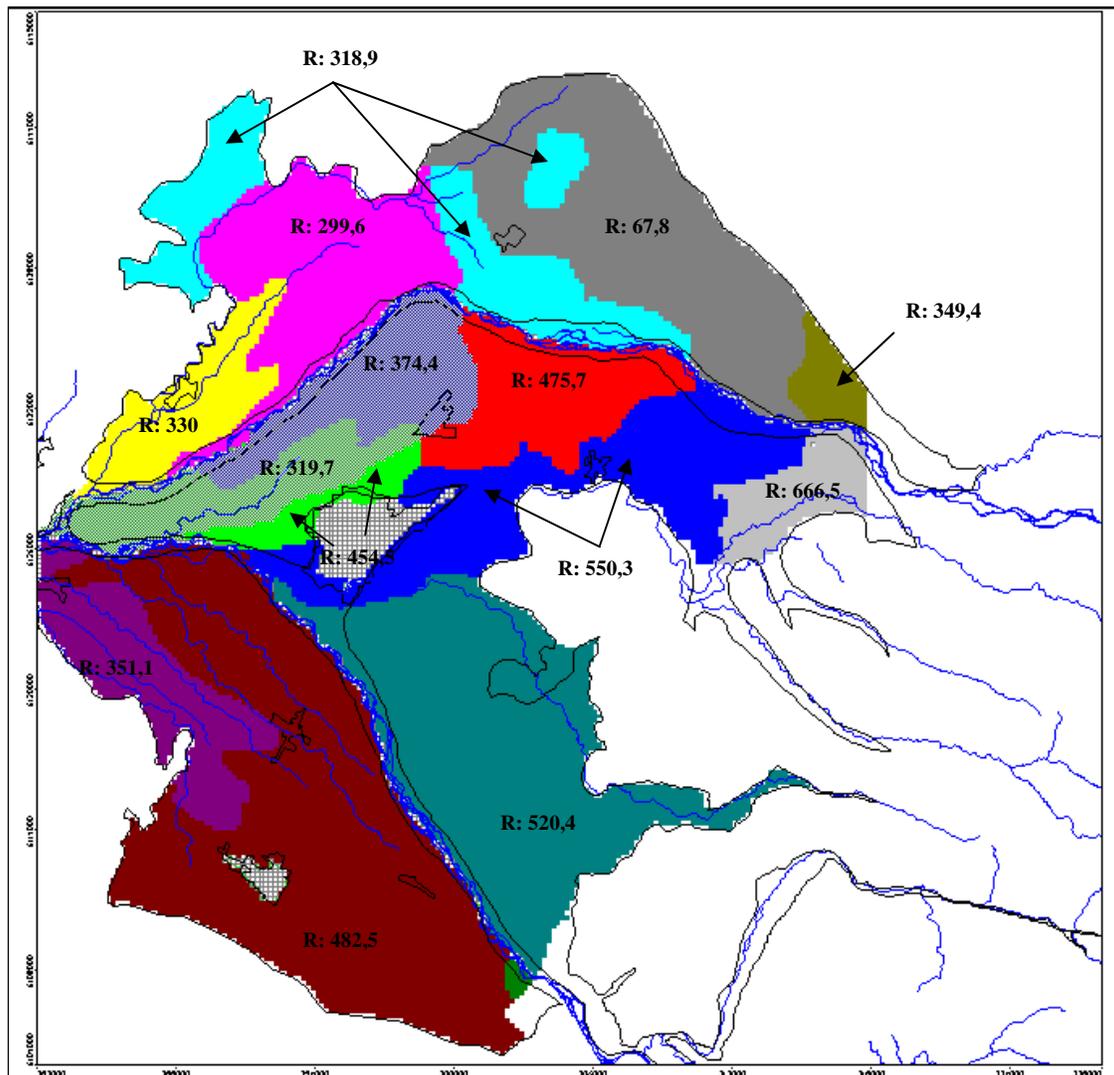
Por otro lado, se observa un importante aumento del afloramiento neto con respecto a lo obtenido en el escenario de calibración (3,7 a 6,0 m³/s, casi un 40%), lo que indica la sensibilidad de la respuesta del acuífero frente a las variaciones de la recarga naturales generadas por la hidrología local.

Esta sensibilidad puede explicarse debido a la consideración de celdas de río de carga constante; en efecto, al existir una mayor recarga, la carga hidráulica entre el río y la napa disminuye, lo que se traduce en una menor recarga desde los cauces, y por ende, mayores afloramientos netos.

El resultado antes obtenido pone de manifiesto la necesidad de generar información que permita interpretar de mejor manera la interacción río-acuífero, y además, realizar modelaciones en régimen transiente que involucren las variaciones estacionales en los niveles de los cauces.

Finalmente en el Cuadro 10-3 se muestran los niveles estáticos obtenidos para este escenario 1 y sus respectivas variaciones respecto al escenario de calibración.

Figura 10-1 Recargas Escenario 50 % Pbb. de excedencia Incorporadas al Modelo Teno-Lontué (Valores en mm/año)



Cuadro 10-1. Balance Hídrico Obtenido Subcuenca Río Teno

Entradas			Salidas		
Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)	Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)
Flujo Subterráneo	18.532	0,2	Descarga Pozos	195.870	2,3
Recarga Areal	286.390	3,3	Afloramientos Río	505.450	5,9
Recarga Río	308.090	3,6			
Aporte Lontué	88.307	1,0			
Total	701.319	8,1	Total	701.320	8,1
Error: 0,000%					

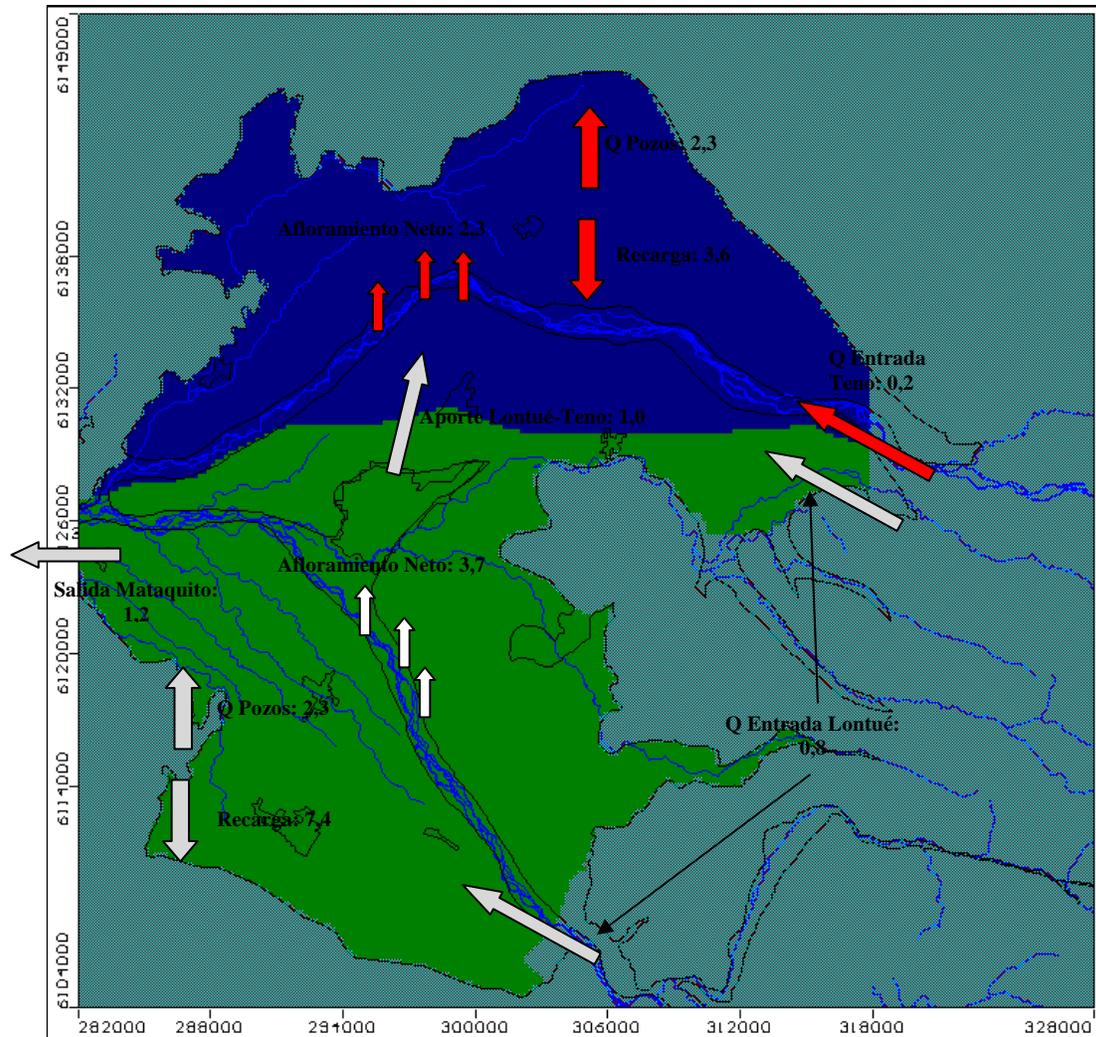
Se observa un afloramiento neto sobre los cauces de la subcuenca de 2,3 m3/s.

Cuadro 10-2. Balance Hídrico Obtenido Subcuenca Río Lontué.

Entradas			Salidas		
Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)	Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)
Flujo Subterráneo	66.567	0,8	Flujo Subterráneo	101.980	1,2
Recarga Areal	636.900	7,4	Descarga Pozos	194.780	2,3
Recarga Río	86.655	1,0	Afloramientos Río	405.060	4,7
			Salida Teno	88.307	1,0
Total	790.122	9,1	Total	790127	9.1
Error: 0,001%					

Se observa un afloramiento neto sobre los cauces de la subcuenca de 3,7 m3/s.

Figura 10-2. Balance Hídrico Cuenca Teno-Lontué. Escenario Recarga 50 % (Valores en m³/s).

