



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

**ANÁLISIS INTEGRADO DE GESTIÓN EN
CUENCA DEL RÍO COPIAPÓ**

**INFORME FINAL – TOMO V
Recopilación y Análisis de Antecedentes**

REALIZADO POR:

**División de Ingeniería Hidráulica y Ambiental
DICTUC S.A.**

S.I.T. N° 211

Santiago, Enero de 2010

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas

Ingeniero Civil Sr. Sergio Bitar

Director General de Aguas

Abogado Sr. Rodrigo Weisner Lazo

Departamento de Estudios y Planificación

Ingeniero Civil Sr. Pedro Rivera I.

Inspector Fiscal

Ingeniero Civil Sr. Pedro Rivera I.

EQUIPO TÉCNICO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL
DICTUC S.A.

Director de Proyecto

Ing. Sr. Bonifacio Fernández Larrañaga

Jefe de Proyecto

Ing. Sr. Pablo Rengifo Oyarce

Ingeniero a Cargo

Ing. Sr. Gustavo Calle Vásquez

Especialistas y Profesionales

| | |
|--------------------------|---------------------------------------|
| Sr. Bonifacio Fernández | Especialista en Hidrología (PhD) |
| Sr. José Francisco Muñoz | Especialista en Hidrogeología (PhD) |
| Sr. Pablo Rengifo | Especialista en Hidrogeología (MSc) |
| Sr. Javier Paredes | Especialista en Aquatool (PhD) |
| Sr. Juan Pablo Montero | Especialista en Economía (PhD) |
| Sr. Gustavo Calle | Ing. de Proyecto (PhD) |
| Sra. María Paz Daiber | Especialista Regulación Rec. Hídricos |
| Srta. Ximena Orrego | Ing. de Proyecto, Catastro y Terreno |
| Sr. Alexander Thumann | Ing. de Proyecto, Hidrología (MSc) |
| Srta. Yohana Ahumada | Ing. de Proyecto, Cartografía |
| Srta. Milena Calvo | Ing. de Proyecto, Cartografía (MSc) |
| Sr. Pablo Farías | Ing. de Proyecto |
| Sr. Rodolfo Ferrando | Geólogo de Proyecto |

EQUIPO TÉCNICO – CONTINUACIÓN
DIVISIÓN DE INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL
DICTUC S.A.

Tesistas, Memoristas y Ayudantes

| | |
|--------------------------|-----------------------------------|
| Sr. Javier Uribe | Ayudante Ingeniero, Hidrogeología |
| Sr. Luis Romero | Ayudante Terreno |
| Srta. Priscila Barquín | Ayudante Terreno |
| Srta. Jeanette Isasmendi | Ayudante Terreno |
| Sr. Juan León | Ayudante Terreno |

“ANÁLISIS INTEGRADO DE GESTIÓN EN CUENCA DEL RÍO COPIAPÓ”

Informe N° : 901825

Fecha : Enero - 2010

“GOBIERNO DE CHILE”

“MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS”

“DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS”

DICTUC es una filial de la Pontificia Universidad Católica de Chile

| | |
|--|--|
| 1. Tipo Informe Informe final | 2. Cuerpo del Informe 148 páginas (incluye portada) |
| 3. Título del Proyecto "Análisis Integrado de Gestión en Cuenca del Río Copiapó" | 4. Fecha Informe Enero de 2010 |
| 5. Autor (es) Director de Proyecto: Bonifacio Fernández Larrañaga Jefe de Proyecto: Pablo Rengifo Oyarce Ingeniero a Cargo: Gustavo Calle Vásquez | 6. Contrato Resolución MOP-DGA N° 1018 del 28 de abril de 2008 |
| 6. Nombre y Dirección de la Organización Investigadora DICTUC; Pontificia Universidad Católica de Chile Vicuña Mackenna N° 4860, Casilla 306 – Correo 22, Macul - Santiago | 7. Período de Investigación May 2008 - Ene 2010 |
| 8. Antecedentes de la Institución Mandante Nombre : Ministerio de Obras Públicas - Dirección General de Aguas (DGA) Dirección: Morandé 59, Piso 8, Santiago RUT: 61.202.000-0 Teléfono: 633-9940 Fax: 449-3816 | 9. Contraparte Técnica Nombre: Pedro Rivera I. Cargo: Jefe del Departamento de Estudios y Planificación - DGA |
| 10. Resumen Este estudio se enmarca en la necesidad de implementar en el corto plazo un "Plan de Acción" para abordar el uso eficiente de los recursos hídricos de la cuenca del río Copiapó. El objetivo fundamental del estudio es generar una herramienta flexible de análisis y planificación, que permita evaluar situaciones de manejo del recurso hídrico. Este informe contiene una recopilación y análisis de antecedentes, caracterización hidrológica e hidrogeología, sistematización y levantamiento de información de usos y demandas, y el desarrollo e implementación del modelo matemático integrado de gestión de los recursos hídricos. | |

Sr. Bonifacio Fernández L.
Jefe de Proyecto

DICTUC S.A.

Nota: "La información contenida en el presente informe no podrá ser reproducida total o parcialmente, para fines publicitarios, sin la autorización previa y por escrito de Dictuc S.A."

DICTUC es una filial de la Pontificia Universidad Católica de Chile

PRESENTACIÓN

La División de Ingeniería Hidráulica y Ambiental de DICTUC S.A. realizó para la Dirección General de Aguas (DGA) el estudio “ANÁLISIS INTEGRADO DE GESTIÓN EN CUENCA DEL RÍO COPIAPÓ”. El estudio se desarrolló durante los años 2008 y 2010.

Este estudio se enmarca en la necesidad de implementar en el corto plazo un “Plan de Acción” para abordar el uso eficiente de los recursos hídricos de la cuenca, dada su precaria situación, con una explotación en cerca de un 30% por sobre su capacidad.

En este contexto, el objetivo fundamental del estudio es generar una herramienta flexible de análisis y planificación, que permita evaluar situaciones de manejo del recurso hídrico en la cuenca y sea una ayuda en la toma de decisiones relacionadas con la gestión y el aprovechamiento óptimo, integral y multisectorial de los recursos hídricos superficiales y subterráneos de la cuenca. En particular, que permita realizar la optimización del recurso en diferentes puntos del río o del acuífero y la definición de estrategias de gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca.

Una de las actividades fundamentales de este estudio corresponde a la campaña de terreno, la que en conjunto con la recopilación de información de usos y demandas, permitirán generar un catastro actualizado de derechos y uso de los recursos hídricos de la cuenca.

De esta forma, el modelo de simulación de la cuenca desarrollado en este estudio mediante la herramienta AQUATOOL, constituye el primer paso para la implementación de una gestión integrada en la cuenca del río Copiapó, dado que sus aplicaciones y resultados permitieron establecer y evaluar distintos escenarios para orientar el uso sustentable y eficiente de los recursos totales de la cuenca.

El Estudio se ha estructurado en 4 Etapas principales, cada una de las cuales se presenta en un Tomo independiente. Además se incluye un resumen ejecutivo en un Tomo adicional. El detalle de los Tomos es el siguiente:

- **Tomo I** : Resumen Ejecutivo.
- **Tomo II** : Sistematización y Levantamiento de Información de Usos y Demandas.
- **Tomo III** : Evaluación de Recursos Hídricos.
- **Tomo IV** : Desarrollo e Implementación de Modelo Hidrológico Integrado.
- **Tomo V** : Recopilación y Análisis de Antecedentes.

El presente documento corresponde al Informe Final - **Tomo V “Recopilación y Análisis de Antecedentes”**.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| Contenido | Pág. |
|--|-------------|
| 1 INTRODUCCIÓN..... | 13 |
| 2 DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA..... | 15 |
| 3 RECOPIACIÓN Y REVISIÓN DE ANTECEDENTES..... | 21 |
| 3.1 Síntesis de Estudios Recopilados..... | 21 |
| 3.1.1 Uri Hammer y Asociados para Dirección de Riego - MOP (1980). Plan Maestro de Acción Inmediata para el Desarrollo de los Recursos de Agua y Suelo del Valle de Copiapó..... | 21 |
| 3.1.2 IPLA para DGA (1984). Balance Hidrológico Nacional Regiones III y IV..... | 27 |
| 3.1.3 INYGE (1985). Informe Hidrológico e Hidrogeológico de la Hoya del Río Manflas del Copiapó..... | 31 |
| 3.1.4 DGA (1987). Balance Hídrico de Chile..... | 36 |
| 3.1.5 Álamos y Peralta para DGA (1987). Análisis y Evaluación de los Recursos Hidrogeológicos del Valle del Río Copiapó..... | 39 |
| 3.1.6 Álamos y Peralta para Cía. Minera Mantos Blancos (1994). Estudio Hidrogeológico General Sector Copiapó-Piedra Colgada..... | 48 |
| 3.1.7 DGA (1994). Situación de los Recursos Hídricos III-IV Regiones Enero – Diciembre 1993..... | 49 |
| 3.1.8 IPLA para DGA (1994). Análisis de Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile, Regiones III-IV..... | 50 |
| 3.1.9 Álamos y Peralta para DGA (1995). Análisis y Evaluación de los Recursos Hídricos en el Valle del Río Copiapó..... | 52 |
| 3.1.10 DICTUC S.A. para EMSSAT S.A. (1997). Evaluación del Riesgo de Contaminación del Agua Subterránea Utilizada para Agua Potable en la Ciudad de Copiapó..... | 58 |
| 3.1.11 Gustavo Lagos (1997). Eficiencia del Uso del Agua en la Minería del Cobre..... | 61 |
| 3.1.12 SERNAGEOMIN (1999). Estudio Hidrogeológico del Valle del Río Copiapó, Segmento Embalse Lautaro – Piedra Colgada..... | 62 |
| 3.1.13 DGA (2002). Catastro de Pozos y Norias Valle de Copiapó..... | 69 |
| 3.1.14 DGA (2003). Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos del Valle del Río Copiapó..... | 69 |
| 3.1.15 AC Ingenieros Consultores para Comisión Nacional de Riego (2003). Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección..... | 78 |
| 3.1.16 CIREN (2005). Catastro Frutícola III Región..... | 79 |
| 3.1.17 MINVU (2005). Plan Regulador Intercomunal Provincia de Copiapó..... | 81 |
| 3.1.18 MOP (2005). Decreto 743 Tabla de Equivalencias..... | 82 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 3.1.19 | Golder Associates para DGA (2006). Diagnóstico de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Copiapó y Proposición de un Modelo de Explotación Sustentable..... | 82 |
| 3.1.20 | AC Ingenieros Consultores para DGA (2006). Análisis y Determinación de Caudales de Reserva para Abastecimiento de la Población y Usos de Interés Nacional..... | 92 |
| 3.1.21 | AC Ingenieros Consultores para DGA (2007). Estimaciones de Demanda de Agua y Proyecciones Futuras. Zona I Norte. Regiones I a IV | 93 |
| 3.1.22 | DGA (1985-2008). Pronósticos de Disponibilidad de Agua para Temporadas de Riego..... | 95 |
| 3.1.23 | INE (2008). Resultados Preliminares VI Censo Nacional Agropecuario y Forestal | 96 |
| 3.1.24 | CORFO (2008). Estudio Mercado Minero Industrial Macrozona Norte..... | 98 |
| 3.1.25 | Proust Consultores para DGA (2008). Derechos, Extracciones y Tasas Unitarias de Consumo de Agua del Sector Minero Regiones Centro-Norte de Chile | 99 |
| 3.1.26 | Junta de Vigilancia del Río Copiapó (2008). Resumen Embalse Lautaro..... | 101 |
| 3.1.27 | Rosko, M. & Cortés, J. (2008). Status of Groundwater Levels in the Copiapo Valley | 102 |
| 3.1.28 | Rosko, M. & Cortés, J. (2008). Preliminary Characterization of the Copiapo Valley Aquifer System | 103 |
| 3.2 | Síntesis de Inspecciones a Terreno..... | 106 |
| 3.3 | Síntesis de Información Hidrometeorológica..... | 118 |
| 3.3.1 | Caudales | 119 |
| 3.3.2 | Precipitaciones..... | 120 |
| 3.3.3 | Evaporación..... | 122 |
| 3.3.4 | Humedad Relativa | 123 |
| 3.3.5 | Temperatura..... | 124 |
| 3.3.6 | Velocidad del Viento | 125 |
| 3.4 | Listado de Catastros | 125 |
| 3.4.1 | Pozos | 126 |
| 3.4.2 | Derechos de aprovechamiento..... | 128 |
| 3.4.3 | Regantes | 128 |
| 3.4.4 | Canales | 128 |
| 3.4.5 | Actividades Mineras e Industriales..... | 129 |
| 3.5 | Listado de Información Cartográfica..... | 129 |
| 3.6 | Resumen de Antecedentes Recopilados | 130 |
| 4 | CONCLUSIONES Y COMENTARIOS | 135 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Contenido | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 2-1. Precipitaciones medias mensuales estación Lautaro Embalse..... | 16 |
| Figura 2-2. Caudales medios mensuales en Copiapó en Pastillo y suma de afluentes..... | 16 |
| Figura 2-3. Estaciones fluviométricas en la cuenca del Río Copiapó. | 18 |
| Figura 2-4. Estaciones meteorológicas en la cuenca del Río Copiapó. | 19 |
| Figura 3-1. Variación de la precipitación con la distancia para distintas probabilidades de excedencia. | 22 |
| Figura 3-2. Relación caudal-infiltración entre La Puerta y Mal Paso. | 24 |
| Figura 3-3. Gradiente de precipitación con la altura. | 29 |
| Figura 3-4. Perfil termométrico zona entre límite III Región y cuenca del Río Copiapó. | 30 |
| Figura 3-5. Perfiles de evaporación de embalse. | 31 |
| Figura 3-6. Caudales medios mensuales estación Copiapó en La Puerta..... | 37 |
| Figura 3-7. Precipitaciones medias mensuales estación Lautaro Embalse..... | 38 |
| Figura 3-8. Evaporaciones medias mensuales de tanque estación Lautaro Embalse. | 38 |
| Figura 3-9. Temperatura media mensual..... | 39 |
| Figura 3-10. Variación de precipitaciones con probabilidad de excedencia, estación Copiapó..... | 40 |
| Figura 3-11. Isoyetas anuales probabilidad de excedencia 50% cuenca del Río Copiapó [mm]. | 41 |
| Figura 3-12. Caudales medios mensuales en régimen natural en Copiapó en La Puerta, con probabilidad de excedencia..... | 41 |
| Figura 3-13. Evaporación en el Embalse Lautaro. | 42 |
| Figura 3-14. Relación entre caudal específico y transmisividad..... | 44 |
| Figura 3-15. Balance de masa promedio en el acuífero de Copiapó obtenido en la simulación..... | 47 |
| Figura 3-16. Niveles estáticos en pozo Fundo La Puerta 1987-1993..... | 49 |
| Figura 3-17. Caudales medios mensuales superficiales de entrada al Río Copiapó..... | 53 |
| Figura 3-18. Caudal medio anual superficial de entrada al Río Copiapó..... | 53 |
| Figura 3-19. Volumen embalsado en acuífero del Río Copiapó para un coeficiente de almacenamiento de 10% y un espesor de 200 m. | 54 |
| Figura 3-20. Red de canales en valle del Río Copiapó..... | 57 |

| | |
|--|-----|
| Figura 3-21. Profundidad de la napa y vulnerabilidad del acuífero. | 59 |
| Figura 3-22. Cobertura del alcantarillado y zonificación de cultivos. | 59 |
| Figura 3-23. Consumo típico proceso Lixiviación-Sx-EO. | 61 |
| Figura 3-24. Consumo mínimo proceso Concentración-Fusión-Electrorrefinación. | 61 |
| Figura 3-25. Consumo máximo proceso Concentración-Fusión-Electrorrefinación. | 62 |
| Figura 3-26. Geología simplificada del sector Los Loros y Copiapó. | 63 |
| Figura 3-27. Perfil longitudinal generalizado del valle del Río Copiapó entre Embalse Lautaro y Piedra Colgada. | 66 |
| Figura 3-28. Caudales medios mensuales en Copiapó en Pastillo y suma de afluentes. | 67 |
| Figura 3-29. Evolución de los derechos de agua. | 67 |
| Figura 3-30. Mapa de curvas de igual precipitación, escorrentía y evaporación. | 68 |
| Figura 3-31. Precipitación media anual estaciones meteorológicas (hasta año 2000). | 70 |
| Figura 3-32. Variación estacional de las precipitaciones (datos hasta el año 2000). | 70 |
| Figura 3-33. Caudales medios anuales (datos hasta 1999). | 71 |
| Figura 3-34. Caudales con probabilidad de excedencia (datos hasta 1999). | 72 |
| Figura 3-35. Caudales medios según estación (datos hasta 1999). | 72 |
| Figura 3-36. Transmisividad a lo largo del valle. | 73 |
| Figura 3-37. Profundidades medias de la napa. | 73 |
| Figura 3-38. Pozos según uso. | 74 |
| Figura 3-39. Modelo conceptual desarrollado. | 74 |
| Figura 3-40. Representación del acuífero en MODFLOW. | 75 |
| Figura 3-41. Distribución porcentual de la superficie de frutales mayores. | 80 |
| Figura 3-42. Distribución porcentual de la superficie de frutales menores. | 80 |
| Figura 3-43. Evapotranspiración en cultivos y vegas. | 84 |
| Figura 3-44. Transmisividad en el acuífero. | 86 |
| Figura 3-45. Niveles de pozos. | 86 |
| Figura 3-46. Volumen de agua en Embalse Lautaro. | 96 |
| Figura 3-47. Distribución de superficie plantada comuna de Caldera. | 97 |
| Figura 3-48. Distribución de superficie plantada comuna de Copiapó. | 97 |
| Figura 3-49. Distribución de superficie plantada comuna de Tierra Amarilla. | 98 |
| Figura 3-50. Proyectos mineros Provincia de Copiapó. | 99 |
| Figura 3-51. Distribución de derechos consuntivos informados en la III Región. | 100 |

| | |
|--|-----|
| Figura 3-52. Derechos consuntivos de mineras informados en la cuenca del Río Copiapó..... | 100 |
| Figura 3-53. Curvas de altura de agua vs. volumen y área del Embalse Lautaro..... | 101 |
| Figura 3-54. Resultados de prueba del pozo N° 12. | 102 |
| Figura 3-55. Niveles en pozos de observación y caudales del Río Copiapó en estación Copiapó..... | 103 |
| Figura 3-56. Sectores 5 y 6..... | 105 |
| Figura 3-57. Recorrido realizado en conjunto con la secretaria ejecutiva del agua. | 107 |
| Figura 3-58. Fotografías del recorrido realizado en conjunto con la Secretaría Ejecutiva del Agua. (a) Cuenca alta del Copiapó. (b) y (c) Río Jorquera. (d) Riego asociativo para pequeños agricultores. (e) Alfalfa de Comunidad Colla. (f) Afluentes del Río Jorquera: Turbio y Figueroa. | 108 |
| Figura 3-59. Ruta desde la Desembocadura del Río Copiapó hasta el sector Chamonate. | 111 |
| Figura 3-60. Fotografías del recorrido realizado desde la desembocadura del río Copiapó hasta Sector Chamonate. (a) Pajonales lecho del Río Copiapó. (b) Paso sobre Río Copiapó. (c) Desembocadura. (d) Puente sobre Río Copiapó. (e) Entrada Hacienda María Isabel. (f) Cítricos en Hacienda María Isabel. | 112 |
| Figura 3-61. Ruta desde Sector la Puerta hasta Tierra Amarilla. | 114 |
| Figura 3-62. Fotografías del recorrido realizado desde el sector La Puerta hasta Tierra Amarilla. (a) y (b) Estación Fluviométrica DGA sector La Puerta. (c) y (d) Canal Turbina, (e) y (f) predio perteneciente a Prohens..... | 115 |

