



Ministerio de
Obras Públicas

Gobierno de Chile



Agua



Aeropuertos



Arquitectura



Obras Hidráulicas



Obras Portuarias



Vialidad

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

ESTUDIO

Estudio hidrogeológico cuencas Bío Bío e Itata.
Cuenca Itata. Tomo I: Informe final.

ZONA SUR



DICIEMBRE DE 2011



**Ministerio de Obras Públicas
Dirección General de Aguas**

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO CUENCAS BÍO BÍO E ITATA

CUENCA ITATA

**TOMO I
INFORME FINAL**

REALIZADO POR:

AQUATERRA INGENIEROS LIMITADA

S.I.T N° 258

Santiago, Diciembre 2011

ÍNDICE INFORME FINAL ITATA

1.	INTRODUCCION Y OBJETIVOS	1
1.1.	Introducción	1
1.2.	Objetivo General	2
1.3.	Etapas del Estudio.	2
1.4.	Contenido del Informe.....	2
2.	RECOPIACIÓN DE ESTUDIOS E INFORMACIÓN	4
2.1.	Labores Realizadas	4
2.2.	Estudios Recopilados de Carácter Regional o a Nivel Cuencas.....	4
2.3.	Expedientes de Aguas Subterráneas.....	10
3.	ESTUDIO HIDROLOGICO CUENCA RIO ITATA.....	13
3.1.	Pluviometría	13
3.1.1	Recopilación de Información.....	13
3.1.2	Corrección, Relleno y Extensión de Estadísticas.....	16
3.1.3	Análisis de Frecuencia de las Estadísticas	18
3.2.	Fluviometría	23
3.2.1	Introducción	23
3.2.2	Recopilación de la Información Disponible	23
3.2.3	Corrección, Relleno y Extensión de Estadísticas.....	26
3.2.4	Análisis de Frecuencia de las Estadísticas	26
4.	GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGÍA CUENCA ITATA	30
4.1	Antecedentes Generales	30
4.2	Metodología y antecedentes recopilados	30
4.3	Geomorfología	31
4.4	Geología	35
4.4.1	Antecedentes Generales	35
4.4.2	Rocas Estratificadas	35
4.4.3	Rocas Intrusivas.....	38
4.4.4	Depósitos No Consolidados (Cuaternario).....	39
4.5	Estructuras	42
4.6	Referencias	43

ÍNDICE INFORME FINAL ITATA

5.	ESTUDIO GEOFISICO	45
5.1	Consideraciones Generales	45
5.2	Metodología Utilizada en el Estudio	47
5.2.1	Generalidades	47
5.2.2	Correcciones	48
5.2.3	Elección de densidades en las correcciones.....	49
5.2.4	Efectos regionales	49
5.3	Trabajo de Terreno	50
5.3.1	Labores Geofísicas	50
5.3.2	Labores Topográficas	51
5.4	Interpretación	54
5.5	Resultados y Conclusiones	55
5.6	Consideraciones	61
6.	CAMPAÑA DE TERRENO MEDICIÓN DE NIVELES	62
6.1.	Consideraciones Generales	62
7.	CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA CUENCA RÍO IATA	65
7.1.	Aspectos Generales	65
7.2.	Catastro de Pozos y Medición de Niveles	65
7.3.	Definición de Acuíferos	66
7.4.	Unidades Hidrogeológicas	68
7.5.	Curvas Isofreáticas y Sentido de Escurrimiento	74
7.6.	Parámetros Elásticos.....	79
7.7.	Identificación de Afloramientos.....	83
7.8.	Explotación y Uso de las Aguas Subterráneas	84
8.	ESTIMACION RECARGA ACUIFERO RÍO ITATA	86
8.1.	Aspectos Generales	86
8.2.	Calibración Modelo.....	95
8.3.	Resultados de la Modelación.....	99

ÍNDICE INFORME FINAL ITATA

9.	DESARROLLO DEL MODELO CONCEPTUAL	102
9.1.	Geometría del Acuífero	102
9.2.	Parámetros Elásticos	103
9.2.1	Coeficiente de Transmisibilidad	103
9.2.2	Coeficientes de Almacenamiento	103
9.3.	Niveles Estáticos	104
9.4.	Recargas Naturales al Acuífero	104
9.4.1	Recargas por Sectores de Riego y Cauces	106
9.5.	Descargas Naturales y Artificiales desde el Acuífero	108
9.5.1	Descargas Naturales	108
9.5.2	Descargas Artificiales	108
9.6.	Estimación de Flujos Subterráneos y Balance General	108
10.	RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES.....	112

ÍNDICE ANEXOS INFORME ITATA

CAPITULO 3 HIDROLOGÍA

ANEXO 3-1	Estadísticas Bases Precipitaciones
ANEXO 3-2	Gráficos Correlaciones Precipitaciones Anuales
ANEXO 3-3	Estadísticas de Precipitaciones Rellenadas y Corregidas
ANEXO 3-4	Curvas Doble Acumuladas
ANEXO 3-5	Análisis de Frecuencia Precipitaciones Mensuales
ANEXO 3-6	Estadísticas Bases Caudales Medios Mensuales
ANEXO 3-7	Gráficos Correlaciones Caudales Medios Mensuales
ANEXO 3-8	Estadísticas de Caudales Medios Mensuales Rellenadas y Corregidas
ANEXO 3-9	Análisis de Frecuencia Caudales Medios Mensuales
ANEXO 3-10	Curvas de Variación Estacional

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 CAMPAÑA DE TERRENO

ANEXO 6-1	Fichas Encuestas Pozos Cuenca Río Itata
------------------	---

CAPITULO 7 CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA CUENCA ITATA

ANEXO 7-1	Listado de Pozos con Expedientes, Planos de Construcción, Pruebas de Bombeo e Informes técnicos de 457 pozos (Cuenca Río Itata)- Respaldo Magnético
ANEXO 7-2	Transmisibilidad Método Cooper-Jacob y Theis
ANEXO 7-3	Datos Prueba de Gasto Constante en Determinación de la Transmisibilidad por métodos de Cooper-Jacob y Theis (Archivo Digital)
ANEXO 7-4	Correlaciones Calculo Transmisibilidad
ANEXO 7-5	Calculo Transmisibilidad y Valor Adoptado

ÍNDICE ANEXOS INFORME ITATA

CAPITULO 8 ESTIMACION RECARGA ACUIFERO ITATA

ANEXO 8-1	Bases Conceptuales
ANEXO 8-2	Calibración Modelo
ANEXO 8-3	Resultados Balances y Recargas

CAPITULO 9 DESARROLLO DEL MODELO CONCEPTUAL

ANEXO 9-1	Sistema de Información Geográfica
ANEXO 9-2	Detalle Balance Embalse Subterráneo (Archivo Digital)
ANEXO 9-3	Topografía y Basamento Cuenca Itata en Plataforma Visual MODFLOW (Archivo Digital)

INDICE PLANOS INFORME ITATA

Plano 4-1	Geología Cuenca Itata (escala 1:250.000)
Plano 5-1	Planta Perfiles Gravimétrico (escala 1:250.000)
Plano 5-2	Plano Isobático del área. Curvas de Isoprofundidad cada 50m
Plano 5-3 a 5.9	Perfiles Longitudinales Trazado Perfiles Gravimetricos (escala 1:100.000 H; 1:10.000 V)
Plano 7-1	Delimitación Acuíferos Cuenca Río Itata y Catastro de Pozos
Plano 7-2	Geología Itata y Trazado Perfiles Estratigráficos (escala 1:250.000)
Plano 7-3	Perfiles Longitudinales Estratigráficos
Plano 7-4	Curvas Isofreáticas y sentido escurrimiento Aguas Subterráneas
Plano 7-5	Rangos de Profundidad Nivel Estático Cuenca Río Itata
Plano 7-6	Isotransmisibilidades Cuenca Río Itata
Plano 7-7	Identificación zonas de Afloramiento y Recuperación Cuenca Itata
Plano 8-1	Sectores de Riego e Identificación Nudos de Simulación Cuenca Itata
Plano 9-1	Configuración Sectores de Riego, Tramos de Cauce y Otros Sectores que recargan el Acuífero del río Itata.

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. 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, las cuencas del río Itata y río Bío Bío en la región del Bío Bío y La Araucanía, son cuencas que si bien son aprovechadas principalmente de manera superficial, sus acuíferos están siendo cada vez más explotados, lo cual responde a demandas para el desarrollo de diferentes actividades productivas en el territorio, principalmente riego y agua potable.

En estos dos casos, 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.

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.

Una evaluación preliminar de los antecedentes en esta materia, indica que para el caso de la cuenca del Itata existen más estudios y de mayor envergadura que para la cuenca del Bío Bío. Para la primera (Itata), se tienen antecedentes sobre estudios hidrogeológicos, estudios previos para modelación integrada de la cuenca y catastro de pozos. De esta forma, para la cuenca del río Itata el interés del presente estudio estará centrado en catastrar los pozos y su información de niveles, y sintetizar toda la Información hidrogeológica en un modelo conceptual.

Para el caso del río Bío Bío, los antecedentes son menores, por ende, los esfuerzos se centrarán únicamente en el catastro de pozos y en la información de niveles de agua que ellos entreguen, con lo cual se podrá representar de manera muy preliminar los flujos de agua subterránea, entre otras cosas.

1.2. Objetivo General

El objetivo general y principal del estudio es el levantamiento de la información hidrogeológica, y a partir de ello, el desarrollo de un modelo conceptual del acuífero de la cuenca del río Itata. Además, para la cuenca del río Bío Bío, se consulta la generación de información hidrogeológica preliminar.

Por otro lado, los objetivos específicos son:

- a) Definir y caracterizar unidades acuíferas principales (Itata).
- b) Catastrar Niveles de Pozos (Itata, Bío Bío)
- c) Representar y estimar los flujos de agua subterránea (Itata, Bío Bío).
- d) Geometría del Acuífero Principal (Itata)
- e) Identificar las zonas de recarga y descarga (Itata).
- f) Obtener parámetros hidrogeológicos del acuífero (Itata, Bío Bío).
- g) Representar territorialmente los resultados del estudio en un Sistema de Información Geográfico (SIG, para Itata y Bío Bío).
- h) Definir un modelo conceptual del acuífero para la cuenca del Itata.

1.3. Etapas del Estudio.

El desarrollo del estudio se dividió en 3 etapas.

- | | |
|-----------------|--|
| Etapas 1 | Recopilación y Análisis de Antecedentes, Caracterización Hidrogeológica Preliminar Cuenca Río Itata. |
| Etapas 2 | Caracterización Hidrogeológica Itata y Bío Bío. |
| Etapas 3 | Modelo Conceptual Acuífero Itata, Conclusiones e Informe Final |

El presente documento corresponde al **Informe Final Cuenca Itata.**

1.4. Contenido del Informe.

En los capítulos siguientes se describen las labores realizadas y los resultados obtenidos en cada una de las áreas de trabajo desarrolladas. A continuación se resumen el contenido de cada uno de los capítulos que conforman el presente Informe Final Cuenca Itata.

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 estudio, tanto para la Cuenca del río Itata como del Bío Bío.

En el **Capítulo 3** se presenta la caracterización Hidrológica de la Cuenca del Río Itata, 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 y Geomorfológica de la Cuenca del Río Itata, 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 Itata, el cual se ejecutó utilizando Gravimetría, se incluyen planos de planta con la ubicación de los 9 perfiles tomados y perfiles longitudinales que muestran la profundidad de la Roca en cada caso.

En el **Capítulo 6** se describen las labores de terreno y resultados obtenidos en la campaña de medición de niveles efectuada en la cuenca del río Itata (Catastro de 200 pozos).

En el **Capítulo 7** se presenta los resultados de la caracterización hidrogeológica realizada a la cuenca del río Itata, específicamente se incluyen perfiles estratigráficos, valores de transmisibilidad por sectores (planos), curvas isofreáticas.

El **Capítulo 8** contiene la metodología, las labores ejecutadas y los resultados obtenidos en la determinación de la recarga al acuífero en la cuenca del río Itata.

En el **Capítulo 9** se describe el modelo conceptual del acuífero de la cuenca del río Itata.

Finalmente el **Capítulo 10** contiene las principales conclusiones y recomendaciones obtenidas para la cuenca del río Itata.

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 y Universidad de Concepción.
- 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. | Proyecto Itata. PROITATA Asociación de Profesionales. (CNR, 1992). |
| REF 2. | Estudio Integral de Riego Proyecto Itata. Consorcio de Ingeniería INGENDESA -EDIC Ltda. (CNR, 1994). |
| REF 3. | 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). |
| 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 | Análisis Preliminar de Niveles de Aguas Subterráneas (INIA-DGA S.I.T 224 Diciembre 2010). |

REF 1. Proyecto Itata. PROITATA Asociación de Profesionales. (CNR, 1992).

El objetivo principal de este estudio fue desarrollar los estudios básicos que permitan conocer los recursos de clima, suelo y agua, y determinar la situación en que se encuentra la zona desde el punto de vista agropecuario, en la forma de un diagnóstico. Para conseguir lo anterior se desarrolló un modelo de balance hidrológico del área. Los resultados del diagnóstico permitieron la formulación de programas generales de desarrollo del sector agropecuario, donde quedaron definidas las obras de infraestructura de riego más adecuadas desde el punto de vista técnico y económico, modificaciones del patrón de cultivos o técnicas de riego, el uso de otras fuentes de agua tales como trasvases o aguas subterráneas, el drenaje de suelos, capacitación empresarial, etc.

Específicamente se realizó un estudio hidrológico que consideró el análisis de calidad y consistencia de estadísticas mensuales de 31 estaciones pluviométricas y 18 estaciones fluviométricas, luego se realizó una labor de relleno, corrección y extensión de dichas estadísticas, obteniéndose finalmente series definitivas para el período comprendido entre los años 1941 y 1988; dichas estadísticas fueron sometidas a un análisis de frecuencia, determinando la función de mejor ajuste de distribución, y valores de la variable para distintas probabilidades de excedencia.

En el capítulo de aguas subterráneas se caracterizó el acuífero, tomando como principal fuente de información los antecedentes recopilados del catastro de pozos efectuado, el cual ascendió a un total de 210 sondajes. Específicamente se analizó los datos de la prueba de gasto constante y/o variable de los pozos para determinar la permeabilidad y /o transmisibilidad; a partir de la estratigrafía indicada en los planos de construcción de los sondajes se trazaron perfiles estratigráficos, se trazaron curvas isofreáticas con la información de niveles medidos durante la campaña de terreno, también se estimaron volúmenes de extracción de aguas subterráneas por tipo de uso (potable, agrícola, industrial).

Utilidad para el Presente Trabajo: la información recopilada y procesada para la cuenca del río Itata en este estudio de referencia, representa una base importante de antecedentes en las áreas de hidrología (precipitaciones y escorrentía superficial), aguas subterráneas (hidrogeología cualitativa y cuantitativa), identificación de pérdidas y recuperaciones y caracterización agronómica (sectores de riego, demandas evapotranspirativas).

REF 2. Estudio Integral de Riego Proyecto Itata. Consorcio de Ingeniería INGENDESA -EDIC Ltda. (CNR, 1994).

El objetivo principal del estudio fue el de formular un programa de Desarrollo Integral de Los Recursos Naturales Disponibles en el área del río Itata. En general la zona se caracteriza por una ausencia casi total de obras de regulación, ya que las existentes son de poca relevancia frente al potencial regable. En una primera instancia se definieron y formularon las alternativas de obras de riego matrices, llegándose a seleccionar 7 embalses, los cuales fueron: Los Monos, Punilla, Quilmo, Boyen Bajo, Changaral, Andalién y Puyamavida, finalmente se realizó el dimensionamiento a nivel de anteproyecto, evaluación económica, financiera y de impacto ambiental de las mejores alternativas.

Utilidad para el Presente Trabajo: Desde un punto de vista de información y/o antecedentes relacionados a Ingeniería Básica (hidrología, agronomía e hidrogeología) en el área de la Cuenca del Río Itata, en este estudio no se generaron nuevos antecedentes a los ya existentes y desarrollados en el estudio de PROITA del año 1922; el principal objetivo del estudio fue el de desarrollar a nivel de anteproyecto las alternativas de obras de riego que permitirían aumentar la superficie y seguridad del riego en la cuenca del Itata, por los motivos anteriores este estudio no representa una base importante de antecedentes para el presente trabajo, solo se revisó algunos antecedentes de trabajos geofísicos realizados en las zonas de emplazamiento de los embalses.

REF 3. 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 Itata 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 tipológica o coberturas bases del SIG a desarrollar.

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 las regiones VIII y IX alcanzó un total de 1.518 y 641 captaciones respectivamente.

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 VIII y IX se seleccionaron 44 pozos, para los cuales se cuenta con el nivel del agua subterránea en diciembre del 2010, sin embargo solo 25 están dentro del área de las cuencas de los ríos Itata y Bío Bío.

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 Catastro de Pozos Provincia de Ñuble, Dirección General de Aguas VIII Región del Bío Bío; Ayala, Cabrera y Asociados Ingenieros Consultores, 2006.
- 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 Análisis Preliminar de Niveles de Aguas Subterráneas (INIA-DGA S.I.T 224 Diciembre 2010).

El objetivo del estudio fue realizar un análisis preliminar de la situación de niveles de aguas subterráneas en las regiones del Bío-Bío, de la Araucanía, de los Ríos y de los Lagos, entre las cuencas de los ríos Itata y Bueno, ambas incluidas.

Se caracterizaron 140 pozos distribuidos en las regiones antes señaladas. En cada región se midieron al menos 20 pozos, en su mayoría profundos y algunos pozos someros (norias).

Para una adecuada caracterización de los pozos se completo una ficha con la siguiente información : nombre del informante, tipo de pozo, tipo de uso, ubicación (coordenadas UTM, huso, datum), características (pozo abierto, en caseta, con tapa, etc.), descripción del nivel de referencia, altura de la boca respecto de terreno, nivel estático, profundidad del pozo, diámetro del pozo,

fecha de medición, explotación (si/no), fotografías digitales que permitan describir el pozo y altura sobre nivel del mar.

La información obtenida fue presentada en forma de mapas y tablas para su uso por la Dirección General de Aguas (Proyecto SIG). Como parte del estudio también y a nivel general se describió la geología e hidrogeología de las cuencas de las regiones incluidas en área de cobertura de la propuesta

Utilidad para el Presente Trabajo: la información que será de utilidad corresponde a la medición de niveles estáticos realizada en Diciembre del año 2010 en los pozos profundos ubicados en las regiones del Bío Bío y la Araucanía, contando además con su ubicación en coordenadas WGS 84, lo cual permitirá una caracterización de la condición actual de esta variable y su comparación con registros anteriores (año 1992 Estudio Pro Itata)

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 VIII y IX 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 4º y 6º transitorio, INDAP, Conadi, particulares, 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 para cada región las provincias que están dentro del área en estudio, que en este caso corresponden a:

Cuenca Itata: VIII Región- Provincia de Ñuble (Código 01).

- Luego y considerando que la información entregada por el CPA clasifica el expediente por su origen o estado, se filtro en primera instancia todos aquellos expedientes aprobados y pendientes región, excluyendo aquellos denegados o pendiente legal o DARH, luego en una segunda instancia se excluyeron todos aquellos expedientes asociados al artículo 4º Transitorio, INDAP y Conadi, por tratarse de solicitudes de caudales pequeños y generalmente asociadas a captaciones someras (Norias).
 - De este modo quedaron en el listado o universo de expedientes a revisar los asociados a solicitudes de derechos de aguas subterráneas aprobados y pendientes región.
- iv. Una vez determinado el universo o número de expedientes de interés a revisar, se tomo contacto con las Direcciones Regionales de la DGA, con el objeto de coordinar las labores a realizar en sus dependencias, las cuales fueron básicamente: revisar cada uno de los expedientes seleccionados, de modo de clasificar en una primera instancia el tipo de captación involucrada; para los efectos del presente estudio se seleccionaron aquellos expedientes cuya captaciones son sondajes o pozos profundos, dejando fuera de nuestra búsqueda los expedientes asociados a captaciones del tipo punteras, drenes y norias, lo anterior básicamente porque las características de esas captaciones describen o entregan antecedentes del estrato supsuperficial del acuífero (primeros metros), en contra posición de los sondajes. Finalmente para los expedientes asociados a sondajes se fotocopió, siempre y cuando estuviese incorporada en la respectiva carpeta, la siguiente información: ubicación de la captación, plano de construcción del pozo, prueba de gasto variable o constante e informe técnico.
- v. En el Cuadro siguiente se muestra el número de expedientes iniciales entregados por la DGA, el número de expedientes seleccionados a revisar y finalmente el número de expedientes vinculados con captaciones del tipo pozo o sondaje, todo lo anterior se presenta por provincia:

Cuadro 2-1 Número de Expedientes Analizados Por Provincia

Provincia	Nº Exped. Iniciales	Nº Exped. a Revisar	Nº Exped. con Pozo	Nº Exped. con Pozo en Cuenca
Ñuble	6.420	2.170	454	454
Totales	6.420	2.170	454	454

- vi. La información técnica fotocopiada por expediente o captación del tipo pozo o sondaje fue escaneada y se anexa en formato PDF en la presente entregada, de acuerdo a lo solicitado por la inspección del Estudio.
- vii. La información recabada de los pozos: niveles de agua subterránea, datos de pruebas de bombeo, estratigrafía e informes técnicos, fue utilizada en la caracterización de los acuíferos que se muestra en los capítulos siguientes del estudio.
- viii. Los sondajes identificados a partir de los expedientes revisados se incorporaron al catastro general de pozos en desarrollo, por consecuencia están georeferenciados e incorporados al SIG desarrollado. Específicamente en el plano 7-1 se muestra el catastro de pozos para la cuenca del Río Itata.

3. ESTUDIO HIDROLOGICO CUENCA RIO ITATA

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 1941/42 - 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 las cuencas 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 siguientes estudios realizados anteriormente en la cuenca de interés:

- Proyecto Itata. Estudio Hidrológico y Situación Actual Agropecuaria (PROITATA, CNR, 1992).
- Evaluación de Recursos Hídricos Superficiales en la Cuenca del Río Itata, (DICTUD, DGA, 2005)

3.1.1 Recopilación de Información

Las estaciones seleccionadas suman un total de 26, cuyos antecedentes se básicos se presentan en el Cuadro N° 3-1 y cuya ubicación se consigna en la Figura N° 3-1. Las estadísticas de precipitaciones mensuales recopiladas, que conforman las estadísticas pluviométricas base, se presentan en el Anexo 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)		Altitud (msnm)	Período	Fuente
		N	E			
01	Tucapel	5.86.9147	238.266	330	1975-2010	DGA
02	Las Cruces	5.882.586	254.145	650	1993-2010	DGA
03	Cholguan	5.883.615	227.436	225	1956-2010	DGA
04	Pemuco	5.903.861	223.814	200	1971-2010	DGA
05	San Lorenzo Fundo	5.905.397	275.759	710	1961-2010	DGA
06	Atacalco Fundo	5.910.826	271.157	730	1930-2010	DGA
07	Las Trancas	5.910.984	277.097	1200	1961-2010	DGA
08	Mayulermo	5.921.162	244.093	385	1992-2010	DGA
09	Chillancito	5.924.985	191.842	40	1954-2010	DGA
10	Cancha los Litres	5.930.097	179.731	173	1993-2010	DGA
11	Nueva Aldea	5.937.884	189.881	25	1956-2010	DGA
12	Caman	5.939.277	298.718	660	1992-2010	DGA
13	Rafael	5.941.084	176.327	210	1993-2010	DGA
14	San Fabián	5.951.552	271.558	460	1956-2010	DGA
15	Coelemu	5.955.606	168.304	30	1961-2010	DGA
16	San agustín de Puñual	5.963.394	178.488	35	1993-2010	DGA
17	Millauquen	5.970.398	220.169	146	1992-2010	DGA
18	Mangarral	5.984.448	197.215	150	1992-2010	DGA
19	La Punilla	5.940.438	291.934	840	1959-1986	DGA
20	Caracol	5.941.349	286.321	620	1987-2010	DGA
21	Coihueco Embalse	5.941.253	249.734	314	1971-2010	DGA
22	Trupan	5.870.980	250.025	480	1963-2010	DGA
23	Diguillín	5.916.375	264.442	670	1959-2010	DGA
24	Chillán Viejo	5.942.044	756.927	106	1977-2010	DGA
25	San Ignacio de Palomares	5.943.053	714.591	75	1941-1988 1989-2009	ProItata -DMC Anuarios DMC
26	Punta Tumbes	5.945.934	668.425	130	1941-1988	ProItata-DMC

FIGURA N°3.1 Ubicación de Estaciones Pluviométricas

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 N°6 Atacalco Fundo como Patrón, y para la poniente se eligió la estación N°25 San Ignacio de Palomares como Patrón. Debe señalarse que estas dos estaciones fueron incluidas en el Patrón Pluviométrico del estudio Proitata (1992).

Se procedió luego a rellenar las precipitaciones anuales faltantes en cada estación, utilizando las correlaciones realizadas con los dos Patrones. Para los Patrones también se debió rellenar algunos vacíos para los cuales se utilizó una correlación con una estación vecina. La estación Punta Tumbes debió rellenarse con Coihueco Embalse dado que las correlaciones con ambos Patrones resultaron con un bajo coeficiente de determinación.

En general las estaciones Rafael, La Punilla y Punta Tumbes presentaron correlaciones deficientes con el resto de las estaciones.

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 3-2 se consignan las figuras con las rectas respectivas.

Cuadro N°3-2 Correlación de Precipitaciones Anuales

Nº	Estación Y	Estación X	a	b	R2
01	Tucapel	Atacalco Fundo	0,553	282,119	0,816
02	Las Cruces	Atacalco Fundo	0,768	109,946	0,917
03	Cholguan	Atacalco Fundo	0,474	252,852	0,570
04	Pemuco	Atacalco Fundo	0,517	7,802	0,793
05	San Lorenzo Fundo	Atacalco Fundo	1,002	-30,152	0,944
06	Atacalco Fundo	Diguillín	1,053	123,141	0,933
07	Las Trancas	Atacalco Fundo	1,066	-247,773	0,837
08	Mayulermo	Atacalco Fundo	0,612	91,178	0,871
09	Chillancito	San Ignacio de Palomares	0,870	91,057	0,796
10	Cancha los Litres	San Ignacio de Palomares	0,830	77,868	0,707
11	Nueva Aldea	San Ignacio de Palomares	0,830	81,650	0,743
12	Camán	Atacalco Fundo	1,043	-154,141	0,903
13	Rafael	San Ignacio de Palomares	0,927	369,277	0,498
14	San Fabián	Atacalco Fundo	0,862	-192,537	0,585
15	Coelemu	San Ignacio de Palomares	0,834	-76,933	0,857
16	San agustín de Puñual	San Ignacio de Palomares	0,811	10,379	0,862
17	Millauquen	San Ignacio de Palomares	0,786	44,170	0,768
18	Mangarral	San Ignacio de Palomares	0,723	13,473	0,848
19	La Punilla	Atacalco Fundo	0,796	37,495	0,515
20	Caracol	Atacalco Fundo	1,232	-392,231	0,878
21	Coihueco Embalse	Atacalco Fundo	0,624	-22,566	0,876
22	Trupan	Atacalco Fundo	0,619	253,122	0,788
23	Diguillín	Atacalco Fundo	0,886	32,863	0,933
24	Chillán Viejo	San Ignacio de Palomares	0,756	205,946	0,787
25	San Ignacio de Palomares	Coelemu	1,027	240,354	0,857
26	Punta Tumbes	Coihueco Embalse	0,489	-142,099	0,684

Una vez que se rellenaron 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 rellenadas y corregidas finalmente obtenidas, se presentan en el Anexo 3-3

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

De acuerdo a estas curvas, presentadas en el Anexo 3-4, se concluye que las estadísticas finales se pueden considerar rellenadas 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 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 TUCAPEL

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	56,44	107,03	80,81	72,25	22,56	9,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	794,96	139,03	1047,04
85%	24,69	97,15	159,06	127,80	114,15	53,48	29,70	11,09	0,00	0,00	0,00	2,71	974,67	187,92	1262,59
50%	90,44	220,80	273,74	243,94	206,50	121,62	84,90	55,82	30,36	20,02	16,99	35,30	1280,80	296,37	1609,05
20%	164,45	392,76	402,84	368,45	310,46	198,33	152,37	106,17	79,56	52,80	53,02	71,99	1529,39	408,03	1871,75
5%	260,45	634,17	570,30	502,49	445,31	297,84	239,40	171,49	151,19	101,64	110,72	119,58	1766,65	532,41	2107,38
Distribucion	G	LogPearIII	G	LogPearIII	G	G	PearsonIII	G	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	G	N	LogPearIII	PearsonIII
Valor Chi2	2,010	3,949	2,500	3,997	0,724	1,684	2,854	2,671	14,141	15,044	16,439	2,425	1,874	1,430	0,237

02 LAS CRUCES

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	63,69	122,89	86,36	95,59	46,79	19,39	0,00	0,01	0,00	0,00	0,05	917,58	169,84	1205,48
85%	26,01	112,52	193,37	165,06	136,83	72,29	40,95	11,44	0,43	0,29	0,14	7,06	1168,48	219,48	1473,04
50%	101,79	262,09	340,61	318,62	243,72	143,31	103,15	64,95	28,60	16,88	17,17	34,81	1573,08	339,71	1947,24
20%	189,12	467,91	487,95	462,61	377,86	237,50	183,37	125,18	157,30	52,55	59,57	78,02	1881,08	484,35	2319,01
5%	297,65	749,32	654,09	617,28	560,33	369,40	290,30	203,32	307,26	113,90	136,97	141,97	2158,40	679,48	2637,57
Distribucion	PearsonIII	LogPearIII	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII	LogPearIII	PearsonIII	G	LogPearIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LN	LogPearIII
Valor Chi2	2,629	2,446	3,724	0,344	0,439	1,112	5,439	1,553	13,957	11,963	4,139	2,582	2,827	1,070	0,933

03 CHOLGUAN

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	6,83	26,63	83,73	46,99	57,10	26,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,48	647,26	95,31	847,90
85%	19,76	61,63	134,92	101,91	94,39	43,73	15,06	5,10	0,00	0,00	0,00	5,47	801,13	143,01	1034,50
50%	65,88	188,97	240,45	219,85	176,56	96,71	67,84	46,93	25,15	14,20	12,24	25,27	1091,71	249,94	1365,65
20%	133,70	365,20	344,75	340,84	269,06	171,02	127,25	94,02	61,25	50,16	42,69	59,63	1355,44	352,38	1647,13
5%	231,07	573,36	461,29	479,74	389,04	277,89	204,32	155,10	109,88	110,25	96,04	113,29	1631,57	451,59	1926,51
Distribucion	PearsonIII	LogPearIII	PearsonIII	PearsonIII	G	LogPearIII	G	G	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII	PearsonIII
Valor Chi2	2,854	1,439	0,153	2,112	1,248	1,854	3,391	1,898	17,971	16,439	14,963	3,153	0,629	0,184	1,872

04 PEMUCO

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	26,62	70,24	45,73	62,56	13,24	2,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	550,19	92,53	706,43
85%	13,93	74,80	116,64	97,80	86,89	38,20	21,02	5,97	0,00	0,00	0,00	3,42	709,44	128,64	904,38
50%	65,70	188,90	216,59	200,00	152,08	93,21	65,81	38,22	20,34	10,45	11,99	21,26	1006,40	213,24	1253,05
20%	126,03	361,11	319,41	296,39	239,58	155,13	116,51	75,23	57,40	38,34	39,86	49,03	1247,82	306,04	1512,78
5%	201,52	470,79	437,69	400,41	369,69	235,46	178,78	121,09	114,44	86,71	85,49	90,12	1457,31	415,73	1716,24
Distribucion	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LN	G	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII	LogPearIII
Valor Chi2	1,874	0,724	0,997	1,112	0,486	3,296	5,867	5,997	12,043	11,643	13,520	1,711	2,663	1,070	0,348

05 SAN LORENZO FUNDO

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	1,30	54,60	148,26	98,04	114,84	55,63	17,60	0,00	0,00	0,00	1,54	0,00	1084,79	173,12	1418,04
85%	34,97	147,28	238,33	178,62	161,06	83,02	45,36	11,26	0,46	0,00	2,30	7,04	1386,55	246,39	1764,72
50%	119,10	351,53	422,69	383,45	286,58	164,21	123,61	76,55	42,81	17,33	21,36	39,38	1900,60	415,71	2355,27
20%	216,94	581,46	603,71	581,75	457,57	285,70	222,99	150,05	110,79	59,58	73,82	92,34	2318,02	594,28	2834,82
5%	339,24	879,72	805,00	754,21	715,16	484,70	354,21	245,39	212,98	134,88	173,26	172,72	2716,40	793,69	3292,49
Distribucion	PearsonIII	G	PearsonIII	LogPearIII	LN	LN	PearsonIII	G	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	N	LogPearIII	N
Valor Chi2	2,119	0,724	2,582	0,378	0,235	1,629	5,439	1,629	1,988	10,235	6,446	4,296	0,786	0,270	1,642