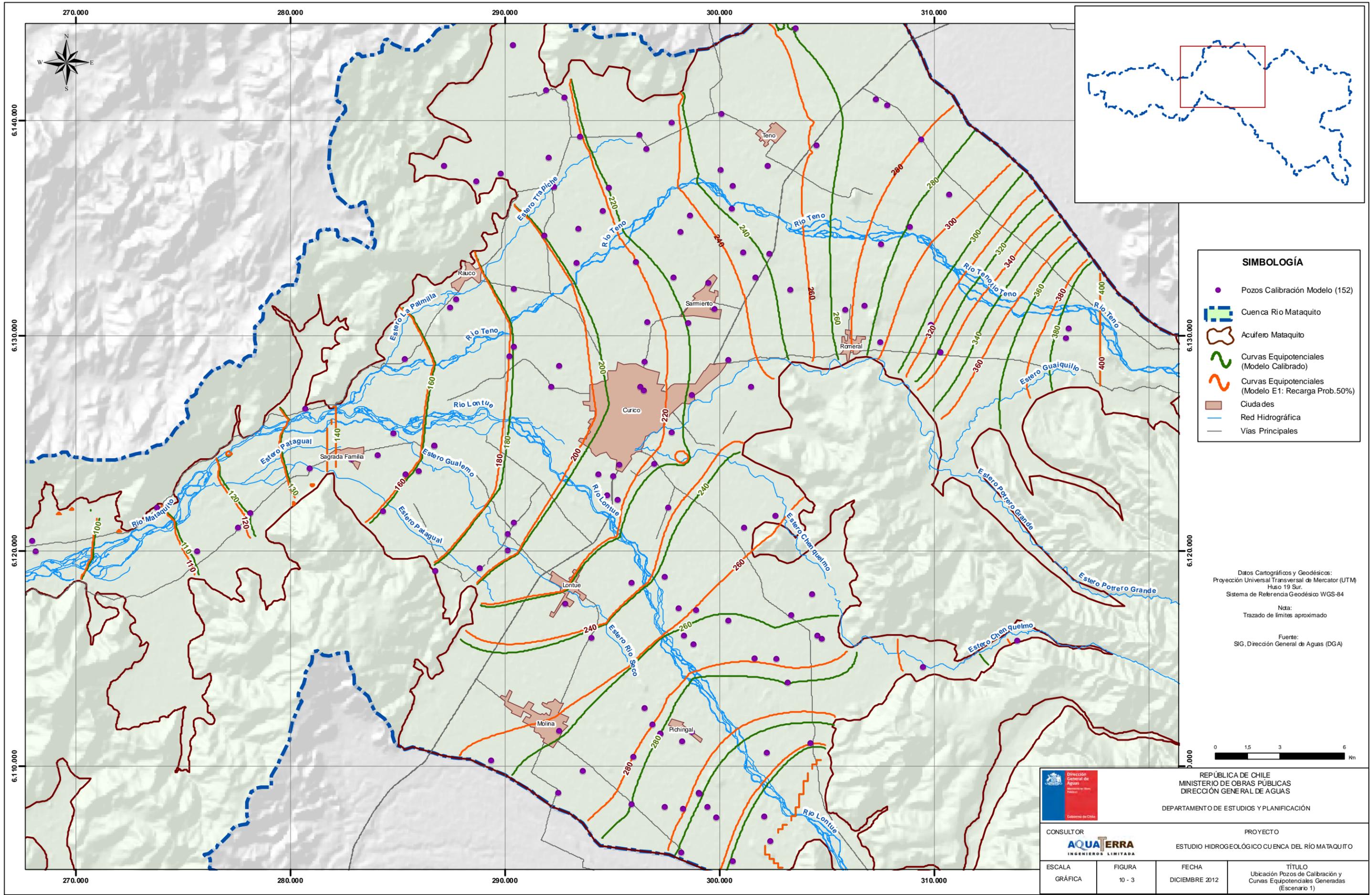


Cuadro 10-3 Niveles Pozos Calibración Escenario de Operación 1 y 2

Pozo	Z Calculado			Variación Respecto Calibración	
	Calibración	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 1	Escenario 2
		Recarga 50%	Todas Capt.		
100	233.8	237.9	229.5	4.2	-4,3
101	184.2	184.7	183.7	0.5	-0,5
102	160.3	160.8	160.1	0.6	-0,2
105	145.9	146.1	145.8	0.2	-0,1
11	270.5	273.0	269.0	2.6	-1,4
12	203.3	203.6	203.2	0.3	-0,1
126	236.7	243.8	229.2	7.1	-7,5
128	194.8	195.7	194.4	0.9	-0,4
13	220.3	221.8	218.6	1.5	-1,6
134	167.7	167.9	167.5	0.2	-0,1
135	154.2	154.4	154.0	0.2	-0,2
137	196.8	197.2	196.5	0.4	-0,3
14	200.1	200.7	199.5	0.6	-0,6
146	244.2	248.7	239.8	4.5	-4,4
148	237.1	243.5	230.7	6.4	-6,5
149	241.9	247.0	237.0	5.1	-4,9
150	241.2	248.3	234.3	7.1	-6,9
151	243.4	251.6	235.6	8.2	-7,8
152	230.3	231.7	229.0	1.3	-1,3
153	298.5	302.3	296.2	3.8	-2,3
154	308.7	312.4	307.1	3.7	-1,6
155	271.2	277.5	267.4	6.3	-3,8
156	316.1	319.3	314.4	3.2	-1,7
158	257.0	260.8	254.6	3.8	-2,4
159	232.7	236.5	229.7	3.8	-3,1
16	280.1	284.6	277.7	4.4	-2,4
160	329.4	331.1	328.5	1.7	-0,9
162	308.6	311.9	306.3	3.3	-2,2
163	163.0	163.5	162.6	0.5	-0,4
164	163.1	163.5	162.7	0.5	-0,4
165	267.3	270.0	265.6	2.7	-1,7
166	236.0	236.6	235.1	0.7	-0,8
167	160.7	161.0	160.5	0.4	-0,2
168	151.5	151.8	151.4	0.3	-0,1
169	152.0	152.2	151.8	0.2	-0,1
17	169.8	170.0	169.6	0.2	-0,1
170	218.6	221.8	215.0	3.2	-3,6
171	217.5	221.3	212.5	3.8	-4,9
174	276.3	280.2	274.2	3.9	-2,1
175	243.2	244.3	241.8	1.1	-1,4
176	207.4	209.7	204.8	2.3	-2,6
177	210.8	213.3	207.9	2.5	-2,9
178	225.7	226.5	225.0	0.8	-0,7
179	273.2	278.8	270.1	5.7	-3
181	231.4	233.1	229.5	1.7	-1,9
184	212.6	214.6	210.2	2.0	-2,4
185	252.2	258.3	248.3	6.2	-3,9
186	299.0	302.7	296.6	3.8	-2,3
187	303.5	307.1	301.3	3.6	-2,2
188	295.4	299.3	293.0	4.0	-2,3
189	243.0	245.4	241.4	2.4	-1,6
19	243.6	247.4	239.8	3.8	-3,8
190	252.9	255.6	251.3	2.7	-1,6
191	262.0	267.3	259.0	5.3	-3

Pozo	Z Calculado			Variación Respecto Calibración	
	Calibración	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 1	Escenario 2
		Recarga 50%	Todas Capt.		
192	209.1	209.6	208.7	0.5	-0,4
193	262.4	264.7	261.1	2.3	-1,4
194	245.7	247.7	243.2	2.0	-2,4
195	219.0	219.6	218.5	0.6	-0,5
196	215.5	215.8	215.2	0.4	-0,2
197	204.0	204.2	203.8	0.2	-0,2
198	211.8	212.3	211.5	0.5	-0,3
199	159.1	159.6	158.9	0.4	-0,2
2	218.2	218.7	218.0	0.4	-0,3
20	279.5	285.8	276.5	6.2	-3
200	145.9	146.1	145.8	0.2	-0,1
21	312.3	321.1	308.2	8.8	-4,1
23	272.6	280.1	267.7	7,5	-4,9
24	288.0	292.2	285.6	4.2	-2,4
25	250.0	252.8	247.2	2.8	-2,7
26	286.3	290.0	284.2	3.7	-2,1
27	287.5	291.1	285.2	3.6	-2,3
3	216.9	219.9	212.8	3.0	-4,1
31	208.5	209.6	207.2	1.1	-1,3
32	292.2	304.1	289.1	11.9	-3
33	257.3	261.6	255.0	4.3	-2,2
34	301.9	305.6	299.7	3.7	-2,2
35	204.1	204.6	204.0	0.5	-0,1
36	261.7	268.5	257.7	6.8	-4
37	261.3	268.1	257.4	6.8	-4
38	211.8	212.8	211.6	1.0	-0,2
4	215.9	217.9	213.2	2.0	-2,7
40	264.5	270.6	259.8	6.0	-4,7
41	260.0	261.1	259.1	1.1	-0,9
42	266.2	276.7	258.8	10.5	-7,4
43	254.4	263.9	246.6	9.5	-7,7
44	260.8	271.2	253.2	10.4	-7,5
46	339.4	339.5	339.3	0.1	-0,1
47	283.5	292.6	278.3	9.1	-5,2
48	190.7	192.7	188.2	2.0	-2,5
49	281.0	291.0	275.4	10.0	-5,6
5	180.2	181.1	179.1	1.0	-1
52	248.4	253.3	243.6	4.8	-4,8
53	305.7	321.1	302.9	15.4	-2,8
54	181.9	182.9	181.5	0.9	-0,4
55	266.5	270.9	263.4	4.4	-3
56	209.2	213.2	202.4	4.1	-6,8
57	237.0	238.3	235.6	1.4	-1,4
58	263.7	269.3	259.1	5.6	-4,6
59	255.5	261.2	250.6	5.7	-4,9
6	259.4	266.1	255.4	6.6	-4,1
60	268.4	277.0	262.8	8.6	-5,6
61	322.3	335.1	316.9	12.8	-5,4
62	209.1	209.6	208.7	0.5	-0,4
63	211.9	216.0	206.1	4.2	-5,7
64	258.7	262.4	256.0	3.7	-2,6
67	216.5	218.0	214.6	1.5	-1,9
68	285.7	297.4	279.4	11.7	-6,3
70	210.9	213.7	207.8	2.8	-3,2
73	203.5	204.4	202.2	0.8	-1,3
74	220.4	225.9	212.9	5.5	-7,5
75	220.8	225.5	215.1	4.7	-5,7
76	305.7	317.8	300.3	12.1	-5,4
77	207.6	211.4	199.7	3.8	-7,9

Pozo	Z Calculado			Variación Respecto Calibración	
	Calibración	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 1	Escenario 2
		Recarga 50%	Todas Capt.		
78	230.2	236.9	220.6	6.8	-9,6
79	258.4	265.1	254.4	6.6	-4
8	386.0	390.9	384.8	4.9	-1,2
80	265.7	270.0	263.2	4.2	-2,5
81	193.6	194.1	192.6	0.5	-1
82	321.5	323.8	320.0	2.3	-1,5
83	227.2	233.8	218.0	6.6	-9,2
84	274.0	284.3	267.8	10.3	-6,2
85	221.2	226.6	213.3	5.5	-7,9
86	276.9	280.1	275.2	3.1	-1,7
87	280.0	283.4	278.1	3.4	-1,9
88	280.0	283.4	278.1	3.4	-1,9
89	192.5	193.2	191.7	0.7	-0,8
9	386.3	390.7	385.2	4.4	-1,1
92	274.2	285.2	267.3	11.1	-6,9
93	375.6	382.1	373.8	6.5	-1,8
94	226.8	232.6	220.1	5.9	-6,7
95	225.6	231.9	217.9	6.3	-7,7
96	208.8	212.7	200.1	3.9	-8,6
97	179.1	180.2	178.1	1.0	-1,1
98	188.7	190.6	186.3	2.0	-2,4
99	229.2	233.4	224.7	4.2	-4,5
			Promedio	3.9	-2.9