ÍNDICE DE TABLAS

| Contenido | Pág. |
|--|-------------|
| Tabla 3-1. Caudales medios anuales [m ³ /s] para diferentes probabilidades de excedencia. | 23 |
| Tabla 3-2. Transmisividad del acuífero en distintos sectores..... | 23 |
| Tabla 3-3. Balance de masa del acuífero entre Quebrada Carrizalillo y Angostura. | 25 |
| Tabla 3-4. Proyecciones extracciones y descensos de niveles, entre Nantoco y Piedra Colgada..... | 26 |
| Tabla 3-5. Balance hídrico por subcuenca del Río Copiapó (expresado en volumen por unidad de área de la cuenca)..... | 27 |
| Tabla 3-6. Distribución espacial de tipos de precipitaciones en hoya del Río Copiapó..... | 32 |
| Tabla 3-7. Ciclos secos de la hoya del Río Copiapó. | 33 |
| Tabla 3-8. Precipitaciones con probabilidad de excedencia Río Manflas (1966-1984)..... | 33 |
| Tabla 3-9. Precipitación en subcuencas del Río Manflas. | 34 |
| Tabla 3-10. Estimación de caudales medios Río Manflas (1942-1984)..... | 34 |
| Tabla 3-11. Espesores del acuífero y rango de niveles estáticos..... | 35 |
| Tabla 3-12. Valores de la recarga para distintas probabilidades de excedencia para el acuífero del Río Manflas (cota 1.185 msnm). | 35 |
| Tabla 3-13. Balance hídrico por subcuenca Río Copiapó. | 36 |
| Tabla 3-14. Precipitaciones anuales con probabilidad de excedencia [mm]..... | 40 |
| Tabla 3-15. Principales crecidas registradas..... | 42 |
| Tabla 3-16. Volúmenes de acuífero y embalsado por sectores (Sy=0,16-11%). | 43 |
| Tabla 3-17. Eficiencias de riego predial según tipos de cultivo. | 45 |
| Tabla 3-18. Tasas de riego por sector..... | 45 |
| Tabla 3-19. Balance hídrico por sector período 1962-1986, en hm ³ | 47 |
| Tabla 3-20. Tasas de evapotranspiración real en el valle del Río Copiapó [mm/mes]. | 51 |
| Tabla 3-21. Eficiencias y tasas de participación de sistemas de riego. | 51 |
| Tabla 3-22. Rangos para la transmisividad. | 55 |
| Tabla 3-23. Balances hídricos por tramos [L/s]. | 56 |
| Tabla 3-24. Riesgo de contaminación del acuífero del Río Copiapó. | 60 |
| Tabla 3-25. Depósitos no consolidados en sector Embalse Lautaro – Piedra Colgada..... | 64 |
| Tabla 3-26. Precipitaciones medias anuales con probabilidad de excedencia (hasta año 2000)..... | 71 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 3-27. Balance de masa Modelo 1 para período 1987-2001..... | 76 |
| Tabla 3-28. Balance de masa Modelo 2 para período 1987-2001..... | 77 |
| Tabla 3-29. Superficies frutales por comuna. | 79 |
| Tabla 3-30. Prioridades ambientales del PRI Copiapó. | 81 |
| Tabla 3-31. Caudales con probabilidad de excedencia y caudales medios [m ³ /s]. | 83 |
| Tabla 3-32. Consumo de agua superficial en la cuenca del río Copiapó. | 84 |
| Tabla 3-33. Volúmenes bombeados del acuífero de acuerdo a distintas fuentes. | 85 |
| Tabla 3-34. Principales usos del agua por sector en el valle del Río Copiapó..... | 85 |
| Tabla 3-35. Consumo hídrico agrícola en el valle del río Copiapó..... | 85 |
| Tabla 3-36. Consumos de la minería del cobre en el valle del Río Copiapó. | 87 |
| Tabla 3-37. Cantidad de clientes empresa sanitaria Aguas Chañar. | 87 |
| Tabla 3-38. Volumen facturado empresa sanitaria Aguas Chañar..... | 88 |
| Tabla 3-39. Balance de aguas superficiales Río Copiapó, por sectores [Mm ³ /año]. | 89 |
| Tabla 3-40. Balance hidrológico del Embalse Lautaro. | 89 |
| Tabla 3-41. Balance de aguas superficiales Río Copiapó, cuenca completa. | 90 |
| Tabla 3-42. Balance de aguas subterráneas cuenca del Río Copiapó. | 90 |
| Tabla 3-43. Población sin agua potable y déficit del abastecimiento. | 92 |
| Tabla 3-44. Demanda actual de los recursos hídricos en la cuenca del Río Copiapó..... | 93 |
| Tabla 3-45. Proyección del uso de los recursos hídricos a 10 años. | 94 |
| Tabla 3-46. Proyección del uso de los recursos hídricos a 25 años. | 94 |
| Tabla 3-47. Superficie según sistema de riego..... | 96 |
| Tabla 3-48. Consumos unitarios mineras en cuenca del Río Copiapó..... | 101 |
| Tabla 3-49. Resumen de construcción y pruebas de bombeo en pozos de las áreas de Alcaparrosa y Palermo. | 104 |
| Tabla 3-50. Resumen de construcción y pruebas de bombeo en pozos del área de Paipote..... | 104 |
| Tabla 3-51. Resumen de construcción y pruebas de bombeo en pozos del área de Chamonate..... | 105 |
| Tabla 3-52. Disponibilidad de caudales medios mensuales..... | 119 |
| Tabla 3-53. Disponibilidad de precipitaciones mensuales..... | 120 |
| Tabla 3-54. Disponibilidad de evaporación total mensual y media mensual..... | 122 |
| Tabla 3-55. Disponibilidad de humedad relativa media mensual. | 123 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 3-56. Disponibilidad de temperaturas medias mensuales de termómetros de extremas..... | 124 |
| Tabla 3-57. Disponibilidad de velocidad diaria del viento..... | 125 |
| Tabla 3-58. Catastros de pozos en antecedentes revisados. | 126 |
| Tabla 3-59. Catastros de derechos de aprovechamiento en antecedentes revisados (superficiales y subterráneos)..... | 128 |
| Tabla 3-60. Catastros de regantes de aprovechamiento superficial en antecedentes revisados. | 128 |
| Tabla 3-61. Catastros de canales en antecedentes revisados. | 128 |
| Tabla 3-62. Catastros de actividades mineras e industriales en antecedentes revisados. | 129 |
| Tabla 3-63. Resumen de información hidrometeorológica. | 130 |
| Tabla 3-64. Resumen de información geológica e hidrogeológica. | 132 |
| Tabla 3-65. Resumen de información de usos y derechos de aprovechamiento. | 133 |

1 INTRODUCCIÓN

En este tomo se presenta el trabajo desarrollado durante la etapa de recopilación, depuración y sistematización de la información existente sobre la cuenca del Río Copiapó. Esta recopilación abarca antecedentes como estudios, inspecciones a terreno, información hidrometeorológica, catastros, entre otros.

El tomo está dividido en dos partes. La primera presenta una breve descripción de la cuenca y sus principales características de geografía, clima, hidrología e hidrogeología. En la segunda parte, se sintetizan los estudios revisados, los cuales fueron generados por organismos del Estado o instituciones privadas. Se incluye además una descripción de las actividades realizadas e información recopilada en terreno durante las visitas de reconocimiento. Finalmente, se sintetiza la información hidrometeorológica, catastros, e información cartográfica recopilada.

Los estudios recopilados comprenden una gran variedad de temas que incluyen balances hídricos de la cuenca, hidrogeología e hidrología, uso de los recursos hídricos en la cuenca, y proyecciones de la demanda, entre otros.

La información hidrometeorológica recopilada corresponde a datos obtenidos en las estaciones que mantiene la Dirección General de Aguas (DGA), y comprende variables como caudales, precipitaciones, niveles de la napa, evaporación, velocidad del viento y humedad relativa.

Los catastros recopilados corresponden a derechos de aprovechamiento, obras hidráulicas (canales, estanques), pozos, regantes y actividad minera e industrial.

2 DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA

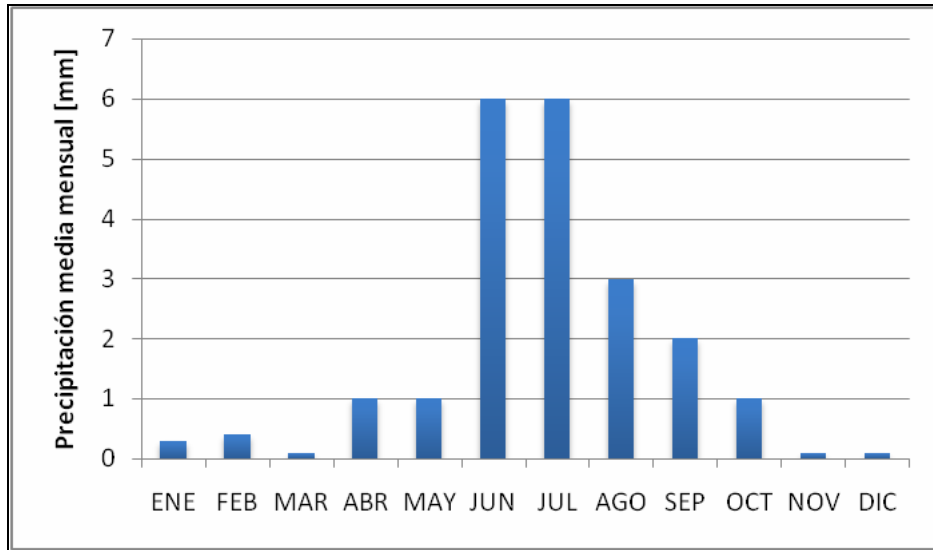
La cuenca del Río Copiapó se ubica entre los grados 27 y 29 latitud sur, y entre los grados 69 y 71 longitud oeste, en la Provincia de Copiapó perteneciente a la Región de Atacama. La cuenca limita al norte con la cuenca del Río Salado, al sur con la cuenca del Río Huasco, al oeste con el Océano Pacífico y al oriente con la República Argentina; abarca un área de 18.538 km², cubriendo parte importante de las comunas de Tierra Amarilla y Copiapó, y una parte de la comuna de Caldera en el sector de la desembocadura del río.

El principal centro poblado en la cuenca es la ciudad de Copiapó con 125.983 habitantes de acuerdo al censo del año 2002. Le siguen Tierra Amarilla con 8.578 habitantes y Los Loros con 1.068. Las principales actividades económicas en la cuenca son la agricultura y la minería. Dentro de la agricultura se destacan los cultivos frutales para exportaciones, las viñas y el cultivo de hortalizas. La actividad minera incluye a la Fundición Paipote perteneciente a CODELCO, y de empresas mineras productoras de cobre, hierro, oro y plata.

El clima en la cuenca es de tipo semiárido, con una temperatura media anual de 15,2 °C en la estación meteorológica de Copiapó, y temperaturas medias mensuales en el rango de 11,2 °C a 19,8 °C. La precipitación media anual en la cuenca es de 28 mm, las precipitaciones medias mensuales se presentan en la Figura 2-1. Su comportamiento es muy variado a lo largo del tiempo, con épocas de sequía de duración prolongada alternadas con años con mayores precipitaciones. El régimen de escurrimiento del Río Copiapó es de tipo mixto, con caudales medios mensuales entre 1,49 y 1,82 m³/s (estación Río Copiapó en La Puerta). La Figura 2-2 muestra los caudales medios mensuales registrados en el Río Copiapó para un período de 30 años, donde es posible observar los ciclos de sequía y años más húmedos.

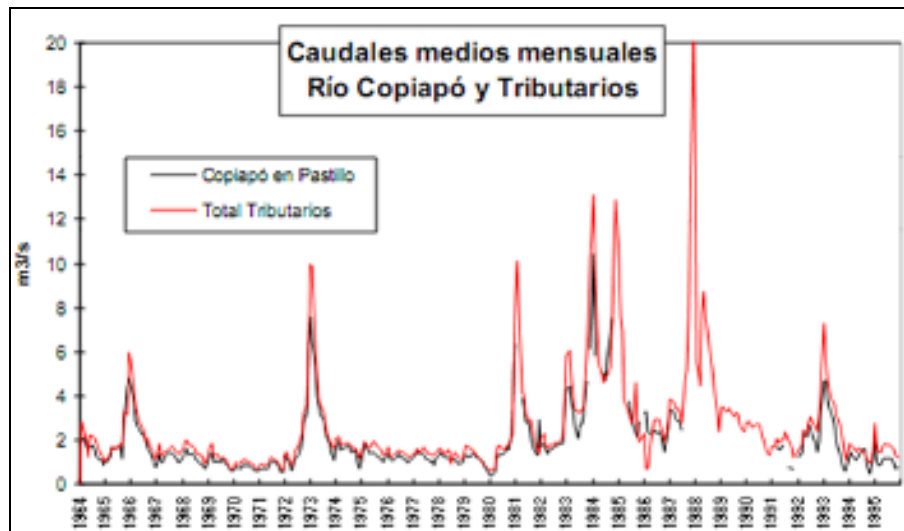
El desarrollo de la cuenca sigue una tendencia en dirección SE a NW, y existe una red de drenaje secundaria de forma dendrítica de dirección NE a SW. Los principales afluentes del Río Copiapó corresponden a los ríos Manflas, Jorquera y Pulido. Existen también quebradas laterales que normalmente se encuentran secas y aportan agua al Río Copiapó sólo al producirse precipitaciones importantes en el altiplano, siendo la principal de ellas la Quebrada de Paipote.

El Río Copiapó se forma en la confluencia de los ríos Jorquera y Pulido (“La Junta”), a 1.230 msnm. A partir de La Junta, el río toma un curso nornoroeste hasta la confluencia de la Quebrada de Paipote, luego de lo cual forma un arco suave hacia el noroeste hasta la ciudad de Copiapó, y posteriormente toma un rumbo oeste. El largo del cauce desde La Junta hasta el mar es de aproximadamente 162 km.



[Fuente: Modificado de DGA (1985)]

Figura 2-1. Precipitaciones medias mensuales estación Lautaro Embalse.



[Fuente: SERNAGEOMIN (1999)]

Figura 2-2. Caudales medios mensuales en Copiapó en Pastillo y suma de afluentes.

Las principales estaciones fluviométricas se concentran en el Río Copiapó, tal como se presenta en la Figura 2-3, abarcando los principales sectores del río hasta la confluencia con los ríos aportantes. Existe además una estación en el Río Manflas y una en el Río Pulido. La red de estaciones meteorológicas se compone de 8 estaciones vigentes que se concentran en las cercanías del cauce del Río Copiapó y de los principales afluentes (ver Figura 2-4). Para

efectos de este estudio se dispone también de estaciones meteorológicas ubicadas fuera de la zona de estudio para incluir la cuenca en un análisis regional.

Las unidades hidrogeológicas de mayor importancia en el valle se desarrollan en forma de depósitos no consolidados de tipo fluvial, fluvial de cauces actuales, fluvioaluvionales y secuencias intercaladas con depósitos fluviolacustres. Estos depósitos están formados por alternancias de ripios, gravas, arenas, limos y arcillas, todos ellos asociados a actividad del período cuaternario de cursos anteriores del Río Copiapó y depósitos aluviales.

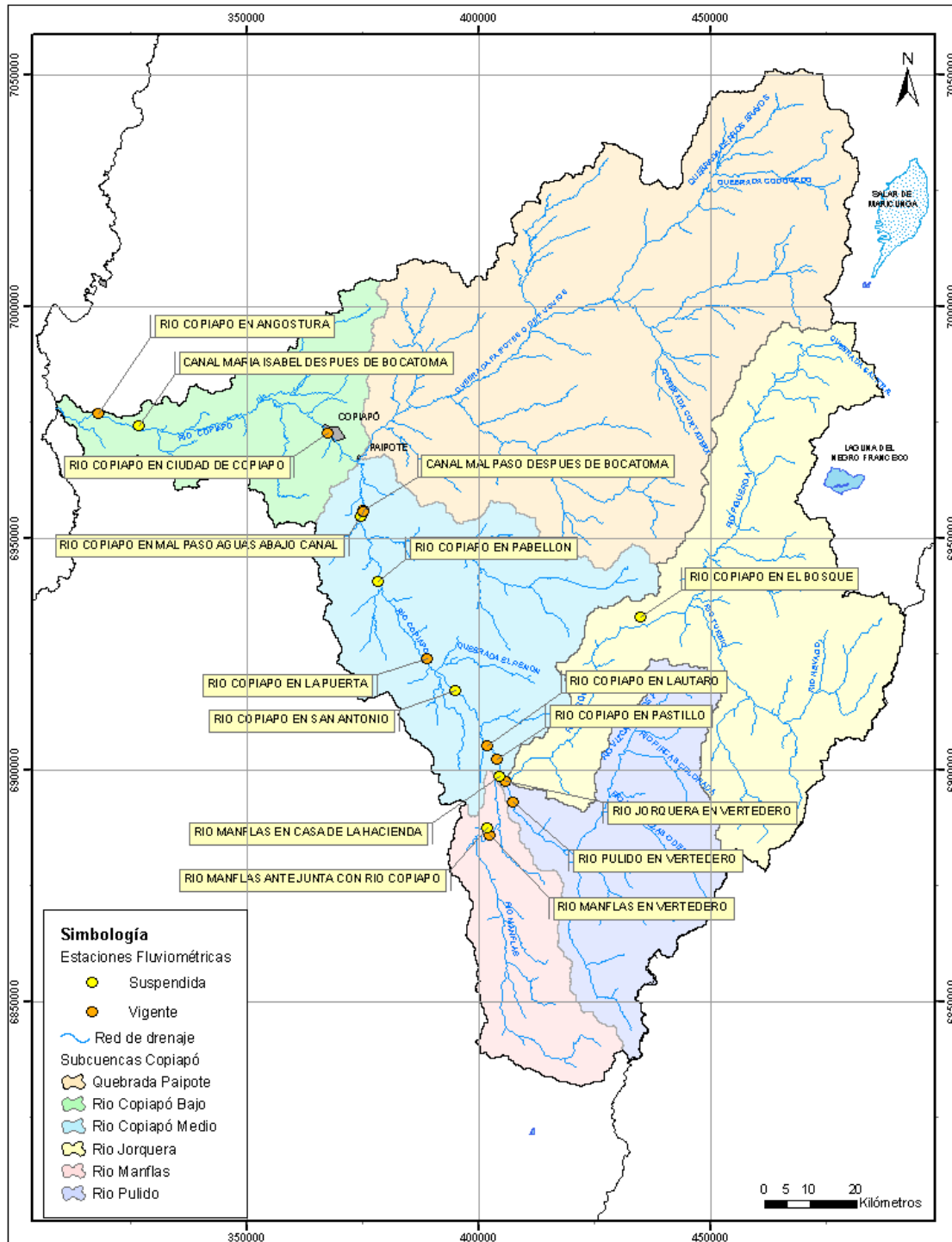


Figura 2-3. Estaciones fluviométricas en la cuenca del Río Copiapó.