06 ATACALCO FUNDO

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	89,46	140,00	114,42	122,01	54,84	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1126,74	196,28	1448,17
85%	31,72	150,47	231,74	201,74	168,88	85,51	41,20	13,41	1,80	0,00	0,34	6,94	1419,25	266,59	1783,21
50%	123,50	330,92	419,33	385,00	293,83	172,41	131,48	79,04	44,52	18,99	20,95	41,03	1917,55	421,55	2387,08
20%	226,83	576,29	603,34	569,14	460,66	289,93	233,11	152,92	115,25	62,58	74,73	95,43	2322,18	595,99	2870,25
5%	360,87	915,68	807,84	777,43	707,57	457,62	364,94	248,75	223,22	139,23	174,68	176,96	2708,35	822,27	3292,48
Distribucion	G	LogPearIII	PearsonIII	PearsonIII	LN	LogPearIII	G	G	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	N	G	LogPearIII
Valor Chi2	4,738	2,357	0,398	0,997	0,296	0,330	6,833	1,870	1,097	9,629	2,772	2,854	4,867	0,150	0,305

07 LAS TRANCAS

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	5,90	85,13	95,59	72,58	93,63	45,01	4,25	0,00	5,08	0,00	4,36	0,00	965,28	173,45	1283,78
85%	34,48	142,06	216,20	139,48	134,13	72,13	37,56	16,01	8,52	0,00	4,77	4,82	1239,49	253,31	1637,39
50%	116,75	317,46	421,67	336,35	250,16	154,55	121,96	75,24	41,55	28,57	21,23	39,20	1790,45	426,57	2269,95
20%	222,73	574,08	588,51	568,59	419,23	276,58	221,19	152,38	113,97	76,87	71,97	97,04	2296,05	605,91	2812,31
5%	363,88	962,86	747,75	819,55	692,15	467,76	346,10	255,78	239,59	139,51	172,17	186,05	2802,36	813,14	3354,54
Distribucion	PearsonIII	LogPearIII	N	LogPearIII	LogPearIII	LogPearIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	G	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII	PearsonIII	PearsonIII
Valor Chi2	0,541	2,262	0,724	1,303	0,724	1,357	4,684	2,015	7,899	19,541	8,235	2,827	1,629	0,693	4,606

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

08 MAYULERMO

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	63,03	73,11	73,42	61,97	39,41	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	738,52	122,07	954,56
85%	15,19	97,97	151,75	133,38	105,51	57,54	27,62	6,83	0,00	0,00	0,00	3,50	939,03	167,05	1187,68
50%	81,90	207,69	285,73	253,62	201,46	109,62	86,26	50,34	26,87	12,48	12,83	25,94	1266,20	270,74	1563,78
20%	157,01	382,29	394,53	369,39	309,47	185,02	152,28	99,34	72,61	41,04	47,13	61,13	1518,82	382,97	1850,22
5%	254,44	684,35	498,36	496,28	449,58	304,90	237,91	162,89	143,09	90,38	109,17	113,40	1749,25	514,52	2108,23
Distribucion	G	LN	N	PearsonIII	G	LN	G	G	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII	PearsonIII
Valor Chi2	0,806	2,255	3,724	1,214	0,568	0,296	5,092	2,353	14,189	10,235	13,520	2,582	3,582	0,711	0,712

09 CHILLANCITO

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	2,20	9,76	53,39	42,81	31,30	19,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	470,90	50,37	598,44
85%	12,46	54,65	106,18	88,56	54,89	32,79	9,81	2,51	0,00	0,00	0,00	0,00	635,06	76,24	769,81
50%	47,52	166,99	228,42	185,90	126,91	73,88	38,54	20,56	7,91	6,54	5,34	14,31	914,72	133,27	1061,74
20%	97,85	297,80	317,21	284,94	223,40	129,17	74,33	49,29	31,05	24,56	22,52	41,25	1141,82	197,46	1298,80
5%	169,17	461,46	365,51	397,96	354,88	203,66	121,05	92,27	72,60	53,67	52,72	84,24	1358,55	280,73	1525,04
Distribucion	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	N	G	N
Valor Chi2	0,759	2,092	2,065	3,398	0,949	2,112	2,255	6,266	12,954	20,949	12,684	16,105	3,296	0,106	3,227

10 CANCHA LOS LITRES

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	32,48	25,32	31,52	31,94	14,42	0,00	0,00	0,41	0,00	0,00	0,01	478,97	48,96	564,30
85%	9,62	58,52	93,07	73,62	58,43	26,16	7,45	0,25	0,70	0,00	0,00	0,30	604,57	70,80	726,13
50%	45,69	143,18	208,49	166,40	131,12	63,87	35,27	25,65	8,47	7,01	3,82	11,81	843,71	126,25	1001,80
20%	94,22	269,40	302,22	270,84	221,74	118,66	73,91	54,25	30,04	22,90	18,46	53,53	1062,56	193,15	1225,65
5%	160,51	457,48	391,67	406,32	340,05	197,52	127,66	91,35	71,03	46,32	45,97	98,28	1293,20	279,77	1439,29
Distribucion	PearsonIII	LogPearIII	N	G	PearsonIII	LogPearIII	PearsonIII	G	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII	PearsonIII	LogPearIII	N
Valor Chi2	2,092	0,425	1,330	4,214	1,786	0,378	5,711	7,812	10,722	24,167	15,677	10,588	0,296	1,678	1,350

11 NUEVA ALDEA

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	3,47	25,95	71,21	43,62	54,50	13,89	1,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	461,89	34,82	556,34
85%	11,16	55,68	100,99	82,67	67,73	29,21	11,93	0,94	0,00	0,00	0,00	1,14	588,14	76,62	723,43
50%	43,35	152,34	183,13	170,40	118,89	70,05	40,78	28,06	11,34	9,43	4,66	15,96	834,56	147,83	1008,07
20%	94,93	272,21	296,94	264,00	197,56	119,92	76,39	58,60	36,58	24,77	21,76	37,22	1065,74	205,65	1239,21
5%	172,37	401,29	470,98	374,47	313,21	184,23	122,62	98,21	75,21	44,65	54,20	67,33	1314,13	260,84	1459,80
Distribucion	PearsonIII	LogPearIII	LN	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	G	PearsonIII	G	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	N	N
Valor Chi2	0,378	0,439	2,065	0,296	5,330	1,024	0,969	7,198	15,604	24,214	14,963	3,092	1,255	0,709	1,783

12 CAMAN

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	79,25	147,17	105,02	78,61	21,19	6,90	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	1022,87	165,34	1312,45
85%	25,57	140,26	227,73	200,64	152,26	70,58	37,01	8,64	0,18	0,00	1,08	5,15	1366,01	234,67	1687,86
50%	115,98	326,91	407,15	389,24	310,24	179,44	118,26	73,71	37,54	19,04	19,00	36,55	1914,82	397,31	2355,45
20%	217,76	582,79	597,18	567,97	472,15	301,99	218,35	146,96	105,23	62,99	67,42	89,73	2328,42	573,37	2858,64
5%	349,79	930,75	820,31	761,52	657,91	460,96	348,08	241,98	213,16	139,55	158,58	171,80	2697,31	776,27	3257,46
Distribucion	G	LogPearIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	G	PearsonIII	G	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII	LogPearIII
Valor Chi2	1,520	1,493	1,731	0,922	1,901	0,350	4,296	2,319	2,933	10,997	6,167	1,582	3,969	0,126	1,430

13 RAFAEL

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	16,89	29,19	57,79	33,99	27,75	0,00	0,00	2,26	0,00	0,00	0,00	690,04	76,81	877,66
85%	12,56	78,96	129,34	121,26	81,42	43,69	11,85	3,62	2,55	0,00	0,00	0,00	872,36	107,06	1070,28
50%	61,26	215,75	299,96	249,44	185,96	91,15	53,80	33,42	12,97	8,94	8,06	19,71	1203,78	180,25	1398,41
20%	127,39	369,74	438,51	373,69	303,65	160,15	105,86	70,56	43,69	30,59	27,45	54,29	1466,81	264,44	1664,87
5%	218,19	569,49	570,73	510,55	456,30	266,82	173,64	119,05	103,39	62,69	55,94	107,18	1691,12	369,36	1919,17
Distribucion	PearsonIII	G	N	PearsonIII	G	LogPearIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII	LogPearIII	N
Valor Chi2	2,330	0,568	1,901	4,330	0,786	3,425	7,616	7,729	16,730	20,520	26,398	17,963	1,010	3,424	2,709

14 SAN FABIAN

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	8,27	45,82	104,46	73,22	74,27	0,00	4,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	759,10	108,88	888,17
85%	24,24	94,18	172,25	117,21	114,77	41,67	22,88	6,87	0,00	0,00	0,00	0,33	987,63	165,78	1247,12
50%	86,60	258,46	321,64	261,25	225,27	141,38	78,93	48,65	28,52	13,60	16,62	32,67	1470,21	291,16	1858,58
20%	183,01	489,09	489,82	500,87	367,10	253,62	153,25	110,56	79,76	48,32	53,84	77,87	1957,86	432,32	2355,11
5%	325,12	786,24	707,97	932,20	558,28	399,22	253,90	199,82	157,91	109,61	115,66	140,97	2511,69	615,41	2828,99
Distribucion	PearsonIII	LogPearIII	G	LN	LogPearIII	G	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	G	N
Valor Chi2	1,167	2,071	0,486	1,439	4,929	0,833	0,949	3,782	11,898	11,398	14,663	0,520	3,344	0,402	7,754

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

15 COELEMU

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	17,16	37,84	0,00	23,77	14,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	324,76	31,37	455,34
85%	6,55	41,99	73,09	59,41	42,24	23,79	4,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	476,88	50,82	586,22
50%	35,12	129,16	161,95	166,14	100,57	52,89	28,02	16,57	6,62	5,22	3,65	10,98	736,02	102,36	835,54
20%	77,82	235,06	266,01	252,80	184,51	101,18	62,75	42,95	27,05	18,97	17,43	32,31	946,46	162,94	1063,81
5%	139,68	337,41	396,65	335,52	305,24	187,90	112,21	80,18	62,30	39,27	41,02	63,90	1147,29	234,80	1304,49
Distribucion	PearsonIII	LogPearIII	PearsonIII	N	LogPearIII	LN	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	N	LogPearIII	PearsonIII
Valor Chi2	4,187	0,867	0,779	5,255	0,486	0,486	7,010	21,843	13,340	31,235	20,378	16,867	0,724	5,736	0,990

16 SAN AGUSTIN DE PUÑUAL

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	28,69	56,11	38,60	32,65	17,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	434,41	45,23	512,74
85%	8,43	53,43	90,33	75,42	51,05	26,85	5,70	0,61	0,00	0,00	0,00	0,15	541,64	62,93	661,99
50%	41,22	133,99	174,85	159,12	110,40	55,83	33,69	20,11	8,50	5,12	2,95	8,53	763,25	110,48	916,24
20%	82,69	250,66	272,24	249,31	192,66	101,18	70,01	44,69	29,04	18,83	17,60	53,23	979,54	174,49	1122,69
5%	137,33	415,54	393,28	356,49	306,97	178,44	118,58	76,99	65,82	39,75	47,62	127,81	1214,66	269,90	1319,74
Distribucion	PearsonIII	LogPearIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LN	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII	LogPearIII	LN	N
Valor Chi2	3,017	3,344	0,568	1,874	1,738	2,874	8,969	12,478	14,113	24,214	16,296	13,439	2,017	6,039	0,377

17 MILLAUQUEN

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	29,20	41,93	35,61	35,47	15,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	450,60	49,45	525,27
85%	9,43	53,21	84,11	67,46	52,69	25,46	7,56	1,47	0,00	0,00	0,00	0,21	551,49	69,62	672,29
50%	42,14	131,61	177,08	158,13	109,56	57,64	36,76	21,02	9,17	6,12	1,64	9,76	761,89	119,99	922,74
20%	83,17	248,05	281,73	260,59	189,59	105,07	74,65	45,41	30,69	19,97	11,50	50,17	972,07	180,39	1126,11
5%	136,97	419,71	417,48	366,44	301,72	177,22	125,33	77,26	68,34	40,62	50,44	101,71	1208,04	258,93	1320,20
Distribucion	PearsonIII	LogPearIII	G	LogPearIII	PearsonIII	LogPearIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII	LogPearIII	LogPearIII	N
Valor Chi2	1,214	1,296	0,867	2,112	0,629	0,677	6,582	6,763	14,023	17,201	9,439	9,255	0,541	0,763	0,377

18 MANGARRAL

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	5,79	46,01	32,74	31,64	13,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	402,27	34,20	461,54
85%	4,25	44,69	78,43	67,73	47,65	23,33	4,99	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	495,60	56,53	594,73
50%	38,13	130,41	162,62	144,23	99,66	51,86	30,45	18,41	6,20	4,91	1,41	11,24	686,41	105,76	821,64
20%	76,28	226,91	253,68	223,98	172,10	93,03	65,37	41,09	24,00	17,42	9,74	32,49	870,98	161,18	1005,89
5%	125,76	352,09	348,57	316,60	273,03	154,38	113,59	70,61	57,35	36,20	46,13	64,33	1070,61	233,06	1181,74
Distribucion	G	G	LogPearIII	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII	G	N
Valor Chi2	2,582	3,378	1,520	1,684	0,439	0,684	7,636	12,015	11,850	18,806	10,010	15,724	1,112	2,867	0,184

19 LA PUNILLA

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	50,11	66,95	102,35	64,57	23,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	867,04	145,45	1115,22
85%	15,76	122,01	171,17	158,68	116,46	56,05	28,69	9,79	3,83	0,00	0,11	3,16	1116,18	201,80	1407,15
50%	100,63	280,48	348,71	309,46	248,62	145,10	104,37	63,55	33,30	15,54	13,80	31,89	1561,51	333,32	1924,47
20%	196,17	458,86	492,88	496,78	404,62	256,07	189,56	124,06	87,60	51,76	53,17	76,97	1942,99	476,98	2363,48
5%	320,11	690,26	630,47	739,38	601,49	400,93	300,07	202,56	174,87	114,33	129,00	143,92	2324,11	646,08	2798,63
Distribucion	G	G	N	LogPearIII	PearsonIII	PearsonIII	G	G	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII	PearsonIII
Valor Chi2	1,874	0,724	1,854	2,010	1,548	0,833	4,949	1,194	4,507	9,582	16,929	4,711	0,378	1,215	1,714

20 CARACOL

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	51,42	142,71	111,22	115,31	54,64	7,83	0,00	0,00	0,00	0,00	3,12	1018,07	178,01	1314,10
85%	23,91	150,63	235,92	205,22	168,79	87,43	43,39	11,47	2,02	0,00	0,84	6,50	1394,93	256,73	1770,96
50%	132,74	380,35	436,42	407,83	313,18	183,27	136,32	84,38	43,39	20,25	21,03	34,71	2085,64	443,97	2587,46
20%	255,26	631,81	642,43	616,38	503,05	316,74	248,13	166,46	117,73	69,24	74,61	93,99	2600,01	648,48	3179,61
5%	414,18	933,79	879,21	856,40	772,93	511,43	390,94	272,93	235,79	155,56	174,84	195,02	2985,11	884,76	3612,83
Distribucion	G	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII	LogPearIII	PearsonIII	G	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII	LogPearIII	LogPearIII
Valor Chi2	2,207	1,248	0,997	2,827	0,867	0,248	5,949	3,223	2,933	10,235	3,643	3,473	1,357	1,041	0,734

21 COIHUECO EMBALSE

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	24,28	50,93	42,18	73,06	17,30	10,13	2,09	0,00	0,00	0,78	0,00	671,57	106,45	891,72
85%	15,75	86,05	134,38	119,09	100,95	46,62	26,82	9,12	0,00	0,00	3,96	3,64	860,12	148,35	1083,66
50%	79,33	222,18	276,52	250,12	175,11	111,24	73,26	39,12	22,94	12,42	8,09	24,55	1186,39	247,62	1448,97
20%	150,91	375,42	391,94	356,51	273,88	183,98	131,69	87,65	65,25	40,89	35,98	58,65	1456,08	358,26	1769,71
5%	243,76	574,20	502,10	458,05	419,69	278,33	208,41	160,86	132,73	88,79	106,28	110,31	1717,47	491,26	2083,35
Distribucion	G	G	N	N	LN	G	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII	LogPearIII
Valor Chi2	1,711	2,330	4,112	3,398	0,677	3,187	2,262	1,314	11,850	13,827	14,255	0,493	4,235	0,276	0,899

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

22 TRUPAN

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	2,30	0,00	118,42	65,68	67,29	30,47	13,34	0,00	0,00	0,00	1,29	1,50	882,76	139,07	1133,62
85%	29,19	90,54	175,52	136,39	114,39	63,20	34,35	10,89	0,00	0,00	1,86	9,23	1026,35	216,50	1339,86
50%	94,23	273,88	301,48	269,63	218,20	135,33	93,61	62,14	36,20	20,24	16,75	36,23	1326,77	350,49	1712,05
20%	167,99	422,76	433,77	390,28	335,06	216,52	168,93	119,82	88,35	56,55	58,05	75,48	1634,32	461,22	2034,19
5%	258,70	564,84	588,20	516,38	486,65	321,85	268,44	194,65	162,14	113,55	136,58	131,50	1994,11	568,54	2358,78
Distribucion	PearsonIII	N	PearsonIII	PearsonIII	G	G	PearsonIII	G	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LN	PearsonIII	PearsonIII
Valor Chi2	3,500	1,922	1,092	2,112	2,425	1,010	7,724	2,208	15,217	10,969	7,235	1,901	2,446	4,587	4,101

23 DIGUILLIN

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	79,24	135,09	115,74	79,36	28,29	15,73	0,00	0,13	0,00	1,79	0,00	996,47	172,08	1289,43
85%	25,47	134,81	206,62	177,42	141,89	70,69	41,90	11,33	4,83	0,00	2,21	6,06	1281,36	234,92	1616,46
50%	111,06	299,89	364,26	336,49	279,72	164,12	112,81	71,50	34,62	16,46	18,08	35,76	1745,90	373,42	2153,32
20%	207,40	523,73	541,72	524,43	434,87	269,30	200,41	139,24	91,65	55,97	65,81	85,01	2104,28	529,33	2570,86
5%	332,37	830,48	771,92	755,26	636,12	405,73	314,15	227,12	184,94	126,01	159,23	160,26	2430,95	731,58	2954,28
Distribucion	G	LogPearIII	G	LogPearIII	G	G	PearsonIII	G	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	G	PearsonIII
Valor Chi2	1,520	1,684	1,541	2,112	0,786	0,806	6,344	3,920	4,963	9,820	8,548	1,582	4,568	1,629	4,799

24 CHILLAN VIEJO

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	25,54	61,68	41,41	40,89	22,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	551,06	58,34	654,33
85%	10,81	61,49	102,86	76,57	61,71	34,12	9,74	1,26	0,18	0,00	0,00	0,50	648,54	86,18	800,45
50%	50,57	159,10	205,40	173,42	126,24	68,03	41,86	21,80	9,56	8,34	4,37	16,34	855,95	147,53	1049,36
20%	100,98	279,82	310,92	279,66	213,53	119,15	86,56	52,24	33,71	24,61	25,14	60,79	1072,26	216,60	1251,49
5%	167,49	436,69	415,70	386,97	333,15	203,40	148,83	96,12	78,36	47,45	68,09	94,72	1329,52	306,19	1444,40
Distribucion	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII	LogPearIII	PearsonIII	LN	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII	LN	G	N
Valor Chi2	3,071	3,391	1,827	3,255	0,731	3,105	1,357	5,128	15,411	21,010	16,439	10,963	1,357	2,403	1,321

25 SAN IGNACIO DE PALOMARES

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	4,62	1,53	61,33	40,76	33,24	4,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	457,51	40,81	631,87
85%	11,71	55,70	104,78	87,07	56,81	27,13	6,38	0,87	0,21	0,00	0,00	0,24	641,13	77,39	811,99
50%	46,58	175,09	212,23	189,16	131,22	77,69	40,17	24,33	9,78	6,89	3,60	11,68	953,92	146,71	1118,81
20%	106,84	309,48	336,23	304,07	233,01	134,60	83,42	54,23	34,13	24,13	21,12	60,69	1207,92	209,85	1367,96
5%	200,79	483,81	490,47	453,13	373,39	208,43	140,79	93,80	78,96	49,95	54,60	122,37	1450,34	276,16	1605,75
Distribucion	PearsonIII	G	PearsonIII	G	PearsonIII	G	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII	N	PearsonIII	N
Valor Chi2	3,724	2,282	2,092	2,357	0,759	4,759	7,806	7,343	8,585	26,398	15,677	10,071	0,867	2,763	0,411

26 PUNTA TUMBES

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,00	22,23	37,85	25,97	25,44	11,48	1,10	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	239,33	34,06	318,93
85%	6,50	35,12	57,52	42,35	36,96	18,99	6,70	2,01	0,00	0,00	0,02	0,00	325,51	51,60	411,03
50%	29,46	76,55	105,64	88,95	69,83	41,17	25,50	12,98	8,09	6,41	1,56	9,68	478,88	93,49	578,56
20%	55,31	144,12	158,30	150,04	117,05	71,71	52,21	33,02	22,18	18,99	17,29	25,68	609,65	137,71	724,78
5%	88,83	263,62	217,67	232,26	191,64	114,94	89,84	65,12	43,04	36,69	86,66	50,00	739,77	185,56	873,13
Distribucion	G	LN	LogPearIII	LogPearIII	LN	LogPearIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII	PearsonIII
Valor Chi2	2,153	1,248	1,820	1,663	0,922	1,010	6,092	2,276	15,107	24,541	20,357	20,296	2,439	1,600	0,657

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 1941/42 - 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.

Del total de estaciones fluviométricas existentes, se seleccionaron las mismas que las del proyecto Proitata (1992), pues se encuentran adecuadamente distribuidas dentro del área de estudio.

3.2.2 Recopilación de la Información Disponible

Se recopilaron las estadísticas rellenas y corregidas en el proyecto Proitata, de las 17 estaciones fluviométricas indicadas en el Cuadro N° 3-4, cuya ubicación se consigna en la Figura N° 3-2. Estas estadísticas, cuya información fue actualizada con los últimos datos de la DGA, corresponden a las series base de este estudio, y se presentan en el Anexo 3-6.

Cuadro N° 3-4 Estaciones Fluviométricas Seleccionadas

N°	Estación	Coordenadas UTM (m)		Altitud (msnm)	Período
		N	E		
01	RIO ÑUBLE EN LA PUNILLA	5.941.278	288.435	635	1941-2010
02	RIO ÑUBLE EN SAN FABIAN	5.950.105	271.798	410	1941-2010
03	RIO ÑUBLE EN LONGITUDINAL	5.951.066	759.587	107	1941-1988
04	NIBLINTO ANTES CANAL ALIMENTADOR	5.939.825	253.658	290	1970-2002
05	RIO CATO EN PUENTE CATO	5.950.930	764.064	123	1941-2010
06	RIO CHANGARAL CAMINO A PORTEZUELO	5.951.546	743.173	60	1941-2004
07	RIO CHILLAN EN ESPERANZA	5.925.568	254.586	435	1941-1994
08	RIO CHILLAN EN LONGITUDINAL	5.942.128	748.874	75	1941-1988
09	RIO CHILLAN EN CAMINO A CONFLUENCIA	5.944.232	739.982	45	1941-2010
10	ESTERO QUILMO CAMINO A YUNGAY	5.936.404	754.671	90	1941-1988
11	RIO RENEGADO EN INVERNADA	5.916.614	265.254	710	1941-2010
12	RIO DIGUILLIN EN SAN LORENZO	5.909.379	271.397	598	1941-2010
13	RIO DIGUIILLIN EN LONGITUDINAL	5.916.532	737.718	80	1941-2010
14	RIO ITATA EN CHOLGUAN	5.884.391	760.526	220	1941-2010
15	RIO ITATA EN TRILALEO	5.893.953	750.436	155	1958-2010
16	RIO ITATA EN GENERAL CRUZ	5.909.175	736.026	90	1941-2010
17	RIO ITATA EN CERRO NEGRO	5.918.505	733.311	60	1941-1988
18	RIO ITATA EN Balsa Nueva Aldea	5.940.858	727.957	15	1941-2010

FIGURA N°3-2 Ubicación de estaciones Fluviométricas

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. Estos puntos 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.

En el Anexo 3-7 se presentan las correlaciones realizadas, y en el Anexo 3-8, la estadísticas rellenas 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 3-9 se presenta el detalle de los resultados y en el Cuadro N°3-5 se consigna el resumen de este análisis, indicando para cada mes, la distribución de mejor ajuste. Finalmente, en el Anexo N 3-10 se consignan las curvas de variación estacional de los caudales medios mensuales.

Cuadro N°3-5. Análisis de Frecuencia. Caudales Medios Mensuales

01 RIO ÑUBLE EN LA PUNILLA

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	12,14	13,26	20,05	33,10	37,70	43,68	63,75	54,50	33,14	14,48	17,02	12,90	33,76	30,18	38,38
85%	14,43	20,48	34,41	46,47	47,52	57,67	79,75	79,85	49,48	26,10	20,20	15,87	46,48	48,29	53,70
50%	22,06	46,89	81,98	82,83	74,48	88,49	116,78	134,63	90,47	51,70	28,79	22,59	74,51	79,13	79,79
20%	35,96	100,19	149,00	132,43	113,25	123,20	159,18	185,14	137,85	80,53	40,98	30,08	106,06	104,18	100,98
5%	65,96	223,26	242,99	207,27	177,30	168,21	213,93	232,47	195,32	117,93	60,91	39,54	146,99	128,09	121,21
Distribucion	LogPearlIII	LogPearlIII	PearsonIII	LN	LogPearlIII	G	LN	LogPearlIII	LogPearlIII	G	LogPearlIII	LN	G	N	N
Valor Chi2	4,425	3,827	0,568	1,901	0,425	4,684	9,629	1,843	0,857	2,663	2,439	0,248	1,439	2,068	1,010

02 RIO ÑUBLE EN SAN FABIAN

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	14,32	17,38	37,83	49,32	59,63	69,07	64,77	69,65	37,69	24,64	18,42	12,85	50,56	43,79	53,19
85%	17,29	27,64	58,19	75,82	76,39	87,04	92,60	102,66	60,41	33,26	23,43	16,99	71,27	60,01	72,29
50%	27,54	65,98	121,14	142,17	120,97	129,06	153,94	165,25	110,49	57,54	35,28	26,11	115,31	93,67	109,57
20%	47,06	144,47	219,73	216,68	182,23	177,72	222,99	222,28	166,87	88,37	49,21	36,38	160,10	127,11	140,70
5%	91,56	326,63	387,87	302,75	278,16	241,17	312,56	282,19	240,00	129,07	67,60	49,70	211,19	164,63	167,75
Distribucion	LogPearlIII	LogPearlIII	LN	LogPearlIII	LogPearlIII	LN	G	PearsonIII	G	PearsonIII	LN	G	PearsonIII	PearsonIII	LogPearlIII
Valor Chi2	1,541	11,425	0,541	3,534	1,854	1,881	8,439	0,270	0,493	3,806	1,092	1,541	2,010	1,430	0,962

03 RIO ÑUBLE EN LONGITUDINAL

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	3,32	20,78	63,71	100,31	106,99	86,85	47,90	38,38	12,49	2,24	0,61	1,21	81,98	21,77	57,37
85%	6,00	35,56	101,70	152,02	127,31	121,10	86,74	69,29	24,73	5,95	1,49	2,04	113,89	37,45	85,55
50%	17,25	88,85	212,37	249,31	207,61	196,39	172,34	137,41	67,03	21,83	6,76	4,97	179,73	72,02	133,55
20%	42,65	186,88	365,87	337,26	332,48	275,25	268,69	214,10	130,64	46,83	23,12	10,21	244,87	110,94	172,52
5%	105,43	379,97	588,99	429,05	517,13	367,12	393,68	313,58	221,71	78,89	74,78	20,33	317,71	161,42	209,72
Distribucion	LogPearlIII	LN	LogPearlIII	PearsonIII	PearsonIII	PearsonIII	G	G	LogPearlIII	LogPearlIII	LN	LN	PearsonIII	G	N
Valor Chi2	1,112	0,684	0,248	2,010	1,139	1,303	9,929	1,671	1,147	0,922	15,616	0,724	1,922	3,198	1,426

04 RÍO NIBLINTO ANTES CANAL ALIMENTADOR

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,38	0,48	4,05	4,58	7,60	6,69	4,84	2,77	1,58	0,60	0,37	0,00	8,61	2,03	5,66
85%	0,81	1,91	8,97	10,77	10,96	10,00	7,86	4,95	2,37	1,10	0,62	0,16	11,46	3,29	8,18
50%	2,89	11,06	21,16	24,39	19,29	17,30	14,53	9,38	4,74	2,21	1,17	1,01	17,74	6,03	12,52
20%	8,15	28,94	35,23	39,73	29,02	25,52	22,03	13,68	8,33	3,46	1,79	1,97	24,81	8,34	16,10
5%	21,93	52,81	52,76	59,63	41,20	36,18	31,77	18,44	14,25	5,09	2,59	3,22	33,98	10,16	19,56
Distribucion	LN	LogPearlIII	PearsonIII	G	LogPearlIII	G	G	PearsonIII	LN	G	G	G	G	LogPearlIII	PearsonIII
Valor Chi2	0,759	0,330	2,806	0,296	0,711	4,105	1,929	3,427	0,299	0,684	1,119	10,235	0,806	3,398	0,155

05 RIO CATO EN PUENTE CATO

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	1,71	6,92	19,05	28,83	22,72	25,18	9,35	6,99	1,46	0,92	0,69	0,00	24,86	5,48	17,70
85%	3,07	11,81	31,59	47,07	41,45	32,81	18,52	10,37	2,82	1,54	1,08	1,12	38,39	7,66	25,43
50%	7,69	29,39	68,21	95,42	82,75	57,77	38,74	20,33	8,03	3,11	2,35	5,73	66,36	13,52	41,01
20%	15,13	61,63	117,56	151,91	129,23	92,66	61,51	35,10	17,54	4,96	4,43	11,18	89,01	21,45	54,03
5%	27,34	124,93	185,58	218,16	189,53	141,40	91,04	59,12	34,98	7,28	8,09	18,07	106,42	33,32	64,98
Distribucion	LogPearlIII	LN	LogPearlIII	LogPearlIII	G	PearsonIII	G	LN	LogPearlIII	PearsonIII	LN	PearsonIII	LogPearlIII	LN	LogPearlIII
Valor Chi2	5,065	2,806	0,296	2,255	4,248	0,759	3,255	1,039	3,252	1,684	2,663	2,969	0,248	1,430	1,411

06 RIO CHANGARAL CAMINO A PORTEZUELO

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	2,33	2,87	5,88	14,18	7,56	3,20	2,95	3,12	1,31	0,24	0,00	0,45	10,55	2,36	7,79
85%	3,57	6,84	10,81	20,98	11,53	5,03	4,49	5,97	1,75	1,03	0,75	2,06	14,28	3,77	10,00
50%	7,38	22,68	27,42	35,95	20,66	10,88	9,20	12,25	4,13	3,02	3,26	4,81	23,11	6,73	15,10
20%	13,30	47,66	53,20	52,81	30,60	20,35	16,46	19,32	8,44	5,35	6,10	7,04	33,13	9,72	20,84
5%	23,35	81,82	93,11	74,68	42,50	37,00	28,67	28,50	15,31	8,26	9,78	9,17	45,58	13,09	28,04
Distribucion	LN	LogPearlIII	LogPearlIII	G	PearsonIII	LN	LN	G	PearsonIII	PearsonIII	G	N	LogPearlIII	PearsonIII	LogPearlIII
Valor Chi2	4,541	0,806	0,588	1,303	1,677	5,663	1,636	6,048	0,904	4,207	2,663	1,282	1,684	6,450	0,657

07 RIO CHILLAN EN ESPERANZA

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	3,32	0,76	7,44	5,66	8,73	7,25	7,66	5,35	4,74	4,18	3,50	3,05	8,49	5,09	7,36
85%	3,67	3,49	10,94	13,76	13,08	10,69	9,78	7,25	5,99	5,18	4,33	3,79	12,49	6,58	10,17
50%	5,05	12,66	21,12	27,57	22,69	18,27	14,81	11,45	8,94	7,38	6,29	5,48	19,73	9,49	14,95
20%	7,82	25,69	36,03	38,78	33,50	26,81	20,75	16,17	12,37	9,85	8,49	7,40	26,03	12,21	18,83
5%	14,32	44,05	59,99	49,48	47,53	37,88	28,63	22,29	16,86	13,07	11,17	9,85	32,41	15,13	22,53
Distribucion	LogPearlIII	PearsonIII	LN	N	G	G	LN	G	LN	G	PearsonIII	LN	PearsonIII	PearsonIII	N
Valor Chi2	7,092	9,357	1,922	6,112	0,330	1,759	1,922	1,068	0,712	3,969	1,350	1,092	2,772	1,495	1,542