- SIMBOLOGÍA**
- Pozos Calibración Modelo (152)
 - Cuenca Rio Mataquito
 - Acuífero Mataquito
 - Curvas Equipotenciales (Modelo Calibrado)
 - Curvas Equipotenciales (Modelo E1: Recarga Prob.50%)
 - Ciudades
 - Red Hidrográfica
 - Vías Principales

Datos Cartográficos y Geodésicos:
 Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM)
 Huso 19 Sur.
 Sistema de Referencia Geodésico WGS-84

Nda:
 Trazado de límites aproximado

Fuente:
 SIG, Dirección General de Aguas (DGA)



		REPÚBLICA DE CHILE MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN	
CONSULTOR		PROYECTO	
		ESTUDIO HIDROGEOLOGICO CUENCA DEL RIO MATAQUITO	
ESCALA	FIGURA	FECHA	TÍTULO
GRÁFICA	10 - 3	DICIEMBRE 2012	Ubicación Pozos de Calibración y Curvas Equipotenciales Generadas (Escenario 1)

10.1.2. Escenario 2: Total de las Captaciones Incorporadas al Modelo

Para este escenario, representativo de una condición máxima de explotación sobre el acuífero, se obtuvieron los resultados que se presentan a continuación. Los Cuadros 10-4 y 10-5 presentan los balances hídricos obtenidos en los *zone budget* definidos, mientras que la Figura 10-4 presenta dichos balances de manera gráfica. En el Cuadro 10-3 anterior se presentan los niveles en los pozos de calibración para este escenario de operación y su variación respecto del nivel en el escenario de calibración.

Cuadro 10-4. Balance Hídrico Obtenido Subcuenca Río Teno

Entradas			Salidas		
Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)	Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)
Flujo Subterráneo	26.677	0,3	Descarga Pozos	256.930	3,0
Recarga Areal	188.310	2,2	Afloramientos Río	383.160	4,4
Recarga Río	397.740	4,6			
Aporte Lontué	27.360	0,3			
Total	640.087	7,4	Total	640.090	7,4
Error: 0,000%					

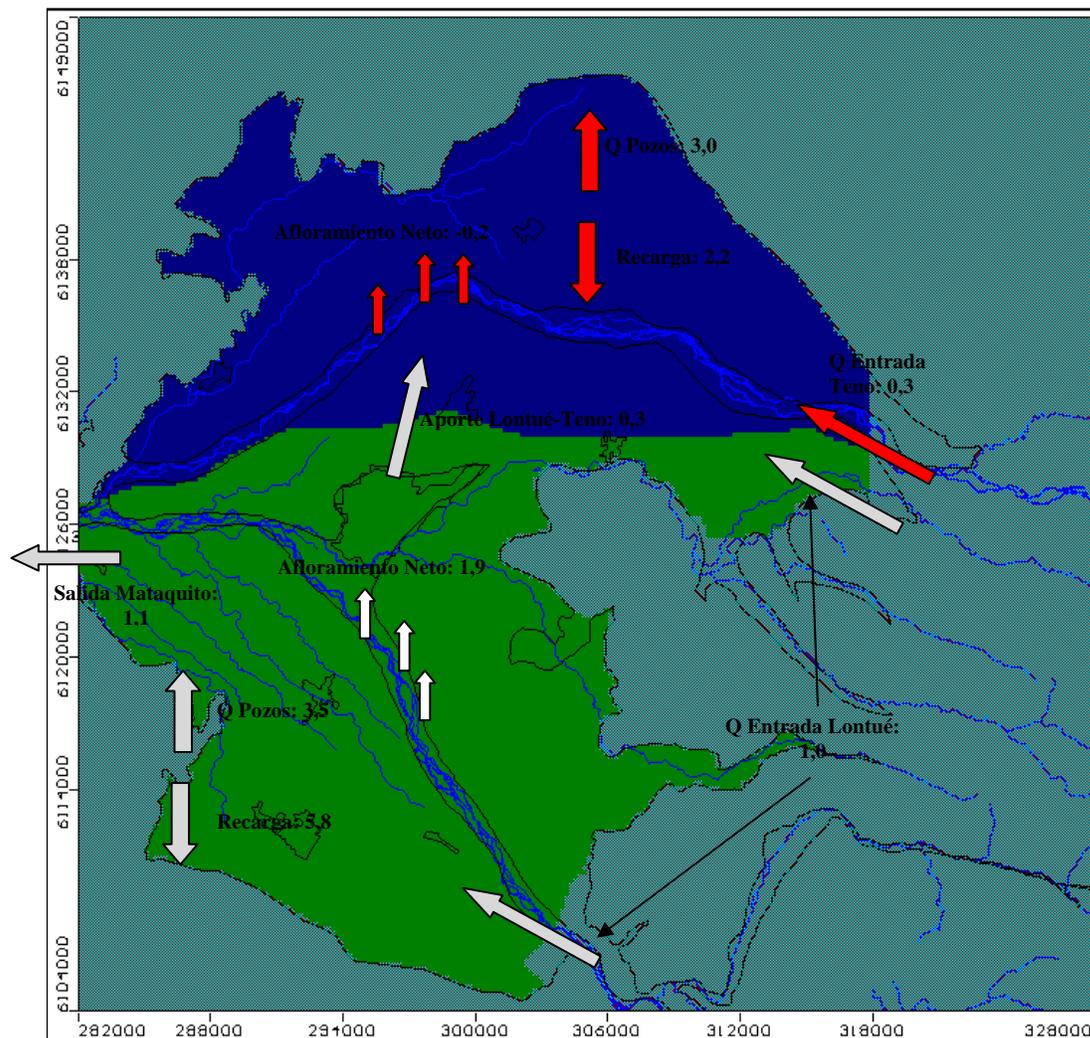
Se observa que, en este caso, no existe afloramiento neto sobre los cauces de la subcuenca, sino una infiltración desde los cauces de 0,2 m³/s provocada por el aumento de los caudales de bombeos

Cuadro 10-5. Balance Hídrico Obtenido Subcuenca Río Lontué.

Entradas			Salidas		
Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)	Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)
Flujo Subterráneo	89.602	1,0	Flujo Subterráneo	97.147	1,1
Recarga Areal	502.920	5,8	Descarga Pozos	306.160	3,5
Recarga Río	122.620	1,4	Afloramientos Río	284.480	3,3
			Salida Teno	27.360	0,3
Total	715.142	8,3	Total	715.147	8,3
Error: 0,001%					

Se observa un afloramiento neto sobre los cauces de la subcuenca de 1,9 m³/s.

Figura 10-4 Balance Hídrico Cuenca Teno-Lontué. Escenario Todas Las captaciones Incorporadas (Valores en m³/s)



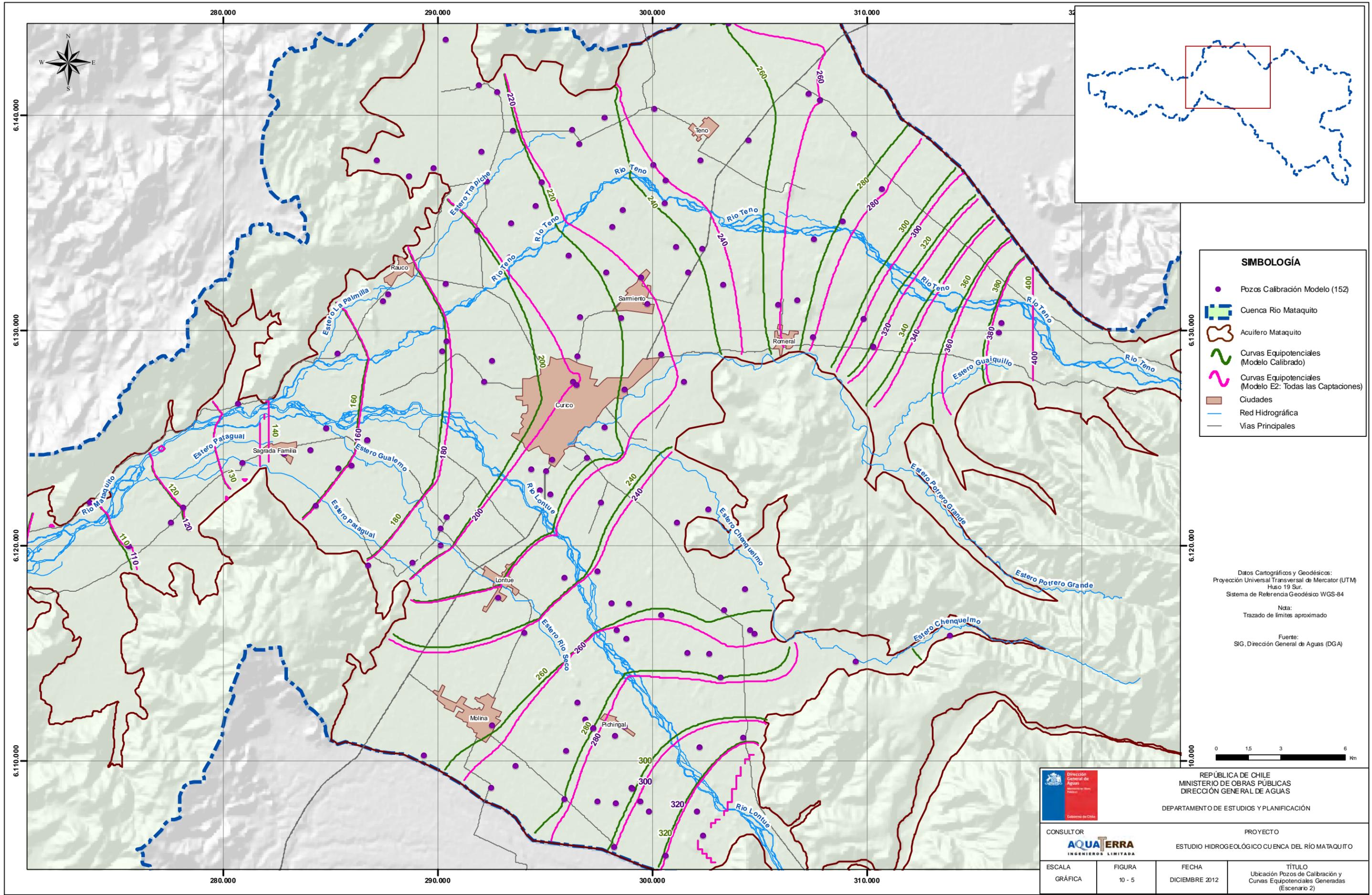
Producto del aumento de los bombeos, se observa principalmente una disminución en los caudales de afloramientos, producto principalmente de las recargas desde los cauces inducidas debido a la mayor extracción desde el acuífero.