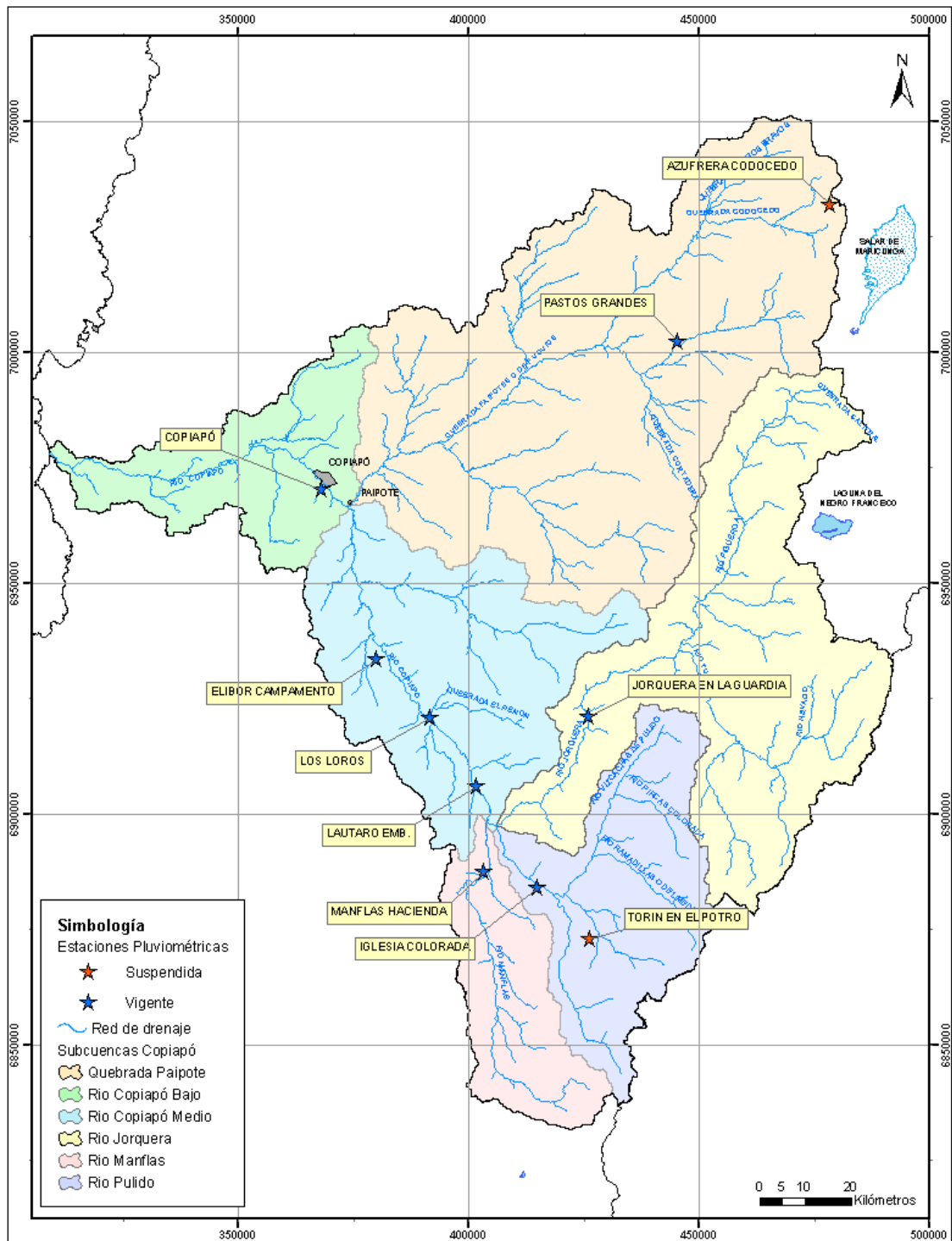


Figura 2-4. Estaciones meteorológicas en la cuenca del Río Copiapó.

3 RECOPIACIÓN Y REVISIÓN DE ANTECEDENTES

En esta sección se presenta una síntesis de los antecedentes recopilados para la cuenca del Río Copiapó. Esta recopilación incluyó antecedentes de gabinete, es decir, revisiones de estudios, series de datos, catastros e información cartográfica; y antecedentes de terreno, es decir, un reconocimiento general de la zona de estudio.

La revisión de antecedentes de gabinete incluyó diversos estudios realizados en la zona por instituciones públicas y privadas que abarcaron diversos temas tales como hidrología, hidrogeología, geología, agricultura, minería y legislación. Se revisaron catastros de obras de captación y distribución, de pozos, de derechos en la zona y de información agrícola. Se incluyeron en la revisión series históricas de datos hidrometeorológicos proporcionados por la Dirección General de Aguas (DGA) dentro del marco de acuerdo existente para la confección del presente estudio por parte de DICTUC S.A. Se contó además con información cartográfica lo que incluyó la delimitación de la cuenca en un SIG.

La revisión de antecedentes de terreno incluyó una visita general de la Cuenca del Río Copiapó, comenzando por la zona alta donde nace el río Jorquera, uno de los afluentes más importantes del río, posteriormente la zona media de la cuenca, entre el Embalse Lautaro y la ciudad de Copiapó, y finalmente, la zona baja hasta la desembocadura. Al mismo tiempo, se logró un acercamiento con los principales actores involucrados en la gestión de los recursos hídricos, Dirección General de Aguas, Junta de Vigilancia del Río Copiapó, Minera Candelaria, Gobierno Regional, entre otros.

3.1 Síntesis de Estudios Recopilados

Se recopiló un total de 28 documentos que contienen antecedentes relacionados con la hidrología, hidrogeología, gestión de recursos hídricos en la cuenca en la cuenca del río Copiapó. Una síntesis de estos estudios se presenta a continuación.

3.1.1 Uri Hammer y Asociados para Dirección de Riego - MOP (1980). Plan Maestro de Acción Inmediata para el Desarrollo de los Recursos de Agua y Suelo del Valle de Copiapó

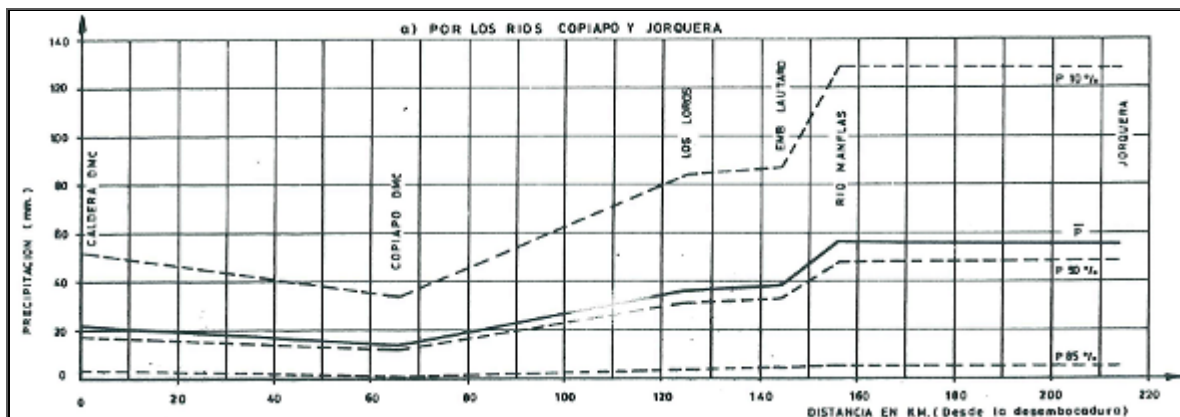
Este estudio consistió en un análisis completo de la situación de los recursos hídricos en la cuenca del Río Copiapó en el sector entre La Puerta y Angostura, superficiales y subterráneos, con el objeto de generar recomendaciones para optimizar su uso y aumentar la disponibilidad. Este estudio fue realizado en una época en que la agricultura en el valle de Copiapó comenzó a

expandirse de manera importante y por lo tanto, el uso de los recursos hídricos pasó a tener mayor relevancia.

El estudio cuenta con un análisis pluviométrico, fluviométrico e hidrogeológico basado en los antecedentes disponibles a la fecha y en aforos realizados durante el estudio. Se generó además un catastro de los derechos y demandas de agua para distintos usos, y una descripción de las obras existentes en el río. El estudio termina con un análisis crítico de la infraestructura existente, y con la proposición y evaluación económica de medidas concretas que permitirían aprovechar de mejor manera los recursos hídricos de la zona.

Hidrología

Del análisis pluviométrico realizado se observa que existe una variabilidad espacial importante entre las estaciones existentes, lo cual impidió establecer correlaciones entre las estadísticas pluviométricas. Sin embargo, se observó un aumento de precipitación con la altura a partir de la ciudad de Copiapó. La variación de la precipitación con la distancia desde la desembocadura para distintas probabilidades de excedencia se muestra en la Figura 3-1. La variabilidad temporal de las precipitaciones también es importante, existiendo períodos de sequía con escasa o nula precipitación.



[Fuente: Uri Hammer y Asociados (1980)]

Figura 3-1. Variación de la precipitación con la distancia para distintas probabilidades de excedencia.

En la Tabla 3-1 se presentan los caudales medios anuales con distintas probabilidades de excedencia obtenidos del análisis fluviométrico. La suma del caudal de los ríos Jorquera, Manflas y Pulido representa la disponibilidad de agua en la cabecera del Río Copiapó. Entre los tres afluentes y la parte alta del Río Copiapó se observa un régimen similar a lo largo del año, con caudales altos durante los meses de verano producto del deshielo. En estaciones

ubicadas aguas abajo se tiene un régimen más parejo durante el año producto del efecto regulador del embalse subterráneo.

Tabla 3-1. Caudales medios anuales [m^3/s] para diferentes probabilidades de excedencia.

| Estación | Probabilidades de Excedencia [%] | | | | |
|-----------------------|----------------------------------|------|------|------|------|
| | 20 | 50 | 70 | 85 | 90 |
| Jorquera en Vertedero | 0,92 | 0,69 | 0,57 | 0,47 | 0,42 |
| Pulido en Vertedero | 1,55 | 0,87 | 0,69 | 0,56 | 0,51 |
| Manflas en Vertedero | 0,51 | 0,23 | 0,19 | 0,17 | 0,15 |
| Suma (J + P + M) | 3,20 | 1,71 | 1,48 | 1,26 | 1,14 |
| Copiapó en Pastillo | 2,70 | 1,42 | 1,12 | 0,94 | 0,87 |
| Copiapó en Lautaro | 2,07 | 1,21 | 1,01 | 0,82 | 0,71 |
| Copiapó en La Puerta | 2,41 | 1,70 | 1,42 | 1,14 | 1,00 |
| Copiapó en Mal Paso | 1,11 | 0,75 | 0,64 | 0,49 | 0,42 |

[Fuente: Uri Hammer y Asociados (1980)]

Hidrogeología

Se realizó una revisión de la información geológica existente del relleno donde se ubica el acuífero, y se estimaron los parámetros elásticos del acuífero en base a pruebas de bombeo realizadas antes y durante la confección del estudio. El coeficiente de rendimiento específico (S_y) se estimó entre 0,1 y 0,6. Las transmisividades estimadas para distintos sectores se muestran en la Tabla 3-2. Se estimó un volumen embalsado de 707 hm^3 .

Tabla 3-2. Transmisividad del acuífero en distintos sectores.

| Sector | Transmisividad [m^2/dia] |
|---------------------------------|------------------------------|
| La Puerta - Nantoco | 1.500 |
| Nantoco - Tierra Amarilla | 2.000-4.000 |
| Tierra Amarilla - Q. de Paipote | 3.000 |
| Confluencia Q. Paipote | 15.000 |
| Copiapó - Angostura | 5.000-7.000 |
| Angostura - Bodega | 2.000 |
| Área Cerro Pichincha | 5.000 |
| Chamonate | 2.000-6.500 |
| Hacienda Margarita | 400 |

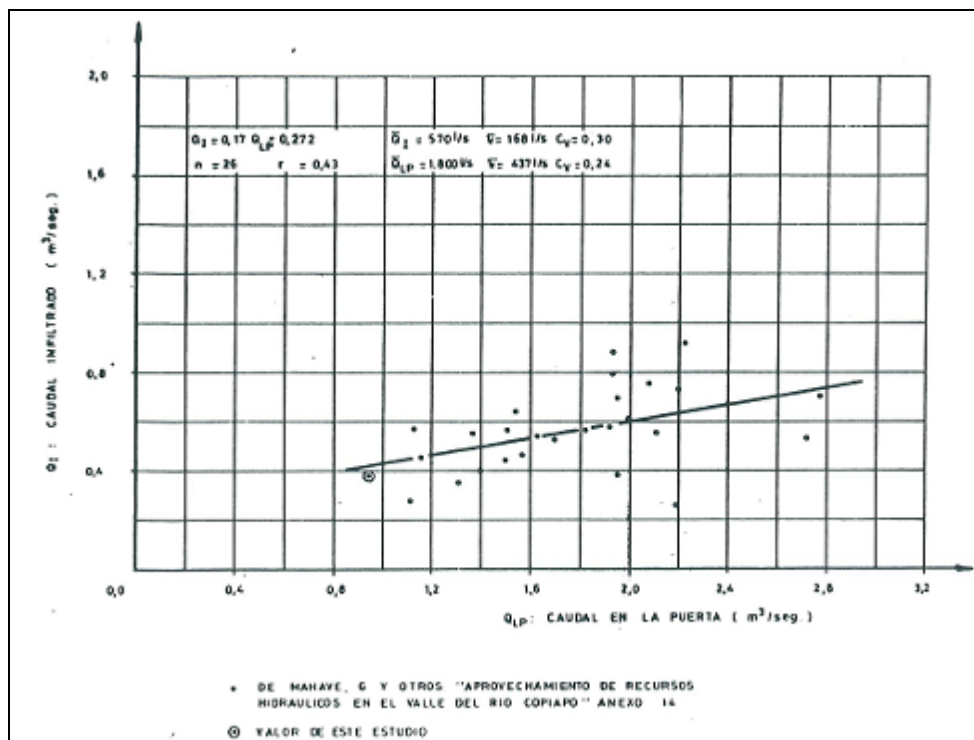
[Fuente: Uri Hammer y Asociados (1980)]

El acuífero es de tipo libre en toda su extensión, con un espesor medio de 100 m entre La Puerta y Qda. Carrizalillo, el cual disminuye a 50 m en el sector Hda. Margarita y desaparece en el tramo final. La zona neta de recarga ha sido identificada entre La Puerta y Nantoco. El nivel freático alcanza la superficie aguas abajo de Copiapó.

Para la realización del balance de masa del acuífero se consideraron como entradas la infiltración del río, la infiltración de los canales de riego y el caudal subterráneo entrante. La infiltración de la lluvia fue considerada despreciable debido a su escasez.

Las salidas consideradas corresponden a extracciones de pozos, evapotranspiración, descarga hacia aguas abajo y afloramiento. Se incluye además un término de variación del almacenamiento. El balance de masa no considera el tramo entre La Puerta y Qda. Carrizalillo debido a la falta de información de esa zona.

La infiltración media anual del río, estimada para el período 1947-1975 en el sector fue de 0,59 m³/s. Durante el estudio se realizaron aforos en secciones ubicadas en el sector entre La Puerta y Mal Paso para estimar este parámetro en distintos tramos. En Mal Paso el río es íntegramente captado por el sistema de riego y por lo tanto deja de recargar al acuífero. El análisis de la infiltración incluyó además una relación entre caudal e infiltración. La relación obtenida se muestra en la Figura 3-2.



[Fuente: Uri Hammer y Asociados (1980)]

Figura 3-2. Relación caudal-infiltración entre La Puerta y Mal Paso.

El caudal entrante y saliente del acuífero, así como la variación del almacenamiento fueron estimados a partir de las fluctuaciones anuales y estacionales de los niveles registrados en los sondeos existentes. El caudal entrante se estimó en 0,042 m³/s y el caudal saliente se consideró despreciable para efectos del balance. Para la variación del almacenamiento se estimó el vaciamiento experimentado por el acuífero entre 1970 y 1979, el cual fue en promedio de 0,198 m³/s.

Se consideró como valor de las extracciones de agua subterránea el promedio entre 1978 y 1979, lo cual da un total de 0,799 m³/s, siendo el 56% de esta agua destinada para el riego, un 28% para agua potable y un 16% para usos industriales. Los derechos otorgados para explotación del agua subterránea alcanzan los 2,39 m³/s, sin embargo estos derechos no eran utilizados en su totalidad.

La evapotranspiración fue estimada en 0,386 m³/s para las vegas que se presentan en diversas partes del cauce.

El término de infiltración desde los canales de riego corresponde al más débil dentro del balance de masa, ya que no se conoce con exactitud debido a la complejidad y requerimientos de información en su estimación.

El método utilizado consistió en una estimación de la percolación en los principales canales, considerando las tasas de riego de los cultivos, la eficiencia del proceso y la superficie regada.

Tabla 3-3. Balance de masa del acuífero entre Quebrada Carrizalillo y Angostura.

| Componente | Estimación [m³/s] |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| Recarga | 1,121 |
| Infiltración río | 0,523 |
| Infiltración riego | 0,556 |
| Recarga subterránea aguas arriba | 0,042 |
| Descarga | 1,511 |
| Afloramiento | 0,524 |
| Extracciones | 0,799 |
| Evapotranspiración vegas | 0,386 |
| Variación de almacenamiento | -0,198 |
| Descarga subterránea aguas abajo | 0,000 |

[Fuente: Uri Hammer y Asociados (1980)]

El acuífero ha sido explotado desde 1964 y no se han considerado las condiciones de recarga del sistema, lo cual ha producido un drenaje del almacenamiento de 59 hm³ sólo entre 1970 y 1979. El balance presentado en la Tabla 3-3 tiene un aspecto metodológico cuestionable, ya que se le ha asignado un signo negativo al término de variación de almacenamiento, siendo que se está considerando dentro de la descarga, lo que se debe al descenso de los niveles.