Cuadro N°3-5. (Continuación) Análisis de Frecuencia. Caudales Medios Mensuales

08 RIO CHILLAN EN LONGITUDINAL

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	1,01	4,11	15,88	24,40	21,70	14,84	10,18	1,50	0,57	0,57	0,23	0,14	16,81	3,17	11,79
85%	1,67	7,30	25,08	34,07	32,62	20,73	13,90	3,41	1,18	1,16	0,47	0,36	27,29	4,47	16,62
50%	3,90	19,39	50,61	60,18	56,69	40,04	23,61	10,66	4,07	2,77	1,43	1,28	45,15	7,92	26,79
20%	7,77	42,89	83,72	95,52	83,79	67,09	36,31	21,75	11,14	4,79	3,31	2,79	59,66	12,48	36,07
5%	14,99	91,50	128,42	148,44	118,93	104,88	54,75	36,72	29,14	7,43	6,92	5,08	73,50	19,14	44,87
Distribucion	LN	LN	LogPearIII	LN	G	PearsonIII	LN	LogPearIII	LN	PearsonIII	LogPearIII	PearsonIII	N	LogPearIII	LogPearIII
Valor Chi2	1,330	1,493	1,827	3,071	0,486	1,711	1,092	3,590	5,186	1,357	7,296	1,690	0,520	5,629	1,285

09 RIO CHILLAN EN CAMINO A CONFLUENCIA

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,67	6,44	13,14	22,16	18,24	14,76	9,11	0,98	0,61	0,00	0,11	0,12	17,62	2,17	10,93
85%	1,27	9,99	19,78	29,71	24,88	19,18	12,19	4,11	1,27	0,46	0,30	0,32	23,10	3,67	14,37
50%	3,76	21,10	39,75	50,01	39,53	31,38	20,02	11,01	3,79	1,58	1,13	1,45	34,65	6,99	21,36
20%	9,08	38,74	70,04	74,91	56,01	46,64	29,95	18,78	8,06	2,84	2,37	3,57	45,90	10,72	27,81
5%	21,08	69,17	120,27	107,12	77,39	66,62	43,98	28,85	14,98	4,48	3,79	6,97	57,85	15,56	34,23
Distribucion	LN	LN	LN	PearsonII	G	PearsonIII	LN	G	LogPearIII	G	LogPearIII	PearsonIII	LogPearIII	G	LogPearIII
Valor Chi2	0,486	1,010	1,439	1,248	3,071	0,486	0,378	4,638	1,571	3,949	0,949	2,330	2,963	2,170	2,672

10 ESTERO QUILMO CAMINO A YUNGAY

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,09	0,16	0,48	1,93	1,57	1,41	0,53	0,22	0,10	0,08	0,02	0,03	1,47	0,20	0,96
85%	0,12	0,31	1,50	3,02	2,88	2,15	0,95	0,37	0,15	0,11	0,05	0,04	2,22	0,33	1,38
50%	0,24	0,95	3,74	5,41	5,11	3,77	1,89	0,86	0,32	0,19	0,11	0,09	3,52	0,62	2,11
20%	0,44	2,36	6,26	8,11	6,92	5,60	2,95	1,63	0,58	0,27	0,17	0,17	4,57	0,94	2,70
5%	0,86	5,63	9,54	11,61	8,65	7,98	4,32	2,86	1,03	0,37	0,26	0,30	5,57	1,36	3,28
Distribucion	LogPearIII	LN	G	G	N	G	G	LogPearIII	LN	LogPearIII	G	LN	N	G	PearsonIII
Valor Chi2	5,303	1,105	1,391	0,711	3,378	1,493	6,520	1,513	0,879	3,452	2,582	7,187	0,296	0,461	1,121

11 RIO RENEGADO EN INVERNADA

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	0,33	0,23	0,61	0,39	0,24	1,01	0,98	0,60	0,02	0,18	0,05	0,17	1,01	0,48	0,70
85%	0,45	0,49	1,32	2,29	1,86	2,24	2,10	1,29	0,51	0,34	0,33	0,35	1,88	1,04	1,81
50%	0,82	1,75	4,18	6,25	5,42	5,11	4,56	3,54	1,93	0,91	1,07	1,01	4,35	2,30	3,69
20%	1,45	4,76	9,23	10,22	9,43	8,27	7,34	6,34	3,76	1,83	1,95	1,99	7,19	3,71	5,22
5%	2,66	12,09	17,63	14,70	14,64	12,07	10,93	9,36	6,19	3,30	3,06	3,32	10,20	5,55	6,67
Distribucion	LogPearIII	LogPearIII	LogPearIII	PearsonII	G	PearsonIII	G	LogPearIII	PearsonIII	LogPearIII	PearsonIII	LogPearIII	LogPearIII	G	N
Valor Chi2	3,500	1,214	1,112	3,500	5,820	1,112	0,731	1,542	0,486	3,677	1,929	1,520	0,464	1,598	

12 RIO DIGUILLIN EN SAN LORENZO

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	1,65	2,76	7,42	9,59	7,70	10,18	8,50	4,85	3,90	2,55	1,48	1,78	9,92	4,91	8,75
85%	2,27	5,31	13,81	15,52	12,57	13,26	11,43	8,98	5,44	3,51	2,57	2,17	14,89	6,31	11,54
50%	4,48	15,34	28,63	28,59	23,30	20,79	18,92	16,02	9,56	5,62	4,43	3,26	23,36	9,64	16,93
20%	8,87	34,60	44,90	43,31	35,38	29,97	28,49	21,73	15,12	7,99	5,94	4,80	30,23	13,62	21,46
5%	19,24	72,35	64,48	62,39	51,05	42,48	42,10	27,18	23,42	11,07	7,38	7,33	36,80	18,93	25,50
Distribucion	LogPearIII	LogPearIII	PearsonIII	PearsonIII	G	G	LN	N	LN	G	N	LogPearIII	N	LN	LogPearIII
Valor Chi2	3,214	1,139	2,330	1,874	2,827	0,684	1,010	3,096	2,432	1,248	2,500	4,167	0,378	2,976	1,010

13 RIO DIGUILLIN EN LONGITUDINAL

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	1,04	5,04	25,04	38,47	44,84	29,25	6,66	3,18	0,84	0,44	0,40	0,46	32,67	3,27	20,59
85%	1,94	10,79	41,46	62,56	60,51	45,87	20,76	7,63	2,27	0,80	0,68	0,62	50,27	7,36	30,81
50%	5,72	34,39	85,50	114,26	100,85	82,51	51,82	24,28	9,34	2,06	1,59	1,20	80,24	16,38	50,52
20%	13,80	78,19	139,50	167,27	152,69	123,75	86,79	47,59	23,35	3,90	3,00	2,36	104,58	26,54	65,10
5%	32,11	155,94	209,28	228,10	226,85	177,25	132,15	74,95	47,11	6,54	5,27	5,14	127,81	39,72	75,27
Distribucion	LogPearIII	LogPearIII	PearsonIII	PearsonIII	LN	G	G	LogPearIII	LogPearIII	PearsonIII	LogPearIII	LogPearIII	N	G	LogPearIII
Valor Chi2	0,486	0,248	0,153	0,541	0,378	0,541	5,949	1,368	0,817	1,541	1,690	1,820	0,629	1,357	0,251

14 RIO ITATA EN CHOLGUAN

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	9,31	2,99	13,40	26,54	33,45	30,59	22,01	17,78	14,32	13,25	12,74	10,98	27,96	16,59	24,11
85%	10,64	10,62	29,86	43,86	44,12	38,90	28,63	22,17	16,43	15,20	14,54	12,97	39,87	19,58	31,41
50%	14,95	33,17	66,15	80,03	70,71	58,58	44,81	32,28	22,42	19,21	18,21	16,37	59,74	26,17	44,27
20%	22,32	62,77	107,00	116,21	103,72	81,67	64,47	43,80	31,30	23,22	21,86	19,13	75,46	33,59	53,67
5%	36,98	102,60	159,99	157,00	149,48	112,16	91,22	58,62	46,46	27,84	26,03	21,76	90,14	43,22	60,79
Distribucion	LogPearIII	PearsonIII	G	PearsonIII	LN	LN	LN	LN	LogPearIII	LN	LN	N	PearsonIII	G	LogPearIII
Valor Chi2	0,493	0,969	1,684	1,541	0,568	0,153	3,153	2,232	1,739	0,731	2,806	7,044	0,296	1,041	0,334

Cuadro N°3-5. (Continuación) Análisis de Frecuencia. Caudales Medios Mensuales

15 RIO ITATA EN TRILALEO

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	2,21	0,41	21,75	33,68	39,66	30,98	15,10	5,86	1,02	1,78	0,64	1,61	30,36	5,90	19,11
85%	3,65	6,49	32,66	59,63	52,01	42,93	21,59	10,10	2,47	2,43	1,82	2,40	43,80	8,67	27,64
50%	8,60	29,02	65,25	103,84	82,55	69,26	39,67	22,08	9,77	4,93	4,40	4,52	66,70	15,61	43,27
20%	17,26	62,87	114,48	139,74	120,11	98,91	65,02	36,86	22,50	8,74	7,31	7,31	85,30	23,71	54,20
5%	33,55	112,04	195,75	174,00	171,80	137,36	104,20	54,84	42,43	14,32	11,08	11,21	103,05	33,73	61,44
Distribucion	LN	PearsonIII	LN	N	LN	G	LN	LogPearIII	PearsonIII	PearsonIII	G	LogPearII	N	LogPearIII	LogPearIII
Valor Chi2	1,786	2,663	0,867	0,684	0,105	1,684	4,248	6,461	4,875	0,187	2,235	2,235	2,092	1,736	2,258

16 RIO ITATA EN GENERAL CRUZ

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	7,56	1,35	32,59	45,08	56,33	40,93	21,28	6,26	5,40	3,83	3,34	4,55	41,11	11,85	27,75
85%	9,32	12,17	48,87	67,14	74,00	55,21	29,80	13,98	8,25	5,13	4,61	5,99	59,21	14,08	38,55
50%	15,17	46,53	94,38	119,79	117,75	91,91	52,89	30,93	16,95	8,69	8,00	9,75	91,12	21,64	59,06
20%	26,01	93,73	156,52	176,10	171,72	139,02	84,27	48,66	30,43	13,71	12,51	14,77	118,03	32,43	75,11
5%	49,88	158,99	247,77	238,52	246,15	206,36	131,46	69,30	53,19	21,69	19,17	22,31	144,57	47,65	87,79
Distribucion	LogPearIII	PearsonIII	LogPearIII	LogPearII	LN	LN	LN	PearsonIII	LN	LogPearII	LN	LogPearII	PearsonIII	PearsonIII	LogPearIII
Valor Chi2	0,486	3,963	0,568	1,731	1,548	0,806	6,065	5,745	2,004	2,663	0,378	1,711	1,330	0,276	1,347

17 RIO ITATA EN CERRO NEGRO

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	4,74	0,00	40,12	88,61	112,39	89,47	39,78	14,79	2,73	3,22	2,48	2,87	78,16	19,71	53,15
85%	8,06	24,11	95,44	141,09	141,27	118,63	56,59	27,40	6,03	4,92	3,41	4,45	118,61	22,42	76,12
50%	19,90	101,02	217,36	272,55	219,03	182,87	103,15	55,21	22,14	10,13	7,38	9,42	187,52	34,69	115,24
20%	41,45	205,17	354,61	415,69	314,65	255,20	167,96	86,50	49,86	18,20	13,78	17,30	243,48	55,07	147,01
5%	83,50	347,96	532,64	572,07	438,44	349,02	267,47	127,11	92,99	31,84	23,44	30,91	296,88	86,25	177,32
Distribucion	LN	PearsonIII	G	LogPearII	PearsonIII	G	LN	G	PearsonIII	LN	PearsonIII	LN	N	PearsonIII	N
Valor Chi2	2,303	1,112	0,867	0,724	0,486	1,214	5,493	6,490	4,577	2,806	1,874	3,207	3,214	0,490	2,845

18 RIO ITATA EN BALSA NUEVA ALDEA

Prob Exced	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	enero	febrero	marzo	abr-sep	oct-mar	anual
95%	10,55	10,77	75,00	78,53	108,56	92,96	46,69	17,69	9,83	5,02	4,87	6,23	87,36	18,74	60,62
85%	15,43	28,50	119,27	164,24	157,10	124,13	68,17	31,36	12,55	7,40	6,86	8,57	135,81	27,28	88,06
50%	29,49	100,55	241,53	323,95	264,10	203,16	125,17	70,47	29,57	14,34	12,41	14,77	216,50	48,19	134,81
20%	49,88	214,21	397,75	466,90	384,54	303,08	198,26	118,42	61,97	24,54	19,40	22,97	280,32	71,86	172,78
5%	82,38	383,54	604,27	614,93	540,77	443,97	299,32	175,36	114,83	40,97	28,57	35,02	339,82	100,24	209,01
Distribucion	LN	PearsonIII	LogPearIII	PearsonIII	G	LN	LogPearII	LogPearIII	PearsonIII	LN	PearsonIII	LN	PearsonIII	LogPearIII	N
Valor Chi2	4,296	0,493	0,330	0,187	2,010	0,541	3,786	3,913	2,970	4,344	1,881	2,398	1,439	1,678	2,229

4. GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGÍA CUENCA ITATA

4.1 Antecedentes Generales

El área de estudio se encuentra emplazada en la VIII Región del Bío-Bío y comprende la cuenca hidrográfica del río Itata.

En esta etapa del estudio se recopiló la información de la geología y geomorfología del área de interés, que se encontraba disponible, con el objeto de estructurar un mapa geológico a escala 1:250.000 que permitiera el trazado detallado del contacto roca-relleno.

4.2 Metodología y antecedentes recopilados

Para alcanzar el objetivo señalado se siguieron los pasos metodológicos que a continuación se indican:

- Recopilación de antecedentes públicos. Este trabajo se fundamenta principalmente en los mapas geológicos estructurados por el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN).
- Luego se digitalizaron los Mapas Geológicos Preliminares de Chile denominados:
 - Hoja Concepción-Chillan, escala 1:250.000, región del Bío-Bío, elaborada por Aníbal Gajardo el año 1981; y
 - Hoja Los Ángeles-Angol, escala 1:250.000, región del Bío-Bío, elaborado por Fernando Ferraris el año 1981.
- Para la zona andina se utilizó la Carta Geológica de Chile, escala 1:250.000 denominada Hoja Laguna del Maule, de las regiones del Maule y del Bío-Bío, del año 1984, elaborada por Jorge Muñoz y Hans Niemeyer. Además se utilizó el Mapa Geológico de Chile en formato digital, del SERNAGEOMIN (2003), escala 1:1.000.000.
- Por último se consultaron diversos estudios de la Dirección General de Aguas y memorias de la Universidades de Chile y de Concepción. Entre estos documentos cabe destacar la tesis de Francisco Bravo, el año 2006, denominada "Geología y Modelo Conceptual del Sistema Geotermal Nevados de Chillan" publicada por la Universidad de Chile.

Como suele ocurrir en los casos en que se cuenta con información de diversos estudios que se pretende unificar, los calces laterales por lo general son poco coincidentes. Para salvar en este caso la situación descrita, finalmente se optó por consultar directamente al autor de la carta Concepción-Chillán, geólogo el Sr. Aníbal Gajardo quien gentilmente aclaró las diferencias fundamentales detectadas.

4.3 Geomorfología

La región del Bío-Bío cuenta con cinco unidades morfológicas mayores que de oeste a este son las siguientes: Planicies litorales, Cordillera de la Costa, Depresión Central, La Montaña (o Precordillera) y la Cordillera Andina, (ver Figuras 4-1 y 4-2).

Las planicies litorales, se distribuyen en forma discontinua de norte a sur, con una altura variable entre 10 a 50 m.s.n.m. Las de mayor desarrollo están en el sector meridional, en la costa de la ciudad de Concepción y en las localidades de San Pedro y Escudrón.

La Cordillera de la Costa tiene las características de un macizo en estado de madurez, disectado por los cauces que la atraviesan. Este relieve aplanado presenta algunos cerros que dominan el paisaje, entre ellos Coipín con 609 m.s.n.m., Cayumanque con 764 m.s.n.m., Queime con 548 m.s.n.m., y Canencia con 685 m.s.n.m. Esta serie de altos ubicados al norte de la región del Bío-Bío, termina en el extremo sur como el imponente cordón de la Cordillera de Nahuelbuta.

Por su parte la Depresión Intermedia está conformada por una amplia llanura de unos 150m de altitud media y se caracteriza por presentar una superficie ondulada hacia el sur, donde los ríos se encauzan en sectores de mayor profundidad. La máxima amplitud este-oeste de esta macroestructura geomorfológica se alcanza en la zona de Chillan, con un ancho de más o menos 40 Km.

El empalme entre la Cordillera de Los Andes y los Valles Longitudinales se estructura a través de la llamada "La Montaña" o Precordillera, cuya altura fluctúa entre los 400 y 600 m.s.n.m., angostándose hacia el Sur. Esta unidad se presenta profundamente disectada por los ríos que la atraviesan, como por ejemplo el Ñuble, el Chillán, el Diguillín y el Laja (ver Mapa Geológico Anexo planos).

La Cordillera Andina está representada en la zona de estudio por sus contrafuertes más occidentales, que constituyen un relieve abrupto de difícil acceso. Sus alturas máximas varían entre 1.800 y 2.000 m.s.n.m., especialmente en el sector sur oriental del área analizada, y está disectada por ríos mayores y

cauces tributarios, entre ellos, los ríos: Longaví, Perquillauquén, Ñuble (que desemboca en el río Itata), Chillán, Renegado y Diguillín.

Estos cauces escurren por los principales valles actuales de la región, que presentan formas de origen glacial (valles en forma de 'U'), por lo general, con laderas abruptas, retocadas por la acción fluvial.

Dentro de la cuenca del río Itata se encuentran los denominados Nevados de Chillán, que corresponden a un cordón volcánico de aproximadamente 9km de extensión en dirección NO. En el extremo norte de dicho cordón se ubica el Cerro Blanco, que se eleva hasta los 3.212 m.s.n.m. y en el extremo sur, tres conos marcan las máximas elevaciones: Chillán Nuevo (3.186 m.s.n.m.), Arrau (3.240 m.s.n.m.), y Chillán Viejo (3.122 m.s.n.m.).

Los valles, erosionados por la acción glacial y fluvial, se distribuyen radiales en torno al complejo volcánico Nevados de Chillán constituyendo las cabeceras de las estructuras fluviales de los ríos Ñuble, Chillán y Diguillín que son los principales afluentes del río Itata. Dichos valles atraviesan La Precordillera y la Depresión Central de oriente a poniente.

En la unidad Cordillera Andina se advierte la presencia de glaciares que cubren una reducida superficie y que se asocian a las cumbres de los estrato-volcanes (complejo volcánico Nevados de Chillán y Nevados de Longaví). Se observan además, numerosas lagunas, de diversos tamaños y formas, embalsadas en depresiones por depósitos morrénicos o emplazadas en circos glaciares. El Mapa Geológico que se adjunta (Anexo Planos) muestra los glaciares y lagunas en comento.

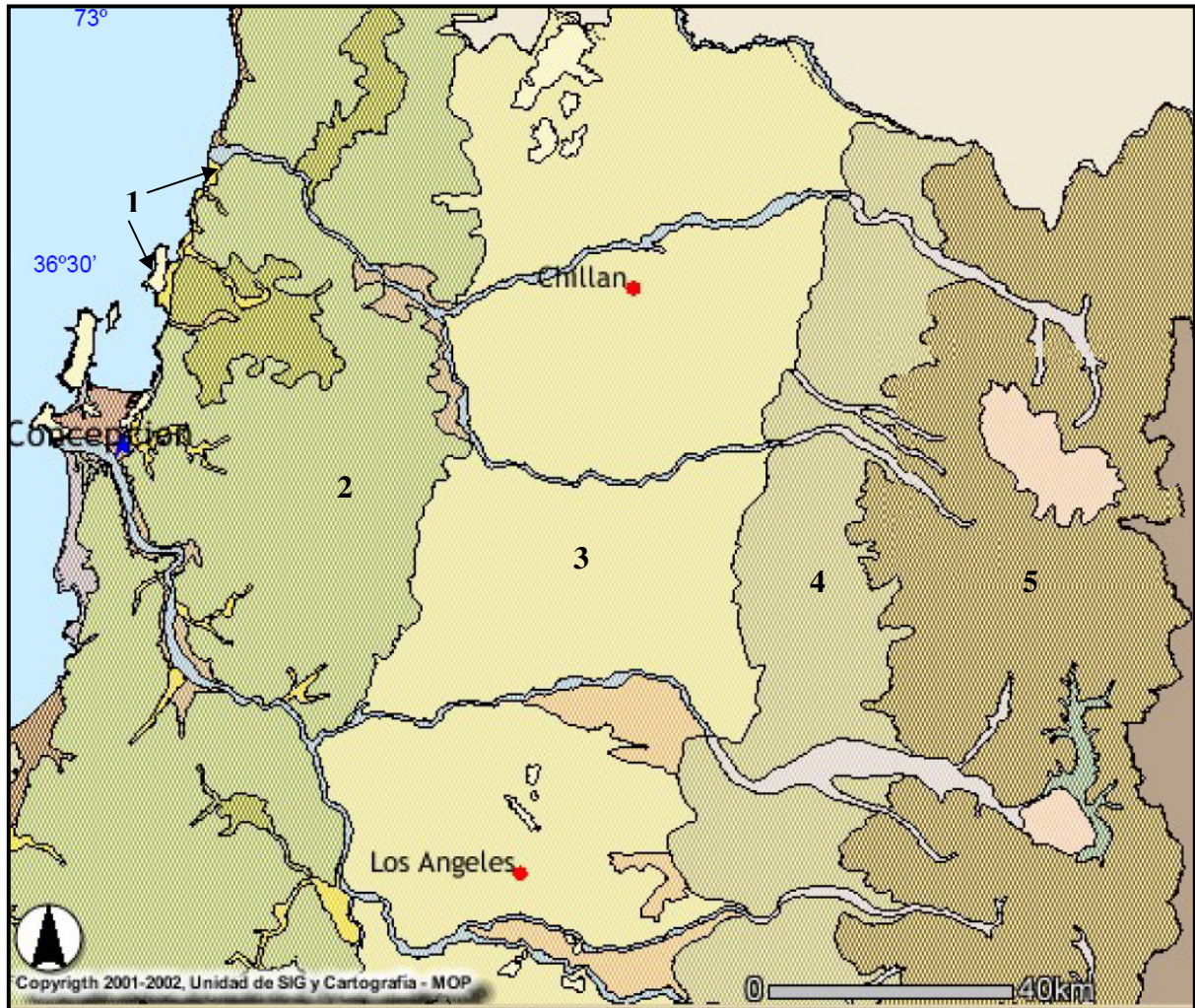


Figura 4-1. Geomorfología de la región del Bío-Bío. Las unidades morfoestructurales que se observan corresponden a:

1. Planicies litorales. 2. Cordillera de la Costa. 3. Depresión Central. 4. 'La Montaña' o Precordillera. 5. Cordillera Andina. Fuente: Cartografía MOPTT.

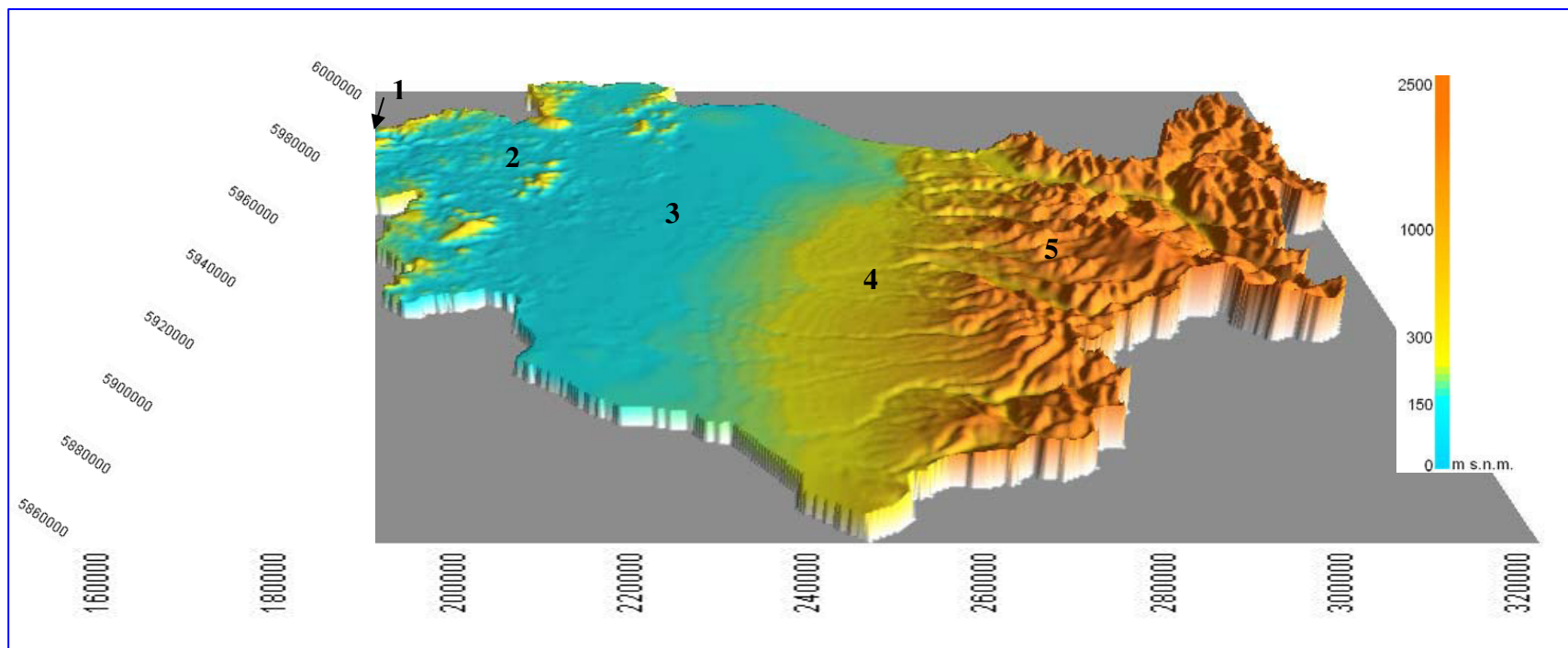


Figura 4-2. Imagen 3D de la cuenca del Río Itata mediante el Software Vertical Mapper. Las unidades morfoestructurales que se observan corresponden a:

1. Planicies litorales. 2. Cordillera de la Costa. 3. Depresión Central. 4. 'La Montaña' o Precordillera. 5. Cordillera Andina.
- Fuente: Elaboración propia.

4.4 Geología

4.4.1 Antecedentes Generales

Estratigráficamente, las rocas más antiguas están representadas por rocas metamórficas paleozoicas, que se distribuyen principalmente en el sector occidental de la Cordillera de la Costa. Discordantemente sobre ellas se exponen los Estratos de Pocillas-Coronel de Maule-Quirihue y rocas de la Formación Santa Juana, asignadas al Triásico y que incluyen sedimentitas clásticas y volcanitas, expuestas en el sector de Pocillas-Coronel de Maule-Quirihue, y sedimentitas marinas y continentales, en el extremo suroeste del área.

Las rocas cretácicas están representadas por la Formación Quiriquina, transgresivas sobre el basamento metamórfico, en la zona costera, y por potentes secuencias volcano-sedimentarias de la Formación Río Blanco, en la Cordillera Andina.

Las rocas terciarias corresponden a sedimentitas marinas y continentales (Formación Curanilahue), con mantos de carbón en la región costera, y a sedimentitas (Formación Cura-Mallín) en la Cordillera Andina. Sobre la unidad anterior se disponen, discordantemente, potentes coladas de lavas andesítico-basálticas atribuidas al Plioceno-Pleistoceno y sobre estas últimas se disponen Volcanes y lavas (Pleistoceno Superior-Holoceno), conformadas por más de 1.000m de lavas andesíticas a basálticas y depósitos piroclásticos, calcoalcalinos, bien conservados.

Completando el cuadro estratigráfico se reconocen sedimentos no consolidados (Cuaternario) en la Cordillera Andina y la Depresión Central, depositados en ambientes de origen fluvial, fluvioglacial, glacial (morrénicos y glacialacustres), coluvial y lacustre. Además de lo anterior, en la zona costera, existen depósitos de terrazas marinas desarrollados probablemente durante el Pleistoceno y Holoceno.

Las rocas intrusivas expuestas en superficie se han agrupado en tres fases magmáticas, desarrolladas entre el Carbonífero-Pérmico, el Cretácico y el Mioceno.

4.4.2 Rocas Estratificadas

A continuación se describen las unidades líticas estratificadas del área estudiada, ordenadas cronológicamente.

Pz4b Serie Oriental Basamento Metamórfico (Silurico-Carbonífero)

Las rocas metamórficas que se distribuyen en la región más occidental del área, como una franja prácticamente continua de dirección general NNE-SSW, corresponden según Aguirre et al. (1972) a la serie oriental, compuesta principalmente por esquistos, filitas, gneises y metareniscas, cuyo grado de metamorfismo varia entre las facies esquistos verdes y granulita, y se caracterizan por la aparición sucesiva, de poniente a oriente, de biótitas, andalucitas y sillimanitas según el grado creciente de metamorfismo.

Tr1m Estratos de Pocillas-Coronel del Maule_ Quirihue (Triásico Superior)

Se distribuyen en el sector noroccidental de la Cordillera de la Costa, en forma de afloramientos prácticamente continuos, entre los 36°05' y los 36°22' de latitud sur. Los autores Moreno et al. (1976) y Lagno (1979) reconocen en estos estratos las siguientes litologías: lutitas pizarrosas, areniscas, lavas y brechas andesíticas, conglomerados de cuarzo, alternancia de andesitas porfídicas, areniscas cuarcíferas con intercalaciones de conglomerados de cuarzo, brechas volcánicas, riolitas y cherts,

JKpch Estratos de Polcura-Cholguan (Jurásico Superior-Cretácico Inferior).

Esta unidad sedimentaria comprende fragmentos de rocas volcánicas subangulares a subredondeados y restos de cristales (plagioclasa, piroxeno y cuarzo). Incluye además, tobas brechosas de cemento vítreo con fragmentos líticos, volcánicos, plagioclasas y piroxenos. Aflora en la parte suroriental, tal como se aprecia en el mapa geológico.

Kq Formación Quiriquina (Cretácico Superior)

Esta unidad geológica está constituida por areniscas conglomerádicas, areniscas finas y medias, y arcillositas marinas, de color amarillo y verde, que sobreyacen, en discordancia angular y de erosión a las filitas y esquistos del Basamento Metamórfico y subyacente, también en discordancia, a la Formación Pilco, que aflora fuera de los límites del mapa geológico desarrollado.

Ec Formación Curanilahue (Eocena Inferior)

Definida por Muñoz Cristi, 1959, aflora en el sector costero de Lota-Coronel y hacia el SSO, fuera del área de estudio, en el sector de Curanilahue-Pilpilco. Corresponde a una secuencia de areniscas y limolitas continentales, con carbón en su miembro superior e inferior. El miembro medio corresponde a areniscas de origen marino.

OM2c Formación Cura-Mallín (Eoceno-Mioceno Inferior)

Está compuesta por una secuencia de rocas piroclásticas, sedimentitas clásticas, tobas, brechas y, subordinadamente, areniscas, conglomerados, lutitas y coladas de lava, de composición intermedia, de colores pardo-rojizas, violáceas, verde, gris, amarillo y blanco. Fue definida por González-Ferran y Vergara el año 1962. En la zona de estudio aflora en la parte oriental, siendo el principal afloramiento presente en la sección de la Cordillera Andina perteneciente a la cuenca del río Itata.

Mpc Formación Campanario (Mioceno Superior-Plioceno Inferior)

Se define como Formación Campanario a una secuencia de tobas, tobas brechosas, brechas, ignimbritas y coladas de lavas andesíticas a dacíticas, que aflora en los alrededores y al norte de la laguna del Maule (Drake, 1976). Estas rocas, de color amarillo claro a gris, se proyectan hacia el sur alcanzando el área de estudio.