Además, al comparar las curvas equipotenciales, se observa una interesante variación respecto a las obtenidas para el escenario de calibración. En efecto, se observa un traslado de las curvas hacia el oriente, siendo más notorio en la zona media del valle del río Teno (al noreste de la localidad de Romeral), donde la equipotencial 260 msnm se traslada hasta 3 km hacia el este. (ver Figura 10-5)

Al comparar los niveles obtenidos en los pozos de calibración, se observa un descenso promedio de 6,8 m, siendo mayor en aquellos pozos ubicados en la zona antes mencionada.

Por otro lado, se observa una disminución importante de los caudales de afloramiento respecto al escenario calibrado (de 3,6 m³/s a 1,7 m³/s para el total de la cuenca) debido al aumento de la explotación, lo que entrega una noción de la sensibilidad de la respuesta del acuífero frente al aumento de la demanda.

En consecuencia el modelo indica que si todas las captaciones existentes actualmente en la cuenca (con y sin derecho) hicieran efectivas sus extracciones, los afloramientos sobre los cauces naturales disminuirían prácticamente en un 50%.



- SIMBOLOGÍA**
- Pozos Calibración Modelo (152)
 - Cuenca Rio Mataquito
 - Acuífero Mataquito
 - Curvas Equipotenciales (Modelo Calibrado)
 - Curvas Equipotenciales (Modelo E2: Todas las Captaciones)
 - Ciudades
 - Red Hidrográfica
 - Vías Principales

Datos Cartográficos y Geodésicos:
 Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM)
 Huso 19 Sur.
 Sistema de Referencia Geodésico WGS-84

Nda:
 Trazado de límites aproximado

Fuente:
 SIG, Dirección General de Aguas (DGA)



		REPÚBLICA DE CHILE MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN	
CONSULTOR		PROYECTO	
		ESTUDIO HIDROGEOLOGICO CUENCA DEL RIO MATAQUITO	
ESCALA	FIGURA	FECHA	TÍTULO
GRÁFICA	10 - 5	DICIEMBRE 2012	Ubicación Pozos de Calibración y Curvas Equipotenciales Generadas (Escenario 2)

10.1.3. Escenario 3: Variación Factores de Uso en Pozos de Bombeo

Para este escenario, fueron aumentados los factores de uso considerados inicialmente, lo cual permitió definir 3 subescenarios, los cuales se definen a continuación:

- Escenario 3a: Multiplicación de los factores de uso por 1,5.
- Escenario 3b: Multiplicación de los factores de uso por 3,0.
- Escenario 3c: Todos los factores equivalentes a 1,0.

Evidentemente, si producto de la ponderación un factor aumenta a un valor mayor que 1,0, se consideró dicho factor igual a 1,0.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada subescenario, y una comparación entre ellos y el resto de los escenarios presentados anteriormente.

Subescenario 3a

Cuadro 10-6. Balance Hídrico Obtenido Subcuenca Río Teno.

Entradas			Salidas		
Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)	Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)
Flujo Subterráneo	26.742	0,3	Descarga Pozos	268.520	3,1
Recarga Areal	188.310	2,2	Afloramientos Río	389.330	4,5
Recarga Río	391.350	4,5			
Aporte Lontué	51.710	0,6			
Total	658.112	7,6	Total	657.850	7,6
Error: -0,040%					

Cuadro 10-7. Balance Hídrico Obtenido Subcuenca Río Lontué.

Entradas			Salidas		
Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)	Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)
Flujo Subterráneo	91.959	1,1	Flujo Subterráneo	95.711	1.1
Recarga Areal	502.920	5,8	Descarga Pozos	270.820	3.1
Recarga Río	122.210	1,4	Afloramientos Río	298.810	3.5
			Salida Teno	51.710	0,6
Total	717.089	8,3	Total	717051	8.3
Error: -0,005%					

Subescenario 3b

Cuadro 10-8. Balance Hídrico Obtenido Subcuenca Río Teno.

Entradas			Salidas		
Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)	Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)
Flujo Subterráneo	28.186	0,3	Descarga Pozos	334.800	3,9
Recarga Areal	188.310	2,2	Afloramientos Río	353.260	4,1
Recarga Río	428.630	5,0			
Aporte Lontué	42.930	0,5			
Total	688.056	8,0	Total	688.060	8,0
Error: 0,001%					

Cuadro 10-9. Balance Hídrico Obtenido Subcuenca Río Lontué.

Entradas			Salidas		
Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)	Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)
Flujo Subterráneo	105.060	1,2	Flujo Subterráneo	93.240	1,1
Recarga Areal	502.920	5,8	Descarga Pozos	360.860	4,2
Recarga Río	148.450	1,7	Afloramientos Río	259.410	3,0
			Salida Teno	42.930	0,5
Total	756.430	8,8	Total	756.440	8,8
Error: 0,001%					

Subescenario 3c

Cuadro 10-10. Balance Hídrico Obtenido Subcuenca Río Teno.

Entradas			Salidas		
Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)	Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)
Flujo Subterráneo	30.023	0,3	Descarga Pozos	406.080	4,7
Recarga Areal	188.310	2,2	Afloramientos Río	317.930	3,7
Recarga Río	472.680	5,5			
Aporte Lontué	32.980	0,4			
Total	723.993	8,4	Total	724.010	8,4
Error: 0,002%					

Cuadro 10-11. Balance Hídrico Obtenido Subcuenca Río Lontué.

Entradas			Salidas		
Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)	Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)
Flujo Subterráneo	113.900	1,3	Flujo Subterráneo	90.056	1,0
Recarga Areal	502.880	5,8	Descarga Pozos	445.390	5,2
Recarga Río	170.520	2,0	Afloramientos Río	218.860	2,5
			Salida Teno	32.980	0,4
Total	787.300	9,1	Total	787.286	9,1
Error: -0,002%					

Comparación Subescenarios

A continuación, se comparan los resultados obtenidos entre los 3 subescenarios, y en particular, se evalúa la relación entre el caudal explotado y la variación de los niveles en los pozos de observación respecto a los niveles calibrados.

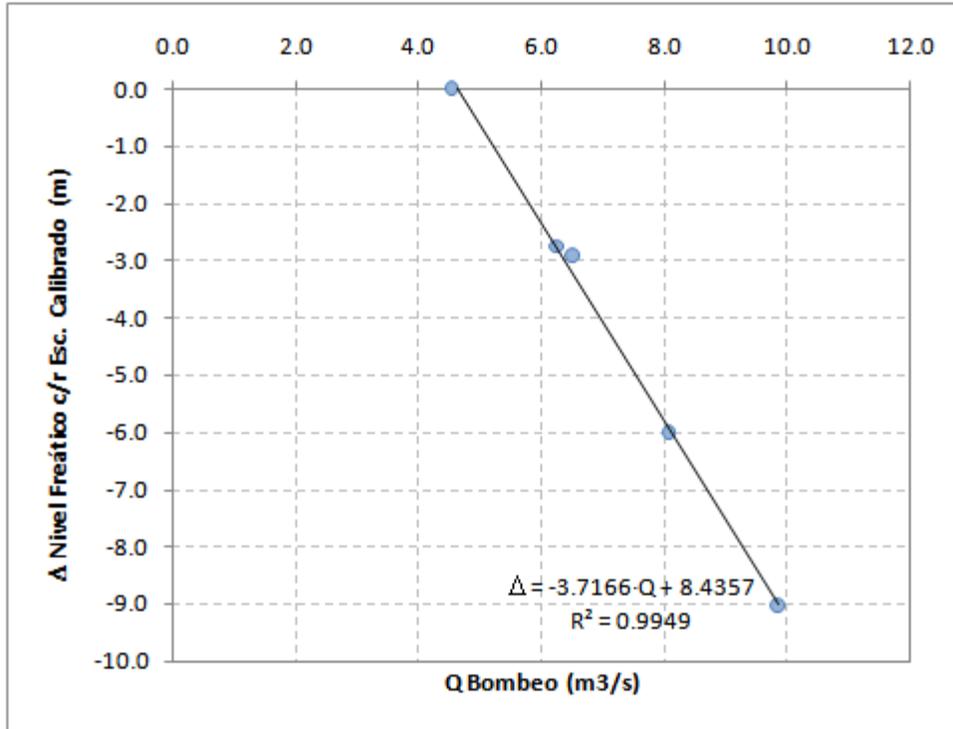
El Cuadro 10-12 presenta los resultados de manera general, considerando todos los escenarios de explotación analizados en la modelación (Escenarios 0 –correspondiente al escenario de calibración-, 2, 3a, 3b y 3c). Estos resultados se muestran de manera gráfica en el Gráfico 10-1. Las comparaciones incluyen todo el dominio de modelación (es decir, las subcuencas Teno y Lontué integradas).

El Anexo 10 se muestran los resultados obtenidos para cada pozos de observación.

Cuadro 10-12. Comparación Descenso Niveles vs. Caudales de Explotación

Escenario	Q Bombeo [m3/s]	Descenso c/r Calibración [m]
0	4,5	0,0
2	6,5	-2,9
3a	6,2	-2,7
3b	8,1	-6,0
3c	9,9	-9,0

Gráfico 10-1. Descenso Niveles vs. Caudales de Explotación



Finalmente, se estimó la variación del volumen del acuífero factible de explotar. Cabe recordar que se definieron en vertical dos estratos: el estrato 1 se extiende entre el NE y la máxima profundidad observada en los pozos de bombeo (200 m); el estrato 2 por otro lado, se extiende entre los 200 m de profundidad y la profundidad de la roca, la cual es variable dependiendo del sector. La variación de volumen del acuífero, se calculó en el estrato 1 (actualmente en explotación) y se determinó entre el Escenario 1 (asociado a mayor recarga), y el Escenario 3c (asociado a la mayor explotación factible). Considerando lo anterior, se obtuvieron los siguientes resultados.

Cuadro 10-13. Volumen Acuífero vs. Caudales de Explotación Explotación

Escenario	Volumen Acuífero (Estrato 1) [m³]	Volumen Acuífero (Estrato 2) [m³]	Q Bombeo [m³/s]
1	1,659E+11	7,384E+10	4,5
3c	1,549E+11	7,384E+10	9,9
Δ	6,63%	0,00%	-

Como referencia, el caudal de explotación total, tal que la variación del volumen del acuífero sea de 5%, es de 8,5 m³/s.