Para conocer los efectos en el acuífero que la explotación tendrá a futuro, se hizo una proyección de las condiciones actuales de explotación del sistema y se estimaron volúmenes y descensos para un escenario de mayor explotación.

Estos cálculos entregan una idea más bien cualitativa de los efectos en el acuífero ya que no se contó con un modelo numérico que representara el comportamiento dinámico del sistema. Los descensos estimados se presentan en la Tabla 3-4.

Un análisis por sectores indica que frente al aumento de la demanda el sector entre Nantoco y Copiapó se secaría hacia 1992. Esto indica que la sobreexplotación es considerable dada la capacidad del acuífero.

Tabla 3-4. Proyecciones extracciones y descensos de niveles, entre Nantoco y Piedra Colgada.

| Escenario | Año | Volumen medio anual extraído [Hm³] | Descenso medio niveles [m] |
|---|------------|--|-----------------------------------|
| Explotación actual | 1985 | 6,24 | 3,0 |
| | 2005 | 6,24 | 12,3 |
| Explotación en base a proyecciones de demanda | 1985 | 7,42 | 3,5 |
| | 1992 | 14,35 | 14,3 |

[Fuente: Uri Hammer y Asociados (1980)]

Finalmente, el estudio entrega las siguientes recomendaciones:

- Controlar la sobreexplotación del acuífero y realizar balances de forma periódica.
- Estudiar la posibilidad de recargar el acuífero de manera artificial.
- Considerar el saneamiento y explotación de las vegas.
- Obtener constantes hídricas del suelo para estimar de mejor manera la infiltración en canales de riego.

En resumen, este estudio consiste en un análisis global de la situación de los recursos hídricos en la cuenca del Río Copiapó en 1980. Se reúnen en él gran cantidad de antecedentes dispersos de data previa, y se presenta también información nueva. El estudio no cuenta con una herramienta numérica para poder proyectar la situación futura de la cuenca, sin embargo hace un diagnóstico firme respecto de la sobreexplotación en que se encontraba el acuífero. Los números estimados en el balance másico deben tomarse en cuenta sólo desde un punto cualitativo, ya que al no contar con una representación dinámica del acuífero no es posible conocer a priori la respuesta que éste tendrá para los distintos escenarios de extracción planteados.

3.1.2 IPLA para DGA (1984). Balance Hidrológico Nacional Regiones III y IV

Este estudio tuvo por objeto generar información general de las cuencas tanto abiertas como cerradas de las regiones III y IV, a partir de estadísticas de 30 años de duración y de informes que usan diversas metodologías.

Para cada una de las cuencas se realizó un balance hídrico de aguas superficiales y se presentaron los resultados en la forma de tablas, gráficos resumen y mapas de isolíneas.

El balance hídrico generado para el Río Copiapó se presenta en la Tabla 3-5. La evapotranspiración fue estimada mediante el método de Turc.

Tabla 3-5. Balance hídrico por subcuenca del Río Copiapó (expresado en volumen por unidad de área de la cuenca).

| Estación aguas abajo | Área [km²] | Precipitación [mm] | Escorrentía [mm] | Evapotranspiración [mm] | Diferencia [mm] |
|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| Río Jorquera en Vertedero | 4193 | 168,0 | 7,0 | 153,0 | 8,0 |
| Río Pulido en Vertedero | 2086 | 229,0 | 14,8 | 205,0 | 9,2 |
| Río Manflas en Vertedero | 990 | 216,0 | 9,8 | 199,0 | 7,2 |
| Qda. Paipote en junta Copiapó | 6843 | 21,9 | 0 | 21,9 | 0,0 |
| Río Copiapó en Desembocadura | 1800 | 87,6 | 3,7 | 80,7 | 3,2 |

(incluye las anteriores)

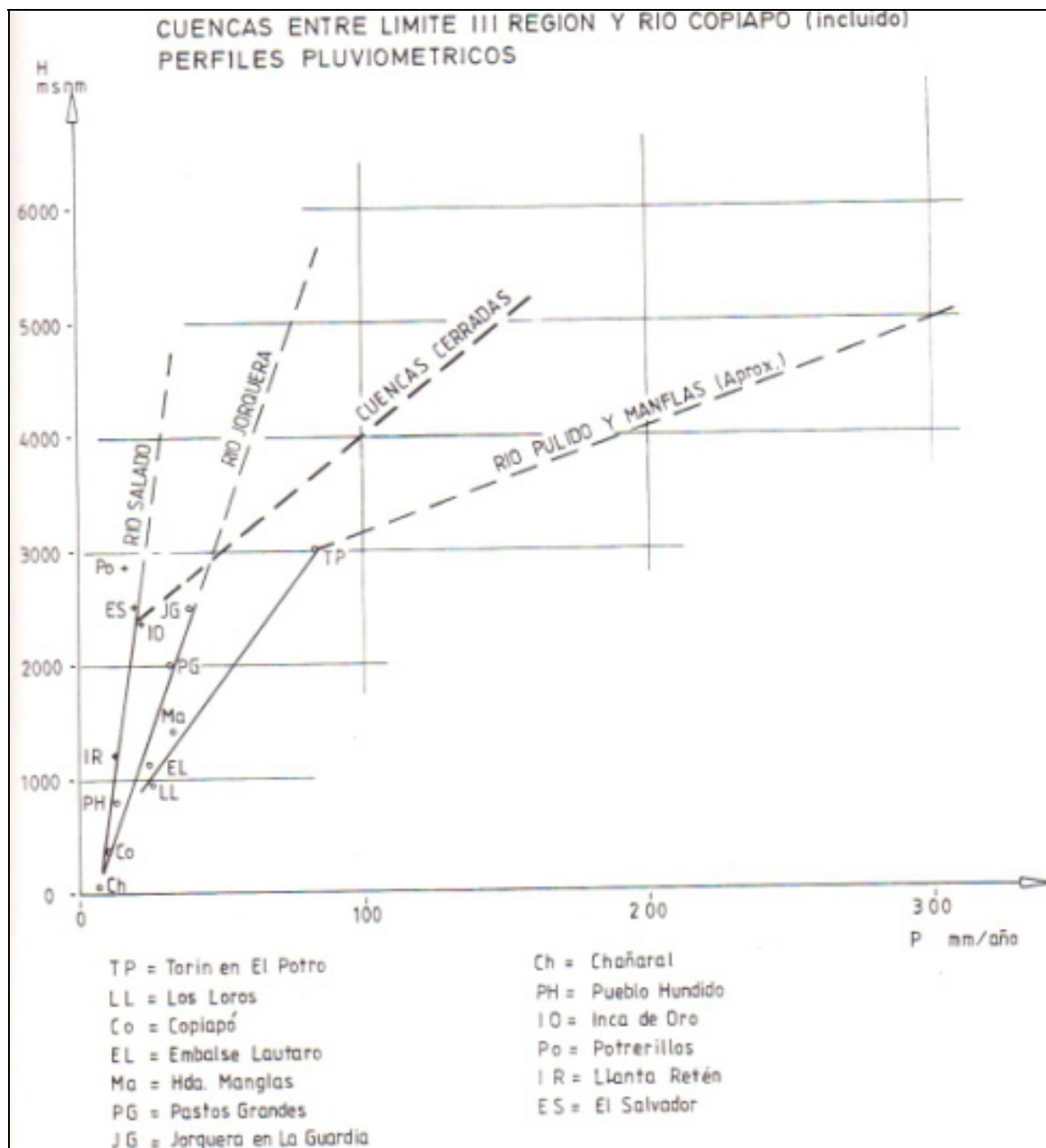
[Fuente: IPLA (1984)]

En la Figura 3-4 se presenta el perfil termométrico estimado en base a las estaciones meteorológicas existentes en la zona entre el límite de la III Región y la cuenca del Río

Copiapó. Se tiene un gradiente promedio de $-6,3^{\circ}$ C por cada mil metros. En la Figura 3-5 se muestra el perfil de evaporación de embalse para el Río Copiapó.

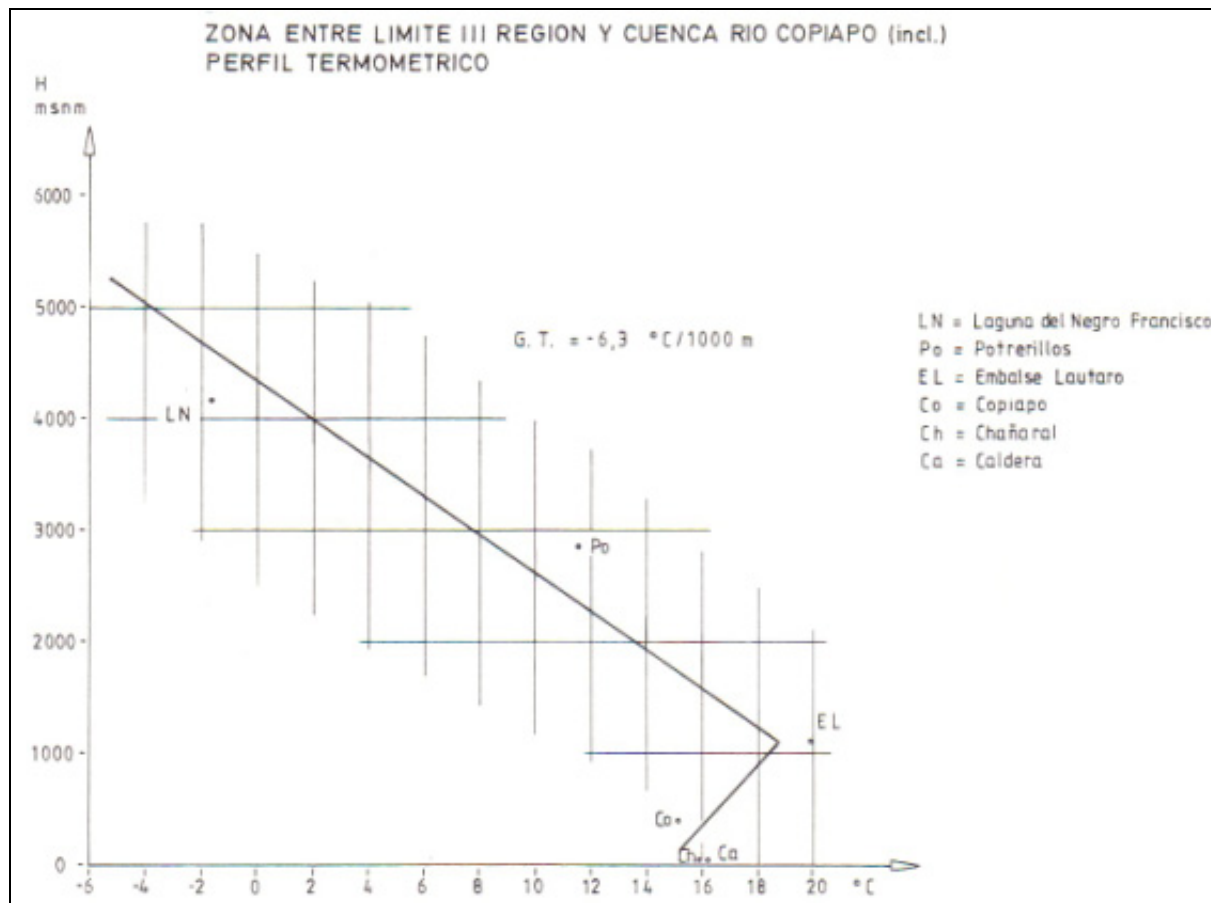
En resumen, este estudio entrega información general sobre los componentes del balance hídrico en la hoya del Río Copiapó en base a estadísticas de larga data. Los gráficos resumen presentados entregan nociones generales del comportamiento de las variables meteorológicas de la zona, como los distintos gradientes de precipitaciones entre las distintas cuencas aportantes.

El balance realizado indica que la mayor parte de la esorrentía se genera en las cuencas de Pulido, Manflas y Jorquera, ya que en las zonas bajas de la cuenca la precipitación es muy escasa. Parte de esta información fue nuevamente generada pero con mayores antecedentes en el Balance Hídrico de Chile publicado tres años después, donde se presentan valores medios ampliamente utilizados de los principales componentes del ciclo hidrológico.



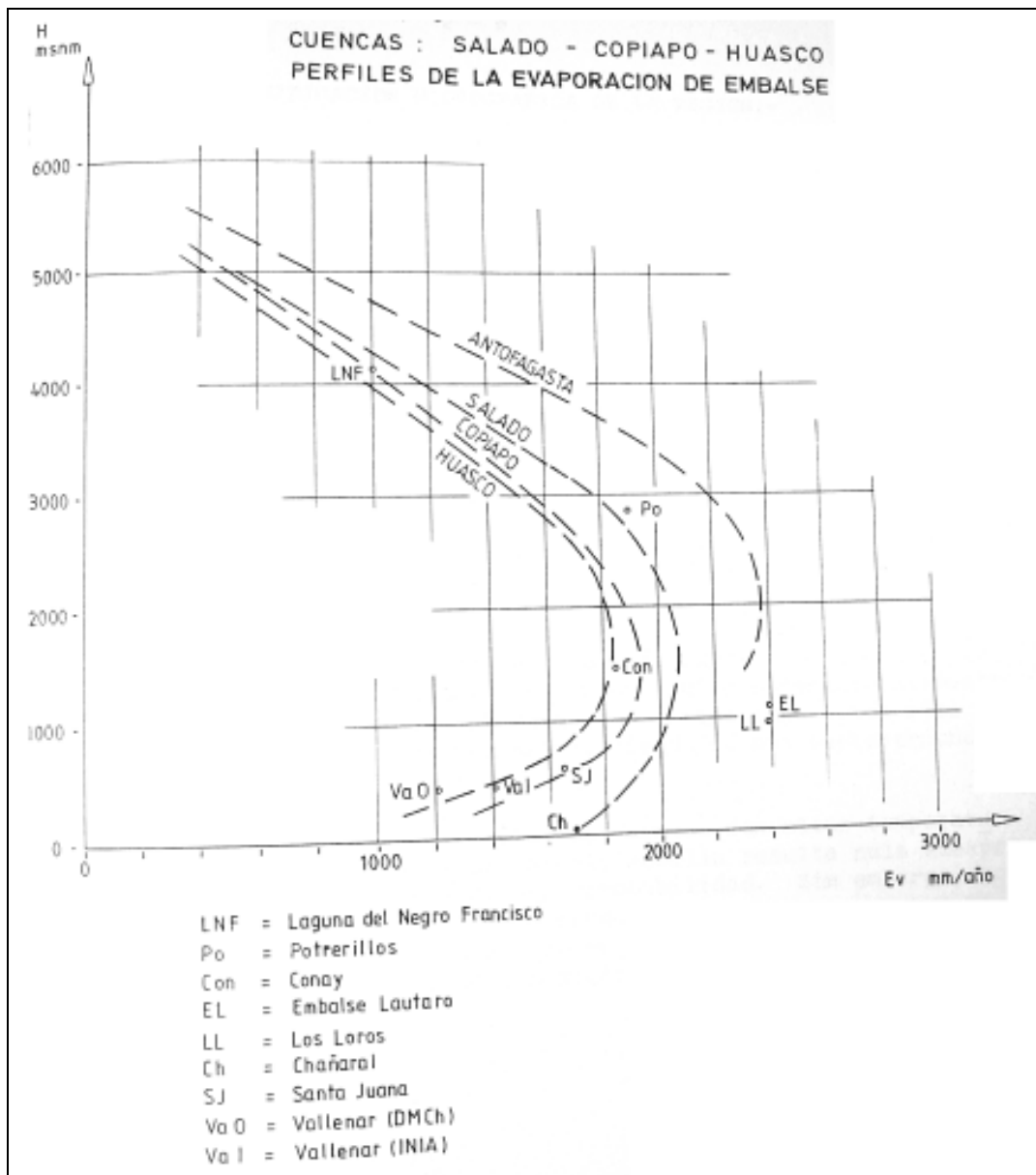
[Fuente: IPLA (1984)]

Figura 3-3. Gradiente de precipitación con la altura.



[Fuente: IPLA (1984)]

Figura 3-4. Perfil termométrico zona entre límite III Región y cuenca del Río Copiapó.



[Fuente: IPLA (1984)]

Figura 3-5. Perfiles de evaporación de embalse.

3.1.3 INYGE (1985). Informe Hidrológico e Hidrogeológico de la Hoya del Río Manflas del Copiapó

En este estudio se realizó una evaluación de las condiciones pluviométricas, fluviométricas e hidrogeológicas en la cuenca del Río Manflas, con el objetivo de entregar a la Hacienda Manflas una estimación de los recursos hídricos subterráneos que podrían extraerse en forma

permanente, considerando las características cíclicas de las variables hidrometeorológicas en la zona. En la hoya del Río Copiapó el tipo de precipitaciones se distribuye espacialmente bajo el esquema presentado en la Tabla 3-6.

Tabla 3-6. Distribución espacial de tipos de precipitaciones en hoya del Río Copiapó.

| Relieve [msnm] | Tipo de precipitación predominante | |
|----------------|---|---|
| | Parte Norte | Parte Sur |
| 0-2.000 | Aguas lluvia | Aguas lluvia y nevazones ocasionales arriba de 1.200 msnm |
| 2.000-3.000 | Aguas lluvia y nevazones pequeñas ocasionales | Aguas lluvia y nevazones pequeñas frecuentes |
| 3.000-3.500 | Aguas lluvia y nevazones pequeñas frecuentes | Aguas lluvia y nevazones pequeñas muy frecuentes |
| 3.500-4.000 | Aguas lluvia-nieves y nevazones frecuentes | Nevazones |
| >4.000 | Nevazones | |

[Fuente: INYGE (1985)]

Desde el punto de vista de la distribución temporal de las precipitaciones, se puede afirmar que los valores promedio, máximos y mínimos anuales presentan una fuerte dispersión al analizar períodos de varios años. Conforme a registros para la ciudad de Copiapó con data desde 1880, se tienden a presentar ciclos de años con precipitaciones superiores al promedio seguidos de varios años de sequía.

Se definen los años muy secos como aquellos con precipitación menor a la probabilidad de excedencia de un 5%, y los años extremadamente secos como años donde se observó una disminución considerable de los recursos hídricos debido a la duración del ciclo seco. En la Tabla 3-7 se presentan los ciclos secos registrados para el período 1900-1984. El ciclo seco más crítico fue el acontecido entre los años 1966 y 1979, y los caudales registrados en el Río Manflas en 1971 y 1979 representan bien los valores mínimos que se tendrían en futuras sequías extremas de baja probabilidad de ocurrencia. De acuerdo al estudio, los ciclos suelen durar 14 años, sin embargo no se menciona la metodología utilizada para realizar esta afirmación.