PIHlm Formación La Montaña (Pleistocena-Holocena)

Esta unidad está conformada por una serie de depósitos morrénicos y aluviales, de composición relativamente uniforme, y bancos lenticulares de arcillas y arenas finas, todos ellos con poca compactación y sin cementación. Fue definida por Muñoz Cristi en 1960, como la "Formación Morrena de la Montaña"

PIHca Sedimentos glacio-lacustres Collipulli-Angol (Pleistocena-Holocena)

Se define como una secuencia compuesta por niveles de arcilla, arenas y conglomerados, con potencias de 10-50cm, que aflora, principalmente, en el camino que une ambas localidades y se distribuye, en la zona central y meridional de la Depresión Central desde el río Laja hacia el sur. Los conglomerados y areniscas de esta unidad están formados por clastos de andesitas y basaltos, y matriz cinerítica.

PPIlm Formación Mininco (Plioceno-Cuaternario)

Fue definida por Muñoz Cristi el año 1960. Esta unidad se distribuye en la Depresión Central y sus afloramientos se observan, principalmente, en los valles de los ríos y esteros como también en los cortes de carreteras, caminos y vías férreas. Comprende sedimentitas lagunares y fluviales, representadas por areniscas tobáceas, limonitas y conglomerados, con intercalaciones de arcillolitas y tobas. El aporte es principalmente andesítico en las areniscas, encontrándose también cenizas en la matriz.

PPI3 Formación Cola de Zorro (Plioceno-Pleistoceno)

Esta unidad tiene una gran distribución areal en la Precordillera y en la Cordillera Andina. Fue definida por González y Vergara (1962) y su composición litológica local es bastante homogénea y comprende rocas volcánicas correspondientes a lavas y piroclastos. Las primeras, vale decir las lavas, consisten en coladas de carácter andesítico y andesítico-basáltico, gris oscuras a negras, cuyos espesores varían entre 10-60m, con promedios de 30-50m. Las andesitas basálticas presentan estructura de disyunción columnar hexagonal. Las rocas piroclásticas son brechas gris-oscuras, principalmente con clastos andesíticos, interestratificadas en las coladas de lavas. Según IIG-MMAJ (1979), la serie presenta también ignimbritas grises, de composición dacíticas y andesítica, ubicadas estratigráficamente en su parte alta y geográficamente, en el sector norte de los afloramientos. En el río Ñuble afloran conglomerados volcánicos de 50-80m de espesor, compuestos por clastos andesíticos y graníticos que infrayacen a coladas andesíticas con estructura columnar.

Q3i Estratovolcanes y complejos volcánicos

En el área de estudio se ubican asociados a los complejos volcánicos Nevados de Chillan, Nevados de Longaví y Lomas Blancas. Están compuestos por brechas y lava andesítico-basáltica negras a gris-rojizas, que sobreyacen, en discordancia de erosión a la Formación Cola de Zorro y cuyo límite superior corresponde a la superficie de erosión actual.

4.4.3 Rocas Intrusivas

Los cuerpos intrusivos existentes en la zona de interés se describen a continuación.

CPg Intrusivos Carboníferos-Pérmicos tonalitas y granodioritas indiferenciadas

Se distribuyen como una franja continua de dirección general NNE-SSO, al oeste de las rocas metamórficas descritas anteriormente, conformando gran parte de la Cordillera de la Costa. Está conformado por un complejo plutónico cuya composición petrográfica varía entre tonalita y granodiorita, con sectores menos extensos de diorita cuarcífera y granito. Este complejo plutónico fue definido por González-Bonorino, 1970; Herve et al. 1976, como el Batolito de la Costa. Tiene una relación de contacto intrusivo con las rocas del basamento metamórfico e infrayace, con discordancia de erosión, a las series sedimentarias y sedimentario-volcánicas del Triásico.

Kiag Intrusivos Cretácicos

En el sector oriental de la Cordillera de la Costa, se ha reconocido un conjunto de cuerpos graníticos, de composición en general semejante a los granitoides carboníferos y de textura más fina. Estos cuerpos se localizan en una franja en dirección general NNE-SSO y representan altos topográficos, que sobresalen del nivel promedio de las rocas graníticas del carbonífero.

Ming Intrusivos del Mioceno medio a superior

Constituyen pequeños "stocks", filones y filones-manto de variada forma, dimensión de afloramiento y composición, destacando sienogranitos, monzogranitos, granodioritas tonalitas, dioritas y monzodioritas cuarcíferas.

Mg Intrusivos Miocénicos

En el área de estudio aflora el Batolito Santa Gertrudis-Bullileo, que corresponde a un extenso complejo plutónico, de orientación general N-S. La composición petrográfica incluye facies de monzogranito, granodiorita, monzonita cuarcífera, monzodiorita cuarcífera y diorita cuarcífera.

PPlab Intrusivos Orientales (Pliocena Superior-Pleistocena)

Las rocas intrusivas así denominadas constituyen pequeños "stocks", filones, filones-manto, lacolitos y cuellos volcánicos, desde andesíticos a basálticos, que intruyen a rocas de la Formación Cola de Zorro y de unidades más antiguas. Estos intrusivos tienen color gris a gris oscuro, textura porfírica, ocasionalmente vesicular a microvesicular, y masa fundamental intergranular, con marcada orientación de microcristales.

4.4.4 Depósitos No Consolidados (Cuaternario)

PI3t Depósitos Piroclásticos

Corresponden a flujos piroclásticos de composición riolítica, asociados a colapso de calderas volcánicas. Este depósito se ubica en la parte sur de la cuenca del río Itata.

Q3av Depósitos de avalancha volcánica

Asociados a colapso parcial de edificios volcánicos. Los clastos son de composición riolítica a andesítica, con tamaños que varían entre grava gruesa y sedimentos finos. La ubicación de este depósito corresponde a la zona suroccidental del área de estudio.

Hcrl Depósitos del cono fluvial del río Laja (Pleistoceno-Holoceno)

Esta unidad se compone de material piroclástico, proveniente de la actividad volcánica del volcán Antuco y centros adyacentes, cuyo transporte fue mixto, tanto fluvial (río Laja y tributarios menores) como eólicos. Estos materiales se abrían depositados en la Depresión Central, debido a la disminución en la capacidad de transporte de esos agentes, relleno de cuencas subacuáticas locales. Posteriores redistribuciones eólicas habrían originado las dunas que se reconocen en distintos sectores. De acuerdo al tipo de sedimentos y a la granulometría que definen otros autores, es posible estimar para estos depósitos fluviales permeabilidades variables entre 10^{-3} y 10^{-4} cm/seg.

Q1t Sedimentos de terrazas fluviales (Holoceno)

Esta unidad corresponde a los depósitos de gravas y arenas en niveles de terrazas, que se ubican en los ríos principales del área. Están compuestos por gravas y ripios, con clastos redondeados a subredondeados de andesitas y granitos de diámetro promedio entre 8 y 30 cm, con fracciones variables de arenas y limos. Sus espesores máximos alcanzan a 20 m. Conforme a la descripción que entregan los autores que han levantado la geología del área, es posible estimar para estos rellenos aterrazados, una permeabilidad promedio de más o menos 10^{-3} cm/seg.

Q1m Terrazas Marinas (Pleistoceno-Holoceno)

Estas unidades están cubiertas por sedimentos arenosos y limosos, parcialmente estratificados, compuestos por material proveniente de las erupciones volcánicas de la cordillera andina. Estos sedimentos se disponen a alturas máximas de 15 m s.n.m. Según Veyl (1961) y podrían representar diversas cotas del nivel medio del mar en el pasado.

Q1g Depósitos glaciares Depósitos morrénicos, fluvioglaciares y glacilacustres

En las riberas de los principales cauces de agua, los depósitos fluvio-glaciales forman varios niveles de terrazas discontinuas, adosadas a las laderas de los valles, que permiten un buen desarrollo de suelo y vegetación, útiles para la agricultura, la ganadería o para la implantación de casas y poblados. Los materiales que componen los depósitos se presentan relativamente bien estratificados, mal seleccionados e inmaduros, donde participan clastos, de tamaño bloque, grava y arena, englobados en una matriz arenoso-arcillosa. Es probable que la permeabilidad media de estos depósitos alcance unos 10^{-4} cm/seg.

Los depósitos de origen glacial están parcialmente desmembrados por la erosión o cubiertos por los depósitos fluviales. Se pueden reconocer morrenas mayores, asociadas a una glaciación antigua y pequeñas morrenas a glaciares actuales. Estas últimas están relacionadas con los glaciares que cubren las cumbres altas.

Se reconocen depósitos morrénicos de más de 100 m de potencia, que dan una típica morfología de lomajes suaves, compuestos por material clástico, anguloso, predominantemente volcánico, que yace en una matriz arenosa de colores gris-amarillento y rojizo. Los depósitos morrénicos mencionados fueron asignados al último período glacial o a su etapa de retroceso.

Q1fa Depósitos Fluvio-Aluviales

Corresponden a materiales no consolidados, representados por gravas, ripios y arenas, que constituyen el relleno de los cauces de los ríos y esteros. Se diferencian de los depósitos actuales al ser estos últimos asociados al cauce actual, mientras que los descritos corresponden a los depósitos generados en los paleocauces. Estos rellenos subactuales probablemente presenten permeabilidades entre 5×10^{-3} y 10^{-3} cm/seg.

Q1e Depósitos piroclásticos

Los depósitos piroclásticos están asociados usualmente a depósitos lacustres en donde se mezclan con arenas arcillosas. Estos depósitos suelen formar niveles aterrazados.

Q1c Depósitos coluviales

Los depósitos de origen coluvial se localizan en las laderas de fuerte pendiente y sin vegetación, de los valles de origen glacial. Los depósitos de origen coluvial son muy inmaduros y los componen fragmentos rocosos, provenientes de las partes altas de las laderas, generalmente monomícticos y angulosos. Tienen forma de abanico irregular que, a causa de la inestabilidad gravitacional o por saturación de agua, provocan derrumbes. En términos hidrogeológicos estos depósitos constituyen áreas propicias de recarga que facilitan la infiltración de una fracción de las precipitaciones.

Q1 Depósitos fluvio-aluviales Sedimentos de valles actuales

En el cauce actual de los ríos y esteros se encuentran depósitos fluviales, torrenciales, donde se mezclan bloques, gravas, arenas y arcillas. Estos depósitos, aunque tienen buen desarrollo sólo en los ríos principales, se encuentran también en cada uno de los cauces menores. Es frecuente observar, en la desembocadura de un cauce menor en otro mayor, abanicos fluviales donde se depositan importantes espesores de arenas y gravas. Estos rellenos actuales debieran tener permeabilidades entre 10^{-2} y 10^{-3} cm/seg.

4.5 Estructuras

En la cuenca del río Itata se distinguen dos zonas donde se presentan las principales estructuras: en la Cordillera de la Costa, y en el conjunto conformado por la Precordillera y la Cordillera Andina.

En la primera unidad morfológica (Cordillera de la Costa) se observa que la Serie Oriental del Basamento Metamórfico es la unidad que presenta los mayores plegamientos, con pliegues asimétricos, volcados y aún recumbentes. Sus ejes buzan en general, al oriente y tienen rumbos muy variables, predominantemente NNE. Las rocas sedimentarias marinas, formaciones Quiriquina y Curanilahue, están fuertemente basculadas y las rocas de las formaciones Mininco y Cola de Zorro se presentan suavemente basculadas o sub-horizontales.

El fallamiento y/o fracturamiento alcanza su mayor intensidad en el Batolito de la Costa, tanto en su porción central como periférica. En la Depresión Central, las trazas de estas estructuras están cubiertas por los depósitos pleisto-holocénicos, mientras que en el flanco occidental de la Cordillera Andina, se observa un menor desarrollo relativo de estas estructuras.

Los sistemas de fallas principales son N-S a NNE-SSO y NNO-SSE. El primero controla, fundamentalmente, tanto los acantilados costeros, como los quiebres de pendiente locales entre la Cordillera de la Costa y la Depresión Central, manifestándose también en la Cordillera Andina. El segundo sistema (NNO-SSE) controla, mediante estructuras de mayor desarrollo aparente, los cauces principales y tributarios que atraviesan estas cordilleras, los cuales tienen una dirección general semejante y son sensiblemente paralelos entre sí. Por otra parte, estas estructuras que permitieron el levantamiento relativo de la Cordillera de la Costa respecto de la Depresión Central, son las responsables de las grandes acumulaciones sedimentarias que existen al oriente de la Cordillera de la Costa, debiendo los ríos, como el Itata, abrirse paso a través de ésta mediante valles notoriamente estrechos.

En el sector de la Cordillera Andina fueron reconocidas tres discordancias angulares relacionadas con episodios compresivos y tres discordancias de erosión. En el plegamiento que afecta las unidades pre-pliocénicas están representadas tres fases tectónicas compresivas, superpuestas, que generan sistemas de sinclinales y anticlinales.

Las fallas observadas e inferidas son, generalmente, de gran ángulo y constituyen sistemas de direcciones NNE, N-S y E-O, con desplazamientos de tipo normal. Otros sistemas de fallas normales tienen orientación NNO y NO. Estas estructuras afectan a todas las unidades con excepción de los Depósitos No Consolidados y se manifiestan en escarpes, brechas de fallas y zonas cataclásticas. Por otra parte, también estas fallas se manifiestan en alineamientos de centro volcánicos y de

cauces fluviales. Algunas fuentes termales (por ejemplo, termas de cajones Ibáñez y Cola de Zorro) se ubican sobre la traza de fallas existentes en el área.

4.6 Referencias

- Aguirre, L.; Herve, F.; Godoy, E. 1972. Distribution of metamorphic facies in Chile. An outline. Kristalinikum, N°9, p.7-19.
- Bravo, Francisco. 2006. Geología y Modelo Conceptual del Sistema Geotermal Nevados de Chillan. Memoria para optar al título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.
- Drake, R.E. 1976. The cronology of Cenozoic igneous and tectonic events in the Central Chilean Andes. In Symp. Andean Antarct. Volcanol. Probl., Proc., p. 670-697. Santiago
- Ferraris, Fernando. 1981, Hoja Los Ángeles-Angol, escala 1:250.000, región del Bío-Bío. Mapa Geológico Preliminar de Chile,. Instituto de Investigaciones Geológicas. N° 5, 26 p.
- Gajardo, Anibal. 1981. Hoja Concepción-Chillan, escala 1:250.000, región del Bío-Bío. Mapa Geológico Preliminar de Chile. Instituto de Investigaciones Geológicas. N° 4, 32 p
- González-Bonorino, F. 1970. Series metamórficas del basamento cristalino de la Cordillera de la Costa, Chile Central. Departamento de Geología, Universidad de Chile, Publicación., N° 24, 119 p.
- González, O.; Vergara, M. 1962. Reconocimiento Geológico de la Cordillera de los Andes entre los paralelos 35° y 38° Lat. Sur. Universidad de Chile, Inst. Geol., Publ., N° 24, 119p.
- Herve, F.; Munizaga, F.; Mantovani, M.; et al. 1976. Edades Rb-Sr neopaleozoicas del basamento cristalino de la Cordillera de Nahuelbuta. In Congreso Geológico Chileno, N° 1, Actas, Vol. 2, p. F19-F26. Santiago.
- Instituto de Investigaciones Geológicas (IIG); Metal Mining Agency of Japan (MMAJ). 1979. Informe de reconocimiento geológico de la región andina situada al este de la ciudad de Concepción. Fase 1. (Inédito), 281 p.
- Lagno, L.;Gana, P.; Moraga, J.; et al. 1979. Geología de las hojas Coronel de Maule y Pocillas, Cauquenes VII Región. Práctica de vacaciones. Departamento de Geología, Universidad de Chile, (inédito), Santiago.

- Moreno-Roa, H.; Herve, F.; Godoy, E.; et al. 1976. Reconocimiento geológico del área de Pocillas (Cauquenes, VII Región). Departamento de Geología, Universidad de Chile, (inédito), 9 p. Santiago.
- Muñoz-Cristi, J. 1959. Chile In Handbook of South American geology. (Jenks, W.F.;ed.), Geology Society of America, Mem. 65, p. 187-214.
- Muñoz-Cristi, J. 1960. Contribución al conocimiento geológico de la Cordillera de la Costa de la Zona Central. Minerales, Vol. 15, Nº 69, p.28-46.
- Muñoz, J.; Niemayer, H. 1984. Hoja Laguna del Maule, escala 1:250.000, de las regiones del Maule y del Bío-Bío. Carta Geológica de Chile, Servicio Nacional de Geología y Minería. Nº 64, 98 p.
- SERNAGEOMIN, 2003. Mapa Geológico de Chile en formato digital, escala 1:1.000.000.
- Veyl, C. 1961. Contribución al conocimiento de la geología regional de la Provincia de Concepción. Minerales, Vol. 26, Nº 72. p. 21-71.

5. ESTUDIO GEOFISICO

5.1 Consideraciones Generales

El presente estudio da a conocer resultados del levantamiento gravimétrico realizado en las áreas de las cuencas de los ríos Ñuble e Itata, VIII 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 36°15'S y 37°15'S aproximadamente. Se realizaron 7 perfiles, de los cuales cuatro atravesaron el Valle Central desde la precordillera de Los Andes a la precordillera de la Costa y cuatro se ubicaron aproximadamente en dirección norte - sur. La distribución de las estaciones fue cada 2 kilómetros. Adicionalmente se confeccionaron 2 perfiles con distribución de estaciones cada 200 a 250 metros en la entrada del río Ñuble al Valle Central y otro en la confluencia de los ríos Ñuble e Itata a la entrada de la Cordillera de la Costa. En Cuadro 5-1 siguiente se presenta las principales características de cada perfil gravimétrico efectuado y en la Figura 5-1 la ubicación del trazado de cada uno de éstos.

Cuadro 5-1 Principales Características de Los Perfiles Gravimétricos

Perfil N°	N° Estaciones Gravimétricas	Longitud (km.)
1 Tramo A	21	37,3
1 Tramo B	39	68,4
2	48	90,4
3	57	106,1
4	35	66,9
5	34	65,2
6	36	68,5
7	43	83,4
Sub total Perfiles 1 a 7	313	586,2
8	26	6,5
9	14	2,7
Sub Total Perfiles. 8 y 9	40	9,2
Total	353	595,4

En el Plano 5-1 (escala 1:250.000), adjunto en el Anexo de Planos, se muestra el trazado en planta de los 9 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".

Insertar Figura 5-1

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 ($1 \text{ miligal} = 10^{-3} \text{ gal} = 10^{-3} \frac{\text{cm}}{\text{seg}^2}$).

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 $2.1 \text{ [gr/cm}^3\text{]}$ 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 topográfica

Esta corrección considera el efecto del relieve, exceso o defecto de masas cercanas a la estación medida. En el caso estudiado la corrección fue realizada mediante la metodología de la grilla de Hammer. De esta forma se le calculó la corrección topográfica a cada estación del área.

d) 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 formula:

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

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

e) 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 entre los días 23 al 28 de Mayo del 2011. En este período se tomaron 348 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 circuito gravimétricos se utilizó la base establecida en la plaza de Armas de Chillan (Fotografía N° 1 adjunta) perteneciente a la Red Nacional de Gravedad de Chile. Los parámetros de estas estaciones se muestran en el Cuadro siguiente

Cuadro 5-2 Punto Red Nacional de Gravedad

Estación	Gravedad [mGal]	Altura [m]	Latitud	Longitud
9306 CHILLAN	979905.186	134.11	36° 36' 20"S	72° 05' 70"O

El procedimiento en terreno fue iniciar las medidas en la mañana de cada día en la base mencionada anteriormente y cerrar 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.



Fotografía N° 1 Estación Base de Gravedad

5.3.2 Labores Topográficas

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

En las extensiones cubiertas por los trabajos de topografía se identificaron todos los puntos que componen los perfiles en donde se tomó 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 UTM WGS 84, para la cual se utilizó como referencia el Vértice IGM de la Red SIRGAS, CLAR.

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 compensada. (Ver Figura 5-2)

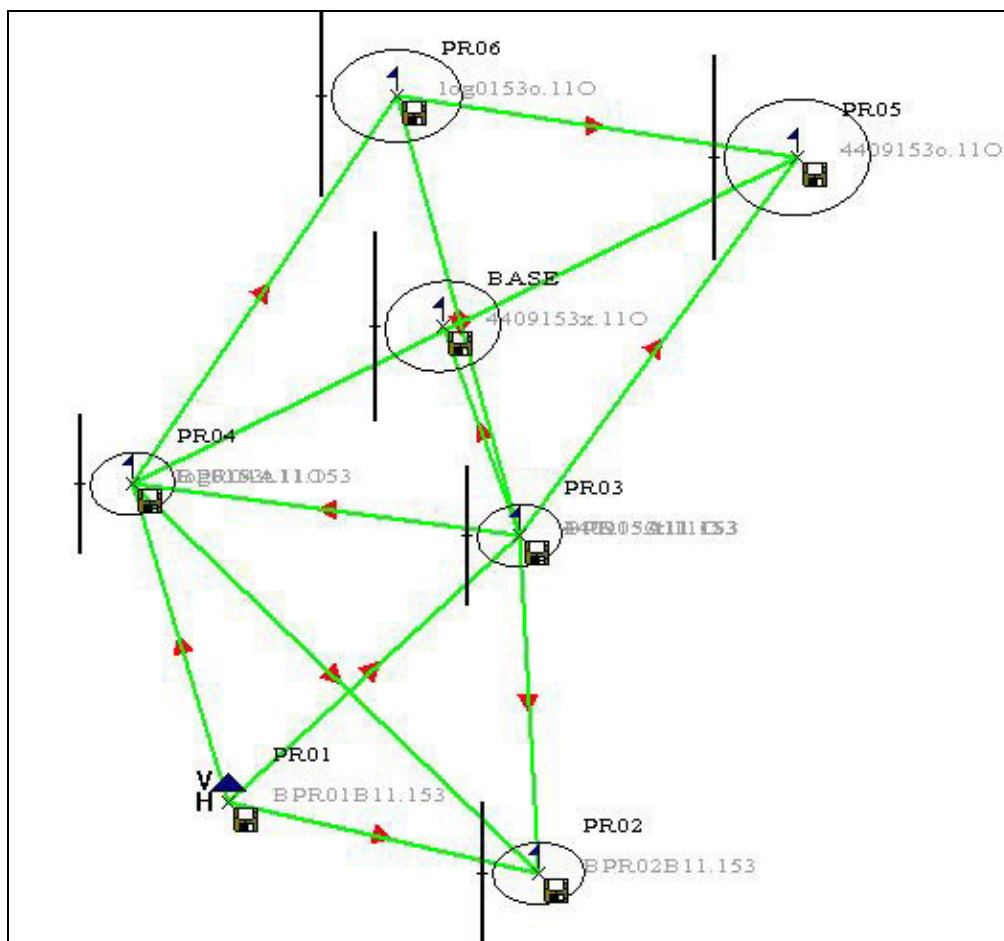


Figura 5-2 –Red Geodésica Primaria Utilizada

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 uno de los vértices de la red primaria y un segundo equipo recorriendo y levantando cada uno de los puntos en los cuales se tomó información gravimétrica y que conformaban los perfiles gravimétricos. 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 5-3)

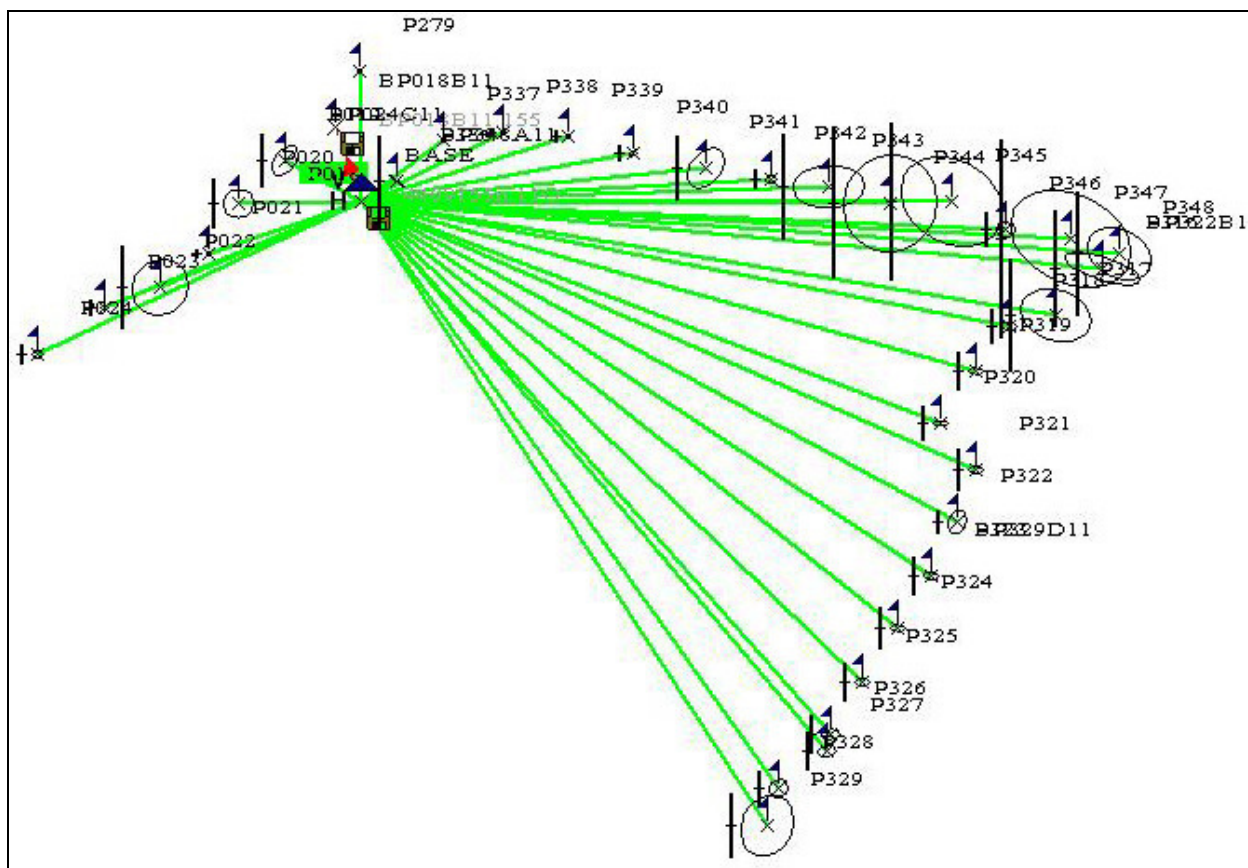


Figura 5-3 Esquema Procedimiento Utilizado en la Medición de Cada Punto

El instrumental utilizado para las labores de levantamiento consistió en Receptores Geodésicos GPS, de doble frecuencia modelo HIPER + y HIPER GGD, marca TOPCON, 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.

y otro modelo Z-EXTREME, marca ASHTECH con precisiones de:

- Modo Estático: 5 mm + 1 ppm en horizontal y 10 mm + 1 ppm en vertical.
- Modo Cinemático: 10 mm + 1 ppm en horizontal y 20 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 que se obtuvieron fueron las siguientes:

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

PUNTO	ESTE	NORTE	COTA
PR01	200.266,294	5.895.178,807	151.459
PR02	232.287,152	5.887.868,951	263.283
PR03	230.352,498	5.922.642,857	245.773
PR04	190.210,140	5.928.037,758	77.733
PR05	259.040,812	5.961.592,953	491.345
PR06	217.672,846	5.967.903,693	140.299
BASE	222.443,198	5.944.275,671	134.109

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 348 puntos que conforman los 9 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 10, 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. Los resultados de la interpretación se pueden observar en los Gráficos 1 a 10 incluidos en el Anexo 5-5. Estas figuras muestran la anomalía de Bouguer observada, el residual obtenido y el modelo calculado que da la profundidad del basamento complementado con antecedentes geológicos y observaciones de terreno. 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 los planos incluidos en el Anexo de Planos, específicamente se presenta la siguiente información:

- Plano 5-1. Planta Perfiles Gravimétricos (escala 1:250.000)
- Plano 5-2. Plano Isobático del área investigada. Curvas de isoprofundidad cada 50 m.
- Plano 5-3 a 5-9. Perfiles Longitudinales Trazado Perfiles Gravimétricos (escala 1:100.000 H; 1:10.000 V)

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

Perfil 1 Tramo A

Punto	Cota	Distancia	Profundidad
	Terreno	Parcial	Roca
		mts	mts
P166	140,347		0
P165	148,292	871	0
P164	146,185	1.331	0
P163	147,211	1.557	0
P162	136,705	2.319	0
P161	138,949	1.510	0
P160	158,744	1.900	0
P159	141,621	2.020	7
P158	144,390	1.915	23
P157	155,492	1.906	27
P156	146,839	1.953	32
P155	126,357	2.019	34
P154	113,701	1.972	36
P153	104,127	863	36
P152	128,291	4.480	40
P151	116,840	1.918	43
P150	104,781	1.779	39
P149	105,528	1.924	30
P148	127,885	2.181	16
P147	147,691	1.910	7
P146	98,080	967	0

Perfil 1 Tramo B

Punto	Cota	Distancia	Profundidad
	Terreno	Parcial	Roca
		mts	mts
P224	107,578		424
P229	111,556	1.545	305
P230	179,171	1.930	100
P231	177,192	1.697	57
P232	139,593	1.602	44
P233	97,243	1.362	124
P234	74,893	1.970	122
P235	65,353	1.829	172
P236	53,901	1.893	85
P237	50,964	1.796	0
P250	55,922	2.209	0
P251	76,905	1.816	48
P252	50,820	2.370	41
P253	47,297	2.171	76
P254	79,074	1.750	44
P255	73,384	1.564	30
P256	66,791	1.987	153
P257	78,723	1.931	239
P258	74,932	1.640	186
P259	82,344	1.910	85
P260	83,266	1.947	0
P261	84,618	2.097	143
P262	100,764	1.870	72
P263	97,180	2.142	124
P264	92,377	1.713	119
P265	110,546	1.927	129
P266	102,894	1.811	196
P267	112,522	1.950	99
P268	124,230	2.133	138
P269	124,699	1.773	147
P270	123,055	1.437	138
P271	142,061	1.555	95
P272	121,639	1.462	64
P273	118,891	1.765	100
P274	154,058	1.974	75
P275	131,692	1.816	113
P276	137,806	2.045	124
P277	118,550	1.014	177
P278	122,390	956	150

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

Perfil 2

Punto	Cota	Distancia	Profundidad
	Terreno	Parcial	Roca
		mts	mts
P292	203,441	0	1910
P291	200,037	2.860	1890
P290	197,032	2.132	1642
P289	194,002	1.829	1577
P180	194,639	1.165	1527
P293	189,929	1.113	1642
P288	187,409	1.245	1761
P287	180,468	1.790	1909
P286	173,550	2.083	1747
P285	169,855	1.942	1432
P284	164,248	2.147	1255
P283	154,955	2.229	1165
P282	150,564	2.394	1045
P281	135,775	2.534	864
P280	142,148	2.582	807
P279	134,207	1.340	778
P018	136,576	1.862	745
P019	117,267	1.939	506
P020	112,812	1.970	420
P021	110,040	1.869	380
P022	102,957	1.879	340
P023	97,527	1.850	320
P024	90,403	2.589	300
P025	88,170	1.501	329
P026	103,336	1.961	300
P027	94,442	1.904	420
P028	93,560	1.985	449
P029	77,600	2.020	539
P030	96,536	1.957	539
P031	104,338	1.939	388
P032	104,874	1.880	300
P033	99,622	2.071	119
P034	98,400	1.959	181
P035	96,216	1.924	539
P036	110,441	1.963	539
P037	109,578	2.140	477
P038	110,522	1.726	449
P039	119,039	1.955	358
P040	120,685	1.993	329
P041	122,662	1.952	300
P042	124,413	1.970	358
P043	113,556	2.020	477
P044	132,323	2.043	449
P045	136,082	1.980	388
P046	138,272	1.864	300
P047	144,675	1.994	148
P048	145,884	1.982	238
P001	145,644	350	238