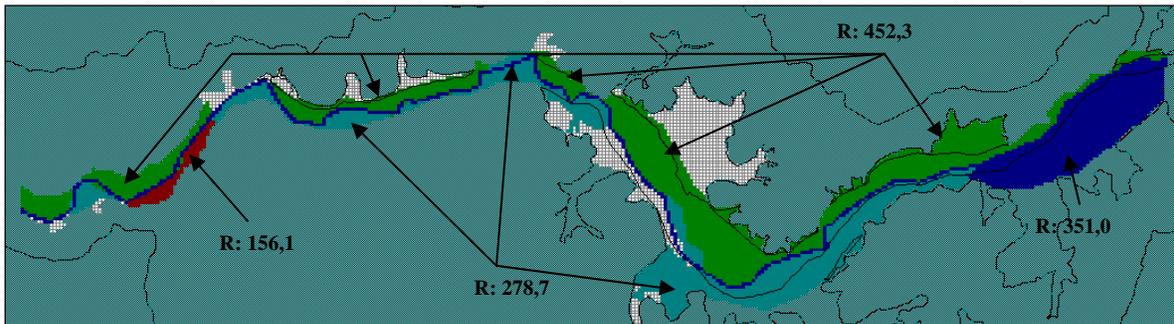
10.2. Modelo Mataquito

10.2.1. Escenario 1: Recarga Asociada a Probabilidad de Excedencia 50%

Para este escenario, representativo de una condición hidrológica seca, se obtuvieron los resultados que se presentan a continuación.

La Figura 10-6 presenta las recargas incorporadas al modelo para este escenario. El Cuadro 10-14 presenta el balance hídrico obtenido para el acuífero, mientras que la Figura 10-7 presenta dichos balances de manera gráfica. La Figura 10-8, en tanto, presenta las curvas equipotenciales obtenidas en este escenario.

Figura 10-6. Recargas Escenario 50% Incorporadas al Modelo Mataquito (Valores en mm/año)

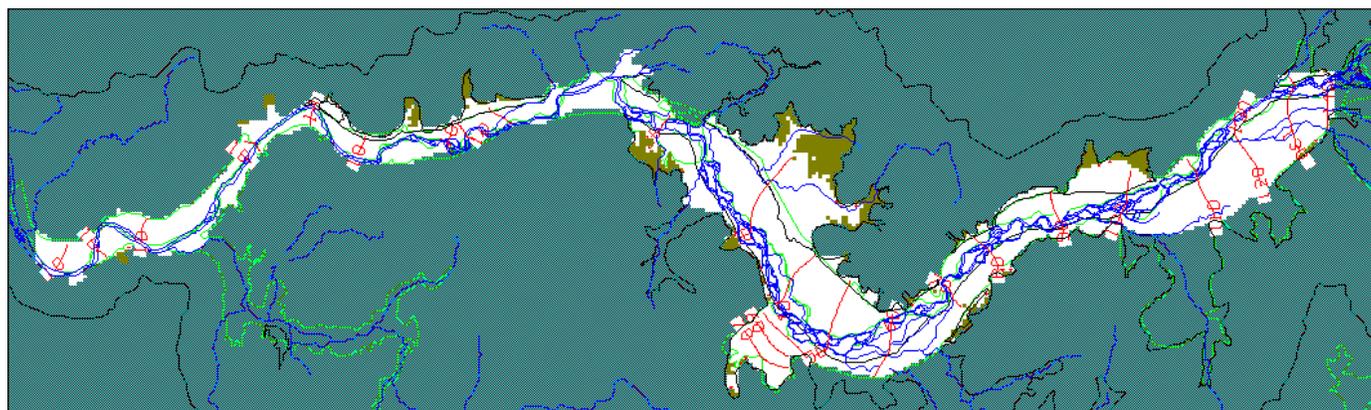


Cuadro 10-14. Balance Hídrico Obtenido – Acuífero Río Mataquito

Entradas			Salidas		
Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)	Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)
Flujo Subterráneo	89.430	1,0	Descarga Pozos	19.917	0,2
Recarga Areal	210.700	2,4	Afloramientos Río	523.340	6,1
Recarga Río	243.140	2,8			
Total	543.270	6,3	Total	543.257	6,3
Error: -0,002%					

Se observa un afloramiento neto sobre los cauces de la subcuenca de 3,2 m3/s.

**Figura 10-7. Curvas Equipotenciales Obtenidas Modelo Mataquito
Escenario Recarga 50%**



10.2.2. Escenario 2: Total de las Captaciones Incorporadas al Modelo

Para este escenario, representativo de una condición máxima de explotación sobre el acuífero, se obtuvieron los resultados que se presentan a continuación.

El Cuadro 10-15 presenta el balance hídrico obtenido para el acuífero, mientras que la Figura 10-8 presenta las curvas equipotenciales obtenidas en este escenario.

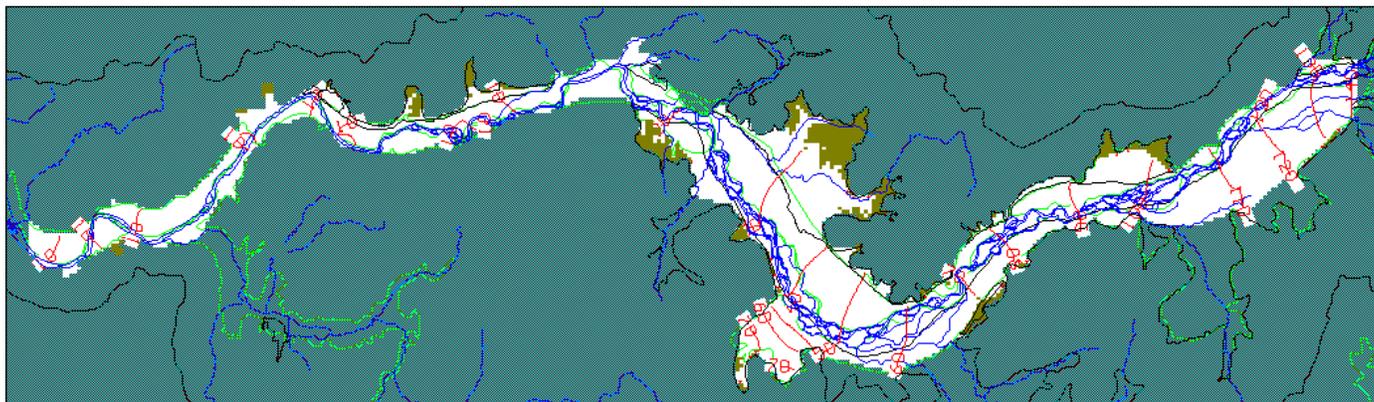
Cuadro 10-15. Balance Hídrico Obtenido Acuífero Río Mataquito

Entradas			Salidas		
Componente	Q (m ³ /d)	Q (m ³ /s)	Componente	Q (m ³ /d)	Q (m ³ /s)
Flujo Subterráneo	91.639	1,1	Descarga Pozos	59.747	0,7
Recarga Areal	186.460	2,2	Afloramientos Río	481.680	5,6
Recarga Río	263.330	3,0			
Total	541.429	6,3	Total	541.427	6,3
Error: 0,000%					

Se observa un afloramiento neto sobre los cauces de la subcuenca de 2,5 m³/s, menor al obtenido en el Escenario 1 debido al aumento de explotación considerada.

Finalmente en el Anexo 8 se adjunta el respaldo magnético con los datos de entrada y resultados obtenidos del Modflow, en el proceso de operación de los tres escenarios antes detallados en ambos modelos (Teno-Lontué y Mataquito).

Figura 10-8. Curvas Equipotenciales Obtenidas Modelo Mataquito. Escenario Todas Las captaciones Incorporadas.



10.2.3. Escenario 3: Variación Factores de Uso en Pozos de Bombeo

Para este escenario, al igual que en la cuenca anterior (Teno –Lontué) , se aumentaron los factores de uso considerados inicialmente, lo cual permitió definir 3 subescenarios, los cuales se indican a continuación:

- Escenario 3a: Multiplicación de los factores por 1,5.
- Escenario 3b: Multiplicación de los factores por 3,0.
- Escenario 3c: Todos los factores equivalentes a 1,0.

Evidentemente, si producto de la ponderación un factor aumenta a un valor mayor que 1,0, se consideró dicho factor igual a 1,0.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en cada subescenario, y una comparación entre ellos y el resto de los escenarios presentados anteriormente.

Subescenario 3a

Cuadro 10-16. Balance Hídrico Obtenido Modelo Mataquito

Entradas			Salidas		
Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)	Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)
Flujo Subterráneo	91.738	1,1	Descarga Pozos	27.489	0,3
Recarga Areal	186.460	2,2	Afloramientos Río	502.120	5,8
Recarga Río	251.380	2,9			
Total	529.578	6,1	Total	529.609	6,1
Error: 0,006%					

Subescenario 3b

Cuadro 10-17. Balance Hídrico Obtenido Modelo Mataquito

Entradas			Salidas		
Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)	Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)
Flujo Subterráneo	92.553	1,1	Descarga Pozos	39.439	0,5
Recarga Areal	186.480	2,2	Afloramientos Río	494.570	5,7
Recarga Río	254.970	3,0			
Total	534.003	6,2	Total	534.009	6,2
Error: 0,001%					

Subescenario 3c

Cuadro 10-18. Balance Hídrico Obtenido Modelo Mataquito

Entradas			Salidas		
Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)	Componente	Q (m3/d)	Q (m3/s)
Flujo Subterráneo	93.528	1,1	Descarga Pozos	45.968	0,5
Recarga Areal	186.460	2,2	Afloramientos Río	490.900	5,7
Recarga Río	256.850	3,0			
Total	536.838	6,2	Total	536.868	6,2
Error: 0,006%					

Comparación Subescenarios

A continuación, se comparan los resultados obtenidos entre los 3 subescenarios, y en particular, se evalúa la relación entre el caudal explotado y la variación de los niveles en los pozos de observación respecto a los niveles calibrados.