Tabla 3-7. Ciclos secos de la hoya del Río Copiapó.

| Ciclo | Años muy secos | Años extremadamente secos |
|--------------|-----------------------|----------------------------------|
| 1906-1908 | 3 | 1 |
| 1910-1913 | 4 | 2 |
| 1916-1917 | 2 | - |
| 1923-1925 | 3 | 1 |
| 1947-1948 | 2 | - |
| 1950-1951 | 2 | - |
| 1955-1961 | 7 | 5 |
| 1966-1968 | 3 | 1 |
| 1970-1971 | 2 | - |
| 1973-1976 | 4 | 2 |
| 1978-1979 | 2 | - |

[Fuente: INYGE (1985)]

Las precipitaciones medias de la hoya del Río Manflas para distintas probabilidades de excedencia se muestran en la Tabla 3-8. Mediante la comparación de registros de precipitaciones con mediciones de caudales, se obtuvo que la escorrentía superficial es de alrededor de un 30% de las precipitaciones, la escorrentía subterránea un 20%, y el 50% corresponde a evapotranspiración y otros consumos no controlados que se producen arriba del vertedero de Manflas. Las precipitaciones para distintas probabilidades de excedencia a lo largo de las subcuencas del Río Manflas se presenta en la Tabla 3-9.

Tabla 3-8. Precipitaciones con probabilidad de excedencia Río Manflas (1966-1984).

| Probabilidad de excedencia | Precipitación [mm/año] |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| 5% | 170,0 |
| 50% | 57,5 |
| 95% | 20,0 |

[Fuente: INYGE (1985)]

Tabla 3-9. Precipitación en subcuencas del Río Manflas.

| Hoya | Superficie [km ²] | Precipitación equivalente total hoya [mm/año] | | |
|-----------------------------|----------------------------------|--|----------|-------|
| | | Prob 5% | Prob 50% | P 95% |
| Vertedero Río Manflas | 980 | 170 | 57,5 | 20 |
| Hacienda Manflas | 1.132 | 170 | 57,5 | 20 |
| Confluencia Manflas-Copiapó | 1.190 | 170 | 57,5 | 20 |
| Quebrada La Iglesia | 120 | 160 | 55,0 | 15 |

[Fuente: INYGE (1985)]

Para el caso del Río Pulido la escorrentía superficial corresponde a un 40% de la precipitación y la escorrentía subterránea de un rango similar al Río Manflas. En el Río Jorquera, donde es frecuente la existencia de vegas, se tiene una escorrentía superficial de no más de un 20%, y una escorrentía subterránea de un 10%. Se contó con distintas mediciones de caudal entre los años 1942-1984, con lo cual se estimaron los caudales con probabilidad de excedencia. Estos caudales fueron comparados con caudales medidos para precipitaciones con igual probabilidad de excedencia, y se obtuvo que ambos valores difieren en forma considerable. El estudio optó por utilizar el promedio entre ambos caudales para los cálculos posteriores. En la Tabla 3-10 se presentan los caudales medios del Río Manflas.

Tabla 3-10. Estimación de caudales medios Río Manflas (1942-1984).

| Variable | Según registro estadístico [l/s] | Según precipitaciones [l/s] |
|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Promedio gastos medios anuales | 440 | |
| Gasto medio anual máximo | 3.000 | |
| Gasto medio anual mínimo | 110 | |
| Gasto medio mensual mínimo | 70 | |
| Gasto medio anual probabilidad 5% | 1.320 | 1.562 |
| Gasto medio anual probabilidad 50% | 230 | 528 |
| Gasto medio anual probabilidad 95% | 110 | 184 |

[Fuente: INYGE (1985)]

Los rellenos fluvioaluvionales del valle del Río Manflas están compuestos por mezclas heterogéneas de materiales granulares gruesos y finos, los cuales se acumularon generalmente

a través de crecidas aluvionales en régimen torrencial. Estos rellenos poseen una alta permeabilidad. En la Tabla 3-11 se presentan rangos de espesores del acuífero y niveles estáticos para períodos secos y lluviosos. El sector que puede ser explotado se ubica bajo la cota 1.500, con un almacenamiento estimado de un 10%.

Tabla 3-11. Espesores del acuífero y rango de niveles estáticos.

| Sector valle [msnm] | Rango espesor rellenos [m] | Rango profundidad nivel estático [m] | |
|------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------|
| | | Ciclos lluviosos | Ciclos secos |
| 1.175 | 140-160 | 2-5 | 25-35 |
| 1.200 | 135-150 | 5-10 | 30-40 |
| 1.250 | 130-140 | 15-25 | 40-55 |
| 1.300 | 125-135 | 20-30 | 45-60 |
| 1.350 | 100-110 | 20-30 | 45-60 |
| 1.400 | 70-80 | 15-25 | 30-50 |
| 1.450 | 40-50 | 5-10 | 25-35 |
| 1.500 | 30-40 | 5-10 | 20-30 |

[Fuente: INYGE (1985)]

Tabla 3-12. Valores de la recarga para distintas probabilidades de excedencia para el acuífero del Río Manflas (cota 1.185 msnm).

| Variable | Probabilidad de excedencia | | |
|---|----------------------------|------------|------------|
| | 5% | 50% | 95% |
| Infiltración precipitaciones [l/s] | 1.264 | 428 | 149 |
| Infiltración gastos en superficie [l/s] | 144 | 38 | 14 |
| Infiltración aguas de riego [l/s] | 20 | 20 | 20 |
| Total recarga [l/s] | 1.428 | 486 | 183 |

Cota 1.185 msnm, área hoyo: 1.190 km²

[Fuente: INYGE (1985)]

En resumen, en este estudio es posible encontrar información específica de la cuenca del Río Manflas, uno de los principales afluentes del Río Copiapó. Se entregan precipitaciones y caudales superficiales asociados a probabilidades de excedencia para los registros existentes al confeccionar el estudio, y se describe el comportamiento cíclico de las precipitaciones en la zona.

Al calcular la recarga se realizan supuestos un poco gruesos, ya que al no disponer de un modelo es necesario realizar simplificaciones como las realizadas, sin embargo permite tener un orden de magnitud y un rango para esta variable.

3.1.4 DGA (1987). Balance Hídrico de Chile

La DGA realizó en 1987 el Balance Hídrico de Chile con el objeto de poner a disposición de los usuarios información general sobre las variables hidrometeorológicas a lo largo del país, que pueda entregar una visión global sobre los componentes del balance hídrico en cada una de las cuencas existentes. Para esto, se estimaron las principales variables del ciclo hidrológico tomando como base una estadística de aproximadamente 30 años de registro.

Considera que la cuenca del Río Copiapó tiene una superficie de drenaje de 18.800 km². Los aportes totales a la cuenca, en forma de precipitación media anual, corresponden a 94,1 mm. Esto equivale a un gasto continuo de 56,1 m³/s. Las salidas de la cuenca corresponden a evapotranspiración (94,2 mm/año) y a escorrentía (0,2 mm/año).

El balance considera además una salida adicional de 0,8 mm/año que agrupa otros consumos del recurso. En la Tabla 3-13 se presenta el balance hídrico separado por subcuencas.

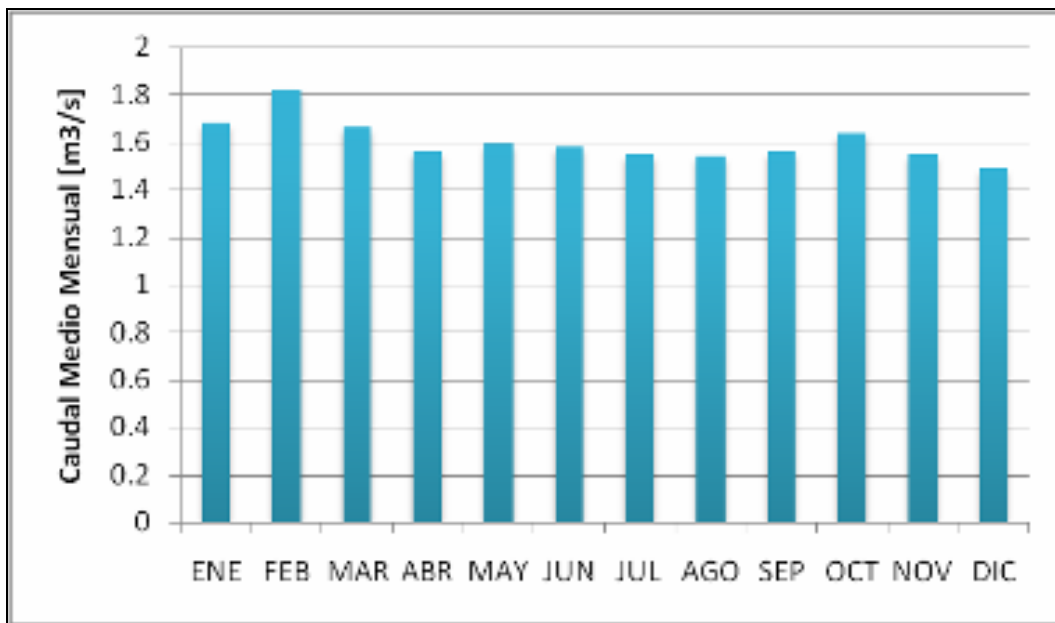
Tabla 3-13. Balance hídrico por subcuenca Río Copiapó.

| Nombre estación | Superficie [km²] | Precipitación [mm/año] | Evapotranspiración [mm/año] | Escorrentía [mm/año] |
|---------------------------|--|-----------------------------------|--|---------------------------------|
| Río Jorquera en Vertedero | 4.193 | 168,0 | 164,1 | 4,9 |
| Río Pulido en Vertedero | 2.089 | 218,0 | 204,8 | 16,2 |
| Río Manflas en Vertedero | 990 | 216,0 | 208,0 | 9,2 |
| Qda. de Paipote | 6.843 | 43,0 | 0 | 9,3 |
| Total cuenca | 18.800 | 94,1 | 94,2 | 0,2 |

[Fuente: DGA (1985)]

Los valores de escorrentía están calculados en base a caudales observados a la salida de la cuenca. El aporte de caudal escurrido viene dado en un 37% por el Río Jorquera, 31% por el Río Pulido, 28% por la Quebrada de Paipote, y 4% por el Río Manflas.

De acuerdo a la Figura 3-6 los caudales medios mensuales son bastante parejos a lo largo del año y en torno a los 1,6 m³/s.

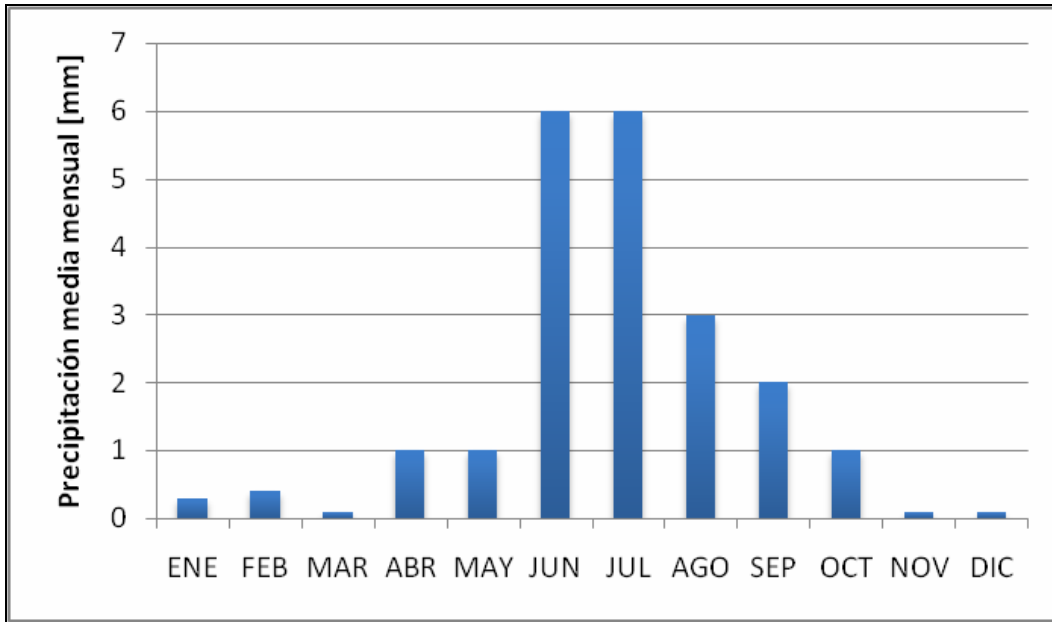


[Fuente: Modificado de DGA (1985)]

Figura 3-6. Caudales medios mensuales estación Copiapó en La Puerta.

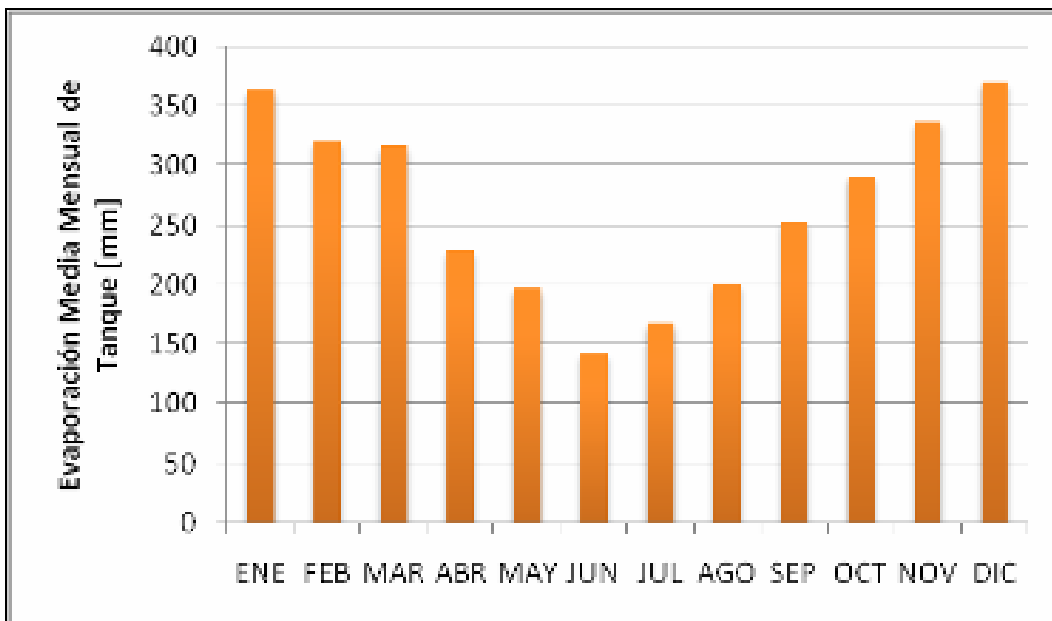
La Figura 3-7 presenta las precipitaciones medias mensuales de la cuenca del Río Copiapó. En ella, es posible apreciar que la gran mayoría de las precipitaciones se produce en el invierno.

La evaporación media anual de tanque es de 3.190 mm/año en la estación meteorológica Lautaro Embalse, ubicada a 1.100 msnm. Para la estación Los Loros, ubicada a 950 msnm esta variable tiene un valor medio anual de 3.106 mm/año. La Figura 3-8 muestra las evaporaciones medias mensuales de tanque en la estación Lautaro Embalse, donde se observa que ésta alcanza diferencias del orden de un 50% entre invierno y verano.



[Fuente: Modificado de DGA (1985)]

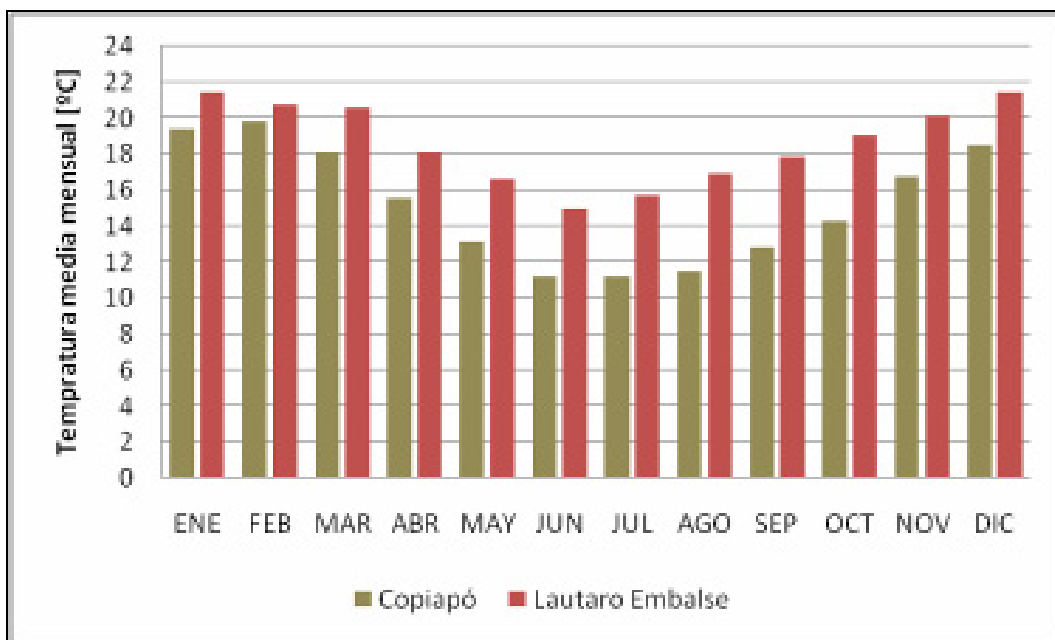
Figura 3-7. Precipitaciones medias mensuales estación Lautaro Embalse.



[Fuente: Modificado de DGA (1985)]

Figura 3-8. Evaporaciones medias mensuales de tanque estación Lautaro Embalse.

En la Figura 3-9 se muestran las temperaturas medias mensuales para la estación Copiapó, ubicada a una altura de 370 msnm, y para la estación Lautaro Embalse, ubicada a 1.110 msnm. Se observa una diferencia promedio de 3°C entre ambas estaciones.



[Fuente: Modificado de DGA (1985)]

Figura 3-9. Temperatura media mensual.

El Balance Hídrico de Chile constituye información oficial ampliamente reconocida, acerca de los componentes del ciclo hidrológico en las distintas zonas del país. En este contexto los valores aquí publicados son una referencia y fuente de información para el comportamiento de los recursos hídricos.

3.1.5 Álamos y Peralta para DGA (1987). Análisis y Evaluación de los Recursos Hidrogeológicos del Valle del Río Copiapó

Este estudio tuvo por objetivo establecer la situación de los recursos hídricos en la cuenca y generar un modelo tanto de las aguas superficiales como subterráneas, para poder así realizar una mejor gestión y explotar los recursos de manera sustentable.

El trabajo realizado consistió en la construcción de un modelo de diferencias finitas con el cual se realizaron simulaciones del acuífero para condiciones de explotación futuras definidas para un período de 50 años.