Perfil 3

Punto	Cota	Distancia	Profundidad
	Terreno	Parcial	Roca
		mts	mts
P189	296,975	0	371
P302	286,769	1.307	272
P303	287,161	1.254	371
P304	297,651	1.655	463
P305	286,384	2.009	587
P306	273,305	1.726	735
P307	260,176	2.246	926
P308	246,076	2.159	1064
P309	251,148	2.018	1103
P310	263,835	2.334	1284
P311	298,042	2.172	1350
P312	267,504	3.053	1227
P313	282,522	1.577	1188
P314	252,964	1.848	1131
P315	261,447	1.660	1103
P316	264,232	1.691	1093
P317	282,395	2.084	912
P318	277,088	1.542	887
P319	280,715	1.739	845
P320	280,929	2.009	806
P321	292,944	1.797	873
P322	307,247	1.802	816
P323	294,811	1.874	777
P324	295,689	1.963	735
P325	271,193	2.015	653
P326	303,928	1.932	515
P327	304,714	549	477
P328	300,659	1.912	477
P329	285,206	1.223	544
P098	300,212	2.828	668
P130	249,756	4.328	587
P129	265,252	1.802	615
P128	280,707	2.033	668
P127	286,600	2.131	682
P126	290,082	571	706
P125	277,769	2.035	749
P124	273,091	1.738	640
P123	266,821	1.510	625
P122	251,882	2.037	601
P121	241,904	1.576	527
P120	221,068	1.973	544
P111	207,468	1.898	463
P112	225,549	2.060	353
P113	217,912	2.015	353
P114	195,321	1.124	329
P115	219,935	1.941	300
P116	208,991	1.588	257
P117	240,705	1.854	381
P118	241,778	1.903	515
P119	250,106	1.918	601
P080	264,836	1.886	653
P079	276,255	1.817	706
P078	287,330	1.311	763
P077	306,274	2.546	873
P076	299,182	1.987	873
P075	288,861	1.909	845
P059	277,873	2.651	668

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

Perfil 4

Punto	Cota	Distancia	Profundidad
	Terreno	Parcial	Roca
		mts	mts
P201	478,814	0	0
P200	454,979	2.025	0
P199	416,751	1.977	0
P198	397,200	1.975	0
P197	393,473	1.989	0
P196	462,595	1.564	53
P195	497,177	1.703	106
P194	510,379	2.044	212
P193	477,791	1.871	0
P192	478,788	2.052	159
P191	363,093	1.697	265
P190	309,377	1.445	318
P189	296,975	2.554	371
P188	285,445	1.815	424
P187	273,167	2.102	477
P186	261,994	2.007	530
P185	249,492	1.863	636
P184	237,647	1.937	902
P183	224,021	2.051	1220
P182	214,633	1.952	1432
P181	205,058	1.972	1538
P180	194,639	1.938	1538
P179	185,169	2.160	1698
P178	176,143	1.861	1962
P177	169,928	1.468	1962
P176	161,188	1.906	1803
P175	156,804	2.121	1591
P174	150,788	2.223	1165
P173	150,149	1.904	743
P172	142,508	2.109	424
P171	143,113	1.967	318
P170	139,796	1.905	106
P169	154,946	1.998	0
P168	162,572	1.829	0
P167	129,727	3.010	0

Perfil 5

Punto	Cota	Distancia	Profundidad
	Terreno	Parcial	Roca
		mts	mts
P335	318,011	0	0
P334	320,243	287	0
P333	319,741	1.663	0
P332	284,481	1.863	0
P331	277,337	1.578	0
P330	275,290	1.612	0
P348	263,949	473	212
P347	257,297	1.629	318
P346	256,449	2.044	424
P345	237,575	1.964	557
P344	226,040	1.920	557
P343	214,939	1.987	557
P342	203,571	1.839	583
P341	194,770	2.123	477
P340	181,778	2.342	318
P339	170,453	2.085	477
P338	160,656	2.050	796
P337	150,863	1.894	1061
P336	139,835	1.970	1165
P141	119,575	4.146	1061
P142	110,702	2.252	636
P143	108,716	2.042	159
P144	105,845	1.947	0
P145	95,852	2.034	0
P146	98,080	669	0
P220	115,408	2.217	106
P221	85,232	2.762	106
P222	101,044	2.015	212
P223	110,453	2.329	371
P224	107,578	2.391	424
P225	108,357	2.501	265
P226	119,102	2.532	212
P227	138,548	2.564	106
P228	143,482	1.476	0

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

Perfil 6

Punto	Cota	Distancia	Profundidad
	Terreno	Parcial	Roca
		mts	mts
P106	416,703	0	0
P105	461,802	1.312	0
P104	443,877	2.030	143
P103	423,863	2.089	191
P102	393,076	2.041	191
P101	368,087	1.919	239
P100	346,312	1.812	286
P099	321,918	2.162	430
P098	300,212	2.082	668
P097	271,029	1.883	859
P096	255,286	2.107	811
P095	237,660	1.993	811
P094	224,038	1.924	1002
P093	211,131	2.007	1193
P092	194,673	1.983	1336
P091	194,815	1.959	1241
P090	192,631	1.396	1193
P089	182,346	1.701	1193
P088	166,626	1.873	1098
P087	160,859	1.786	954
P086	150,341	1.934	572
P085	140,070	1.899	334
P084	127,846	2.107	286
P083	121,103	1.683	143
P082	111,861	2.278	334
P081	101,557	2.132	382
P131	97,796	2.447	191
P132	91,670	1.186	334
P133	83,850	1.926	477
P134	79,271	2.010	382
P135	85,289	2.015	239
P136	65,248	2.036	143
P137	78,817	1.904	191
P138	77,860	2.008	286
P139	77,162	1.971	239
P140	76,913	2.927	0

Perfil 7

Punto	Cota	Distancia	Profundidad
	Terreno	Parcial	Roca
		mts	mts
P073	488,605		0
P074	483,135	2.937	0
P072	637,781	1.413	0
P071	575,698	2.633	181
P070	507,365	2.772	91
P069	429,777	2.813	91
P068	454,451	1.934	137
P067	444,632	1.594	137
P066	405,953	1.690	227
P065	376,201	2.140	318
P064	347,706	1.818	501
P063	329,145	1.329	545
P062	313,947	1.305	636
P061	302,934	1.029	727
P060	291,091	1.523	727
P059	277,873	1.742	727
P058	258,203	1.691	773
P057	247,723	2.002	907
P056	233,041	1.956	1136
P055	240,212	1.408	1184
P054	232,561	2.000	1136
P053	223,161	2.016	1136
P052	215,214	1.499	1273
P051	206,491	2.489	1184
P050	200,492	1.907	1136
P049	194,454	1.922	1045
P017	190,095	1.959	864
P016	184,403	2.057	907
P015	179,359	1.942	727
P014	176,589	1.932	272
P013	173,532	1.037	137
P012	162,979	3.013	45
P011	156,618	1.880	137
P010	150,968	2.037	181
P001	145,644	2.160	227
P002	138,596	2.476	0
P003	136,708	1.745	181
P004	133,140	2.305	272
P005	130,078	2.254	227
P006	126,487	2.317	181
P007	117,780	2.079	227
P008	121,991	1.371	137
P009	121,275	3.301	0

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

Perfil 8

Punto	Cota	Distancia	Profundidad
	Terreno	Parcial	Roca
		mts	mts
P301	535,88	0	0
P300	521,96	366	62
P299	513,90	294	116
P298	503,42	257	177
P297	482,02	294	232
P296	462,54	338	273
P295	461,07	192	286
P294	459,18	207	280
P219	457,70	365	266
P218	455,47	267	286
P217	452,16	170	280
P216	447,92	352	252
P215	443,52	280	218
P214	441,13	237	177
P213	440,70	197	143
P212	449,86	276	143
P211	467,51	238	137
P210	471,77	266	123
P209	473,80	242	143
P208	478,09	233	143
P207	483,43	285	109
P206	487,38	234	129
P205	488,94	251	89
P204	489,46	242	75
P203	505,04	199	48
P202	566,07	242	0

Perfil 9

Punto	Cota	Distancia	Profundidad
	Terreno	Parcial	Roca
		mts	mts
P237	50,964	0	0
P238	49,143	289	5
P239	44,340	231	21
P240	44,098	260	41
P241	43,717	197	44
P242	43,597	198	23
P243	42,902	232	11
P244	43,188	197	6
P245	43,288	199	1
P246	44,884	178	0
P247	39,637	139	0
P248	37,578	139	0
P249	43,251	292	0
P250	55,922	190	0

5.6 Consideraciones

En general la zona estudiada mediante el método de gravedad se observan importantes variaciones de la anomalía de Bouguer que interpretadas, Figura 13 indican un modelo isobático con grandes variaciones de la profundidad a la que se encuentra el basamento. 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.

La distribución de las estaciones de gravedad cada 2 Km. y grandes extensiones en que no existieron medidas de gravedad puede 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 un alto en el basamento a la latitud de la ciudad de Pemuco, adicionalmente se observa un alto en el basamento entre las ciudades de Chillán y Coihueco. Al sur de la latitud de Pemuco nuevamente aparece la gran depresión del Valle Central que se manifiesta mayormente a la latitud de la ciudad de Yungay.

La cuenca sedimentaria del Valle Central se muestra bastante potente alcanzando profundidades mayores de 1000 metros, incluso se pensó en la existencia de una falla en el área de Chillán, Dragicevic (1970).

Los resultados aportados por este informe se ven avalados en gran parte por trabajos de Dragicevic (1970), Avendaño y Araneda (1992) y antecedentes de sondeos de exploración realizados por la Empresa Nacional del Petróleo (ENAP). Adicionalmente para convalidar el estudio gravimétrico se consideraron algunos pozos profundos realizados por la DOS que no cortaron la roca basal (Chillan 162 m, Pemuco 103 m, San Ignacio 154 m y Bulnes 122 m).

Referencias

- Dragicevic M. 1970 Carta Gravimétrica de los Andes meridionales e interpretación de las anomalías de gravedad de Chile central. Publicación 90, Departamento de Geofísica y Geodesia, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
- Avendaño MS, Araneda M. 1992. Investigaciones gravimétricas en las regiones de Talca y Chillan, Chile Central. 17ava Reunión Científica de Geofísica y Geodesia, Facultad de Ingeniería, Las Heras 2214, Buenos Aires.
- Empresa Nacional del Petróleo. 1967. Informe geológico de pozo Ñuble N° 1 y Pozo Parral N° 1.

6. CAMPAÑA DE TERRENO MEDICIÓN DE NIVELES

6.1. Consideraciones Generales

Se realizó una campaña de medición de niveles estáticos en pozos localizados en la cuenca del río Itata, específicamente esta labor se desarrolló en el período comprendido entre el 20 de Julio y 16 de Septiembre del año 2011, se encuestaron y/o midieron 200 pozos en la cuenca, dicha labor fue realizada por tres 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 Itata se cuenta con un catastro de 1337 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 Itata (cuya extensión de Este a Oeste de aprox. 65 Km.) en 5 ejes verticales (norte –sur) equidistantes a 12.5 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 200 pozos, en la página siguiente se adjunta la ficha tipo utilizada en la encuesta realizada y en el Anexo 6-1, se presenta cada una de las 200 fichas elaboradas.

Ficha Catastro Pozos Utilizada

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO CUENCAS BIO BIO E ITATA (AÑO 2011)			
REGISTRO DE POZOS			
1.- UBICACIÓN			
NUMERO DEL POZO :	2	EXPEDIENTE	ND-0801-1920-1/1
COMUNA :	San Carlos		
LOCALIDAD :	Monte Blanco		
NOMBRE DEL PREDIO:	Sitio Comité		
PROPIETARIO:	Comité APR Monte Blanco		
ENTREVISTADO :	Juan Quezada (Operador)		
COORDENADAS UTM	NORTE: 6.956.057	ESTE:	238.372
DATUM	WGS 1984	HUSO :	19
		COTA:	181 msnm
2.- CARACTERISTICAS POZO Y DIAGNOSTICO A LA FECHA			
NIVEL ESTATICO (m):	3,1	PROFUNDIDAD (m):	40
NIVEL DINAMICO (m):		DIAMETRO (pulg):	8
CAUDAL (l/s):	8	POTENCIA BOMBA	
FECHA CONSTRUCCIÓN.	1996		
DERECHOS DE AGUA:	Caudal otorgado de 9.5 l/s según expediente		
USO ACTUAL:	RIEGO () POTABLE (X) INDUSTRIAL () OTRO () SIN USO ()		
3.- FRECUENCIA DE BOMBEO			
VERANO	HORAS 18	DIAS 30	MESES Octubre a Marzo
INVIERNO	HORAS 9	DIAS 30	MESES Abril a Septiembre
OBSERVACIONES:	Abastece 238 Arranques actualmente. Se ampliarán a 35 más. Consumo invierno 80 m3 Consumo verano 155 m3		
ENCUESTADOR:	Luis Duque S.		
FECHA:	11-08-11		
			

7. CARACTERIZACION HIDROGEOLOGICA CUENCA RÍO IATA

7.1. Aspectos Generales

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

- Catastro de pozos y medición de niveles estáticos (Julio 2011)
- Identificación y descripción Unidades Hidrogeológicas
- Generación de Curvas Equipotenciales y sentido de escurrimiento de las aguas subterráneas
- Identificación de sectores de isoprofundidad.
- Parámetros Elásticos (Transmisibilidad)
- Explotación de las Aguas Subterráneas

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

7.2. Catastro de Pozos y Medición de Niveles

El catastro de pozos para la cuenca del Itata se confeccionó considerando las siguientes fuentes de información:

- Catastro de Pozos incluido en el estudio "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). (REF 3).
- Catastro de Pozos incluido en el estudio Mejoramiento y Ampliación de Red de Aguas Subterráneas, Regiones VII a X. (Conic BF Ingenieros Civiles. - DGA. S.I.T. Nº 223 Diciembre 2010) (REF 4).
- Recopilación de Expedientes de solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas Provincia de Ñuble.
- Catastro medición de niveles efectuado por este consultor durante los meses de Julio a Septiembre del año 2011

Luego a partir de la información recopilada se realizó un procedimiento que permitió ordenar y filtrar la información, específicamente el proceso desarrollado fue el siguiente:

- Tanto el catastro de pozos de la REF 3 y 4 se encuentran georeferenciados y tienen asociada una base de datos con la información de las principales características de cada una de las captaciones.

- El total de captaciones incluidas en las REF 3. y 4 asciende a 881 y 1090 captaciones respectivamente.
- Estas dos base de datos se cruzaron con el objeto de eliminar aquellas que se encontraban repetidas, el criterio de eliminación fue considerar aquellas captaciones que coincidían en ubicación y/o propietario. El resultado de esta labor arrojó un total de 1194 captaciones.
- Por otro lado se confeccionó una base de datos con la información de los 454 pozos seleccionados a partir de la labor de revisión de expedientes de captaciones subterráneas realizada.
- Esta nueva base de datos de pozos con 454 captaciones y cuyo origen fue la revisión de expedientes se cruzó con la base de datos provenientes de los catastros existentes e indicados en los puntos anterior (1194 pozos). El criterio de eliminación fue el mismo indicado anteriormente.
- Finalmente se llegó a establecer un universo de 1337 captaciones subterráneas, de las cuales 454 están asociadas a un número de expediente.

En el Anexo Planos, se incluye el Plano 7-1 con la ubicación del total de las captaciones subterráneas, además de un listado con los 445 pozos recopilados desde los expedientes incluyendo antecedentes tales como N° Expediente, nombre propietario, coordenadas UTM, Caudal solicitado, profundidad pozo, nivel estático y dinámico. Toda la información técnica recopilada desde los expedientes (planos de construcción del pozo, pruebas de bombeo, informes técnicos, etc.) fue escaneada y adjunta en archivos magnéticos (Anexo 7-1).

Finalmente durante el desarrollo de la presente etapa se realizó un catastro de terreno (medición de niveles de pozos), el cual permitió incorporar 40 nuevas captaciones al catastro inicial.

7.3. Definición de Acuíferos

Para definir los acuíferos en el área en estudio, se tomó 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 6 zonas o sub acuíferos, las cuales se diferencian entre sí 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 **PPIIm** Formación Mininco (Plioceno-Cuaternario)
- Sub-Acuífero 2: Unidad **PIHIm** Formación La Montaña (Pleistocena-Holocena)
- Sub-Acuífero 3: Unidad **PIt3** Depósitos Piroclásticos
- Sub-Acuífero 4: Unidad **Q1g** Depósitos glaciares Depósitos morrénicos, fluvioglaciares y glacialacustres
- Sub-Acuífero 5: Unidad **Q3av** Depósitos de avalancha volcánica
- Sub-Acuífero 6: Unidades
 - Q1** : Depósitos fluvio-aluviales Sedimentos de valles actuales
 - Q1c** : Depósitos coluviales
 - Q1fa** : Depósitos Fluvio-Aluviales
 - Q1m** : Terrazas Marinas (Pleistoceno-Holoceno)
 - Q1t** : Sedimentos de terrazas fluviales (Holoceno)

En el Cuadro N° 7-1 se presenta un resumen para cada sub acuífero definido, con el tipo de relleno que lo constituye y su extensión.

Cuadro N° 7-1 Definición Sub-Acuíferos Cuenca del Itata

Sub- Acuífero Nº	Unidad Geológica	Área (km²)
1	PPIIm	2.207,8
2	PIHIm	1406,1
3	PI3t	993,3
4	Q1g	126,9
5	Q3av	529,9
6	Q1,Q1c,Q1fa,Q1m,Q1t	530,4

En el Plano 7-1 Definición de Acuíferos y Catastro de Pozos se muestra la delimitación y extensión de los 6 sub sectores o sub acuíferos definidos.

Finalmente cabe mencionar que se revisó la definición de los acuíferos de la cuenca del Itata incluida en el estudio de la REF. 3, dicha delimitación esta basada principalmente en las cuencas hidrológicas de los ríos Ñiquen, Ñuble, Diguillín e Itata, que conforman el área en estudio. Esta subdivisión será utilizada, cuando se realice el balance por acuífero (capítulo 9), ya que facilita la interacción con la subdivisión superficial del modelo hidrológico implementado (estructurado en base a sectores de riego, tramos de cauces, nudos, etc.).

7.4. Unidades Hidrogeológicas

7.4.1 Generalidades

En función a la información geológica de superficie y en especial en base a los antecedentes aportados por los sondeos existentes en el área de estudio, se ha procedido a definir las unidades hidrogeológicas en la cuenca del río Itata.

Para estos efectos se consideró muy especialmente las características sedimentológicas de los depósitos no consolidados existentes en la cuenca y, sólo secundariamente el origen de tales rellenos. De hecho el principal problema acometido en este trabajo consistió en agrupar las múltiples unidades estratigráficas existentes conforme a sus características sedimentarias y consecuentemente de permeabilidad.

La primera etapa del trabajo mencionado consistió en analizar las estratigrafías de los sondeos de la cuenca y en base a estos antecedentes reconocer tres conjuntos básicos de sedimentos: de baja permeabilidad; de permeabilidad moderada; y de buena permeabilidad. Conforme a esta subdivisión aplicada a cada sondeo, se procedió luego, agrupando espacialmente éstas, a definir las dos unidades hidrogeológicas que muestran los siete perfiles levantados a través de la cuenca estudiada y que más adelante se definen.

Es importante señalar que en función a la experiencia de estos consultores y a la calidad de los datos estratigráficos aportados por los numerosos pozos existentes, se seleccionaron los sondeos que en definitiva permitieron la definición de las unidades hidrogeológicas en comento y la estructuración de los perfiles respectivos. Durante el estudio se contó con un total de 454 pozos con expediente, de los cuales 286 presentaban información estratigráfica. Fue a partir de estos últimos que se ejecutó la selección antes mencionada.

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. Esta gran unidad hidrogeológica, sin embargo, exhibe variaciones tanto laterales como en profundidad de la permeabilidad lo que ha permitido reconocer en ella dos subunidades denominadas en este trabajo unidad A y unidad B. Los perfiles hidrogeológicos levantados muestran precisamente la situación descrita, una gran mega unidad acuífera con sectores reducidos de mediana a alta permeabilidad (Unidad A) y sectores de permeabilidad media a baja (Unidad B) que son con creces los más representativos de este gran acuífero.

La razón de esta característica hidrogeológica, vale decir la existencia de un gran reservorio de permeabilidad más bien baja, tiene su origen en los tipos de depósitos que lo conforman. Los autores que han definido la geología de la zona reconocieron grandes extensiones con areniscas finas y limonitas (Formación Mininco), que se disponen en el sector poniente de la Depresión Central, y depósitos morrénicos y

glacio-lacustres (Formación La Montaña) que se emplazan en el área oriental de dicha depresión (Ver plano 7-2 Mapa Geológico y Trazado Perfiles).

Ambas unidades geológicas se caracterizan precisamente, por estar conformadas muy especialmente por depósitos finos, que imprimen al acuífero una permeabilidad general media a baja. Sólo en sectores relativamente reducidos en extensión se advierte la presencia de sedimentos de granulometría media con escasos finos que permitieron definir la Unidad A.

Ahora bien, es necesario destacar un hecho que debe considerarse. Directamente en los sectores por donde circulan los ríos de la zona (Ñuble, Cato, Chillán, Diguillín e Itata), existen depósitos fluvioaluviales de permeabilidad media alta, que no es posible definir en los perfiles por la escala de trabajo. En todo caso dichos depósitos constituyen, en conjunto con los otros rellenos descritos el mismo macroacuífero de la zona.

Respecto de los sedimentos de baja a media permeabilidad es conveniente aclarar que éstos no constituyen condiciones de borde del escurrimiento subterráneo. Al respecto, y sólo a modo de ejemplo, se puede citar el caso de uno de los pozos más profundos construidos en la zona y que corresponde al sondaje Nº 1.765 perforado sólo en la Unidad B (Ver perfil Perfil 5 – 5' Plano 7-3). Esta obra tiene una profundidad de 210m y presenta una secuencia estratigráfica conformada por abundantes finos, sin embargo los antecedentes indican que fue posible extraer de él un caudal de 38 l/s. Esto necesariamente implica que aún cuando el medio sedimentario presente una granulometría de limos y arcillas abundante (Unidad B), el conjunto de dicha secuencia es permeable y como se indicó no constituye una barrera al escurrimiento subterráneo.

Lo señalado significa que en la fase siguiente de este estudio, vale decir la implementación de un modelo matemático de simulación hidrogeológica en la cuenca, lo racional sería considerar una sola mega unidad con variaciones de la conductividad hidráulica conforme a la distribución areal de las unidades A y B.

Un último aspecto general que es importante destacar dice relación con la geofísica levantada durante el desarrollo de este estudio. Dicho trabajo consistió en un levantamiento gravimétrico dirigido a estimar la profundidad de la roca, que hace de zócalo de las unidades sedimentarias que conforman el acuífero.

Los resultados de esta actividad indican que la roca basal se emplaza a grandes profundidades en la zona de la Depresión Central, llegando en algunos sectores a más de 1.000m. A modo de ejemplo se puede decir que a lo largo del Perfil 2 – 2', en especial en su extremo norte, la profundidad del basamento sería cercana a los 1.500m.

Las potencias detectadas por la geofísica no necesariamente implican que el espesor del acuífero sea equivalente. Como ocurre en casi la totalidad de los valles de Chile Central, subyaciendo a los sedimentos permeables superficiales se

disponen depósitos con un muy alto contenido arcilloso (diamictos, arcillolitas, etc.), que si bien pueden almacenar agua subterránea, no constituyen acuíferos sino más bien acuífijos.

Por otra parte, esta herramienta geofísica no aporta antecedentes sobre la estratigrafía de los rellenos ni sobre la posición del nivel estático, de forma que en este acápite, adoptando un criterio conservador, sólo puede afirmarse que el espesor promedio total sedimentario permeable debiera fluctuar entre 150 y 200m. Esta potencia supera en mucho a la profundidad promedio alcanzada por los pozos construidos en la zona, de forma que si se deseara determinar este importante aspecto hidrogeológico sería necesario construir pozos profundos y levantar una geofísica tipo transiente electromagnética calibrada conforme a los antecedentes estratigráficos aportados por los sondajes.

Como resumen de lo último descrito se debe aseverar que los espesores de las Unidades A y B definidas, son sólo una aproximación conservadora ya que es muy probable que éstos sean superiores.

7.4.2 Perfiles Hidrogeológicos

En total se levantaron 7 perfiles a lo largo y ancho del área cubierta por el acuífero freático de la cuenca del río Itata. A continuación se procede a describir todos y cada uno de los perfiles estructurados.

Perfil 1 – 1'

Éste se ubica en el extremo oriental del área cubierta por el acuífero de la cuenca y corre de Norte a Sur (Ver plano 7-3). Todo el tramo norte del perfil acusa la presencia de los depósitos de permeabilidad media a alta de la Unidad A la que engrana longitudinalmente con los sedimentos de la Unidad B que subyacen a la anterior y se proyectan hacia el Sur hasta el final del perfil.

Como en toda el área, se desconoce la potencia real de estas dos unidades, sin embargo es altamente probable que los espesores del acuífero, a lo menos a lo largo de este perfil superen los 150m. De hecho la gravimetría acusa profundidades mayores incluso en los sectores donde la roca basal se encontraría más cercana a la superficie.

El sector norte del perfil en comento atraviesa los sectores altos de las subcuencas de los ríos Chillán, Cato y Ñuble y es esa la razón por la cual los rellenos muestran granulometrías relativamente gruesas y permeabilidades medias a altas correspondientes a la Unidad A que aflora en superficie.

Ahora bien, desde un poco antes del cruce con el Perfil 6 comienzan a cobrar relevancia los depósitos morrénicos y glacio-lacustres de la Formación La Montaña y en el extremo sur del perfil los materiales volcánicos piroclásticos de la Formación

Mininco; ambos tipos de depósitos son los responsables de la fina granulometría y consecuentemente baja a media permeabilidad que caracteriza a la Unidad B.

Perfil 2 – 2'

El perfil en comento se dispone hacia el poniente del anterior, corriendo también de Norte a Sur (Ver Plano 7-3). Puede advertirse en él que los sedimentos de la Unidad A cobran mucho menos relevancia que los definidos en el Perfil 1-1'. La razón de esto es que la ubicación del Perfil 2-2' se encuentra hacia el poniente del anterior vale decir hacia aguas abajo, dirección en la cual se genera una natural disminución de la granulometría.

En el sector norte del perfil en cuestión se advierte la presencia de la Unidad A que aflora y que subterráneamente presentaría una leve tendencia a proyectarse hacia el Sur. El tramo donde esta unidad aflora corresponde, aproximadamente, al interfluvio de los ríos Ñuble por el Norte y Chillán por el Sur. Por su parte, en el tramo sur del perfil en comento sólo se advierte la existencia de un cuerpo lenticular en profundidad correspondiente a la Unidad A, el resto de los depósitos son claramente de permeabilidad baja, correspondiente a la Unidad B.

Al igual que en el caso anterior, el espesor del acuífero a lo largo de todo el perfil sería de a lo menos unos 150m. En este caso la geofísica, a lo largo de todo el perfil acusa las mayores profundidades de la zona, superando en algunos puntos los 1.000m.

Perfil 3 – 3'

Éste se ubica en el sector poniente del área cubierta por el acuífero freático, en las cercanías del área donde el río Itata comienza su escurrimiento flanqueado tanto hacia el Norte como hacia el Sur por las rocas intrusivas paleozoicas impermeables de la cuenca y donde el valle se estrecha considerablemente (Ver Plano 7-3).

El perfil corre prácticamente en sentido Norte a Sur y en su extremo septentrional circula por un sector donde la roca basal se encuentra a menor profundidad respecto de los dos perfiles anteriores. En todo caso dicha profundidad es mayor que la informada por los sondeos.

Las rocas de este sector norte corresponden a intrusivos antiguos (paleozoicos) fuertemente meteorizados, con el desarrollo de una cobertura regolítica importante, que hidrogeológicamente constituye parte del macroacuífero de la cuenca y donde existen captaciones de agua subterránea.

En el perfil puede advertirse que a todo su largo se detecta sólo la Unidad B. La única excepción sería un eventual lente de mejor granulometría, que se ha interpretado como Unidad A, y que acusa en su porción más profunda el pozo 1.652.

Perfil 4 – 4'

Éste se ubica en el extremo norte del área cubierta por el acuífero, corriendo de Este a Oeste (ver plano 7-3).

Su tramo oriental recorre las áreas aledañas al valle del río Ñuble (en su tramo medio) y es presumiblemente esa la razón por la que se reconoce allí, claramente, la existencia de la Unidad A (de media a alta permeabilidad) que se dispondría sobreyaciendo a los sedimentos más finos y menos permeables de la Unidad B, que se proyecta a su vez, en superficie, en la sección occidental del perfil.

La sección occidental del perfil se ubica en el área donde la geología de superficie acusa la presencia de los depósitos de la Formación Mininco compuesta por arenas y limos. Estos sedimentos finos, que incorporan arcillas en la medida en que se emplazan a cotas más bajas en la cuenca, es decir hacia el poniente, son los que permiten reconocer a la Unidad B en el sector occidental del perfil.

Es en este perfil donde se ubica el pozo 1.765 de importante profundidad (citado anteriormente) y que define una potencia mínima para el acuífero, en ese sector, de más o menos 250m.

Los antecedentes de la gravimetría señalan que en el extremo poniente del perfil en comento la roca se dispondría a profundidades algo menores de 50m. Esa es la razón por la cual se redujo el espesor del acuífero en este perfil, en su extremo occidental.

Perfil 5 – 5'

Este perfil se dispone en sentido E – O (ver plano 7-3) y muestra en toda su extensión la presencia importante de la Unidad B. En el extremo oriental de éste se advierte en superficie la Unidad A que alcanza espesores, que probablemente superen los 100m.

Por su parte, en sector poniente del perfil los pozos indican la presencia de la Unidad A que presentaría reducida cobertura areal y potencia bastante moderada. Estos rellenos de mayor granulometría probablemente correspondan a la acción deposicional del río Ñuble que circula muy próximo al perfil en dicho tramo.

En el extremo occidental del mismo la geofísica acusa una profundidad de la roca basal mucho menor que en el resto de la cuenca, de manera que en el perfil se consideró este aspecto.

El perfil en comento circula fundamentalmente a través de los sedimentos de la Formación Mininco y sólo en su extremo oriental lo hace a través de sedimentos de la Formación La Montaña.

Perfil 6 – 6'

Este perfil se dispone en sentido aproximado NO – SE (ver plano 7-3) y presenta casi exclusivamente la Unidad B. sólo en su extremo poniente acusa la presencia de los depósitos de mayor granulometría de la Unidad A. Estos últimos sin duda corresponden a sedimentos depositados por el río Ñuble en el área donde tributa al río Itata.

Sólo en profundidad y asociado a los pozos 6.027 y 2.317 se presenta un cuerpo lenticular de mayor granulometría que ha sido asignado a la Unidad A y que sin duda exhibe escasa cobertura areal.

El extremo occidental del perfil remata en un sector donde la geofísica (gravimetría) acusa la roca basal a profundidad moderada, de manera que este aspecto se ha dejado manifiesto en el perfil.

El tramo poniente del perfil en comento se emplaza en el área donde afloran los depósitos de la Formación Minico y su segmento oriental lo hace sobre los sedimentos morrénicos y glacio-lacustres de La Formación La Montaña

Perfil 7 – 7'

El presente perfil se trazó fundamentalmente por el valle del río Itata, de forma que su extremo occidental corre por el sector donde dicho río escurre por su valle encajonado en rocas intrusivas paleozoicas (ver plano 7-3). En este sector era de esperar que el espesor del acuífero fuese menor, sin embargo existe la información de sondajes que indican lo contrario. Especial mención se debe hacer al pozo 1.422 que alcanzó los 150m de profundidad sin reconocer la roca basal. Los datos de este sondaje indican que pudo sustentar un caudal de 50 l/s lo que ratifica que Unidad B constituye un acuífero que al habilitarse con espesores mayores puede suministrar montos interesantes de agua subterránea.

Respecto de lo anterior es importante destacar que en el perfil se ha dejado señalada esta potencia sedimentaria pero que en el resto del tramo que circula por el estrecho valle del río Itata se ha supuesto un espesor menor. Desgraciadamente la gravimetría no se internó por este valle, aguas abajo de la confluencia con el río Ñuble, de modo que el espesor definido por el pozo antes mencionado se ha considerado una singularidad.

Podrá advertirse en el perfil, que la presencia de la Unidad B es significativa y que los sedimentos de la Unidad A se restringen sólo a los entornos de los pozos 6.272 y 6.296 que se emplazan cercanos al área de confluencia de los ríos Diguillín e Itata.

Hacia aguas arriba de la confluencia Itata-Ñuble el espesor del acuífero se ha considerado mayor, manteniendo siempre un criterio conservador.

7.5. Curvas Isofreáticas y Sentido de Escurrimiento

Durante la campaña de terreno realizada en esta etapa (entre Julio y Septiembre del año 2011), se procedió entre otras labores, a medir el nivel estático de 203 pozos distribuidos espacialmente en la cuenca del río Itata; cada pozo fue georeferenciado en coordenadas UTM (Datum WGS 84) y en cota a través de un GPS navegador. (Ver descripción capítulo 6).

En el Cuadro 7-2 siguiente se presenta para cada uno de los pozos catastrados su ubicación (coordenadas, cota), la profundidad del nivel estático medido y la cota del nivel estático.

En base a la información de cotas del nivel estático se genero un plano con curvas isofreáticas o equipotenciales cada 20 m, el rango comprendido de las curvas fue entre los 980 msnm y los 20 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 adopto 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 7-4 con las curvas equipotenciales trazadas.