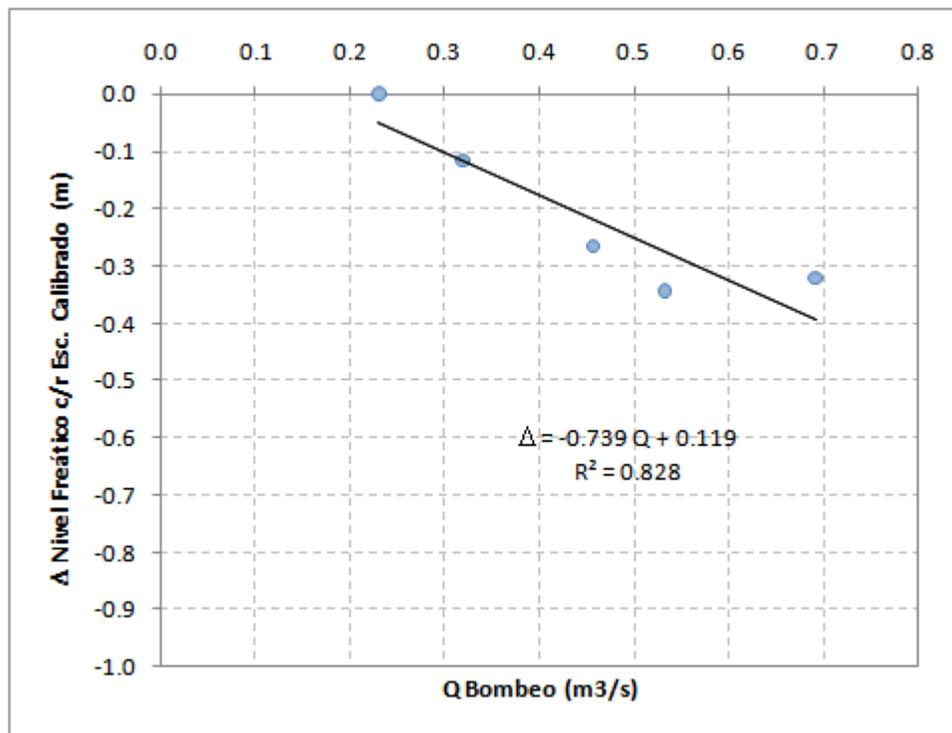
El Cuadro 10-19 presenta los resultados de manera general, considerando todos los escenarios de explotación analizados en la modelación (Escenarios 0 –correspondiente al escenario de calibración-, 2, 3a, 3b y 3c). Estos resultados se muestran de manera gráfica en el Gráfico 10-2. Las comparaciones incluyen todo el dominio de modelación.

El Anexo 10 en tanto, muestran los resultados obtenidos para cada pozo de observación.

Cuadro 10-19. Comparación Descenso Niveles vs. Caudales de Explotación

Escenario	Q Bombeo [m ³ /s]	Descenso c/r Calibración [m]
0	0,2	0,0
2	0,7	-0,3
3a	0,3	-0,1
3b	0,5	-0,3
3c	0,5	-0,3

Gráfico 10-2. Descenso Niveles vs. Caudales de Explotación



Finalmente, se estimó la variación del volumen del acuífero entre el Escenario 1 (asociado a mayor recarga), y el Escenario 3c (asociado a la mayor explotación factible), obteniéndose los resultados siguientes.

Considerando lo anterior, se obtuvieron los siguientes resultados.

Cuadro 10-20. Volumen Acuífero vs. Caudales de Explotación

Escenario	Volumen Acuífero [m3]	Q Bombeo [m3/s]
1	1,505E+10	0,2
3c	1,497E+10	0,5
Δ	0,55%	

Como referencia, el caudal de explotación total, tal que la variación del volumen del acuífero sea de 5%, es de 3,0 m3/s.

10.3. Comparación Resultados

En el estudio de la REF 1 se construyó un modelo hidrogeológico para el acuífero de Mataquito, realizando una calibración en régimen permanente, para lo cual se utilizó la información de niveles de pozos medidos durante una campaña de terreno realizada el año 2004 (mismo procedimiento utilizado en el presente estudio). Luego se operó el modelo para un período de 10 años (1994-2004), con el objeto de observar el comportamiento y/o respuesta del acuífero ante diferentes escenarios de recarga y bombeo.

Como resultado de la labor anterior se generaron limnigramas en distintos pozos de calibración, los cuales, en términos generales, muestran leves variaciones de nivel durante todo el período simulado.

Por otro lado, al comparar los niveles estáticos calibrados y simulados en los pozos, donde se generaron limnigramas, en el estudio de la REF 1, con los valores de niveles estáticos calibrados del presente estudio, se observan valores similares o dentro de un rango aceptable (cabe recordar que al comparar cota de nivel estático, existe un error implícito, el cual es el valor de la cota asignada al pozo, ya que existen variadas formas e instrumentos para determinar dicha variable).

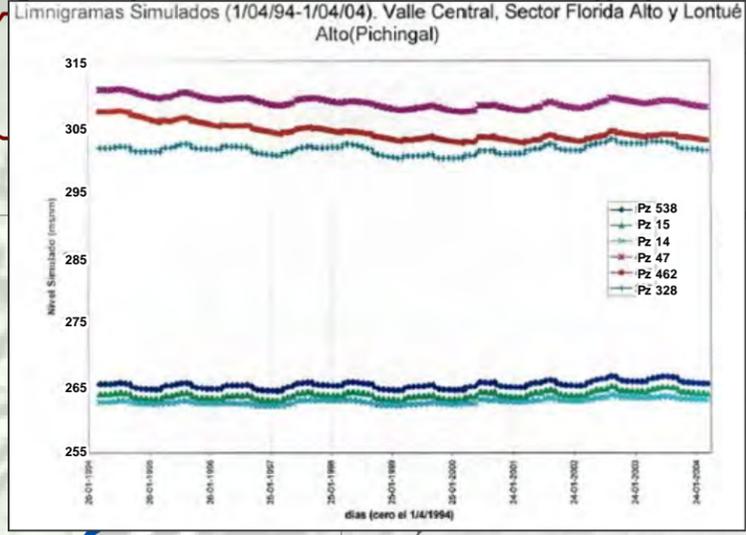
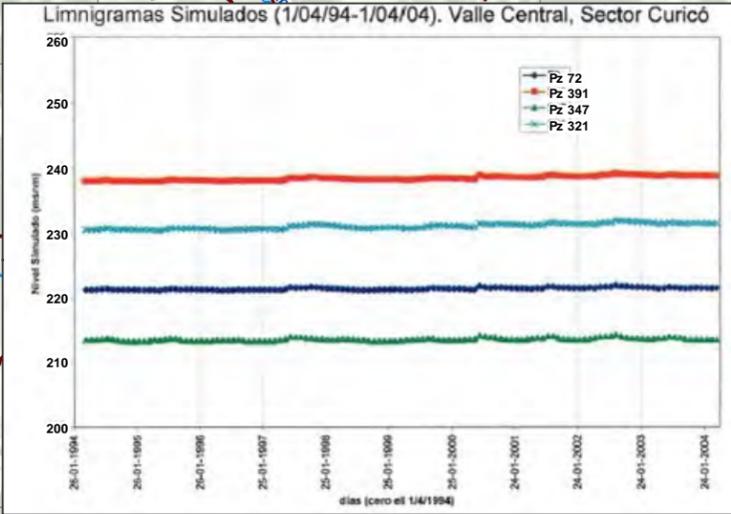
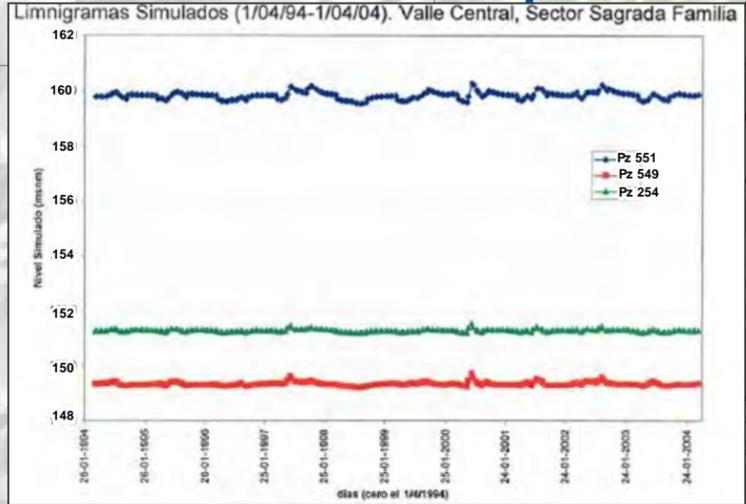
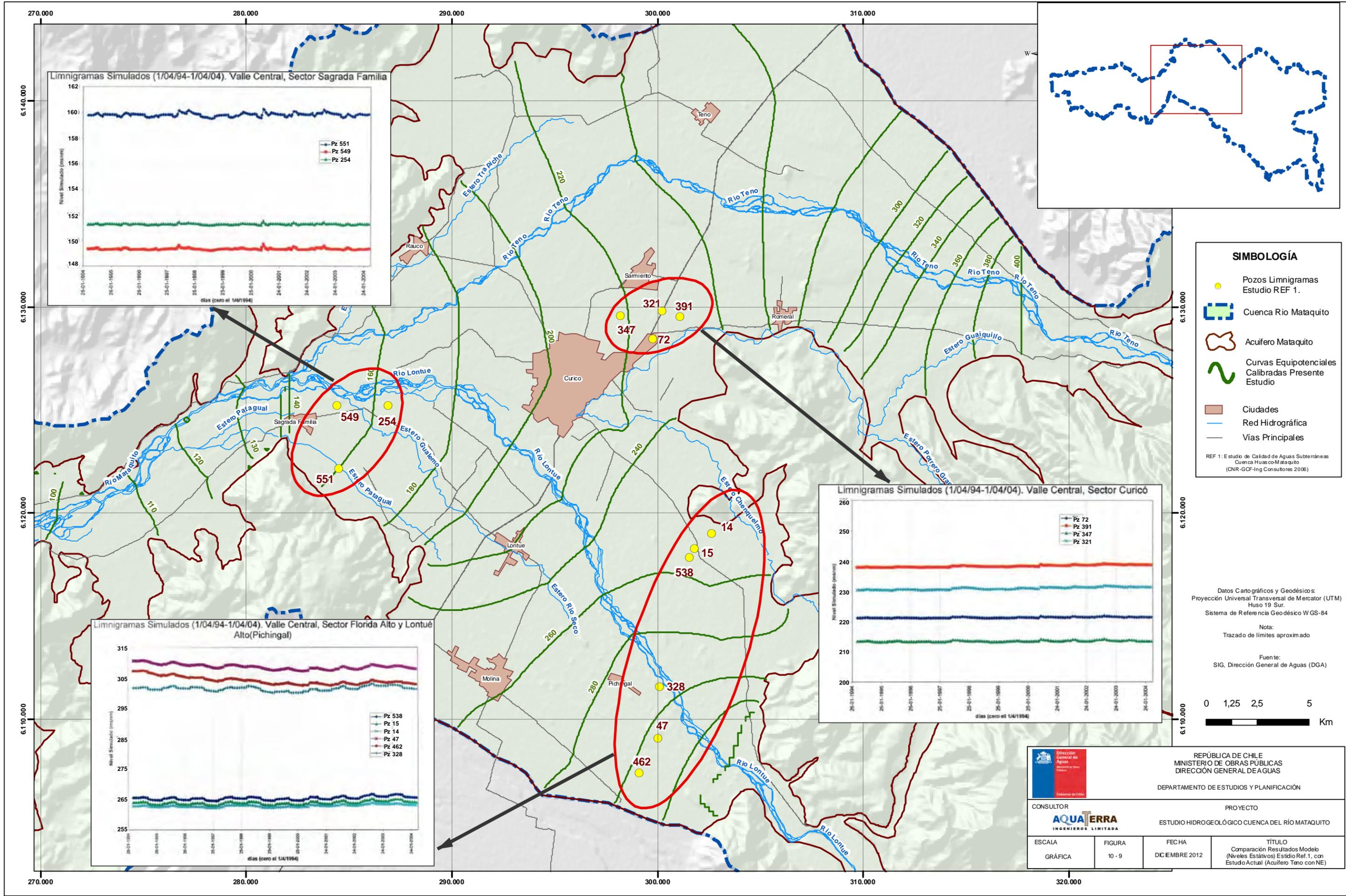
A modo de ejemplo en las Figuras 10-9 y 10-10 siguientes se muestran las curvas equipotenciales del acuífero, obtenidas a partir del proceso de calibración en el presente estudio, y la ubicación de pozos de calibración del estudio de la REF1 con sus respectivos limnigramas simulados.