Para realizar esta modelación se generaron nuevos antecedentes de la zona, entre los que se incluye una campaña geofísica de resistividad eléctrica, un catastro de pozos y encuestas de volúmenes bombeados y del uso del recurso.

Hidrología

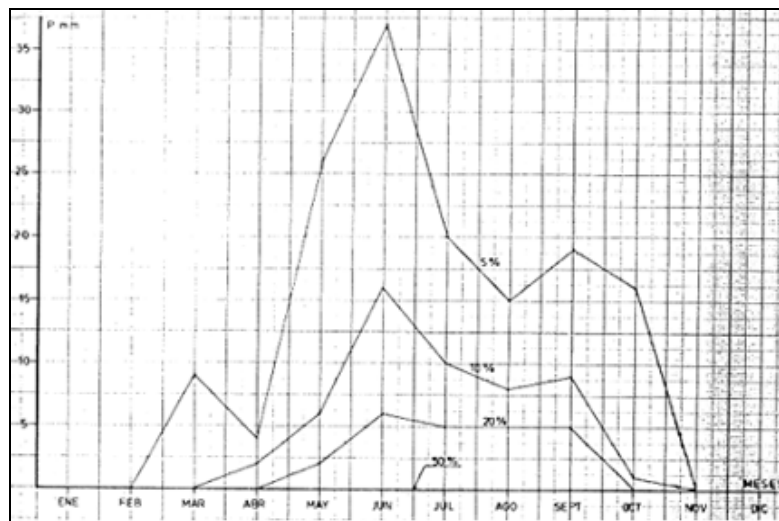
Se estimaron las precipitaciones anuales con probabilidad de excedencia para las 10 estaciones meteorológicas existentes, para lo cual se utilizaron estadísticas de entre aproximadamente 50 y 15 años de registro. Estos valores se presentan en la Tabla 3-14. La Figura 3-10 ilustra el comportamiento estacional de estas precipitaciones. Para ilustrar la variación espacial de estas precipitaciones, se generaron mapas de isoyetas para distintas probabilidades de excedencia. La Figura 3-11 muestra el mapa de isoyetas para una probabilidad de excedencia de un 50%.

Tabla 3-14. Precipitaciones anuales con probabilidad de excedencia [mm].

| Prob de excedencia [%] | Caldera | Copiapó en Jardín | Copiapó Chamonate | Elibor Campamento | Los Loros | Embalse Lautaro | Hacienda Manflas | Pasto Grande | Jorquera |
|------------------------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------|-----------------|------------------|--------------|----------|
| 95 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 80 | 7 | 0 | 3 | 0 | 5 | 6 | 4 | 5 | 6 |
| 50 | 20 | 11 | 14 | 22 | 29 | 28 | 37 | 26 | 40 |
| 20 | 38 | 26 | 30 | 61 | 61 | 57 | 80 | 55 | 85 |

[Fuente: Álamos y Peralta (1987)]

Dentro del análisis fluviométrico, se llevaron los caudales del río a régimen natural para el registro de entre 1928-1985 para la estación Copiapó en La Puerta. Los caudales medios mensuales con probabilidad de excedencia en régimen natural se presentan en la Figura 3-12. La Tabla 3-15 presenta las principales crecidas para las estaciones fluviométricas Pulido en Vertedero y Copiapó en Pastillo.



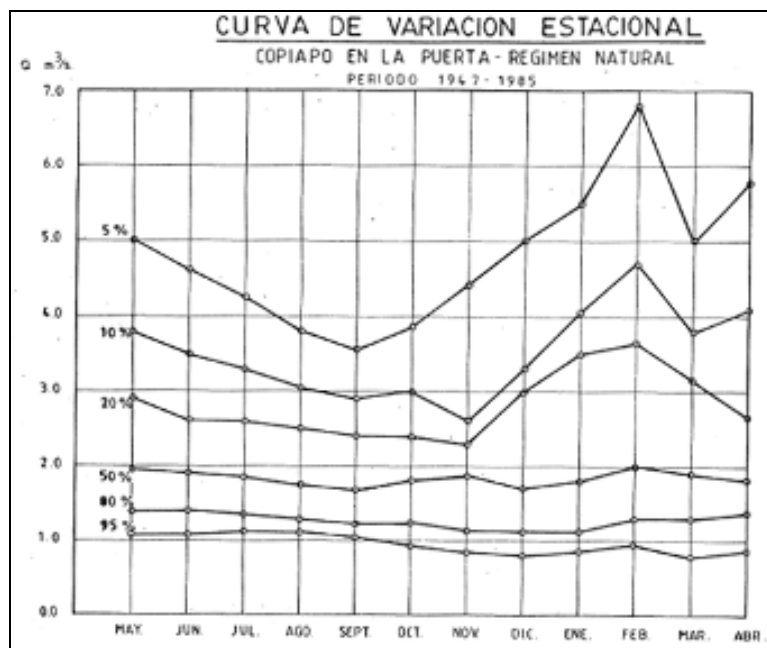
[Fuente: Álamos y Peralta (1987)]

Figura 3-10. Variación de precipitaciones con probabilidad de excedencia, estación Copiapó.



[Fuente: Álamos y Peralta (1987)]

Figura 3-11. Isoyetas anuales probabilidad de excedencia 50% cuenca del Río Copiapó [mm].



[Fuente: Álamos y Peralta (1987)]

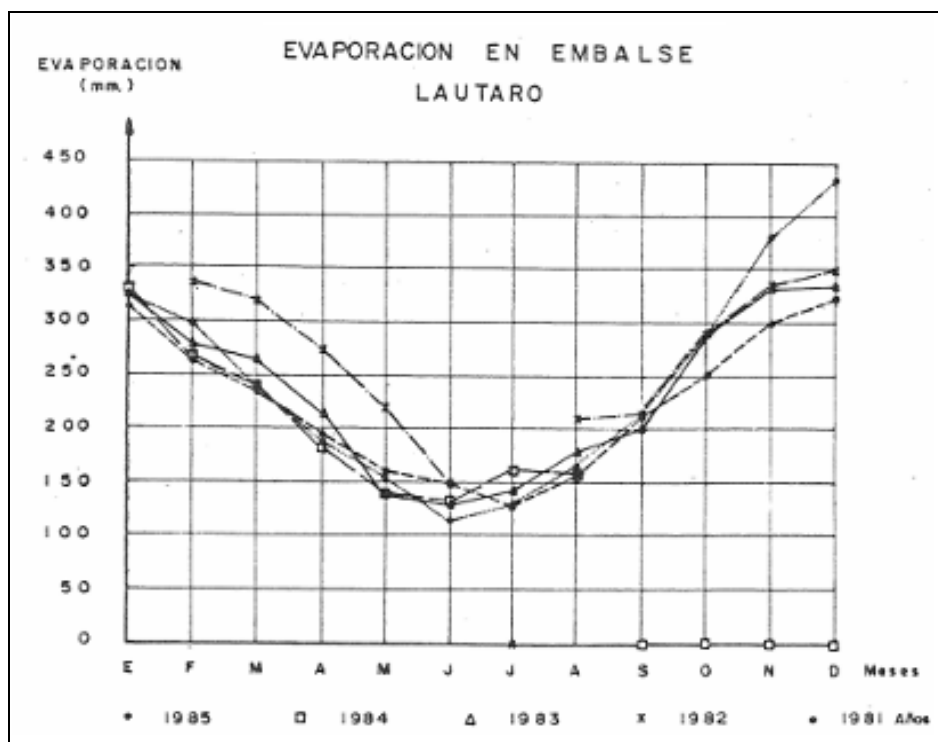
Figura 3-12. Caudales medios mensuales en régimen natural en Copiapó en La Puerta, con probabilidad de excedencia.

Tabla 3-15. Principales crecidas registradas.

| Estación Pulido en Vertedero | | Estación Copiapó en Pastillo | |
|------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|
| Fecha | Caudal [m ³ /s] | Fecha | Caudal [m ³ /s] |
| 07-02-1972 | 12.5 | 20-12-1972 | 8.34 |
| 11-04-1980 | 8.0 | 20-01-1973 | 9.05 |
| 06-02-1981 | 10.4 | 12-04-1980 | 8.98 |
| 23-04-1983 | 31.7 | 13-01-1981 | 9.02 |
| 11-01-1985 | 6.8 | 01-07-1983 | 32.8 |

[Fuente: Álamos y Peralta (1987)]

La evaporación en el Embalse Lautaro fue medida entre los años 1981 y 1985, con un promedio de 2.835 mm/año. Las mediciones de evaporación se muestran en la Figura 3-13, donde se puede apreciar que los valores varían poco a lo largo de los años.



[Fuente: Álamos y Peralta (1987)]

Figura 3-13. Evaporación en el Embalse Lautaro.

Hidrogeología

En la Tabla 3-16 se presenta una estimación del volumen del acuífero y del agua almacenada. Esto fue obtenido mediante un análisis de los niveles, de la geología y de la campaña geofísica realizada.

El acuífero es recargado principalmente por la infiltración en el Río Copiapó y sus afluentes, así como por su sistema de riego. La descarga se debe a las extracciones, los afloramientos y a la evapotranspiración en las zonas de vegas. La recarga proveniente de las quebradas laterales es poco importante en comparación con las fuentes mencionadas.

El acuífero tiene una alta transmisividad, lo cual genera un vaciamiento pronunciado hacia aguas abajo cuando la recarga superficial disminuye. La Figura 3-14 muestra una relación entre la transmisividad del acuífero y el caudal específico. Los almacenamientos estimados se encuentran en el rango 0,16-11%.

Tabla 3-16. Volúmenes de acuífero y embalsado por sectores ($S_y=0,16-11\%$).

| Sector | Volumen acuífero [Mm^3] | Volumen agua [Mm^3] |
|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Manflas – Jorquera Pulido | 7.036 | 704 |
| Lautaro – La Puerta | 2.653 | 265 |
| La Puerta – Mal Paso | 4.828 | 485 |
| Mal Paso – Copiapó | 7.225 | 723 |
| Copiapó – Piedra Colgada | 15.212 | 1.521 |
| Piedra Colgada – Angostura | 20.584 | 2.058 |
| Total | 57.558 | 5.726 |

[Fuente: Álamos y Peralta (1987)]

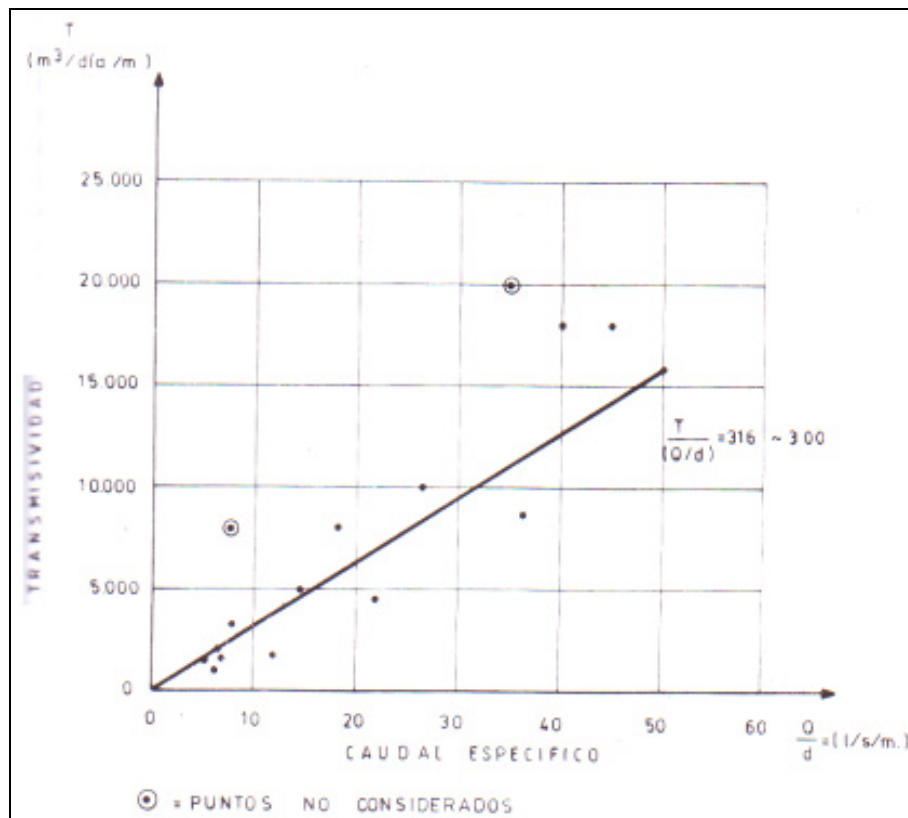
La infiltración en los cauces se estimó en distintos sectores tomando como base la expresión ajustada entre caudal e infiltración generada en el estudio de Uri Hammer y Asociados (1980) para el sector entre La Puerta y Angostura, la cual fue adaptada para el resto de los otros sectores del valle (ver Figura 3-2 del presente informe).

La infiltración en el sistema de riego se estimó para los canales matrices mediante tasas de infiltración como un 2,5-5,0% del caudal de entrada, por kilómetro. Para los predios se calculó la infiltración como el 50% de la diferencia entre la tasa de riego y la evapotranspiración real

del cultivo para los sectores regados por surcos o bordes. Para el riego por goteo se calculó como el 100% de dicha diferencia. La infiltración en los canales secundarios se estimó como un valor similar a la obtenida en los predios regados por surcos o bordes.

La infiltración de la lluvia se asumió nula debido a que éstas son escasas y no alcanzan a llegar a la napa.

Las principales recuperaciones del río se producen en los tramos San Antonio-La Puerta, Qda. Cerrillos-Mal Paso, Copiapó, Piedra Colgada y en la parte baja del valle.



[Fuente: Álamos y Peralta (1987)]

Figura 3-14. Relación entre caudal específico y transmisividad.

Demandas de agua

Al analizar la situación del regadío se obtuvo que existía a la fecha un total de 7.931 ha cultivadas en todo el valle, y que habilitando las tierras con limitaciones moderadas esta cantidad puede llegar a 11.159 ha, y al habilitar las tierras con limitaciones más severas se

llega a 17.850 ha. Las eficiencias de riego predial consideradas para los distintos cultivo se presentan en la Tabla 3-17, y las tasas de riego estimadas en este estudio se muestran en la Tabla 3-18.

Tabla 3-17. Eficiencias de riego predial según tipos de cultivo.

| Cultivo | Eficiencia [%] |
|--------------------|-----------------------|
| Hortalizas | 50 |
| Praderas | 45 |
| Frutales | 45 |
| Parronales (goteo) | 80 |
| Cereales | 50 |

[Fuente: Álamos y Peralta (1987)]

Tabla 3-18. Tasas de riego por sector.

| Rubro | Método de riego | Tasa de riego por sector [m³/há/año] | | | | | |
|--------------|------------------------|--|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Hortalizas | Surco | 18.694 | 16.994 | 14.010 | 15.196 | 14.278 | 13.602 |
| | Borde/ Tendido | 43.256 | 39.322 | 32.936 | 35.382 | 34.093 | 32.684 |
| Vides | Goteo | 12.745 | 11.586 | 9.998 | 11.003 | 10.670 | 10.614 |
| | Surco | 20.392 | 18.538 | 15.996 | 17.604 | 17.072 | 16.982 |
| | Borde | 22.658 | 20.598 | 17.773 | 19.560 | 18.969 | 18.869 |
| | Tasa ponderada | 14.342 | 13.038 | 11.251 | 12.382 | 12.007 | 11.994 |
| Frutales | Surco | 35.794 | 32.540 | 27.340 | 31.618 | 30.332 | 32.882 |
| Matorrales | - | 3.066 | 3.066 | 3.066 | 3.066 | 3.066 | 3.066 |
| Vegas | - | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 |

[Fuente: Álamos y Peralta (1987)]

Respecto del agua potable, se realizaron proyecciones del consumo en las principales localidades que son Tierra Amarilla, Copiapó, Caldera y Chañaral. Las demandas para usos industriales provienen de la fundación Paipote y algunas plantas concentradoras.

La explotación del acuífero hacia 1987 alcanzaba los 46 hm^3 al año, es decir, $1,46 \text{ m}^3/\text{s}$.

Modelación y resultados

En este estudio la cuenca se dividió en 6 sectores que fueron modelados de manera independiente mediante un modelo de diferencias finitas programado en FORTRAN. Estos sectores son:

1. Río Manflas, Jorquera, Pulido, y Río Copiapó hasta embalse Lautaro.
2. Embalse Lautaro – La Puerta
3. La Puerta – Mal Paso (2 subsectores, *3a* y *3b*)
4. Mal Paso – Copiapó (2 subsectores, *4a* y *4b*)
5. Copiapó – Piedra Colgada
6. Piedra Colgada – Angostura

La primera calibración se hizo en base a los niveles de los pozos para el período 1962-1986 (25 años), se modificaron los parámetros para hacer coincidir las recargas y afloramientos con los entregados por el modelo hidrológico. El balance de masa obtenido para el período 1962-1986 se presenta en la Tabla 3-19.

Se realizó una simulación para un período de 50 años utilizando la serie histórica existente a la fecha del estudio, la cual contiene una sequía altamente importante con una probabilidad de excedencia de más de un 90%. Para esta simulación se supuso que se tendrá una superficie cultivada futura de 13.117 ha y que la totalidad de ésta producirá uva de exportación.

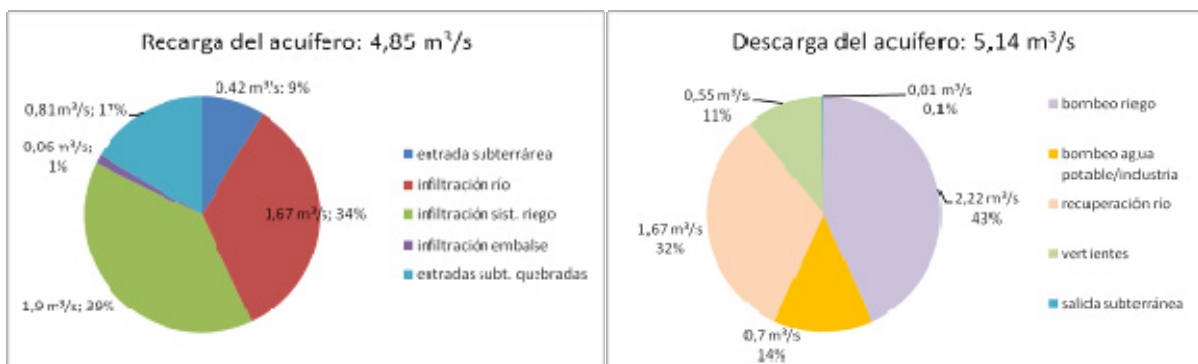
Del modelo se estimó que los niveles variarían recién a partir de la junta con la Quebrada de Paipote y en un orden de magnitud de 30 m. Aguas abajo de Mal Paso se espera obtener una disminución en las recuperaciones del río.