Cuadro 7-2 Identificación de Pozos Encuestados

ID_NE	COMUNA	PROPIETARIO	WGS 84 H19		COTA POZO (msnm)	Prof. N.E (m)	COTA N.E. (msnm)
			Norte	Este			
1	San Carlos	Comité APR Quilelto	5.956.406	233.387	162	5,65	156,35
2	San Carlos	Comité APR Monte Blanco	5.956.057	238.372	181	3,10	177,90
3	San Carlos	Comité APR	5.957.431	243.808	226	7,13	218,87
4	San Carlos	Comité APR Esperanza	5.960.480	252.004	262	1,97	260,03
5	San Carlos	Comité APR	5.960.548	249.700	271	18,65	252,35
6	San Carlos	Comité APR Santa Filomena	5.962.868	232.877	165	2,95	162,05
7	San Carlos	Comité APR El Cape	5.966.247	239.724	194	2,36	191,64
8	San Carlos	Comité APR Buli Estación	5.972.453	236.795	171	1,80	169,20
9	San Carlos	Rodolfo Oscar Mattei Jonson	5.967.313	236.844	177	1,95	175,05
10	San Carlos	Carlos Salina Meza	5.970.757	230.950	154	1,80	152,20
11	San Carlos	Comité APR Santa Juana	5.917.622	235.295	273	4,40	268,60
12	San Ignacio	Comité APR San Miguel	5.921.940	235.303	282	0,00	282,00
13	Pinto	Héctor Contreras Vielma	5.925.438	247.097	393	10,90	382,10
14	Pinto	Comité Villa Padre Hurtado	5.933.573	240.790	296	7,00	289,00
15	San Nicolás	Ilustre Municipalidad De San Nicolás	5.953.239	215.193	95	1,41	93,59
16	Coihueco	Hugo Alfonso Vásquez Jiménez	5.955.911	252.298	259	2,00	257,00
17	Coihueco	Agrícola Santa Catalina Ltda.	5.942.526	241.067	223	4,80	218,20
18	Coihueco	Rolando León	5.945.188	239.426	208	20,00	188,00
19	Chillán	Inia	5.953.480	240.033	180	6,56	173,44
20	San Nicolás	Agro American Corporation	5.963.039	217.550	113	0,00	113,00
21	San Nicolás	Manuel Acuña Kairath	5.962.800	215.840	113	0,00	113,00
22	San Carlos	Sociedad De Representaciones Internacionales Ltda.	5.960.130	253.647	273	2,10	270,90
23	Coihueco	Comité APR Bustamante - Niblinto	5.947.148	252.567	235	2,97	232,03
24	Chillán	Comité APR De Quinquhua	5.952.038	242.725	200	2,10	197,90
25	Chillán	Miguel Ángel Rojas Álvarez Y Otros	5.938.054	226.453	117	2,00	115,00
26	Coihueco	Pedro Antonio Carrasco Moreno	5.943.334	239.932	212	3,00	209,00
27	Coihueco	DOH de Los Lagos	5.939.106	239.956	246	9,21	236,79
28	Ninhue	Oscar San Juan	5.982.521	201.826	133	5,30	127,70
29	Coihueco	Jorge Eugenio Cisternas Larenas	5.953.866	253.434	269	0,00	269,00
30	Coihueco	Comité APR De Nahueltoro	5.957.701	252.894	282	7,00	275,00
31	Coihueco	Jose Hipolito Figueroa	5.954.532	252.262	254	2,60	251,40
32	San Carlos	Comité APR Ribera Del Nuble	5.959.923	252.710	270	2,00	268,00
33	Pinto	Fileron Rivas Montecinos	5.926.609	250.375	441	7,74	433,26
34	Pinto	Ilustre Municipalidad De Pinto	5.934.325	241.145	286	22,29	263,71
35	Coihueco	Comité APR Heroes De La Concepcion	5.936.308	241.625	270	18,62	251,38
36	Coihueco	Alois Schmidt	5.937.086	242.187	271	13,46	257,54
37	Chillán	Héctor Carlos Heinrich	5.951.363	239.211	181	1,07	179,93
38	San Fabián	Ilustre Municipalidad De San Fabian	5.951.871	271.888	475	6,26	468,74
39	Chillán	Carlos Lahsen	5.953.067	241.213	199	2,00	197,00
40	San Nicolás	Ilustre Municipalidad De San Nicolás	5.958.177	201.499	127	17,17	109,83
41	San Carlos	Soc.de Representaciones Internacionales Ltda.	5.960.522	253.560	275	6,00	269,00
42	San Carlos	Dario Parada Araya	5.960.486	252.005	266	1,00	265,00
43	San Carlos	Criadero Tres Esquinas Cachapoal Ltda.	5.961.688	252.835	280	6,00	274,00
44	San Carlos	APR Llamahuimanida (Sendos)	5.964.514	239.399	214	2,00	212,00
45	Coihueco		5.944.149	241.365	225	2,50	222,50
46	San Carlos	Inversiones Ongolmo De La Frontera	5.975.997	232.796	153	3,50	149,50
47	Chillán	Inmobiliaria Lota Arauco	5.938.924	226.982	157	25,00	132,00
48	San Carlos	Edmundo Silva Roselet	5.963.261	228.732	142	1,90	140,10
49	San Carlos	Comité APR Placilla	5.964.676	229.106	147	0,00	147,00
50	San Carlos	Agricola Terranpes S.A.	5.971.432	228.871	143	0,75	142,25
51	San Carlos	Jorge Rogelio Moraga Riquelme	5.921.296	230.139	228	4,60	223,40
52	Bulnes	Comité APR Las Esquinas	5.927.578	198.976	69	2,75	66,25
53	Bulnes	Comité APR El Espinal	5.926.885	202.106	68	13,35	54,65
54	San Ignacio	Domingo Aurelio San Martin Rosales	5.928.159	226.159	182	11,30	170,70
55	San Ignacio	Fernando Rodriguez	5.923.972	229.748	218	4,55	213,45
56	San Ignacio	Essbio	5.922.444	231.002	233	10,10	222,90
57	Chillán Viejo	Comité APR El Esfuerzo	5.940.490	220.029	181	1,42	179,58
58	Chillán Viejo	Demetrio De La Cruz Fuentealba	5.938.096	214.473	83	4,05	78,95
59	Chillán Viejo	Dario Benuchi	5.934.207	217.601	115	13,40	101,60
60	Chillán Viejo	Escuela Basica De Quilmo	5.935.640	219.025	117	15,08	101,92
61	Bulnes	Comité APR Colton Quillay	5.925.005	218.205	132	10,20	121,80
62	San Ignacio	Cooperativa APR Quiriquina Ltda	5.918.289	223.456	144	2,20	141,80
63	Bulnes	Comité APR Santa Rana	5.921.120	219.578	157	8,10	148,90
64	Chillán	APR Rinconada De Cato	5.951.014	228.188	138	2,78	135,22
65	Chillán	Alimentos Y Frutos	5.946.579	227.223	158	9,61	148,39
66	Chillán	Licores Conde	5.946.436	228.603	145	9,18	135,82
67	San Carlos	Comité APR De Ninquihue	5.957.456	229.257	133	1,00	132,00
68	Chillán	Cox Y Jackson Ltda.	5.950.428	229.991	147	5,77	141,23

(Continuación) Cuadro 7-2 Identificación de Pozos Encuestados

ID_NE	COMUNA	PROPIETARIO	WGS 84 H19		COTA POZO (msnm)	Prof. N.E (m)	COTA N.E. (msnm)
			Norte	Este			
69	Coelemu	ESSBIO S.A.	5.955.907	169.421	19	3,30	15,70
70	Chillán Viejo	Inmobiliaria Frutillares Ltda.	5.941.395	215.188	81	2,13	78,87
71	Chillán	Adolfo Jose Figueroa Pena	5.939.214	225.589	115	0,00	115,00
72	Chillán	Lechera Longavi Ltda	5.943.893	217.620	86	9,00	77,00
73	Chillán Viejo	Edith Margot Romero Donoso	5.942.118	216.911	85	2,17	82,83
74	Chillán	Antonio Juvenal Plajiero Neira	5.948.037	214.397	87	3,05	83,95
75	San Carlos	Frusur	5.954.322	226.829	132	5,58	126,42
76	San Carlos	Frusur	5.954.344	226.574	137	7,07	129,93
77	San Carlos	Frutas Y Hortalizas Del Sur S.A.	5.954.168	226.544	137	5,40	131,60
78	San Carlos	DOH	5.954.116	226.385	144	0,00	144,00
79	San Nicolás	Manuel Ramon Antonio Acuna Kirath	5.963.170	216.151	111	0,00	111,00
80	Chillán	Patricio Varela Rojas	5.938.103	229.724	178	2,75	175,25
81	Chillán	Gonzalo Andres Mujica Mujica	5.949.401	228.639	145	11,04	133,96
82	Chillán Viejo	Rossana Yanez Fuller	5.940.583	213.994	77	1,00	76,00
83	Chillán	Luz Ruiz Ruiz	5.947.175	212.973	73	2,00	71,00
84	Chillán Viejo	Claudia Balza Bustos	5.941.475	211.520	71	2,95	68,05
85	Chillán Viejo	Agrícola Y Ganadera Chillan Viejo S.A.	5.933.876	206.395	107	23,30	83,70
86	Chillán Viejo	Agrícola Y Ganadera Chillan Viejo S.A.	5.937.089	210.573	94	14,60	79,40
87	Chillán Viejo	Ilustre Municipalidad	5.936.400	207.184	80	8,08	71,92
88	Chillán Viejo	Sector Comun Villa Los Colihues	5.940.559	213.046	75	3,20	71,80
89	Chillán Viejo	Jorge Rabie	5.934.917	209.300	71	6,50	64,50
90	Chillán Viejo	Alonzo Fuentes	5.937.350	209.897	82	35,00	47,00
91	Chillán Viejo	Coagro S.A.	5.939.351	211.335	90	2,20	87,80
92	Bulnes	Raul Baldemar Medina Parra	5.931.202	204.078	59	2,20	56,80
93	Bulnes	Raul Medina Parra	5.929.278	203.684	68	0,00	68,00
94	Bulnes	Sociedad De Inversiones Colon Ltda.	5.927.803	214.918	108	8,72	99,28
95	Bulnes	Sociedad Lenz Meier Y Duesch	5.924.736	212.896	113	3,20	109,80
96	Bulnes	Villa Los Aromos	5.918.457	211.880	111	0,00	-99,00
97	Bulnes	Comfrut S.A.	5.928.718	214.169	124	5,63	118,37
98	Bulnes	Agrícolas Los Naranjas	5.927.943	213.870	108	10,00	98,00
99	Bulnes	Masisa S.A.	5.926.221	215.646	108	21,80	86,20
100	Chillán	Empresas R. Julinek	5.934.534	191.710	38	6,20	31,80
101	Chillán	Mop - Municipalidad	5.928.376	191.452	62	8,41	53,59
102	San Nicolás	Ilustre Municipalidad, Comité Agua Potable	5.967.617	203.635	95	5,10	89,90
103	San Nicolás	Ilustre Municipalidad De San Nicolás	5.953.253	215.178	104	1,40	102,60
104	San Carlos	Ilustre Municipalidad	5.971.222	202.390	87	5,50	81,50
105	San Nicolás	Jose Velazquez	5.959.831	205.512	103	8,58	94,42
106	San Nicolás	Sociedad Educacional Dario Salas	5.953.981	217.517	108	2,60	105,40
107	Ninhue	Corretajes Torres Ltda.	5.962.373	198.462	85	5,15	79,85
108	Trehuaco	Comité APR Denecan	5.954.811	171.890	27	7,50	19,50
109	Coelemu	Essbio	5.955.452	169.174	12	4,55	7,45
110	Quirihue	Ilustre Municipalidad De Quirihue	5.969.716	176.636	158	8,70	149,30
111	Portezuelo	Forestal Celco	5.939.932	191.942	22	5,60	16,40
112	Portezuelo	Comité APR	5.938.865	192.216	28	6,00	22,00
113	Portezuelo	Jose Contreras Albornoz	5.941.287	189.124	15	5,10	9,90
114	San Nicolás	Comité De Agua El Esfuerzo	5.947.064	209.827	70	5,05	64,95
115	San Nicolás	Ilustre Municipalidad	5.949.276	206.284	59	3,80	55,20
116	Portezuelo	Jose Ceballos Villanueva	5.952.582	187.284	71	2,10	68,90
117	Portezuelo		5.951.710	193.514	118	0,00	118,00
118	Portezuelo	Georgina Perez Retamal	5.954.445	198.864	87	11,50	75,50
119	Portezuelo	Forestal Celco	5.939.807	190.272	24	5,45	18,55
120	Portezuelo	Forestal Celco	5.939.601	190.821	27	2,49	24,51
121	San Nicolás	Mario Julio Bustos	5.948.637	205.537	37	7,20	29,80
122	Portezuelo	Forestal Celco	5.940.067	192.325	29	4,70	24,30
123	Ranquil	Celulosa Arauco Y Constitucion S.A.	5.938.419	190.290	36	7,40	28,60
124	Ranquil	Celulosa Arauco Y Constitucion S.A.	5.936.089	191.272	29	7,05	21,95
125	Ranquil	Celulosa Arauco Y Constitucion S.A.	5.936.464	191.224	29	7,40	21,60
126	El Carmen	Hernando Francisco Campos Sandoval	5.910.649	241.446	351	4,70	346,30
127	El Carmen	Matilde Carolina Soto Rubilar	5.904.930	239.339	355	6,90	348,10
128	El Carmen	Margarita Ines Cancino Aedo	5.906.347	242.895	420	14,47	405,53
129	El Carmen	Sociedad Agrícola Y Forestal Los Cipreses	5.914.410	249.406	473	33,50	439,50
130	El Carmen	Luis Herrera Cortes	5.908.566	247.949	475	12,75	462,25
131	El Carmen	Congregacion Sagrados Corazones	5.917.105	250.134	478	11,20	466,80
132	El Carmen	Matilde Carolina Soto Rubilar	5.905.384	239.492	363	13,40	349,60
133	El Carmen	Sociedad Agrícola Los Maitenes Ltda.	5.916.113	235.613	281	37,00	244,00
134	El Carmen	Jose Medina Rubilar	5.905.045	233.247	298	1,44	296,56
135	El Carmen	Jose Medina Rubilar	5.905.019	233.495	298	19,10	278,90
136	Tucapel	Essbio	5.868.066	239.065	348	39,15	308,85

(Continuación) Cuadro 7-2 Identificación de Pozos Encuestados

ID_NE	COMUNA	PROPIETARIO	WGS 84 H19		COTA POZO (msnm)	Prof. N.E (m)	COTA N.E. (msnm)
			Norte	Este			
137	Tucapel	Essbio	5.874.064	239.466	307	17,90	289,10
138	Yungay	Essbio	5.889.638	234.158	273	49,60	223,40
139	Yungay	Gustavo Wigner Benavente	5.885.017	233.607	254	26,65	227,35
140	Yungay	Carmen Sepulveda Seguel	5.891.537	235.860	277	23,52	253,48
141	Tucapel	Nayid Farran Farran	5.877.005	240.929	321	9,10	311,90
142	Yungay	Comité APR El Cardal	5.887.540	235.157	297	12,85	284,15
143	Yungay	Sociedad Agrícola Pallahua Ltda.	5.889.013	235.148	297	5,90	291,10
144	San Ignacio	Municipalidad De San Ignacio	5.924.507	239.398	323	6,70	316,30
145	Pemuco	Ilustre Municipalidad De Pemuco	5.899.191	259.201	989	0,00	989,00
146	Pemuco	Comité APR Cartago	5.898.819	246.920	530	3,74	526,26
147	Tucapel	Coop. Serv. De Abast. De Ap	5.870.442	249.603	467	2,85	464,15
148	Tucapel	Roberto De La Cruz	5.873.906	243.995	355	1,00	354,00
149	Tucapel	Eduardo Guínez Naudon	5.879.297	239.520	317	5,70	311,30
150	Yungay	Berta Leonidez Quintana Benavente	5.993.940	240.143	374	19,45	354,55
151	Yungay	Carlos Eugenio Cabrera Jofre	5.886.313	241.171	398	12,50	385,50
152	Yungay	Hernan Salazar Barra	5.885.164	238.817	336	0,20	335,80
153	Yungay	Comité Villa Cordillera	5.890.717	250.667	609	0,45	608,55
154	El Carmen	Paulo Andres Basterrica Sandoval	5.908.780	228.037	225	11,30	213,70
155	Bulnes	Adriando Del C. Castillo Guínez	5.913.568	214.682	131	4,75	126,25
156	El Carmen	Raimundo Antonio Riquelme Sandoval	5.911.355	229.948	222	14,50	207,50
157	Bulnes	Héctor Hugo Espinoza Riquelme	5.917.988	203.948	85	1,95	83,05
158	El Carmen	ESSBIO S.A.	5.911.832	232.156	260	24,56	235,44
159	El Carmen	Paulo Andres Basterrica Sandoval	5.908.939	226.558	206	1,10	204,90
160	El Carmen	Ilustre Municipalidad Del Carmen	5.912.809	229.814	228	-	-
161	San Ignacio	Juan Nestor Duran Donoso	5.913.762	217.857	149	6,70	142,30
162	Bulnes	Maria Isabel Hurtado Echeverria	5.914.241	205.840	102	3,60	98,40
163	Bulnes	Comité APR Los Placeres - El Carmen	5.919.190	203.494	89	10,00	78,50
164	Yungay	Gustavo Wigner Benavente	5.883.758	232.920	260	27,05	232,95
165	San Ignacio	Cooperativa APR Pueblo Seco Ltda.	5.913.826	224.298	199	4,70	194,30
166	Bulnes	Sociedad Agrícola El Salto Ltda.	5.913.174	210.563	108	5,82	102,18
167	Yungay	Jose Gabriel Munoz Munoz	5.884.955	232.510	252	12,30	239,70
168	Pemuco	Comité APR Villa Union-Relbun	5.904.629	209.120	135	12,10	122,90
169	Pemuco	Essbio	5.903.072	224.986	198	32,10	165,90
170	Yungay	Nayid Farran Farran	5.890.880	232.735	287	39,30	247,70
171	Yungay	Emiliano Sagurie Cifuentes	5.885.626	233.211	273	13,75	259,25
172	Chillán	Luis Molina Meza	5.943.842	211.430	71	0,00	71,00
173	Bulnes	Sociedad Barraca Santa Clara Ltda.	5.918.919	202.945	85	16,61	68,39
174	Bulnes	Rosa Munitas Zapata	5.918.880	199.599	53	5,53	47,47
175	Bulnes	Essbio	5.928.762	205.762	81	35,35	45,65
176	Bulnes	Ana Valverde	5.923.896	200.268	65	0,85	64,15
177	Bulnes	Fundo El Roble	5.928.573	197.663	59	4,28	54,72
178	Bulnes	Fundo El Roble	5.929.954	197.485	68	2,06	65,94
179	Bulnes	Jorge Bravo	5.928.921	199.190	58	1,66	56,34
180	Bulnes	Comité APR El Roble	5.927.669	194.837	19	5,67	13,33
181	Bulnes	Erick Pizarro	5.932.106	198.917	55	10,65	44,35
182	Bulnes	Rodrigo Truco Brito	5.924.798	205.093	87	3,20	83,80
183	Bulnes	Coop. Agrícola Remolachera Nuble Car Ltda.	5.926.992	205.550	86	11,60	74,40
184	Bulnes	Rodrigo Diaz	5.918.555	199.211	74	7,86	66,14
185	Bulnes	Juan Pablo Acuna Martinez	5.922.925	198.464	72	1,00	71,00
186	Bulnes	Juan Pablo Acuna Martinez	5.923.100	198.923	70	0,88	69,12
187	Bulnes	Javier Espinoza	5.930.189	195.740	69	22,08	46,92
188	Bulnes	Laura Cornejo	5.930.629	198.372	61	5,82	55,18
189	Cabrero	Comité APR Colicheu	5.896.311	208.526	137	0,92	136,08
190	Chillán	Cooperativa	5.938.784	194.029	30	1,62	28,38
191	Chillán	Comité APR Quinchamali	5.939.025	195.268	37	3,72	33,28
192	Chillán	Carmen Gloria Contreras	5.943.511	212.202	85	4,45	80,55
193	Chillán	Cooperativa APR Confluencia	5.938.764	192.217	62	6,42	55,58
194	Chillán	Luis Ulloa	5.938.368	194.693	32	4,00	28,00
195	Pemuco	Sociedad Agrícola San Ignacio S.A.	5.899.778	227.712	252	33,29	218,71
196	Pemuco	Guillermo Hugo Estrada Finsterbusch	5.913.099	203.463	105	23,45	81,55
197	Pemuco	Andres Nicanor	5.912.325	205.306	110	13,78	96,22
198	Pemuco	Sigisfredo Schewerman	5.911.157	202.880	110	28,00	82,00
199	Pemuco	APR Sendos	5.914.401	203.134	97	13,28	83,72
200	Pemuco	Sucesion Burgos Figueroa	5.898.228	229.545	237	1,85	235,15
201	Pemuco	Comité APR San Pedro	5.905.799	206.290	123	20,58	102,42
202	Yungay	Ilustre Municipalidad De Yungay	5.888.978	221.540	190	0,33	189,67
203	Yungay	Junta De Vecinos 9r Cholguan Norte	5.884.151	227.531	215	5,20	209,80
204	Yungay	Carmenlo Barra	5.885.849	231.695	251	2,30	248,70

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 Ñuble, Chillan, Diguillín e Itata Alto comprendida al oriente de la ruta que conecta la ciudad de Chillán con Yungay, presenta un escurrimiento de las aguas subterráneas en dirección SE-NW (las dos primeras subcuencas) y E-W las dos segundas sub cuencas y valores del gradiente hidráulico de 0.004, 0.013, 0.011 y 0.022 respectivamente.

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 Ñuble y Chillan sentido escurrimiento NE-SW, gradiente hidráulico 0.004
- Subcuenca río Diguillín sentido escurrimiento SE-NW, gradiente hidráulico 0.006
- Subcuenca Itata Alto –medio, sentido escurrimiento SE-NW, gradiente hidráulico 0.003

Finalmente todas las aguas subterráneas de la cuenca convergen al sector de confluencia y descargan al mar bajo la subcuenca del río Itata Bajo; el sentido de escurrimiento en este tramo es de SE-NW, con un gradiente hidráulico igual a 0.001

En el plano 7-4 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 mostrados en el Cuadro 7-2 anterior, se estratificó en cuatro tramos la profundidad del nivel estático. En el Cuadro 7-3 siguiente se muestran los rangos de cada uno de los tramos definidos y la cantidad de pozos existente en cada tramo.

Cuadro 7-3 Tramos Con Rangos de Profundidad Nivel Estático Definidos

Rango Profundidad Nivel Estático (m)	Cantidad de Pozos	% de pozos del Total
0-5	93	45,8 %
5-10	55	27,1 %
10-25	43	21,2 %
25-50	12	5,9 %
Totales	203	100 %

En el Plano 7-5 se muestra la distribución espacial de los sectores de isoprofundidad definidos para la cuenca del Itata. Cabe indicar que el método de interpolación utilizado para generar este plano fue el mismo que se ocupó para la generación de las curvas equipotenciales (Natural Neighbor)

7.6. Parámetros Elásticos

Para la determinación de los parámetros elásticos de los acuíferos asociados a la cuenca del río Itata, se ha empleado la información técnica contenida en los 455 expedientes de solicitudes de derechos de aguas subterráneas asociados a captaciones tipo pozo profundos recopilados. Específicamente los antecedentes utilizados fueron: planos de construcción de pozos, pruebas de bombeo de gasto variable y constante e informe técnicos incluidos en expedientes.

El procedimiento seguido para estimar la Transmisibilidad en (m²/día) en cada pozo fue la siguiente:

1. Calculo de Transmisibilidad con la Relación de Dupuit

Para cada uno de los 455 pozos se identificó el nivel estático, nivel dinámico y caudal asociado a la prueba de gasto constante. Luego a partir de estos datos se obtuvo el valor de la transmisibilidad mediante el uso de la relación de Dupuit, la que se consigna a continuación:

$$T = \frac{Q \cdot \ln\left(\frac{R}{r}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \Delta'}$$

donde:

- T : Transmisibilidad
- Q : Caudal
- R : Radio de influencia del sondaje
- r : Radio de perforación del sondaje
- Δ' : Depresión corregida ($\Delta' = \Delta$ para napa confinada;
 $\Delta' = \Delta - \Delta^2 / 2H$ para napa libre, con H: espesor de acuíferos)

En general, la expresión $\ln(R/r)$ asume un valor cercano a 7, por lo que la expresión original adopta la siguiente forma:

$$T = \frac{7 \cdot Q}{2 \cdot \pi \cdot \Delta'}$$

Una vez determinados los valores de transmisibilidad y a partir de la estratigrafía de los planos, se determinó el espesor del acuífero aportante (m).

2. Cálculo de Transmisibilidad con Prueba de Gasto Constante

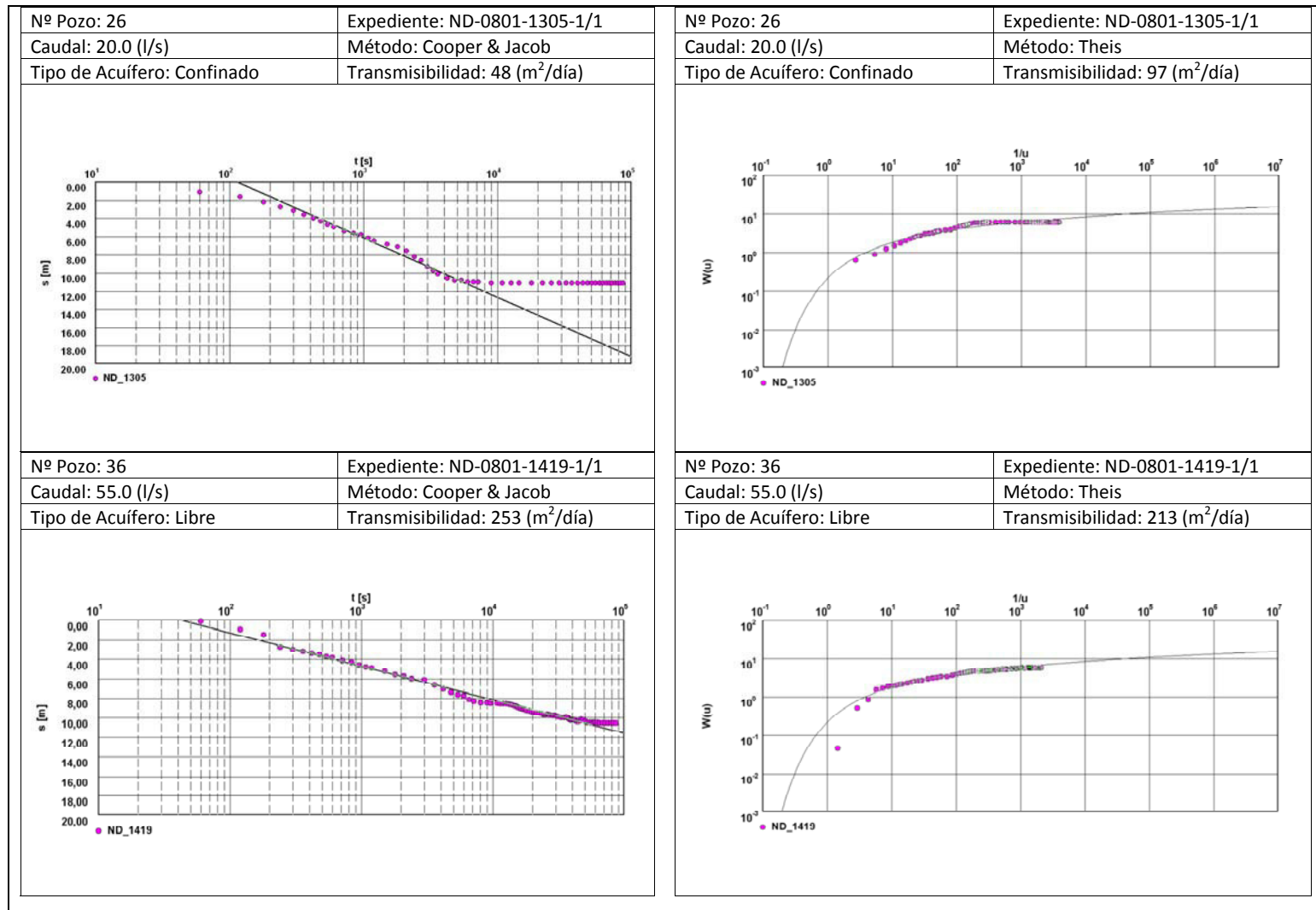
Del total de los 454 expedientes revisados 398 contenían el detalle de la prueba de gasto constante, es decir, depresión versus tiempo (24 hr), motivo por el cual se procedió a calcular la transmisibilidad utilizando el Software Aquifer Test versión 2.5 para Windows, desarrollado por Waterloo Hydrogeologic Inc., en 115 de estos pozos, los cuales se encontraban espacialmente distribuidos en la cuenca

Específicamente se determinó la transmisibilidad utilizando los métodos de Cooper – Jacob y Theis para las pruebas de gasto constante. Los datos utilizados y los resultados obtenidos para cada uno de los pozos analizados se adjunta en los Anexos 7-2 y 7-3 respectivamente. A manera de ejemplo en la Figura 7-1 siguiente se presenta los gráficos obtenidos para dos pozos en particular.

3. Cálculo de Transmisibilidad obtenido por Correlaciones

Considerando que el cálculo de Transmisibilidad obtenido por medio del Software Aquifer Test con los datos de la prueba de gasto constante (24 hrs) entrega un valor más preciso que el estimado a través de la relación de Dupuit, es que se analizó la correlación existente entre los valores de transmisibilidad obtenidos por ambos métodos para los 115 pozos señalados en el punto 2 anterior. El resultado de las correlaciones obtenidas arrojó coeficientes de correlación (r^2) que fluctuaron entre 0.79 y 0.94, motivo por el cual se determinó estimar la transmisibilidad del resto de los pozos a través de las correlaciones obtenidas. En el Anexo 7-4 se adjuntan las correlaciones obtenidas.

Figura 7-1 Resultado Calculo Transmisibilidad Utilizando Datos prueba de Gasto Constante Método Cooper & Jacob y Theis



4. Valores de Transmisibilidad Finalmente Adoptados

Habiendo calculado y obtenido el valor de transmisibilidad a través de los siguientes métodos y/o o fuentes de información:

- Relación de Dupuit
- Utilización del Software Aquifer Test para la prueba de gasto constante 24 hrs (método Cooper – Jacob y Theis).
- Valor incluido en informe técnico de los expedientes
- Valor estimado por correlación según lo indicado en punto 3 anterior

Se procedió a adoptar para cada pozo un valor de transmisibilidad, el cual proviene del resultado obtenido por uno de los métodos antes indicados o del promedio de dos o más métodos; como criterio general, la selección consideró la divergencia de los valores obtenidos por cada método, dando al valor calculado a través de los métodos de Cooper –Jacob y Theis mayor prevalencia.

Finalmente en el Anexo 7-5, se adjunta los valores de transmisibilidad calculados por cada uno de los métodos antes señalados y el valor final adoptado para cada uno de los 442 pozos analizados. Con los valores obtenidos se pudo visualizar los rangos entre los cuales fluctúa la transmisibilidad en la zona en estudio, en el Cuadro 7-4 siguiente se muestran los rangos definidos y la cantidad de pozos existente en cada tramo.

Cuadro 7-4 Rango de Transmisibilidades Obtenidas

Rango Transmisibilidad (m²/día)	Cantidad de Pozos	% de pozos del Total
< 150	320	72,4 %
150-250	52	11,7 %
250-350	18	4,1 %
350-450	7	1,6 %
>450	45	10,2 %
Totales	442	100 %

Finalmente se confeccionó un plano (ver Anexo Plano 7-6) 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.

Coeficiente de Almacenamiento

Con respecto al coeficiente de almacenamiento no se dispone de antecedentes para definirlo local o regionalmente pero dadas las características granulométricas se esperan valores de coeficiente de almacenamiento entre 0.03 y 0.06.

7.7. Identificación de Afloramientos

A partir del análisis de la información recopilada y elaborada, se identificaron sectores con potenciales afloramientos o recuperaciones desde el acuífero.