Específicamente, en el valle central, para los acuíferos de Teno y Lontué se tienen lo siguientes resultados:

- En el sector central del valle de Mataquito los pozos (72-347-321-391) de calibración y simulación del estudio de la REF1 entregan cotas de nivel estático comprendidas entre los 215 y 240 m. Estos pozos se

encuentran ubicados entre las curvas equipotenciales calibradas 210 y 240 del presente estudio.

- En el sector oriente de la cuenca del río Lontué los pozos (14-15-538-328-47-462) de calibración y simulación del estudio de la REF1 entregan cotas de nivel estático comprendidas entre los 260 y 310 m. Estos pozos se encuentran ubicados entre las curvas equipotenciales calibradas 250 y 310 del presente estudio.
- En el sector de confluencia del río Lontué con el Teno los pozos (551-549-254) de calibración y simulación del estudio de la REF1 entregan cotas de nivel estático comprendidas entre los 149 y 161 m. Estos pozos se encuentran ubicados entre las curvas equipotenciales calibradas 150 y 170 del presente estudio.



- SIMBOLOGÍA**
- Pozos Limnigramas Estudio REF 1.
 - Cuenca Río Mataquito
 - Acuífero Mataquito
 - Curvas Equipotenciales Calibradas Presente Estudio
 - Ciudades
 - Red Hidrográfica
 - Vías Principales
- REF 1: Estudio de Calidad de Aguas Subterráneas Cuenca Huasco-Mataquito (CNR-GCF-Ing Consultores 2006)

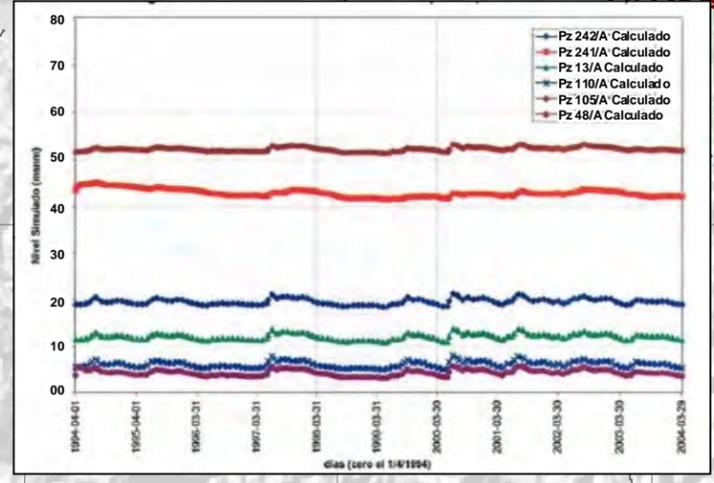
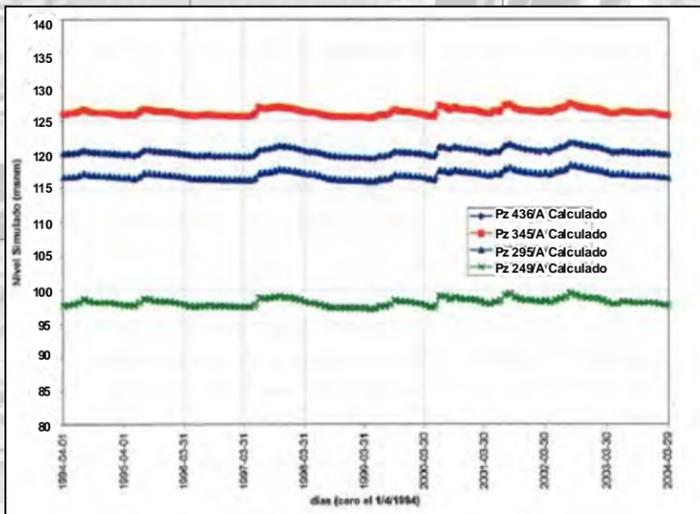
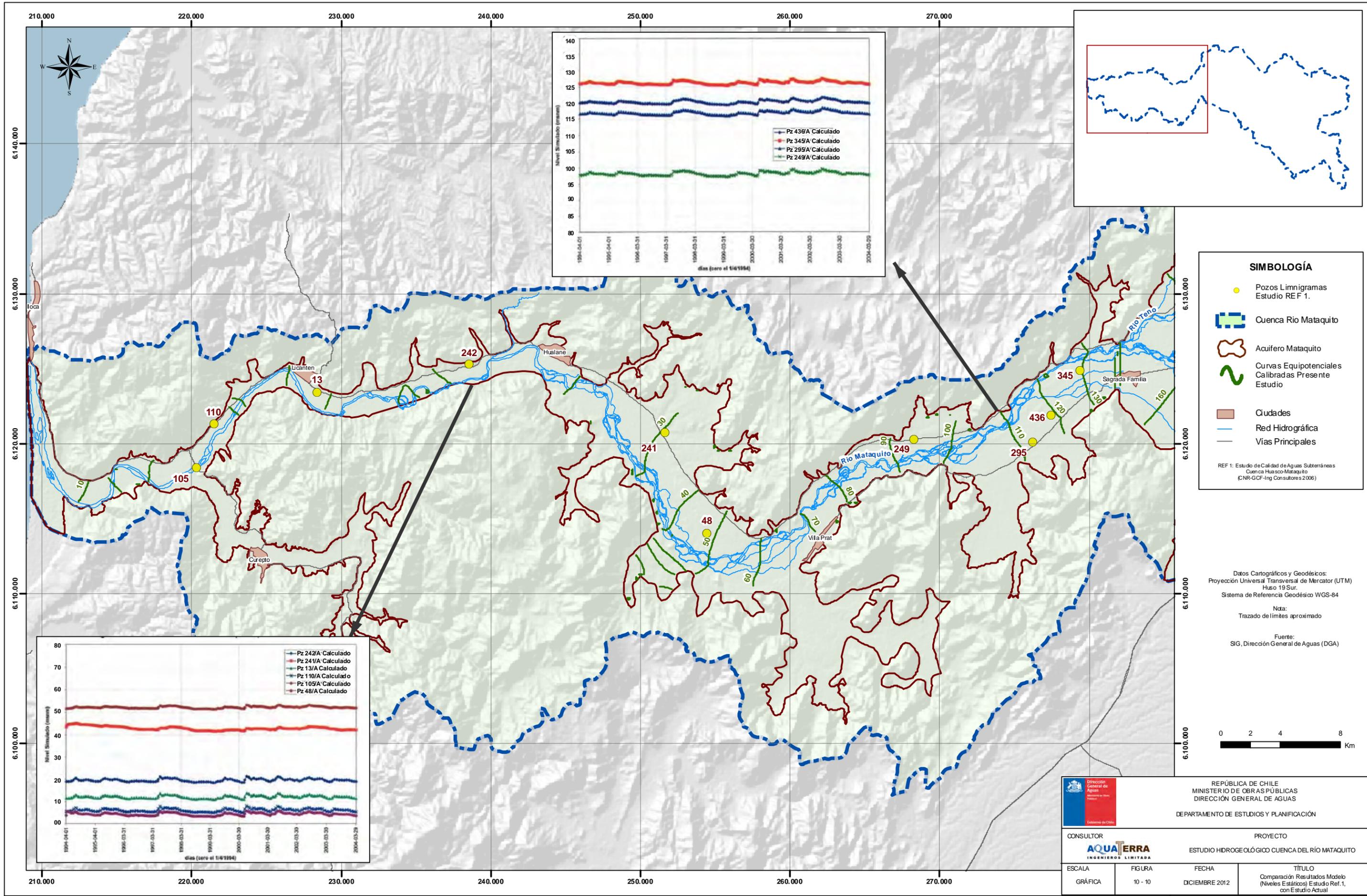
Datos Cartográficos y Geodésicos:
 Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM)
 Huso 19 Sur.
 Sistema de Referencia Geodésico WGS-84

Nota:
 Trazado de límites aproximado

Fuente:
 SIG, Dirección General de Aguas (DGA)



		REPÚBLICA DE CHILE MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN	
CONSULTOR 		PROYECTO ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CUENCA DEL RÍO MATAQUITO	
ESCALA GRÁFICA	FIGURA 10 - 9	FECHA DICIEMBRE 2012	TÍTULO Comparación Resultados Modelo (Niveles Estáticos) Estudio Ref. 1, con Estudio Actual (Acuífero Teno con NE)



SIMBOLOGÍA

- Pozos Limnigramas Estudio REF 1.
- Cuenca Rio Mataquito
- Acuífero Mataquito
- ~ Curvas Equipotenciales Calibradas Presente Estudio
- Ciudades
- Red Hidrográfica
- Vías Principales

REF 1: Estudio de Calidad de Aguas Subterráneas Cuenca Huasco-Mataquito (CNR-GOF-Ing Consultores 2.006)

Datos Cartográficos y Geodésicos:
 Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM)
 Huso 19 Sur.
 Sistema de Referencia Geodésico WGS-84

Nda:
 Trazado de límites aproximado

Fuente:
 SIG, Dirección General de Aguas (DGA)



 REPÚBLICA DE CHILE MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN			
CONSULTOR  INGENIEROS LIMITADA		PROYECTO ESTUDIO HIDROEOLÓGICO CUENCA DEL RÍO MATAQUITO	
ESCALA GRÁFICA	FIGURA 10 - 10	FECHA DICIEMBRE 2012	TÍTULO Comparación Resultados Modelo (Niveles Estáticos) Estudio Ref.1, con Estudio Actual

10.4. Análisis Resultados y Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos en cada uno de los escenarios para los cuales se operó el modelo hidrogeológico, se concluye lo siguiente:

- La explotación del acuífero Teno-Lontué, considerada en el escenario de calibración, incluyó las captaciones que tienen sus derechos constituidos actualmente, este valor asciende a 4,5 m³/s (cifra ponderada por los respectivos factores de uso). Si no se considera factores de uso, el caudal teóricamente explotable ascendería a 9,9 m³/s.
- El modelo se operó para los siguientes escenarios:
 - i. Escenario 1: Aumento de las recargas. En el proceso de calibración se consideró una recarga asociada al 85 % de Pbb. de excedencia, en el escenario 1 se adoptó una recarga vinculada a un 50 % Pbb. de excedencia, manteniendo la extracción de recursos del escenario de calibración (solo captaciones con derechos constituidos).
 - ii. Escenario 2: Recarga asociada al 85 % de Pbb. de excedencia y explotación del acuífero incluyendo todas las captaciones catastradas (con y sin derechos constituidos). El valor de explotación en este escenario asciende a 6,5 m³/s (cifra ponderada por los factores de uso respectivos).
 - iii. Escenario 3: Análisis sensibilidad factores de uso caudales de explotación captaciones del escenario de calibración, es decir, aumento del factor de uso hasta llegar a 1 (caudal extracción igual a los derechos constituidos). Esta sensibilidad se dividió en 3 sub escenarios: ponderación factor de uso en 1,5 - 3 y factor igual a 1.
- Los escenarios antes mencionados arrojaron en promedio, en los pozos de calibración, las siguientes variaciones de nivel respecto al escenario de calibración.