El balance de masa promedio para los 50 años de simulación se muestra en la Figura 3-15, con una disminución en el almacenamiento de $0,19 \text{ m}^3/\text{s}$ en promedio. El balance de masa tuvo una discrepancia de $0,09 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tabla 3-19. Balance hídrico por sector período 1962-1986, en hm³.

| Sector | 1 | 2 | 3a | 3b | 4a | 4b | 5 | 6 |
|--|------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Entradas subterráneas valle desde aguas arriba | 337 | 898 | 191 | 525 | 452 | 532 | 507 | 437 |
| Entradas subterráneas Qdas laterales | 4 | 7 | 15 | 15 | 27 | 177 | 0 | 42 |
| Infiltración ríos | 560 | 21 | 370 | 177 | 36 | 99 | 178 | 0 |
| Infiltración sistema de riego | 46 | 245 | 88 | 88 | 115 | 87 | 128 | 92 |
| Infiltración embalse Lautaro | 0 | 130 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total recarga | 947 | 1.301 | 664 | 805 | 630 | 895 | 813 | 571 |
| Descarga subterránea hacia aguas abajo | 944 | 226 | 623 | 498 | 553 | 427 | 436 | 8 |
| Bombeo | 13 | 48 | 27 | 57 | 75 | 162 | 133 | 85 |
| Afloramiento / recuperación río | 0 | 1.030 | 0 | 225 | 0 | 294 | 206 | 498 |
| Variación almacenamiento | 12 | 23 | -10 | 5 | 6 | 1 | 22 | 23 |
| Total descarga + var. almacenamiento | 969 | 1.327 | 640 | 785 | 634 | 884 | 797 | 614 |

[Fuente: Álamos y Peralta (1987)]



[Fuente: Modificado de Álamos y Peralta (1987)]

Figura 3-15. Balance de masa promedio en el acuífero de Copiapó obtenido en la simulación.

En este estudio se obtuvo como conclusión que el valle del Río Copiapó poseía un gran embalse con una capacidad de regulación poco aprovechada, y que puede ser explotado por los próximos 50 años incluso en condiciones de sequía extrema sin obtener descensos importantes en los niveles, pero afectando la recuperación en el río en algunos sectores.

El principal aporte de este estudio fue la construcción del primer modelo numérico del acuífero de la zona, lo cual permitió realizar simulaciones que incluyeran el comportamiento dinámico del sistema y su respuesta frente a un escenario de explotación. La extensa revisión de antecedentes incluida y la realización de nuevas mediciones entrega información importante de la zona, como lo son la infiltración y los requerimientos hídricos de los cultivos.

El estudio tiene una mirada optimista de la situación de los recursos hídricos en la cuenca en parte por las abundantes lluvias ocurridas en los años anteriores. De acuerdo a este estudio el acuífero podría resistir sin mayores impactos durante 50 años de un bombeo más intenso que el registrado en esa fecha, lo cual no ha ocurrido en la realidad. El modelo numérico desarrollado, que es sin duda una mejora sustantiva respecto de las proyecciones hechas por Uri Hammer, divide el acuífero en demasiadas zonas que se empalman entre sí mediante bordes de altura constante, lo cual podría estar distorsionando el cálculo de los efectos del bombeo y estar manteniendo los niveles altos de manera artificial.

3.1.6 Álamos y Peralta para Cía. Minera Mantos Blancos (1994). Estudio Hidrogeológico General Sector Copiapó-Piedra Colgada

Este estudio consiste en una recopilación de la información existente para el acuífero en el sector Copiapó – Piedra Colgada, y tuvo por objetivo ofrecer un resumen de los antecedentes existentes para este sector, y contrastar los caudales que la Minera Mantos Blancos quería extraer, con las condiciones de recarga del acuífero.

La mayor parte de la información presentada provino del estudio de Álamos y Peralta (1987) cuya revisión se encuentra en la sección 3.1.5.

Como resumen de las características hidrogeológicas de este sector, se puede mencionar que el basamento en el sector de Bodega se encuentra entre los 0-20 msnm, mientras que en la parte baja alcanza los 100-200 metros bajo el nivel del mar. El espesor del relleno varía entre 80 metros en los extremos y 400 metros en el centro de la cuenca para el sector de Bodega.

El material se compone de rellenos aluviales tipo gravas y arenas redondeadas. La transmisividad varía entre los 2.000-20.000 m³/día/m, el almacenamiento se estima en un 10% y el caudal específico varía entre 4 y 32 L/s/m.

Se concluye que en este sector habría una recarga de 28,8 hm³/año, y una descarga de 33,4 hm³/año.

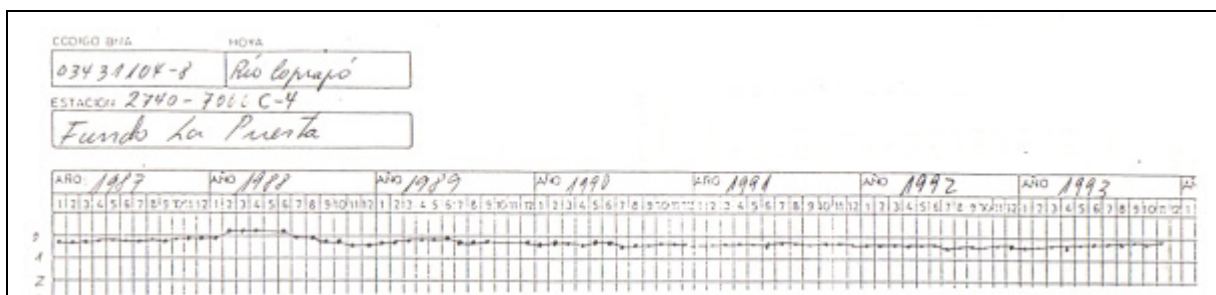
Este estudio no aporta nuevos antecedentes debido a que consiste más bien en un trabajo recopilatorio de los estudios y antecedentes disponibles a la fecha. Su valor radica en ofrecer un resumen de la información existente en ese momento, resaltando los resultados y estimaciones de las principales variables hidrológicas.

3.1.7 DGA (1994). Situación de los Recursos Hídricos III-IV Regiones Enero – Diciembre 1993

Este estudio hace una evaluación de la situación de los recursos hídricos en distintas cuencas de la III y IV Región para el año 1993. Esta evaluación consiste en la comparación de mediciones de precipitación y de caudal para ese año, con valores críticos que indican oficialmente la existencia de sequía extrema en una cuenca de acuerdo a la Resolución N° 39 de 9 de Febrero de 1984.

Las estaciones meteorológicas consideradas en el análisis son Estación Copiapó y Estación Embalse Lautaro. En ambas se tienen precipitaciones medias mensuales menores a los valores críticos (i.e. las precipitaciones acumuladas son menores al 50% de la media estadística). Respecto de los caudales, se incluyó la estación fluviométrica Copiapó en La Puerta, donde igualmente se obtuvo mediciones menores que el valor crítico oficialmente establecido. Es decir, se tendría una sequía extrema en la hoya del Río Copiapó de acuerdo a los criterios que establece la Resolución N°39 de 1984. Estos cálculos se realizaron en base a promedios diarios acumulados para las estaciones pluviométricas (1961-1990).

Luego de analizar estadísticas de tres pozos de observación, se indica además que la napa no ha sufrido variaciones importantes desde 1987 a 1993. Tal como se muestra en la Figura 3-16 para el pozo Fundo La Puerta, los niveles se han mantenido estables en el período señalado.



[Fuente: DGA (1994)]

Figura 3-16. Niveles estáticos en pozo Fundo La Puerta 1987-1993.

Por último, este estudio presenta datos mensuales del volumen del embalse Lautaro para el período 1987-1983. Estos datos fueron agrupados con los reportados en los Pronósticos de Disponibilidad de Agua en la sección 3.1.22.

En este estudio queda en manifiesto las condiciones áridas de la cuenca del Río Copiapó, un aspecto que ha sido también analizado en antecedentes anteriores y que tiene relevancia para los diferentes usuarios del recurso hídrico. En cuanto a antecedentes, la mayoría de la información presentada en este estudio se encuentra disponible en otras fuentes.

3.1.8 IPLA para DGA (1994). Análisis de Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile, Regiones III-IV

Este estudio se realizó para todo el territorio nacional y entrega una estimación de las demandas y usos del recurso hídrico para las principales cuencas del país. Para el caso de la cuenca del Río Copiapó, estas demandas se proyectaron hasta el año 2017. Los usos del recurso hídrico considerados en este estudio son el uso agrícola, para agua potable, industrial, minero y para generación de energía.

La metodología para estimar la demanda agrícola se basó en un catastro de las superficies cultivadas según tipo de cultivo, en los requerimientos hídricos de estos cultivos y en las pérdidas por evapotranspiración e infiltración.

De acuerdo al estudio, en 1993 el valle contaba con 6820 há cultivadas, es decir, un 86% de la superficie reportada en el estudio de Álamos y Peralta (1987). Esto se debe a la disminución de los cultivos de temporada producto de una menor disponibilidad de agua en el río. La evaporación real fue calculada para cada tipo de cultivo a nivel mensual. Estos valores se presentan en la Tabla 3-20.

Se estimaron también las eficiencias de cada sistema de riego y la tasa de participación que cada uno tiene en el valle. Estos valores se presentan en la Tabla 3-21. La demanda agrícola para 1993 se estimó en 74,5 hm³/año, es decir, aproximadamente 2,36 m³/s.

La extracción de agua subterránea para agua potable se estimó en un caudal promedio de 335,1 L/s, y las pérdidas del sistema de distribución se estimaron en un 54,5%. La demanda de agua para uso industrial y minera se estimó en 18.340 m³/mes (aproximadamente 7 L/s).

Tabla 3-20. Tasas de evapotranspiración real en el valle del Río Copiapó [mm/mes].

| Cultivo | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Plantaciones frutales | | | | | | | | | | | | |
| Parron vid de mesa | 136 | 106 | 72 | 31 | 0 | 0 | 0 | 34 | 50 | 91 | 114 | 128 |
| Duraznos | 175 | 130 | 108 | 68 | 0 | 0 | 0 | 43 | 78 | 129 | 147 | 164 |
| Olivo | 136 | 114 | 100 | 73 | 48 | 39 | 43 | 52 | 73 | 99 | 106 | 128 |
| Paltos | 156 | 130 | 115 | 83 | 56 | 45 | 54 | 65 | 84 | 114 | 123 | 146 |
| Limoneros | 136 | 114 | 100 | 73 | 48 | 39 | 43 | 52 | 73 | 99 | 106 | 128 |
| Cultivos otoño-invierno | | | | | | | | | | | | |
| Trigo/cebada | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22 | 34 | 56 | 95 | 160 | 155 | 73 |
| Cultivos primavera-verano | | | | | | | | | | | | |
| Maíz | 224 | 163 | 86 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 53 | 75 | 175 |
| Papas | 165 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 39 | 94 | 172 | 193 |
| Hortalizas surtidas | 161 | 101 | 26 | 28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 70 | 95 | 133 |
| Praderas de siembra | | | | | | | | | | | | |
| Alfalfa | 175 | 146 | 129 | 83 | 44 | 36 | 43 | 52 | 73 | 122 | 147 | 164 |

[Fuente: IPLA (1994)]

Tabla 3-21. Eficiencias y tasas de participación de sistemas de riego.

| Cultivos | Riego por surco | | Riego por goteo | | Riego californiano | | Riego por tendido | |
|---------------------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|--------------------|----------------|-------------------|----------------|
| | Participación [%] | Eficiencia [%] | Participación [%] | Eficiencia [%] | Participación [%] | Eficiencia [%] | Participación [%] | Eficiencia [%] |
| Plantaciones frutales | | | | | | | | |
| Parron vid de mesa | | 15 50 | 85 | 90 | 0 | 60 | 0 | 35 |
| Duraznos | | 100 50 | 0 | 90 | 0 | 60 | 0 | 35 |
| Olivo | | 100 50 | 0 | 90 | 0 | 60 | 0 | 35 |
| Paltos | | 30 50 | 70 | 90 | 0 | 60 | 0 | 35 |
| Limoneros | | 30 50 | 70 | 90 | 0 | 60 | 0 | 35 |
| Cultivos otoño-invierno | | | | | | | | |
| Trigo/cebada | 0 | 45 | 0 | 90 | 0 | 60 | 100 | 35 |
| Cultivos primavera-verano | | | | | | | | |
| Maíz | | 100 50 | 0 | 90 | 0 | 60 | 0 | 35 |
| Papas | | 100 50 | 0 | 90 | 0 | 60 | 0 | 35 |
| Hortalizas surtidas | | 100 50 | 0 | 90 | 0 | 60 | 0 | 35 |
| Praderas de siembra | | | | | | | | |
| Alfalfa | 0 | 45 | 0 | 90 | 0 | 60 | 100 | 35 |

[Fuente: IPLA (1994)]

En el momento de su publicación este estudio entregaba una proyección de la demanda futura de los recursos hídricos de la cuenca del Río Copiapó, sin embargo para efectos del presente proyecto estas proyecciones no tienen la misma utilidad dado el tiempo transcurrido desde su publicación y los cambios experimentados en el uso del recurso. La información generada en este estudio relacionada con los usos del agua y las demandas de los distintos sectores ha sido usada en varios estudios posteriores, y por esto el estudio sirve como fuente original respecto de algunas de estas metodologías.

3.1.9 Álamos y Peralta para DGA (1995). Análisis y Evaluación de los Recursos Hídricos en el Valle del Río Copiapó

El objetivo de este estudio es entregar una visión global de la situación de los recursos hídricos en la cuenca del Río Copiapó. En particular, se analiza su evolución y comportamiento en los años (1985-1995) desde la confección del estudio anterior de Álamos y Peralta para DGA (1987), el cual constituye el principal antecedente en que este estudio se basa. La información utilizada fue actualizada a 1995, y ante la ausencia de nuevos antecedentes se toma como base el estudio anterior. Se incluye además un catastro detallado de los pozos y los volúmenes de agua subterránea explotados en esa fecha.

El acuífero se dividió en 6 sectores, los cuales se analizaron en forma separada:

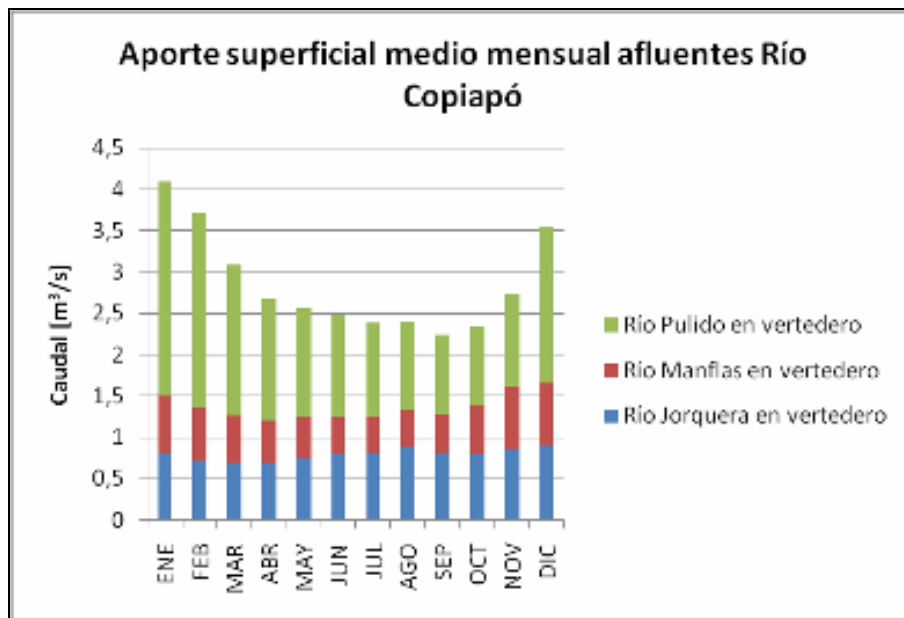
1. Sector aguas arriba del Embalse Lautaro
2. Sector Embalse Lautaro – La Puerta
3. Sector La Puerta – Mal Paso
4. Sector Mal Paso – Copiapó
5. Sector Copiapó – Piedra Colgada
6. Sector Piedra Colgada – Angostura

En cada sector se analizó:

- Volumen de agua subterránea embalsada.
- Volumen de agua subterránea extraída (anual).
- Superficie cultivada y demanda agrícola.
- Situación de los canales y riego superficial.
- Variación histórica de niveles freáticos (1986-1995).
- Catastro de pozos y situación de derechos de aprovechamiento.
- Caudal concedido y empleo del mismo.

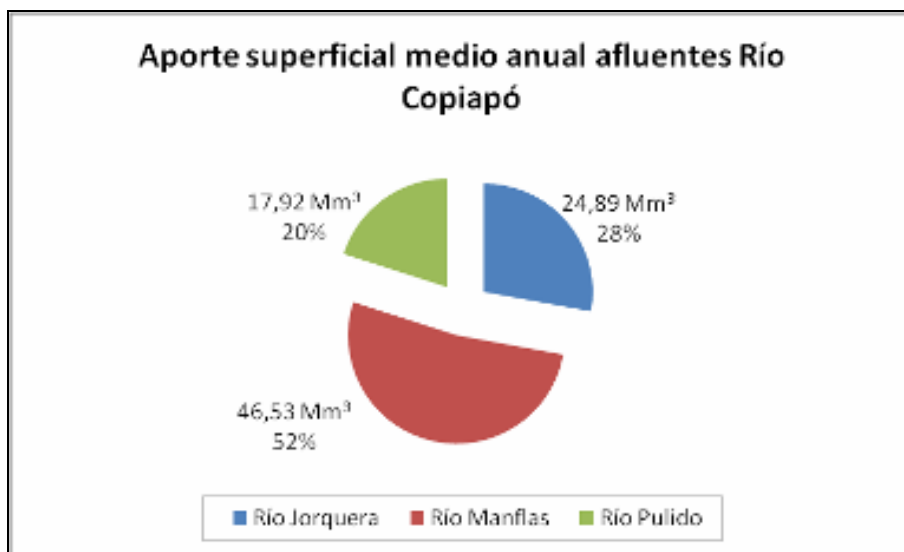
Hidrología

La principal recarga del Río Copiapó corresponde a sus afluentes los ríos Manflas, Jorquera y Pulido. En la Figura 3-17 se presenta el caudal medio mensual que ingresa al Río Copiapó, separado en los afluentes mencionados. La Figura 3-18 muestra la participación que tiene cada uno de estos ríos en el caudal medio anual.



[Fuente: Modificado de Álamos y Peralta (1995)]

Figura 3-17. Caudales medios mensuales superficiales de entrada al Río Copiapó.