Como información base, se tomo lo indicado en el estudio de la REF 1 (Estudio Proitata-Capitulo III.F.4 Pérdidas y Recuperaciones), en el cual se delimitaron, en base a la recopilación de antecedentes y trabajos de terrenos realizados (aforos), los sectores o tramos en los cuales se producen afloramientos y recuperaciones. En el Cuadro 7-5 siguiente se presentan los sectores y los montos determinados en dicho estudio, cabe mencionar que las mediciones fueron efectuadas en períodos de riego (Octubre-Marzo)

**Cuadro 7-5 Análisis de Pérdidas y Recuperaciones Cuenca Itata
(Fuente: Estudio Proitata 1992)**

Río	Tramo	L	Recuperacion
		(km)	R (m3/s)
Ñuble	San Fabian a Pte Nahueltoro	18,88	14,96
	Nahueltoro a Longitudinal	32,37	-4,78
	Total	51,25	9,45
Chillan	Esperanza a Puente Pinto	12,04	1,06
	Puente Pinto a Puente El Saque	18,70	-0,28
	Puente El Saque a Puente Longitudinal	14,43	0,39
	Total	45,17	1,24
Chillan	Longitudinal a Confluencia	13,17	0,46
	Total	13,17	0,46
Diguillin	San Lorenzo+Renegado a Pte urrutia	29,53	8,75
	Pte Urrutia a Pte Santa Isabel	13,72	-0,23
	Pte Santa Isabel a Longitudinal	21,29	1,12
	Total	64,54	9,28
Diguillin	San Lorenzo + Renegado a Longitudinal	64,54	3,23
	Total	64,54	3,23

Por otro lado, en la presente consultoría se realizó el siguiente ejercicio teórico: se superpusieron las curvas isofreáticas (ver punto 7.5 anterior) y las curvas de nivel generadas (ver capítulo 12 siguiente), obteniéndose en aquellos sectores de intersección (zona donde el nivel del agua subterránea coincide con la cota de terreno); posibles zonas de afloramiento; como complemento a lo anterior se ubicaron los pozos surgentes o de nivel estático con profundidad cero, medidos durante la campaña de terreno realizada .

La información resultante anterior se comparó con los sectores de recuperación definidos en el estudio Proitata, obteniéndose bastante coincidencia.

Los principales sectores identificados son los siguientes:

1. Río Ñuble entre San Fabián y Puente Nahueltoro.
2. Río Cato, entre junta con Estero Bustamante y Villa Illinois.
3. Río Chillan entre Esperanza y Puente Pinto
4. Esteros Pincura, Boyen, Pichillaunco, Lluanco y Quilmo afluentes a los tramos siguientes del río Chillan (punto 5 y 6)
5. Río Chillan entre Puente El Saque y Puente Longitudinal.
6. Río Chillan entre Puente Longitudinal y Confluencia
7. Río Diguillín entre San Lorenzo y Puente Urrutia
8. Esteros El Pellín, San Juan, Palpal afluente al siguiente tramo del río Diguillín (punto 9)
9. Río Diguillín entre Puente Santa Isabel y Longitudinal
10. Alguno sectores del río Itata en su parte media

En el plano 7-7 se muestran los sectores potenciales de afloramientos en la cuenca del río Itata

7.8. Explotación y Uso de las Aguas Subterráneas

Para estimar y determinar la explotación y uso de las aguas subterráneas en la cuenca del río Itata, se utilizó por una parte la información de derechos concedidos entregada por la DGA y los antecedentes recopilados desde los expedientes, para determinar el uso.

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 Itata.
- La información entregada identifica para cada solicitud, el número de expediente respectivo, el nombre del petionario, la ubicación (comuna, coordenadas), el caudal solicitado y el estado de la solicitud, es decir, se

indica si la ésta ha sido otorgada (monto del caudal), denegada, o si se encuentra pendiente (en el departamento Legal o en el DARH). En el cuadro siguiente se muestra el número de solicitudes (expedientes) totales existentes (con indicación de caudal) y el número de solicitudes otorgadas con el respectivo caudal asociado

Nº Exp Total	Q solicitado		Q otorgado	
	Total (l/s)	Nº Exp	Total (l/s)	Nº Exp
5.312	27.304	5.156	11.604	2.416

- Cabe mencionar que el listado anterior no indica el uso que le será dado a los recursos subterráneos solicitados, motivo por el cual, esta información se obtuvo de los antecedentes incluidos en los expedientes de solicitudes recopilados y revisados por este consultor. La revisión de los 454 expedientes recopilados arrojó la siguiente distribución según caudal otorgado y uso:

Pozos por Uso	Cantidad	Distribución	Q (l/s)	Distribución
		por uso %	Otorgado	por Q %
Agua Potable	117	25,8%	1534	21.1 %
Industrial	40	8,8%	834	11,5 %
Riego	149	32,8%	3078	42,4 %
Sin Información	148	32,6%	1820	25,0 %
Total	454	100,0%	7266	100 %

- En base a la información contenida en los cuadros anteriores se estimo para el total de captaciones (2.416) y derechos de aguas subterráneas otorgados (11.604 l/s) en la cuenca del río Itata la distribución de captaciones y caudales por uso. En el Cuadro 7-6 se presenta dicha información.

Cuadro 7-6 Caudales Según Derechos Otorgados por Uso

Uso	Nº	Caudal (l/s)
	Captaciones	Otorgado
Agua Potable	623	2.450
Industrial	213	1.332
Riego	793	4.916
Sin Información	788	2.907
Totales	2416	11.604

8. ESTIMACION RECARGA ACUIFERO RÍO ITATA

8.1. 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 consideró un total de 33 sectores de riego. Del 1 al 32 son los mismos propuestos en el proyecto SIG-MAGIC (GCF, 2000), cuya delimitación se presenta en la Figura 8-1 y plano 8-1 anexo. Estos sectores, hasta el número 24 coinciden con los utilizados en el proyecto Proitata (1992). Se debe señalar que si bien los sectores 20, 21, 24, 25 y parte del 23, están fuera del área del presente estudio, debieron incluirse dentro de la modelación, pues el 23, por ejemplo, capta aguas en la cuenca del río Perquilauquén, pero una buena parte de su superficie pertenece a la cuenca de estudio. El sector 21, aunque está fuera de la cuenca del área de estudio, capta aguas del Río Ñuble. En consecuencia, estos sectores igualmente interactúan con el área de estudio.

El sector N°33 se generó al dividir el N°23 del SIG-MAGIC, en dos partes: una, perteneciente a la cuenca en estudio – que conservó el N°23-, y la otra

perteneciente a la cuenca del río Perquilauquén, que se numeró como 33. Finalmente y como complemento a la Figura 8-1, se incluye la Figura 8-2 la cual muestra de manera esquemática la topología (relación entre los diferentes elementos) en la cual se estructuró el modelo.

Los cultivos considerados en la modelación son los mismos de Proitata, y mantienen la misma distribución porcentual planteada en el proyecto Proitata. 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 8-1 se presentan el detalle de superficies por sector.

Para el cálculo de la Evapotranspiración se consideraron las zonas agroclimáticas de SIG-MAGIC y los coeficientes de cultivo de Proitata. También se mantuvieron los métodos de riego y las eficiencias indicadas en Proitata: Tendido (35%), Surco (53%) e Inundación (60%).

Insertar figura 8-1 sectores de riego

Insertar figura 8-2 sectores de riego

Cuadro 8-1 Identificación Sectores de Riego

Nº Sector	Superficie cultivada		Superficie No Cultivada	Total
	Riego (has)	Secano (has)	(has)	(has)
1	154	6940	1454	8548
2	0	2030	739	2768
3	666	9468	2000	12134
4	2197	5194	1291	8683
5	2114	8270	2113	12496
6	480	11853	2561	14894
7	62	4463	1271	5797
8	3059	5296	1502	9857
9	3113	1462	777	5352
10	276	1908	346	2531
11	21	3565	1055	4641
12	2970	7315	2011	12296
13	3579	4391	1441	9411
14	255	1737	281	2273
15	3600	6977	1879	12456
16	1415	1331	516	3262
17	3019	3816	1041	7877
18	8205	5609	2627	16441
19	16255	22298	7387	45940
20	225	319	103	648
21	9398	10239	4359	23996
22	4837	15379	0	20216
23	136	1444	381	1960
24	98	1949	406	2453
25	731	14568	3038	18337
26	22	1002	210	1234
27	23	1014	212	1249
28	54	2424	508	2986
29	232	10455	2190	12878
30	135	6068	1271	7473
31	140	6300	1320	7759
32	817	36758	7699	45274
33	155	1647	434	2236
TOTAL	68.443	223.491	54.422	346.355

La información pluviométrica y fluviométrica utilizada, fue la elaborada y presentada en el informe de la Etapa 1 de la presente consultoría. Específicamente se utilizaron los resultados de los análisis de frecuencia para probabilidades de excedencia de 20%, 50 % y 85 % respectivamente, 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° 8-2 se indican los valores de a.

Cuadro 8-2 Cálculo de Precipitación Efectiva Según Blanney y Criddle

Rango de P (mm)	a	Pefec max	Pefec
		(mm)	(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 8-3 siguiente se indican los sectores de riego que se abastecen con cada estero o río. Tal como se indicó se asume que los derechos asociados a cada sector son proporcionales a su superficie de riego. Así, por ejemplo, el río Ñuble abastece los sectores 11, 16, 17, 18, 19 y 21. La suma de las áreas de riego de estos sectores es 38.314 has., por lo tanto el sector 18, que tiene una superficie de riego igual a 8.205 has, posee derechos en el río Ñuble equivalentes a: $8.205/38.314 = 21,41\%$. Lo anterior implica que en bocatoma este sector puede captar como máximo 21,41% del caudal del río Ñuble. La suma de los derechos en cada río o estero es 100%. Así en el Río Ñuble: Sector 11 (0,05%), Sector 16 (3,69%), Sector 17 (7,88%), Sector 18 (21,41%), Sector 19 (42,43%) y Sector 21 (24,53%). Total = 100 %.

Finalmente, para cada sector de riego se estableció, en base a la información presentada en el capítulo 7, el caudal total de bombeo otorgado por derechos constituidos, y los diferentes usos de esas explotaciones, según se consigna en el Cuadro N° 8-4. Los usos y sus proporciones dentro del área de estudio son: Agua Potable (21,1%), Industrial (11,5%), Riego (42,4%), Sin Información (25%).

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 Nº 8-3 Derechos de Agua por Sector como porcentaje del caudal pasante

Sector	Superficie Riego Sector	Cauce de Captación	Superficie Riego Total Cauce	Derechos
	(has)		(has)	(%)
1	154	Cauquenes	154	100,00
2	0	Colliguay	0	0,00
3	666	Boyen	666	100,00
4	2.197	Chillan	11.401	19,27
7	62	Chillan	11.401	0,54
8	3.059	Chillan	11.401	26,83
9	3.113	Chillan	11.401	27,30
12	2.970	Chillan	11.401	26,05
5	2.114	Cato, Niblinto, Coihueco	9.824	21,52
10	276	Cato, Niblinto, Coihueco	9.824	2,81
13	3.579	Cato, Niblinto, Coihueco	9.824	36,43
14	255	Cato, Niblinto, Coihueco	9.824	2,59
15	3.600	Cato, Niblinto, Coihueco	9.824	36,65
6	480	Llunco	480	100,00
11	21	Ñuble	38.314	0,05
16	1.415	Ñuble	38.314	3,69
17	3.019	Ñuble	38.314	7,88
18	8.205	Ñuble	38.314	21,41
19	16.255	Ñuble	38.314	42,43
21	9.398	Ñuble	38.314	24,53
20	225	Ñiquen	1.345	16,76
23	136	Ñiquen	1.345	10,11
24	98	Ñiquen	1.345	7,27
25	731	Ñiquen	1.345	54,33
33	155	Ñiquen	1.345	11,53
22	4.837	Changaral	4.837	100,00
26	22	Itata	22	100,00
27	23	Seco	255	8,84
29	232	Seco	255	91,16
28	54	Diguillin	1.005	5,36
30	135	Diguillin	1.005	13,41
32	817	Diguillin	1.005	81,23
31	140	Larqui	140	100,00

Cuadro 8-4. Distribución por Sector de Riego y uso de los Derechos Constituidos (l/s) de Agua Subterránea

Sector	A. Potable	Industrial	Riego	Sin Información	Total
1	69	37	138	82	326
2	30	16	61	36	143
3	74	40	149	88	352
4	124	67	248	147	586
5	14	7	28	16	65
6	52	28	105	62	247
7	80	43	160	95	378
8	294	160	590	349	1394
9	110	60	221	130	521
10	5	3	11	7	26
11	5	3	11	7	26
12	135	73	270	160	638
13	195	106	392	232	925
14	5	3	11	7	26
15	110	60	221	130	521
16	16	9	33	20	78
17	69	37	138	82	326
18	121	66	243	144	573
19	346	188	695	411	1641
20	3	1	6	3	13
21	38	21	77	46	182
22	30	16	61	36	143
23	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0
25	5	3	11	7	26
26	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0
28	8	4	17	10	39
29	33	18	66	39	156
30	27	15	55	33	130
31	22	12	44	26	104
32	426	232	855	506	2019
33	0	0	0	0	0
TOTAL	2.450	1.332	4.916	2.907	11.604

Fuente: Elaboración Propia (Capítulo 7)

b) Embalses

Con respecto a los volúmenes de agua regulados, se considera únicamente la operación del embalse Coihueco. En el Cuadro 8-5 se consignan sus antecedentes relevantes, obtenidos a partir de sus curvas de embalse:

$$V \text{ embalsado (m}^3\text{)} = V_0 * H_a + V_1 \quad (1)$$

$$S \text{ inundada (m}^2\text{)} = S_0 * H_b \quad (2)$$

donde H es la profundidad del agua en metros.

Cuadro 8-5 Curva de Embalse

Nº	Embalse	V ₀ (m ³)	V ₁ (m ³)	S ₀ (m ²)	a	b	H _{min} (m)	H _{max} (m)	V _{min} (10 ⁶ m ³)	V _{max} (10 ⁶ m ³)	S _{min} (10 ⁶ m ²)	S _{max} (10 ⁶ m ²)
1	Coihueco	12994	530000	29885	2,3	1,3	3,0	28,3	0,69	28,90	0,12	2,31

(*) Fuente: Estudio Integral de Riego. Proyecto Itata. (1994)

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 33 sectores de riego considerados.

En el Anexo 8-1 se describen y presentan las Bases Conceptuales del Modelo Hidrológico implementado.

8.2. Calibración Modelo

El modelo fue calibrado comparando volúmenes de agua simulados y volúmenes de agua observados en 8 estaciones fluviométricas. La calibración consistió en ajustar los parámetros del modelo para probabilidades de excedencia de 20%, 50% y 85%. El ajuste se hizo primero para la probabilidad del 50%, y se validó para las otras dos. Es decir, se supone que los parámetros del modelo no varían con la probabilidad de excedencia, lo que es consistente con los resultados. En el Cuadro 8-6 y en la Figura N° 8-3 se consignan los resultados.

Los parámetros de mayor relevancia y/o incidencia calibrados fueron:

- Porcentaje de percolación mensual en cauces. En todos los tramos de cauce se consideró una percolación de 0,1(%/km) Q entrante, excepto en el Río Diguillín que se consideró 1,2 (%/km) Q entrante.
- Proporción mensual de precipitación en exceso que percola. El valor calibrado da 5% entre agosto y marzo, 10% en abril, 20% en mayo, 30% en junio y 20% en julio.

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 en el parámetro de porcentaje de precipitación en exceso que percola, y una incidencia bastante menor en los parámetros de percolación y reuso de derrames en zonas de riego. Esto se puede ver en el Cuadro N° 8-7.

**Cuadro N° 8-6 Calibración del Modelo de Simulación
Caudales Medios Anuales (m3/s)**

Probabilidad Excedencia (%)	20		50		85	
Estacion	Sim	Obs	Sim	Obs	Sim	Obs
RIO CHANGARAL CAMINO A PORTEZUELO	21,663	23,494	12,307	13,543	5,335	6,278
RIO CATO EN PUENTE CATO	58,131	58,944	34,549	35,190	15,795	17,042
RIO ÑUBLE EN LONGITUDINAL	211,406	187,086	127,762	115,785	64,000	61,506
RIO CHILLAN EN LONGITUDINAL	34,312	38,619	20,636	23,025	9,652	11,910
RIO CHILLAN EN CAMINO A CONFLUENCIA	37,296	30,244	22,340	18,823	10,358	10,362
RIO DIGUILLIN EN LONGITUDINAL	97,468	70,613	61,494	43,058	32,605	21,462
RIO ITATA EN CERRO NEGRO	183,306	162,663	120,208	102,267	68,068	52,915
RIO ITATA EN Balsa Nueva Aldea	192,001	189,567	123,551	119,814	67,322	62,303

Figura N° 8-3 Calibración Modelo de Simulación Probabilidad 50 % de Excedencia

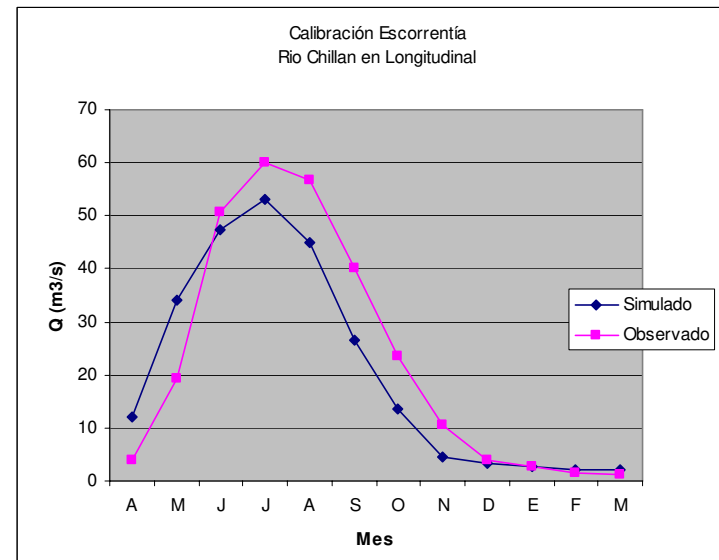
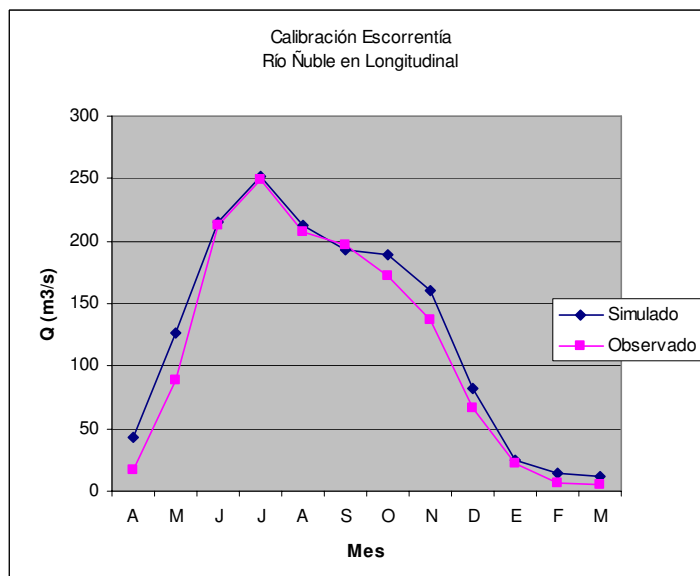
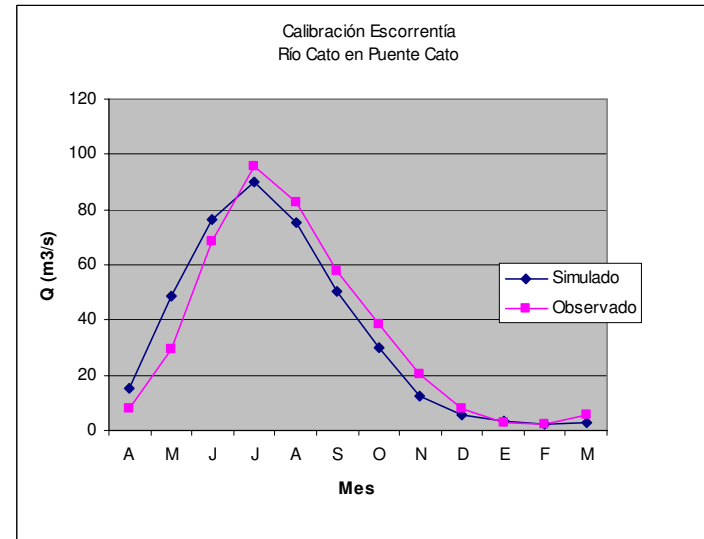
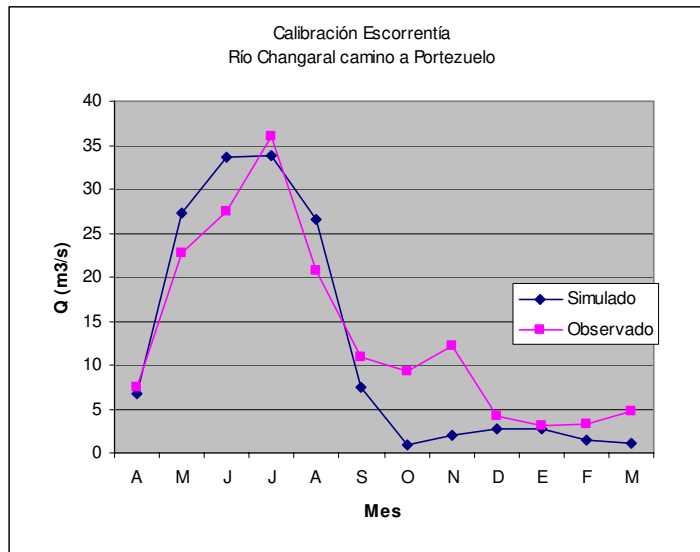
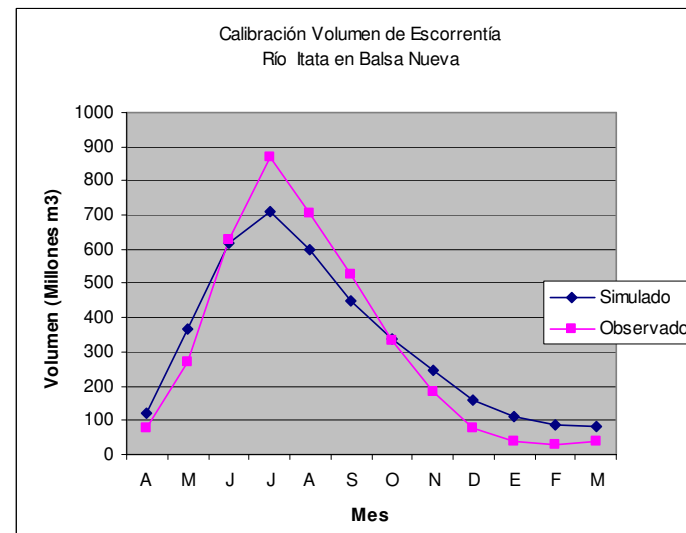
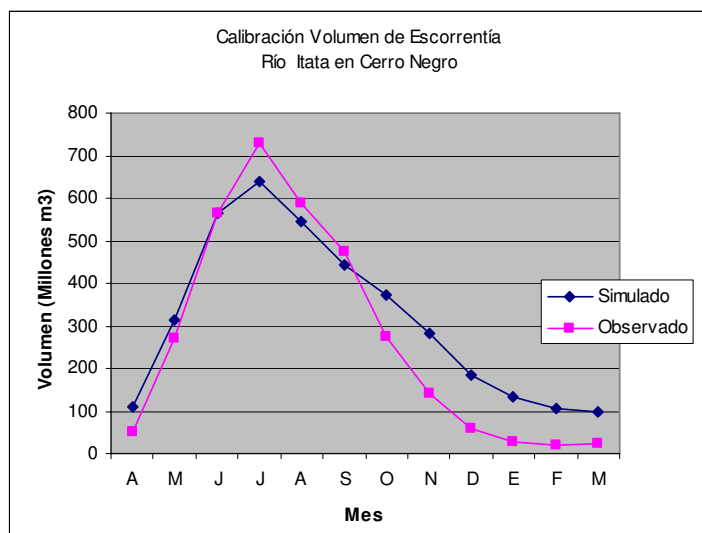
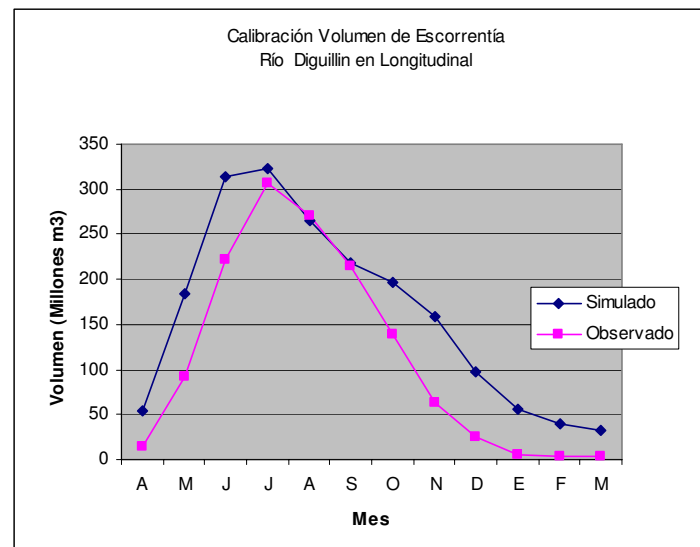
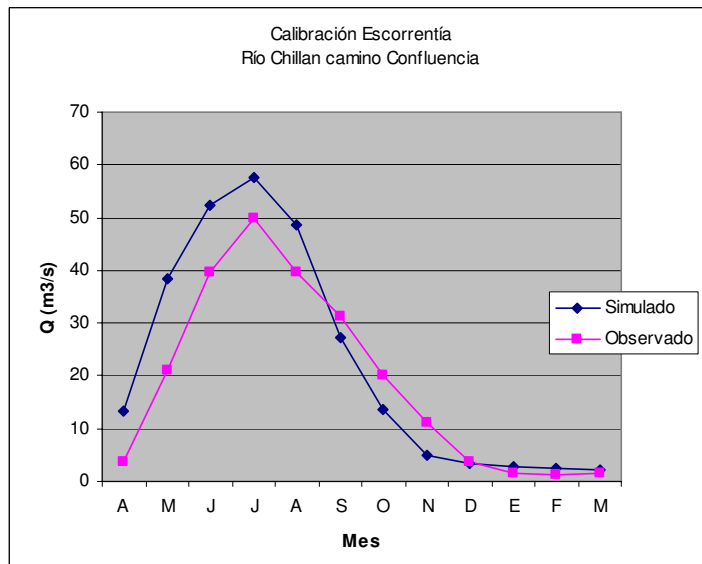


Figura 8-3(continuación) Calibración Modelo de Simulación Probabilidad 50 % Excedencia



**Cuadro N° 8-7 Análisis de Sensibilidad de Parámetros modelados
Efectos sobre la Percolación**

a) Parámetros de Riego

Parámetro	Valor Parámetro	Precolación Anual Sectores		Precolación Total Anual	
		(Mill m3)	(m3/s)	(Mill m3)	(m3/s)
Proporción Excedente Agua Predial que percola	10	691	21,913	4114	130,461
	90	1065	33,786	4467	141,636
Reuso de Derrame	10	918	29,117	4328	137,231
	90	906	28,716	4316	136,872

b) Parámetros de Precipitación

Parámetro	Valor Parámetro	Precolación Anual Sectores		Precolación Total Anual	
		(Mill m3)	(m3/s)	(Mill m3)	(m3/s)
Proporción de P en exceso que percola (%)	20	963	30,539	4368	138,512
	80	2633	83,491	5869	186,094

c) Parámetros de Cauces

Parámetro	Valor Parámetro	Percolacion Anual Cauces		Percolacion Total Anual	
		(Mill m3)	(m3/s)	(Mill m3)	(m3/s)
Percolación en cauces (%/km)	0,10	742	23,542	1767	56,025
	1,00	5683	180,221	6700	212,457

En el Anexo 8-2 se muestran los valores utilizados y resultados obtenidos en el proceso de calibración para cada uno de los sectores en análisis.

8.3. 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 del 50% y 85% se resumen en los Cuadros Nº 8-7, 8-8 y 8-9. El resto de los resultados se detallan en el Anexo 8-3.

Cuadro N° 8-7 Balance Global del Sistema probabilidad excedencia 85 % (Q en m3/s)

	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	Anual
Entrada													
Estado Inicial Embalses	10,88	10,37	10,60	10,15	10,05	10,27	9,81	9,99	9,29	8,76	9,09	7,73	0,89
Aporte Cuencas	65,98	101,10	263,86	344,09	325,24	316,79	274,15	243,84	151,89	103,26	82,37	68,11	195,68
Aporte Lluvia	15,59	83,66	140,08	109,69	88,84	45,80	17,31	4,29	0,08	0,00	0,94	1,63	42,57
Aporte Bombeo	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,68	2,37	2,93	3,67	3,73	3,65	1,43
TOTAL	92,73	195,12	414,55	463,93	424,13	372,87	301,95	260,49	164,19	115,69	96,13	81,11	240,57
Salida													
Precip. Evapotrans.en Sectores	1,19	1,72	1,12	1,04	2,65	33,79	15,76	4,08	0,07	0,00	0,79	1,39	5,29
Evaporacion Sectores	7,96	1,42	1,47	1,55	2,97	5,69	3,14	2,69	3,41	3,79	3,17	2,50	3,30
Percolacion Sectores	6,96	16,39	41,69	21,73	4,31	2,49	15,65	27,80	26,87	17,81	13,71	10,68	17,18
Riego Sectores	4,80	0,00	0,00	0,00	0,00	1,20	10,11	20,10	19,96	13,30	10,17	7,83	7,27
Evaporacion Embalses	0,05	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,06	0,09	0,12	0,14	0,11	0,09	0,06
Percolacion Embalses	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,09
Estado Final Embalses	10,71	10,26	10,49	10,05	9,94	10,14	9,67	9,60	8,76	8,21	8,56	7,34	0,62
Percolacion Cauces	19,69	37,01	90,80	112,52	103,81	92,32	72,69	56,64	34,98	26,59	22,68	19,91	57,68
Caudal Saliente Cuenca	41,26	128,21	268,87	316,93	300,34	227,11	174,78	139,40	69,94	45,77	36,85	31,31	149,09
TOTAL	92,73	195,12	414,55	463,93	424,13	372,87	301,95	260,49	164,19	115,69	96,13	81,11	240,57

Cuadro N° 8-8 Recarga Neta al Acuífero Probabilidad 85 % de excedencia (Q en m3/s)

	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	ene	feb	mar	Anual
Entrada													
Percolacion Sectores	6,96	16,39	41,69	21,73	4,31	2,49	15,65	27,80	26,87	17,81	13,71	10,68	17,18
Percolacion Embalses	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,09
Percolacion Cauces	19,69	37,01	90,80	112,52	103,81	92,32	72,69	56,64	34,98	26,59	22,68	19,91	57,68
TOTAL	26,76	53,50	132,59	134,34	108,21	94,91	88,43	84,53	61,93	44,48	36,48	30,66	74,94
Salida													
Bombeo a Riego	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,68	2,37	2,93	3,67	3,73	3,65	1,43
Bombeo Ag Potable, Indust y Otros	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69
TOTAL	6,97	6,69	6,69	6,69	6,69	6,70	7,37	9,06	9,62	10,36	10,42	10,33	8,12
Recarga Neta al Acuifero	19,79	46,81	125,90	127,65	101,52	88,21	81,06	75,47	52,31	34,12	26,06	20,33	66,82

Cuadro N° 8-9 Recarga Neta al Acuífero Probabilidad 50 % de excedencia (Q en m3/s)

	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Anual
Entrada													
Percolacion Sectores	9,57	42,22	84,57	47,99	8,49	3,17	7,29	25,22	29,60	26,53	19,23	15,27	26,61
Percolacion Embalses	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,09	0,08	0,09
Percolacion Cauces	37,65	107,33	191,99	211,36	179,07	147,71	121,90	96,37	59,30	38,44	32,55	27,32	104,68
TOTAL	47,33	149,64	276,65	259,45	187,65	150,98	129,28	121,68	88,98	65,05	51,86	42,67	131,39
Salida													
Bombeo a Riego	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	1,38	2,26	2,80	3,63	3,39	1,12
Bombeo Ag Potable, Indust y Otros usos	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69
TOTAL	6,75	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69	6,76	8,07	8,95	9,49	10,32	10,08	7,81
Recarga Neta al Acuifero	40,58	142,96	269,96	252,76	180,96	144,29	122,52	113,61	80,03	55,56	41,54	32,59	123,58

9. DESARROLLO DEL MODELO CONCEPTUAL

A partir de los antecedentes generados y presentados en los capítulos anteriores, se definieron las condiciones de borde para la elaboración del Modelo Conceptual de los acuíferos en estudio, las cuales se detallan en los puntos siguientes.