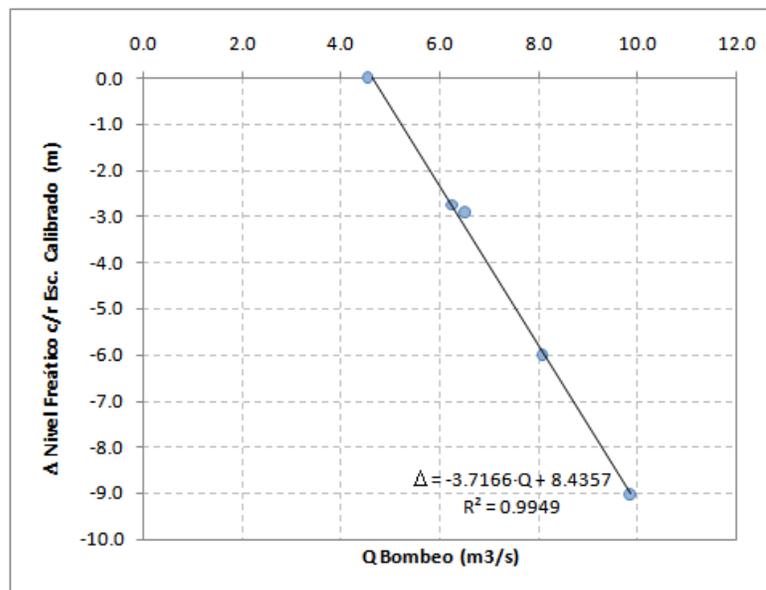
Modelo Teno - Lontué

Escenario	Q Bombeo [m3/s]	Descenso c/r Calibración [m]
0	4,5	0,0
1	4,5	3,9
2	6,5	-2,9
3a	6,2	-2,7
3b	8,1	-6,0
3c	9,9	-9,0

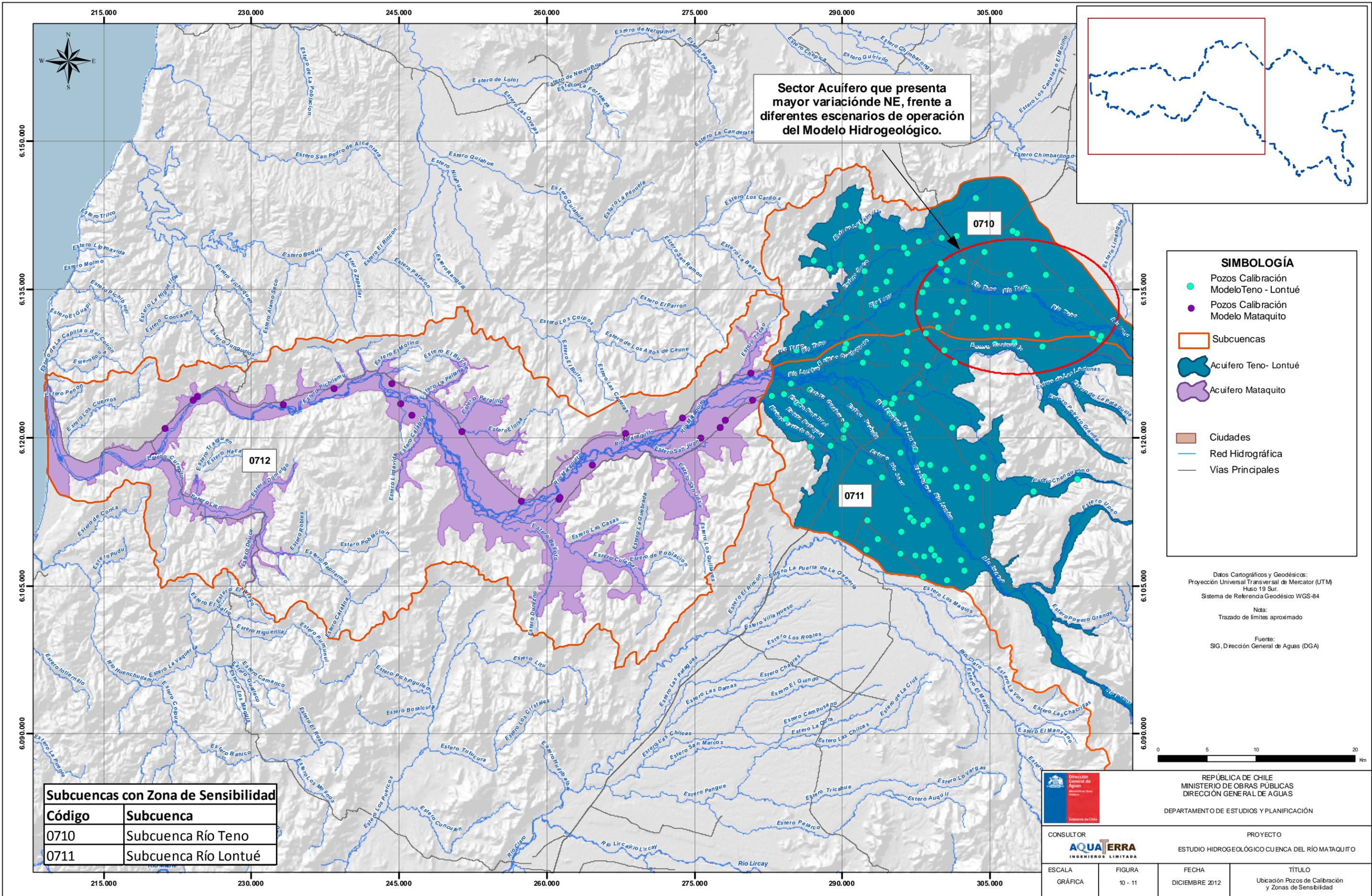
Modelo Mataquito

Escenario	Q Bombeo [m3/s]	Descenso c/r Calibración [m]
0	0,2	0,0
2	0,7	-0,3
3a	0,3	-0,1
3b	0,5	-0,3
3c	0,5	-0,3

- Los resultados anteriores permitieron establecer una relación de tipo lineal entre caudal de explotación y el descenso del nivel estático. En el grafico siguiente se aprecia dicha correlación.



- i. Se analizó los sectores del acuífero más sensible a las variaciones de nivel, en cada uno de los escenarios de operación modelados. Específicamente el sector nor oriente del acuífero, ubicado en la subcuenca del Río Teno (cercano a las localidades de: Romeral, Sarmiento, Teno, Curico), presenta esta característica. En la Figura 10-11 siguiente se aprecian el límite del sector antes señalados.



Sector Acuífero que presenta mayor variación de NE, frente a diferentes escenarios de operación del Modelo Hidrogeológico.

SIMBOLOGÍA

- Pozos Calibración ModeloTeno - Lontué
- Pozos Calibración Modelo Mataquito
- Subcuencas
- Acuífero Teno- Lontué
- Acuífero Mataquito
- Ciudades
- Red Hidrográfica
- Vías Principales

Datos Cartográficos y Geodésicos:
 Proyección Universal Transversal de Mercator (UTM)
 Huso 19 Sur.
 Sistema de Referencia Geodésico WGS-84

Nda:
 Trazado de límites aproximado

Fuente:
 SIG, Dirección General de Aguas (DGA)

Subcuencas con Zona de Sensibilidad	
Código	Subcuenca
0710	Subcuenca Río Teno
0711	Subcuenca Río Lontué



CONSULTOR
AQUA TERRA
INGENIEROS LIMITADA

REPÚBLICA DE CHILE
 MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
 DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

DEPARTAMENTO DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN

PROYECTO
 ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CUENCA DEL RÍO MATAQUITO

ESCALA GRÁFICA	FIGURA 10 - 11	FECHA DICIEMBRE 2012	TÍTULO Ubicación Pozos de Calibración y Zonas de Sensibilidad
-------------------	-------------------	-------------------------	--

- Se estimó el volumen del acuífero, en dos escenarios extremos (escenario 1 y 3c), con el objeto de establecer un rango de valores que permitan conocer su fluctuación y de este modo poder estimar un caudal de explotación asociado a una variación de volumen igual al 5 %. En el Cuadro siguiente se presenta los resultados obtenidos.

Escenario	Volumen Acuífero (Estrato 1) [m3]	Volumen Acuífero (Estrato 2) [m3]	Q Bombeo [m3/s]
1	1,659E+11	7,384E+10	4,5
3c	1,549E+11	7,384E+10	9,9
Δ	6,63%	0,00%	-

Finalmente se estableció que un caudal de explotación aprox. de 8,5 m3/s produciría una variación de volumen del acuífero en torno al 5 %.

- Cabe recordar que todos los resultados y conclusiones obtenidas, en el presente estudio, se basan y apoyan en la modelación del acuífero en régimen permanente, motivo por el cual al momento de su aplicación debe tenerse en cuenta este hecho. Por otro lado una modelación en régimen transiente, entrega resultados que representan mejor el comportamiento del acuífero en el tiempo.

Con el objetivo de seguir avanzando y profundizando en la caracterización y conocimiento del comportamiento del acuífero asociado a la cuenca del río Mataquito, se propone elaborar estudios tendientes a conocer y evaluar las siguientes variables:

- Mejorar la estimación y/o evaluación de las recargas al sistema subterráneo, en base a antecedentes actualizados (Modelación del sistema superficial).
- Cuantificación (campañas de terreno) de sectores de afloramiento y recuperación.
- Implementación red de medición de niveles.
- Mejorar y/o precisar el conocimiento de los caudales subterráneos efectivamente explotados.