9.1. Geometría del Acuífero

La geometría del acuífero fue delimitada mediante los siguientes antecedentes:

- **Superficie de Terreno:** Definida a través del DEM SRTM (90x90), del cual se generaron curvas de nivel cada 20 m que abarcan toda la zona en estudio. El detalle de la generación de este shape se presenta en el Anexo 9 adjunto
- **Estratificación:** En el punto 7.4 se concluyó 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. Esta gran unidad hidrogeológica, sin embargo, exhibe variaciones tanto laterales como en profundidad de la permeabilidad lo que permitió reconocer en ella dos subunidades denominadas: unidad A y unidad B. Los perfiles hidrogeológicos levantados muestran una gran mega unidad acuífera con sectores reducidos de mediana a alta permeabilidad (Unidad A) y sectores de permeabilidad media a baja (Unidad B) que son con creces los más representativos de este gran acuífero.
- **Superficie del Basamento Rocoso:** La superficie rocosa fue generada mediante la información obtenida de los perfiles gravimétricos ejecutados (ver capítulo 5 - Estudio Geofísico). En base a los resultados obtenidos, se definió el manto rocoso (a partir de la secuencia puntos-curvas-DEM), el cual esta incorporado en el proyecto GIS desarrollado (ver Anexo 9).
- **Sectorización Espacial:** Si bien en el punto 7.3 se presentó una subdivisión del acuífero asociada al tipo de relleno (unidades geológicas), para el modelo conceptual, y con el objeto de facilitar la presentación y entendimiento de los balances desarrollados, se adoptó una discretización de acuíferos asociada a cuencas hidrológicas, cuya base fue obtenida del estudio SIG-MAGIC (Ref. 3). En la Figura 9-2 siguiente se muestra la división efectuada.

Finalmente cabe indicar que se integró en una plataforma visual MODFLOW la topografía y el basamento rocoso de la cuenca del río Itata, en el Anexo 9-3 se adjunta el archivo digital con este producto.

9.2. Parámetros Elásticos

9.2.1 Coeficiente de Transmisibilidad

En el punto 7.6 de este estudio se presentó un plano de Transmisibilidades de la cuenca del río Itata, el cual fue elaborado a partir de la información técnica contenida en los 454 expedientes de solicitudes de derechos de aguas subterráneas asociados a captaciones tipo pozo profundo recopilados. Específicamente la información utilizada fue: planos de construcción de pozos, pruebas de bombeo de gasto variable y constante e informe técnicos incluidos en expedientes.

A continuación se presenta el coeficiente de Transmisibilidad promedio para cada uno de los cinco acuíferos definidos en esta etapa, el cual se obtuvo ponderando el promedio de transmisibilidad de cada una de las áreas de igual rango contenidas en cada acuífero. Cabe señalar que el valor de esta variable puede ser calculado y/o obtenido en cualquier punto o sector del acuífero, ya que la información espacial generada y presentada en formato ARGIS permite su cálculo.

Esta información fue obtenida sobre un universo de 333 pozos, que corresponden a aquellos que fueron seleccionados y utilizados en la generación del plano de Transmisibilidades desarrollado.

Cuadro 9-1 Valores de Coeficiente de Transmisibilidad por Acuífero

Acuífero	Sector	Transmisibilidad Pozos (m^2/s)			Pozos por Acuífero
		Promedio	Mínimo	Máximo	
AC-01	Río Ñiquen	2,07E-03	5,284E-05	2,030E-02	36
AC-02	Río Ñuble	4,41E-03	1,324E-05	2,671E-02	162
AC-03	Río Diguillín	2,09E-03	2,664E-05	1,617E-02	108
AC-04	Río Itata Alto	2,04E-03	1,306E-04	3,796E-03	20
AC-05	Río Itata Bajo	2,00E-03	5,935E-04	8,860E-03	7

9.2.2 Coeficientes de Almacenamiento

Con respecto al coeficiente de almacenamiento no se dispone de antecedentes para definirlo local o regionalmente pero dadas las características granulométricas se esperan valores de coeficiente de almacenamiento entre 0.03 y 0.06.

9.3. Niveles Estáticos

Las curvas equipotenciales generadas, las que se graficaron en el Plano 7-4 del punto 7.5 del presente informe, permiten definir las condiciones de borde de nivel tanto en las secciones de entrada como de salida del acuífero definido.

9.4. Recargas Naturales al Acuífero

Las recargas naturales consideradas en el Modelo Conceptual están asociadas a los siguientes fenómenos:

- Recarga por infiltración desde cauces naturales
- Recarga por infiltración en zonas de riego.
- Recarga por precipitación.

Para estimar 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. En el capítulo 8 del presente informe se incluyó la descripción, metodología y resultados obtenidos.

El modelo fue implementado a partir de los antecedentes y configuración base contenida en los estudios de la REF.1 y REF.3, específicamente la zona fue modelada a través de 33 sectores de riego, 1 embalse y los principales cauces (tramos y nodos). La información hidrológica considerada en el modelo, fue la elaborada y presentada en el capítulo 3 del informe. El modelo se calibro, a nivel superficial (caudales medios mensuales en estaciones fluviométricas) para tres escenarios diferentes (probabilidades de excedencia del 85%, 50% y 20 %). Finalmente se obtuvo la información de infiltración y/o recarga al acuífero para cada una de las unidades en las cuales se estructuro la modelación.

Para evaluar la recarga a cada una de los sub-acuíferos delimitados en la presente consultoría, se sobrepuso la capa de sectores de riego, cauces (tramos y nodos) y embalses sobre la delimitación de los sub-acuíferos, de este modo se obtuvo para cada unidad acuífera, los sectores de riego, tramos de cauces (nodos) y embalses pertenecientes a cada acuífero. Cabe indicar que el área modelada no abarca toda la superficie del acuífero en estudio, razón por la cual para lo sectores no cubiertos por la modelación se estimó una recarga proveniente solamente de las precipitaciones, cuya metodología de calculo fue la misma que se utilizó para el resto de los sectores de riego modelados.

En la Figura 9-1 se muestran los sectores de riego incluidos en cada uno de los acuíferos.

Insertar figura 9.1 acuíferos –sectores de riego

9.4.1 Recargas por Sectores de Riego y Cauces

En el Cuadro 9-2 siguiente se presentan, para cada sub acuífero, las recargas mensuales en m³/s, obtenidas del modelo para los sectores de riego, cauces y embalses. La variable mostrada esta asociada a una probabilidad de excedencia superficial (caudales medios mensuales) igual al 50 %. El detalle de los resultados de la modelación se presentó en el Anexo 8-3 anterior.

Cabe indicar que la estructura de modelación utilizada (fuente estudio REF 3) no abarca toda la superficie y/o extensión del acuífero de la cuenca del Itata, motivo por el cual fue necesario incluir nuevas áreas como fuente de recarga (específicamente los sectores 34, 35 y 36); a estos sectores se les asignó una recarga al acuífero producto solamente de la precipitación, el procedimiento para determinar esta variable, fue el mismo aplicado a lo sectores de riego incluidos en la modelación.

Otro sector del acuífero no modelado fue el sub-acuífero AC-5, el cual corresponde al relleno fluvial del río Itata entre confluencia y su descarga al mar, en este tramo de acuífero y para efectos de la estimación de la recarga, solo se consideró la proveniente de la infiltración del mismo río, como un porcentaje por Km. del caudal de cabecera, mismo procedimiento utilizado para el resto de los cauces modelados. (Ver Anexo 8-1).

Cabe recordar que el modelo simplificado elaborado por este consultor y presentado en el capítulo 8 anterior se calibró superficialmente; sin embargo y con el objeto de verificar la variable recarga obtenida, se procedió a comparar los resultados con los del Estudio Hidrogeológico Cuenca del Maule (SIT 222- Dic. 2010) con los del presente estudio. En el Cuadro 9-3 se incluye los valores de ambos estudios.

Cuadro 9-3 Comparación Recargas Promedios en Cuencas Maule e Itata

Variable	Unidad	Acuífero Maule	Acuífero Itata
Superficie	Km ²	8.091	5.523,6
Recarga Promedio anual	m ³ /s	285,3	152,09
Recarga por Unidad Superficie	l/s/ha	0,353	0,275

Del cuadro anterior se concluye que la variable recarga estimada en ambos estudios es muy similar en orden de magnitud.

Cuadro 9-2

Recargas Mensuales al Acuífero asociadas a una Probabilidad de excedencia superficial del 50 %

Acuífero	Tipo	Sector	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Anual
AC-01	Sector de Riego	19	1,90	4,44	9,37	5,40	0,92	0,29	1,71	6,59	8,93	9,66	5,87	4,44	4,96
	Sector de Riego	22	0,52	1,96	4,13	2,38	0,41	0,13	0,37	0,41	0,16	0,12	0,13	0,18	0,91
	Sector de Riego	23	0,03	0,19	0,40	0,23	0,04	0,01	0,02	0,06	0,08	0,08	0,08	0,05	0,11
	Sector de Riego	33	0,01	0,06	0,13	0,07	0,01	0,00	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03
	Cauces	Río Changaral	0,14	0,59	0,72	0,75	0,56	0,17	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,26
	Sector	34	0,30	1,83	3,83	2,20	0,38	0,09	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,72
SUBTOTAL			2,90	9,08	18,57	11,03	2,33	0,69	2,14	7,13	9,24	9,93	6,13	4,71	6,99
AC-02	Sector de Riego	3	0,39	1,88	4,00	2,29	0,45	0,19	0,08	0,21	0,30	0,29	0,26	0,18	0,88
	Sector de Riego	4	0,22	1,02	2,05	1,12	0,20	0,06	0,30	0,83	0,65	0,56	0,49	0,44	0,66
	Sector de Riego	6	0,30	1,77	3,53	1,92	0,34	0,11	0,07	0,23	0,26	0,23	0,20	0,18	0,76
	Sector de Riego	7	0,09	0,66	1,22	0,73	0,13	0,05	0,01	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,26
	Sector de Riego	8	0,26	1,16	2,33	1,27	0,23	0,07	0,48	1,08	0,84	0,74	0,68	0,64	0,82
	Sector de Riego	9	0,22	0,62	1,26	0,69	0,12	0,04	0,43	1,03	0,80	0,68	0,60	0,54	0,59
	Sector de Riego	10	0,08	0,42	0,81	0,47	0,08	0,04	0,02	0,11	0,15	0,16	0,16	0,09	0,22
	Sector de Riego	12	0,36	1,44	2,91	1,58	0,28	0,09	0,38	1,31	1,25	1,05	0,92	0,82	1,03
	Sector de Riego	13	0,33	1,10	2,23	1,21	0,22	0,07	0,53	1,69	1,70	1,07	0,88	1,01	1,00
	Sector de Riego	14	0,07	0,38	0,73	0,42	0,07	0,04	0,02	0,10	0,04	0,02	0,02	0,03	0,16
	Sector de Riego	15	0,42	2,05	3,98	2,32	0,40	0,20	0,16	1,31	0,72	0,39	0,26	0,25	1,04
	Sector de Riego	16	0,11	0,54	1,04	0,61	0,10	0,05	0,08	0,56	0,74	0,42	0,24	0,18	0,39
	Sector de Riego	17	0,27	1,29	2,51	1,47	0,25	0,12	0,15	1,13	1,62	0,98	0,58	0,45	0,90
	Sector de Riego	18	0,59	2,67	5,24	3,06	0,53	0,26	0,35	2,71	3,99	2,94	1,68	1,29	2,11
	Sector de Riego	2	0,02	0,12	0,25	0,13	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
	Sector de Riego	5	0,23	1,17	2,27	1,33	0,23	0,11	0,06	0,29	0,23	0,19	0,16	0,15	0,54
	Sector de Riego	11	0,02	0,16	0,29	0,18	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
	Cauces	Río Ñuble Tramo 1	1,09	2,95	5,35	6,26	5,32	5,62	6,42	6,16	3,43	1,19	0,68	0,50	3,75
	Cauces	Río Ñuble Tramo 2	1,22	3,54	5,86	6,80	5,73	5,07	4,89	4,15	2,14	0,65	0,38	0,31	3,40
	Cauces	Río Ñuble Tramo 3	0,62	1,87	2,86	3,23	2,71	2,09	1,82	1,50	0,80	0,28	0,17	0,14	1,51
	Cauces	Río Ñuble Tramo 4	0,36	1,10	1,67	1,88	1,58	1,21	1,05	0,86	0,46	0,16	0,10	0,08	0,88
	Cauces	Río Cato Tramo 1	0,02	0,09	0,21	0,29	0,25	0,18	0,12	0,06	0,02	0,01	0,01	0,02	0,11
	Cauces	Río Cato Tramo 2	0,02	0,07	0,14	0,17	0,14	0,11	0,08	0,04	0,02	0,01	0,00	0,01	0,07
	Cauces	Río Cato Tramo 3	0,29	0,90	1,46	1,75	1,46	1,00	0,63	0,31	0,16	0,09	0,07	0,09	0,68
	Cauces	Río Niblinto	0,03	0,12	0,22	0,26	0,20	0,18	0,15	0,07	0,04	0,02	0,01	0,01	0,11
	Cauces	Estero Coihueco	0,06	0,16	0,26	0,34	0,28	0,22	0,17	0,11	0,09	0,07	0,06	0,05	0,16
	Cauces	Río Chillán Tramo 1	0,18	0,50	0,80	1,02	0,84	0,65	0,47	0,26	0,20	0,16	0,14	0,12	0,44
	Cauces	Río Chillán Tramo 2	0,13	0,36	0,51	0,59	0,50	0,32	0,18	0,07	0,05	0,04	0,03	0,03	0,23
	Cauces	Río Chillán Tramo 3	0,17	0,49	0,67	0,74	0,63	0,36	0,18	0,06	0,04	0,04	0,03	0,03	0,29
	Cauces	Estero Boyen	0,02	0,06	0,08	0,10	0,08	0,05	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
	Cauces	Estero Llanuco	0,03	0,09	0,11	0,12	0,10	0,05	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
	Cauces	Estero Colliguay	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Cauces	Río Itata Tramo 4	3,28	9,90	15,90	17,81	14,96	11,50	9,31	7,38	4,18	2,06	1,56	1,32	8,26
	Embalses	Coihueco	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,09	0,08	0,09
SUBTOTAL			11,60	40,74	72,87	62,26	38,59	30,23	28,75	33,77	25,06	14,64	10,49	9,07	31,50
AC-03	Sector de Riego	1	0,15	1,07	2,25	1,18	0,20	0,08	0,03	0,07	0,09	0,07	0,07	0,04	0,44
	Sector de Riego	27	0,03	0,18	0,31	0,19	0,04	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,07
	Sector de Riego	28	0,07	0,42	0,75	0,44	0,08	0,04	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,16
	Sector de Riego	30	0,18	1,05	1,87	1,11	0,21	0,09	0,02	0,06	0,07	0,07	0,07	0,04	0,40
	Sector de Riego	31	0,14	0,92	1,84	1,00	0,18	0,06	0,03	0,07	0,08	0,07	0,07	0,04	0,38
	Sector de Riego	32	0,83	5,38	10,73	5,84	1,05	0,35	0,19	0,43	0,51	0,44	0,44	0,26	2,20
	Sector de Riego	2	0,01	0,09	0,20	0,10	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
	Sector de Riego	29	0,11	0,65	1,16	0,69	0,13	0,06	0,02	0,04	0,05	0,04	0,04	0,03	0,25
	Cauces	Est. Cauquenes Tramo 1	0,00	0,02	0,05	0,06	0,06	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
	Cauces	Est. Cauquenes Tramo 2	0,04	0,10	0,18	0,22	0,19	0,13	0,09	0,07	0,05	0,04	0,03	0,03	0,10
	Cauces	Est. Cauquenes Tramo 3	0,05	0,14	0,21	0,25	0,21	0,14	0,09	0,06	0,04	0,04	0,03	0,03	0,11
	Cauces	Estero Larqui	0,12	0,32	0,51	0,65	0,54	0,41	0,32	0,24	0,19	0,15	0,13	0,11	0,31
	Cauces	Estero Gallipavo	0,04	0,13	0,13	0,14	0,12	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
	Cauces	Río Diguillín Tramo 1	3,57	12,23	22,77	22,74	18,54	16,51	14,96	12,57	7,42	4,31	3,37	2,51	11,79
	Cauces	Río Diguillín Tramo 2	3,05	10,38	19,08	19,06	15,56	13,73	12,32	10,30	6,04	3,49	2,71	2,03	9,81
	Cauces	Río Seco	0,16	0,56	1,04	1,03	0,84	0,75	0,68	0,57	0,34	0,20	0,16	0,12	0,54
	Cauces	Río Itata Tramo 2	11,22	31,42	56,44	61,38	52,28	42,49	33,92	26,41	16,75	11,94	10,48	8,83	30,30
	Cauces	Río Itata Tramo 3	3,47	10,30	17,87	19,79	16,73	12,90	9,48	7,09	4,44	3,16	2,75	2,36	9,19
	Sector	35	2,10	11,67	20,74	12,36	2,35	0,95	0,10	0,04	0,02	0,01	0,01	0,02	4,20
SUBTOTAL			25,34	87,03	158,13	148,23	109,33	88,80	72,30	58,06	36,14	24,08	20,41	16,46	70,36
AC-04	Sector de Riego	26	0,03	0,17	0,34	0,20	0,04	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,07
	Sector de Riego	29	0,20	1,16	2,06	1,23	0,23	0,10	0,03	0,06	0,08	0,08	0,08	0,04	0,45
	Cauces	Estero Chequenes	0,04	0,12	0,18	0,18	0,15	0,11	0,08	0,07	0,04	0,02	0,02	0,01	0,09
	Cauces	Río Diguillín Tramo 3	0,37	1,22	2,15	2,15	1,76	1,50	1,31	1,09	0,64	0,37	0,29	0,22	1,09
	Cauces	Río Itata Tramo 1	7,65	17,04	33,72	40,73	36,01	29,69	22,63	16,29	11,31	9,68	9,18	8,26	20,18
	Sector	36	3,31	18,38	36,25	21,38	4,29	1,58	0,17	0,09	0,03	0,02	0,02	0,03	7,13
SUBTOTAL			11,59	38,10	74,70	65,87	42,49	33,00	24,21	17,60	12,11	10,19	9,59	8,57	29,00
TOTAL			51,43	174,94	324,26	287,39	192,73	152,72	127,40	116,56	82,54	58,84	46,62	38,80	137,85
AC-05	Cauce	Río Itata Tramo 5	5,66	17,05	27,40	30,69	25,78	19,81	16,04	12,72	7,20	3,55	2,69	2,28	14,24
TOTAL 2			57,08	191,99	351,66	318,08	218,51	172,54	143,44	129,28	89,75	62,39	49,31	41,08	152,09

9.5. Descargas Naturales y Artificiales desde el Acuífero

9.5.1 Descargas Naturales

Las descargas naturales desde el acuífero corresponden a los afloramientos que emergen hacia los cauces naturales en las zonas definidas en el punto 7.7 anterior.

9.5.2 Descargas Artificiales

Respecto a las descargas artificiales, se considera en el modelo las captaciones subterráneas presentadas en el punto 7.8, con los caudales de explotación correspondientes estimados y que de acuerdo a lo indicado se consideran igual a los derechos de aprovechamiento otorgados.

9.6. Estimación de Flujos Subterráneos y Balance General

Con el objeto de tener una noción acerca de la escorrentía subterránea, se han estimado los flujos potenciales para cada uno de los acuíferos definidos anteriormente. En cada acuífero se definieron dos secciones de escurrimiento, una en la parte alta del acuífero y otra a la salida de éste. En la Figura 9-2 se pueden observar las secciones donde se estimó el flujo subterráneo.

En la evaluación del caudal subterráneo que potencialmente escurre por una sección transversal característica del acuífero, se utilizó la relación de Darcy:

$$Q = T \cdot i \cdot B$$

donde:

Q	:	Caudal subterráneo (m ³ /s)
T	:	Transmisibilidad (m ² /s)
i	:	Gradiente hidráulico de la napa
B	:	Ancho de la sección considerada (m)

Insertar Figura 9.2

Para el cálculo del caudal subterráneo se utilizaron los valores de Transmisibilidad generados y presentados en el plano 7-6. En el Cuadro 9-4 se muestran los resultados para cada uno de los acuíferos, considerando valores de Transmisibilidad específicos en las secciones de entrada y salida.

Cuadro 9-4 Esgurrimiento Potencial Subterráneo

Acuífero	Sección Aguas Arriba				Sección Aguas Abajo			
	T	b	i	Q	T	b	i	Q
	(m2/s)	(m)	°/1	(m3/s)	(m2/s)	(m)	°/1	(m3/s)
AC-01	1,84E-03	18.221	0,00541	0,18	7,18E-04	9.902	0,00495	0,04
AC-02	8,32E-03	39.084	0,00974	3,17	9,83E-03	7.378	0,00336	0,24
AC-03	7,25E-04	21.976	0,01654	0,26	1,00E-03	10.329	0,00281	0,03
AC-04	2,55E-03	16.506	0,02257	0,95	7,18E-04	15.844	0,00454	0,05
AC-05	6,31E-03	1.594	0,0308	0,31	7,18E-04	1.962	0,0046	0,01

Como se puede observar, en todos los casos el caudal potencial de entrada es superior al de salida. Esta diferencia de caudales se asocia a la capacidad de almacenamiento del acuífero y a los afloramientos que se producen.

A partir de los flujos determinados para cada uno de los 5 acuíferos en que se dividió la cuenca del río Itata, se ha establecido un balance general de las componentes que intervienen, las que corresponden a:

- **QR_{RP}** : Recarga Mensual Promedio en Sectores de Riego por Precipitación y Riego (Cuadro 9-2)
- **QR_{IR}** : Recarga Mensual Promedio por Infiltración desde Cauces Naturales (Cuadro 9-2)
- **QB** : Descargas Artificiales-Caudales según Derechos (Cuadro 8-4)
- **QA** : Afloramientos Promedios (Cuadro 7-5)
- **QE_s** : Caudales Subterráneos de Entrada (Cuadro 9-4)
- **QS_s** : Caudales Subterráneos de Salida (Cuadro 9-4)
- **△V** : Variaciones de Almacenamiento

De esta manera la ecuación de balance queda representada por:

$$QE_s + QR_{RP} + QR_{IR} - QB - QA - QS_s = \Delta V$$

En el Cuadro 9-5 se presentan los resultados de este Balance General, expresado en términos de caudales medios mensuales y en el Anexo 9-2 el detalle de los cálculos efectuados.

**Cuadro 9-5 Balance General Acuíferos
Caudales Medios Mensuales (m3/s)**

ACUIFERO	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	Annual
AC-01	1,26	7,44	16,93	9,39	0,69	-0,95	0,50	5,49	7,60	8,29	4,49	3,07	5,35
AC-02	-8,79	20,35	52,48	41,87	18,20	9,85	8,36	13,38	4,67	-5,75	-9,90	-11,32	11,12
AC-03	12,99	74,68	145,78	135,88	96,98	76,45	59,95	45,71	23,79	11,74	8,06	4,11	58,01
AC-04	12,38	38,89	75,50	66,67	43,29	33,80	25,01	18,40	12,91	10,98	10,39	9,37	29,80
AC-05	5,96	17,36	27,70	30,99	26,08	20,12	16,34	13,02	7,51	3,86	2,99	2,58	14,54
Total	23,81	158,72	318,39	284,81	185,24	139,26	110,16	96,01	56,47	29,12	16,04	7,81	118,82

Los valores presentados en el Cuadro anterior representan caudales potenciales disponibles para cerrar el balance de aguas subterráneas en cada acuífero. Esto incluye las variables que no fueron consideradas explícitamente y que corresponden a las extracciones desde captaciones subterráneas, los afloramientos distribuidos a lo largo de cada cauce, diferentes de los sectores específicos de afloramientos ya incluidos, y las variaciones de los volúmenes almacenados en los acuíferos, las que varían permanentemente en función de las condiciones hidrológicas.

Es importante señalar que en este balance se han utilizado recargas promedios, valores de afloramientos constantes y medidos en estudios antiguos, por lo anterior resulta necesario que más adelante, en la etapa de modelación del sistema, deban afinarse estas variables y otras.

En el caso de una cuenca en que la intervención es importante, es decir si se trata de un acuífero con cierto nivel de explotación, el vaciamiento que el bombeo produce, posibilita la entrada de recargas mayores. Por lo tanto, la recarga efectiva depende, además de la geometría del acuífero y de su capacidad de almacenamiento y de la solicitud a la que está sometido.

La complejidad de los procesos involucrados impide elaborar una representación sencilla de validez general y regional. Los balances elaborados sirven como puntos de partida o se pueden utilizar para estimar rangos probables, bajo los cuales se encuentra la recarga efectiva a la napa, las variaciones de almacenamiento y las extracciones.

En atención a lo señalado, el objetivo del balance presentado es obtener órdenes de magnitud de los caudales por cuenca, a nivel mensual. Tal como se señaló previamente, a futuro, se requerirán antecedentes hidrogeológicos complementarios de detalle, los que se debieran incorporar en la etapa de modelación de los sistemas, para obtener resultados de utilidad práctica.

10. RESUMEN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES FINALES

En el presente capítulo se resumen las principales labores realizadas y resultados obtenidos, además se entregan algunas conclusiones y recomendaciones respecto al trabajo realizado y sobre futuras labores a considerar.

Cuenca Río Itata

En base a los antecedentes existentes, recopilados y elaborados se realizó una caracterización hidrogeológica para la cuenca del río Itata, la cual consideró lo siguiente:

- Se revisaron 2.170 expedientes de solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas asociados a la provincia de Ñuble, de los cuales se seleccionaron 454, por corresponder a captaciones tipo pozo profundo y estar dentro de la cuenca del río Itata.
- Se cuenta con la información técnica incluida en el expediente (plano de construcción del pozo, prueba de gasto constante y/o variable, etc.) para 442 sondeos (se anexa escaneada en formato PDF). A partir de la información de las pruebas de gasto constante y variable se calculó la transmisibilidad en cada pozo, elaborando un plano de transmisibilidades (zonas con diferentes rangos)
- Se realizó una campaña de medición de niveles en pozos profundos, durante los meses de Junio a Septiembre del año 2001, el total de pozos medidos fue de 204. En base a esta información se confeccionó un plano de isofréaticas y un plano de profundidades del nivel estático.
- En base a las curvas isofréaticas y de nivel (topográficas) generadas, se determinaron posibles sectores de afloramiento, lo anterior fue contrastado con la información de estudios anteriores y afloros.
- Se elaboró y describió la geología con un detalle a escala 1:250.000, confeccionando un plano geológico y uno de acuíferos, según tipo de relleno.
- Se realizó una definición y descripción de las unidades hidrogeológicas presentes en la cuenca, en base a la información recopilada e interpretada desde 286 perfiles estratigráficos de pozos existentes en el área. Se llegó a establecer una gran unidad hidrogeológica, la cual presenta variaciones tanto laterales como en profundidad de la permeabilidad, lo anterior permitió reconocer en ella dos subunidades denominadas unidad A (sectores de mediana a alta permeabilidad) y la unidad B (sectores de permeabilidad media a baja).

- Por otro lado, se efectuó un estudio geofísico, con el objeto de determinar la morfología del basamento rocoso en la cuenca, para lo cual se levantaron 9 perfiles gravimétricos (353 estaciones y una longitud total igual a 595 Km.). El resultado del estudio arrojó profundidades de la roca muy variables entre los 50 m y los 1900 m (sector norte del río Nuble). Específicamente en el medio del valle central la profundidad del manto rocoso alcanza profundidades entre 500 y 1000 m
- Se realizó una completa actualización de los registros fluviométricos y pluviométricos en la zona en estudio.
- Se desarrollo un modelo de simulación hidrológico simplificado para estimar la recarga al acuífero, proveniente desde los diferentes elementos superficiales (cauces, sectores de riego y otros, etc.), obteniéndose un valor igual a 0,27 l/s/ha.
- Con todos los antecedentes generados e indicados anteriormente se formulo el modelo conceptual para la cuenca del río Itata.
- Finalmente cabe indicar que toda la información antes mencionada esta disponible en una plataforma GIS, la cual se elaboró con el software ARGIS 9.2 de SRI

Comentarios y Recomendaciones Cuenca Río Itata

Cabe destacar la gran cantidad de información (planos de construcción de pozos con estratigrafía y pruebas de bombeo de gasto constante y variable) recopilada desde los expedientes de solicitudes de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas (454 en total), la cual fue analizada y permitió caracterizar de manera bastante detallada los parámetros elásticos del acuífero considerado en la cuenca del río Itata.

Por otro lado, los antecedentes estratigráficos analizados permitieron definir un extenso acuífero de carácter freático, que se dispone desde los primeros contrafuertes cordilleranos hasta los faldeos orientales de la Cordillera de la Costa, proyectándose al poniente por el valle del río Itata.

Las condiciones de permeabilidad de este importante reservorio subterráneo son regulares a bajas debido a que una proporción importante de los depósitos que lo conforman son de origen glacial y glaciolacustre.

La potencia de este acuífero supera claramente los 150m, sin embargo no existe información que permita conocer sus características sedimentológicas profundas. La gravimetría ejecutada no aporta estos datos, señalando sólo que el espesor de los rellenos puede ser en algunos sectores incluso superior a 500 m.

Debido a lo anterior, parece muy razonable la construcción de unos cuatro sondajes profundos que alcancen hasta unos 300 m y el levantamiento de unas 120 estaciones geofísicas, tipo transiente electromagnética (TEM) que permitan definir en profundidad las características hidrogeológicas del acuífero. Con la geofísica calibrada en base a los antecedentes estratigráficos de los cuatro sondajes se podrán levantar perfiles tanto norte-sur como este-oeste que definen la continuidad areal del acuífero.

Para lograr una profundidad de prospección adecuada con la geofísica (del orden de 300m) se recomienda que los TEM sean levantados utilizando un loop de 200 por 200m.

De acuerdo con los antecedentes revisados y generados, se estableció que las zonas de afloramientos y/o recuperaciones en la cuenca del río Itata se producirían en sectores muy similares a los definidos en estudios anteriores: Proyecto Itata PROITATA Asociación de Profesionales. (CNR, 1992- REF. 1) y 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- REF 3). Esto es, principalmente en algunos tramos de los ríos Ñuble, Cato, Chillán, Itata y Diguillín, cabe indicar que si bien existen mediciones (aforos) efectuadas en los cauces principales antes indicados (que confirman las recuperaciones), es probable que parte de estos afloramientos provengan desde sus afluentes, tal como se muestra en el plano 7-7. Se recomienda desarrollar una estrategia de campañas de aforo, en los cauces antes señalados y sus afluentes, con el objeto de delimitar y cuantificar este fenómeno con mayor precisión, de tal modo de incorporar esta variable en futuras modelaciones superficiales y subterráneas.

Con respecto a la demanda de agua subterránea, ésta se definió a partir de la información de derechos de agua constituidos. Cabe mencionar que para poder determinar de manera más precisa las demandas de agua subterránea, es imprescindible realizar un completo catastro actualizado de todas las captaciones subterráneas en la cuenca, con un nivel de información superior a la solicitada durante el catastro de niveles realizado para el presente trabajo.

En relación a la estimación de la recarga efectuada en la presente consultoría (modelo de simulación simplificado), la cual arrojó valores promedios similares a los obtenidos en la cuenca del Maule (con un modelo actualizado SIG-MAGIC), se recomienda implementar un modelo detallado (por ejemplo modelo SIG-MAGIC, que esta parcialmente configurado en estudio REF.3) que permita estimar en base a datos actualizados (superficies de riego, patrones de cultivos, frecuencias de bombeo, etc.) la variabilidad estacional y los valores de recarga desde los distintos componentes a considerar (cauces, embalses, sectores de riego, sectores secano, etc.). Finalmente cabe indicar que una de las recomendaciones señaladas en el estudio de la REF 3, es la necesidad de actualizar la base de datos para la cuenca del Itata (superficies de riego, entre otras variables) con el objeto que la

modelación sea representativa de la condición actual de los recursos superficiales de la cuenca.

En relación a la implementación del modelo conceptual, se definieron las condiciones de borde que conforman el punto de inicio para una futura modelación hidrogeológica de la cuenca del río Itata.

Finalmente, considerando la información recopilada y la implementación del modelo conceptual en el acuífero del río Itata, resulta necesario contar con una red de estaciones de monitoreo la cual permita verificar las hipótesis y supuestos que se realicen en la elaboración del modelo de simulación hidrogeológica, además de posibilitar a la DGA llevar un control exhaustivo de la variación de los niveles de la napa. En relación a este punto en el estudio de la REF 4 (Mejoramiento y Ampliación de Red de Aguas Subterráneas, Regiones VII a X. Conic BF Ingenieros Civiles. - DGA. S.I.T. Nº 223 Diciembre 2010), se propuso una red de medición, para la cuenca del río Itata, compuesta por 18 sondajes o piezómetros, de los cuales actualmente se están construyendo 12.