[Fuente: Modificado de Álamos y Peralta (1995)]

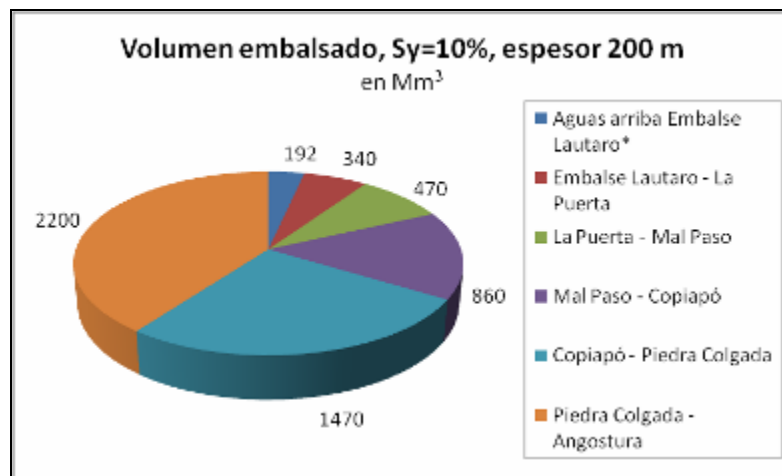
Figura 3-18. Caudal medio anual superficial de entrada al Río Copiapó.

Hidrogeología

El coeficiente de almacenamiento se obtuvo en parte de las pruebas de bombeo analizadas en 1986, y en parte de la calibración del modelo realizado para el estudio de 1987. Para reflejar la incertidumbre asociada a este parámetro se calcularon los volúmenes embalsados en los distintos sectores del valle usando coeficientes de almacenamiento de 5%, 10% y 15%, que corresponde al rango obtenido con las distintas metodologías. Los volúmenes embalsados se obtuvieron al multiplicar el volumen del acuífero por el coeficiente de almacenamiento.

Considerando los primeros 200 metros del acuífero y un coeficiente de almacenamiento de un 10% se tiene un total de 5.460 Mm³ en todo el acuífero. De ellos 1.860 Mm³ se encuentran aguas arriba de Copiapó y 3.400 Mm³ se encuentran aguas abajo. El volumen explotado aguas arriba de Copiapó asciende al 4,2% del volumen embalsado bajo estos supuestos, lo cual indicaría que no existe sobreexplotación del acuífero. La Figura 3-19 presenta el volumen almacenado en los distintos sectores del acuífero del Río Copiapó para un coeficiente de almacenamiento de un 10% y un espesor de 200 m en todos los sectores con excepción del primero. En el estudio se estiman estos valores para coeficientes de almacenamiento de 5%, 10% y 15%, y espesores de 100, 200 y 300 metros.

Para realizar el balance de masa de los distintos sectores en los que se ha dividido el acuífero se estimó la recarga y descarga subterráneas mediante la expresión de Darcy. Los valores para la transmisividad se obtuvieron de pruebas de bombeo o del estudio anterior (Álamos y Peralta, 1987). Los rangos para el valor de la transmisividad en cada sector se presentan en la Tabla 3-22.



[Fuente: Modificado de Álamos y Peralta (1995)]

Figura 3-19. Volumen embalsado en acuífero del Río Copiapó para un coeficiente de almacenamiento de 10% y un espesor de 200 m.

Tabla 3-22. Rangos para la transmisividad.

| Sector | Valor mínimo [m ³ /día/m] | Valor máximo [m ³ /día/m] |
|------------------------------------|---|---|
| Río Jorquera | 2700 | 3700 |
| Río Pulido | 800 | 1100 |
| Río Manflas | 800 | 1000 |
| Sección aguas arriba de junta | 2500 | 3000 |
| Sector Embalse Lautaro – La Puerta | 660 | 14010 |
| Sector La Puerta – Mal Paso | 1000 | 8000 |
| Sector Mal Paso - Copiapó | 5000 | 8000 |
| Sector Copiapó – Piedra Colgada | 700 | 5000 |
| Piedra Colgada - Angostura | 3000 | 4000 |

[Fuente: Álamos y Peralta (1995)]

Demanda

La demanda hídrica para riego utilizada en este estudio es la misma presentada en el estudio de IPLA (1994). Los derechos de aprovechamiento concedidos en 200 pozos del valle suman a la fecha (1994) un total de 13.157 L/s.

La red de canales en el valle del Río Copiapó se muestra en la Figura 3-20.

Resultados

Los principales resultados de este informe corresponden a los balances de masa realizados para los distintos sectores del valle del Río Copiapó, tanto para aguas superficiales como subterráneas. Estos balances fueron calculados en base a valores medios con registros de diversa extensión, las tasas de variación en el almacenamiento corresponde al período 1986-1995.

En 1995 la extracción de aguas subterráneas en el valle alcanzaba 125 mm³/año, es decir, aproximadamente 4 m³/s. Considerando una percolación media de un 15% de esta extracción se tiene una extracción neta de 3,4 m³/s, es decir, un valor muy similar a la recarga del acuífero. Se menciona la posibilidad de que pozos que actualmente no usan sus derechos lo hagan, lo que podría aumentar las extracciones hasta en un 200%.

Este estudio recomienda un tratamiento cuidadoso al acuífero aguas arriba de la ciudad de Copiapó debido a la cercanía entre las extracciones y la recarga, y se menciona el sector aguas abajo de Copiapó como no afectado mayormente por el bombeo y se recomienda su retiro de la zona de prohibición.

Tabla 3-23. Balances hídricos por tramos [L/s].

| | Aguas arriba Embalse Lautaro [l/s] | Embalse Lautaro - La Puerta [l/s] | La Puerta - Mal Paso [l/s] | Mal Paso - Copiapó [l/s] | Copiapó - Piedra Colgada [l/s] | Piedra Colgada - Angostura [l/s] |
|--------------------------------|---|--|---|---|---|---|
| Ingresos | 3.260 | 2.630 | 2.510 | 2.080 | 1.750 | 500 |
| Entradas superficiales | 2.840 | 1.410 | 2.420 | 1.230 | 800 | 130 |
| Entradas subterráneas | 420 | 1.000 | 40 | 600 | 530 | 370 |
| Aportes quebradas | | 20 | 50 | 250 | 200 | 0 |
| Filtraciones Embalse L. | 0 | 200 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Descarga aguas servidas | | | | | 220 | 0 |
| Salidas | 3.331 | 3.010 | 2.397 | 2.655 | 929 | 696 |
| Salidas superficiales | 2.320 | 2.420 | 1.230 | 1.040 | 130 | 150 |
| Salidas subterráneas | 800 | 40 | 600 | 530 | 370 | 10 |
| Evapotranspiración cultivos | 138 | 440 | 456 | 320 | 294 | 136 |
| Evapotranspiración vegas | 0 | 110 | 80 | 28 | 135 | 400 |
| Evap. Embalse Lautaro | 73 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Exportación de aguas | 0 | 0 | 0 | 300 | 0 | 0 |
| Usos mineros | 0 | 0 | 31 | 437 | 0 | 0 |
| Variación almacenamiento | -60 | -40 | -285 | -400 | -150 | 0 |

[Fuente: Álamos y Peralta (1995)]

Nota: La variación de almacenamiento se refiere al embalse o desembalse del acuífero producto de años de recarga o descargas que se manifiestan en los niveles históricos del nivel freático.

variables del balance dentro de los distintos sectores. Se hace patente en este estudio la necesidad de considerar el carácter cíclico de la recarga y tratar al embalse subterráneo de manera especial en las épocas de recarga.

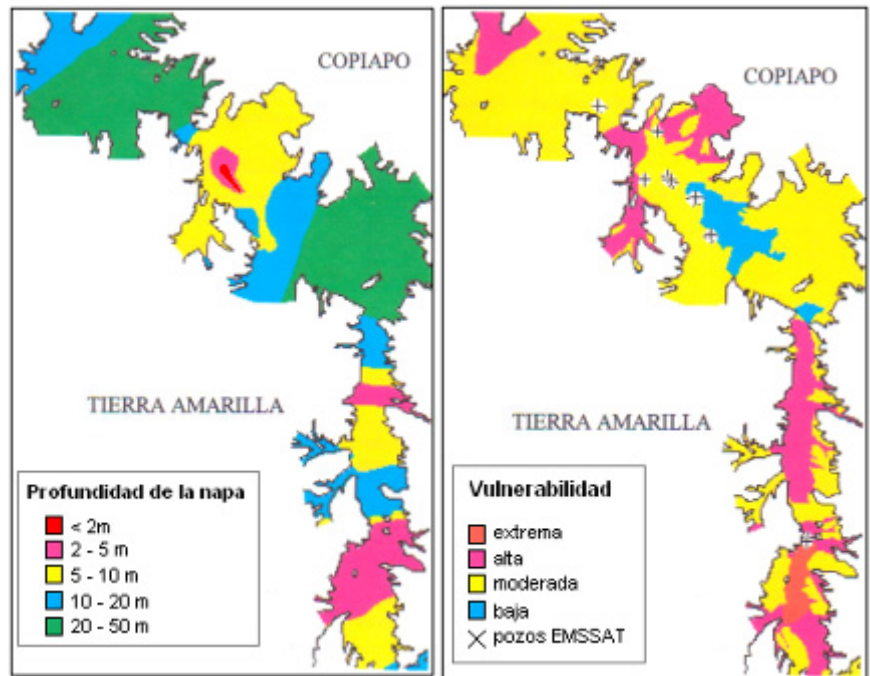
Dentro de la información generada para este estudio se incluye un catastro de pozos y de obras de riego. Muchos de los resultados obtenidos en este estudio son reutilizados en los estudios posteriores, ya sea como datos de entrada o como datos para validación.

3.1.10 DICTUC S.A. para EMSSAT S.A. (1997). Evaluación del Riesgo de Contaminación del Agua Subterránea Utilizada para Agua Potable en la Ciudad de Copiapó

En este estudio se analizó el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas usadas para agua potable en el valle del Río Copiapó. El riesgo de contaminación se obtuvo superponiendo tres coberturas geográficas de información diferente, mediante un SIG. La primera cobertura corresponde al grado de vulnerabilidad en distintos sectores del acuífero, la segunda se compone de las fuentes potenciales de contaminación, y la tercera indica la ubicación de los pozos de extracción de EMSSAT (actual Aguas Chañar) y las áreas del acuífero de donde proviene el agua extraída.

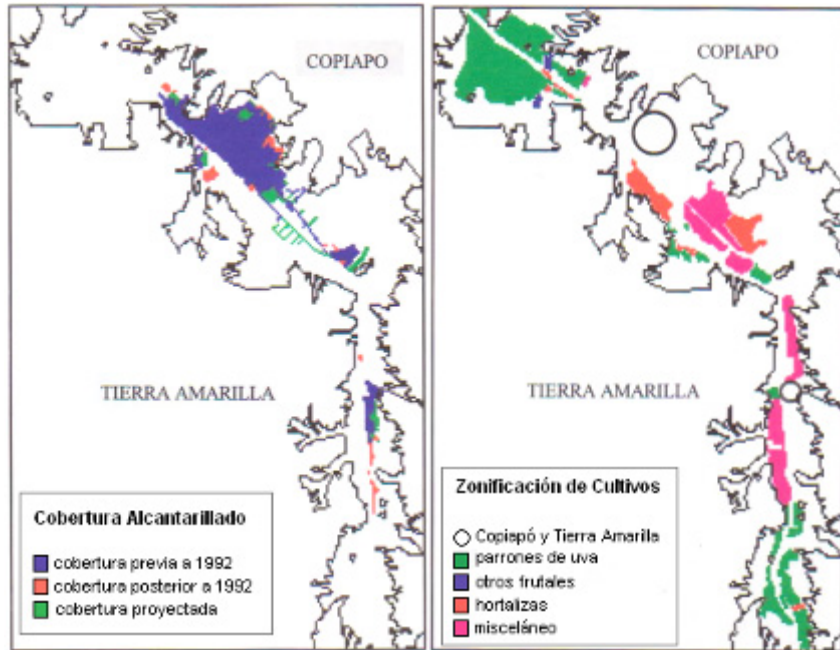
La vulnerabilidad se definió como una propiedad del medio poroso en función de su espesor, grado de consolidación y composición, e indica la dificultad con la que un contaminante vertido en la superficie puede llegar hasta el acuífero. La vulnerabilidad fue estimada con una metodología desarrollada por DICTUC que consiste en una adaptación a la realidad chilena del método propuesto por Foster e Hirata (1991), y que asigna puntajes de acuerdo a diversas propiedades del medio poroso para indicar finalmente el “grado de vulnerabilidad”, que puede ser despreciable, bajo, medio, alto o extremo. Para aplicar esta metodología se contó con extensa información litológica y estratigráfica de la zona, la cual se encuentra disponible en el informe. En la Figura 3-21 se presenta la profundidad de la napa en distintos sectores y la vulnerabilidad del acuífero, donde se aprecia que existen varios sectores de vulnerabilidad alta o extrema, principalmente aguas arriba de Copiapó en los sectores de Tierra Amarilla y Nantoco.

Se identificaron las posibles fuentes de contaminación en la zona, las cuales corresponden a relaves mineros, cultivos agrícolas, actividades industriales y zonas saneamiento in situ, entre otras. Se generó una cobertura digital con esta información. En la Figura 3-22 se puede apreciar que la zona de Nantoco no tenía cobertura de alcantarillado, por lo que el saneamiento se realizaba in situ. Se pueden apreciar también los tipos de cultivos que se plantaban en cada zona.



[Fuente: DICTUC S.A. (1997)]

Figura 3-21. Profundidad de la napa y vulnerabilidad del acuífero.



[Fuente: DICTUC S.A. (1997)]

Figura 3-22. Cobertura del alcantarillado y zonificación de cultivos.

Para conocer las zonas del acuífero de donde proviene el agua subterránea extraída de cada pozo se generó un modelo numérico del acuífero en el software Visual MODFLOW, en régimen permanente y utilizando los parámetros elásticos obtenidos en estudios anteriores realizados en esta zona (Álamos y Peralta, 1987). Con estos resultados fue posible cruzar la información de todas las coberturas generadas y clasificar el riesgo de contaminación en los pozos de extracción, tal como se presenta en la Tabla 3-24, la cual se basa en las extracciones reales promedio de los años 1994-1995.

Tabla 3-24. Riesgo de contaminación del acuífero del Río Copiapó.

| Recinto | Vulnerabilidad | Actividades potencialmente contaminantes | Riesgo |
|----------------|-----------------------|--|---------------|
| Nantoco | extrema | Saneamiento in situ, cultivos, cursos superficiales, relaves mineros | extremo |
| San Miguel | baja-moderada | Saneamiento in situ, cursos superficiales, relaves mineros | alto |
| P. Sierralta | baja-moderada | Saneamiento in situ, cursos superficiales, plantas mineras | intermedio |
| Vicuña | moderada | Saneamiento in situ, cursos superficiales, cultivos, bencineras | alto |
| Rosario | moderada | Saneamiento in situ, cursos superficiales, cultivos | alto |
| Circ. Maipu | alta | Saneamiento in situ, bencineras | extremo |

[Fuente: DICTUC S.A. (1997)]

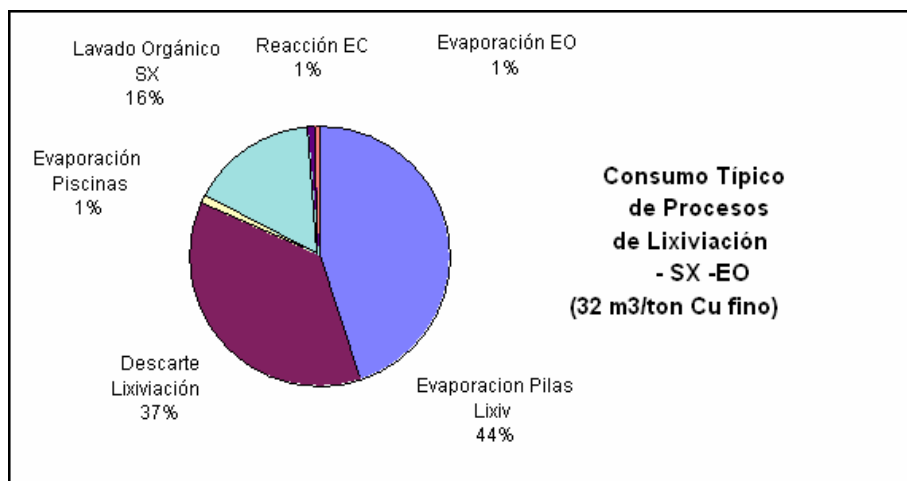
En este estudio se realizó un análisis de la vulnerabilidad del acuífero del valle del Río Copiapó y del riesgo que existe de que el agua subterránea extraída para ser utilizada como agua potable se vea contaminada. Se generaron antecedentes relacionados con estratigrafías y caracterización del medio poroso en función a la facilidad con que un contaminante puede acceder al acuífero desde la superficie. Se generó también un catastro completo de las principales actividades industriales en la zona, lo cual incluye plantas mineras, bencineras, e industrias manufactureras; se generó un catastro de los relaves mineros. Todos estos lugares de interés fueron localizados en un SIG, lo cual puede ser de interés al evaluar los usos del recurso hídrico en distintos sectores de la cuenca.

El modelo en MODFLOW es más bien sencillo y no está pensado para ser usado como herramienta de evaluación de la disponibilidad de los recursos hídricos en el valle, sino más

bien para el uso puntual de identificar las zonas de dónde proviene el agua extraída por los pozos.

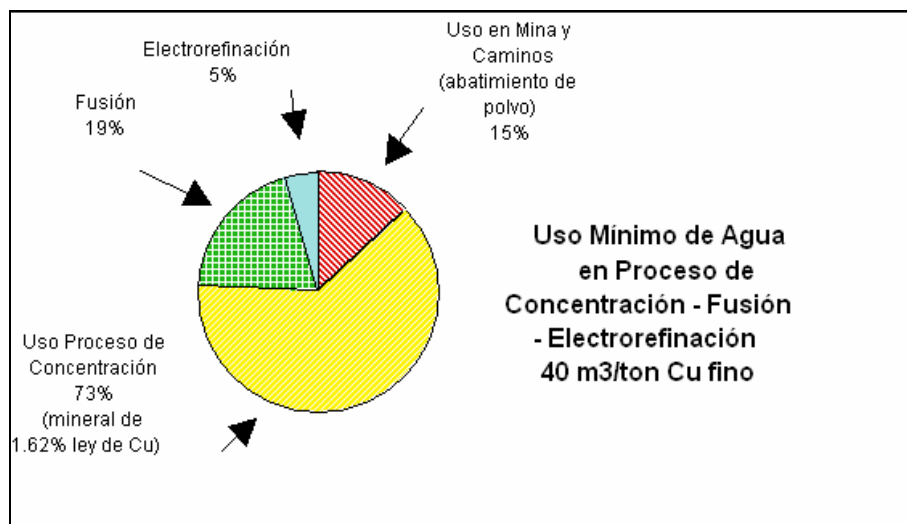
3.1.11 Gustavo Lagos (1997). Eficiencia del Uso del Agua en la Minería del Cobre

Este artículo publicado a través del Centro de Estudios Públicos trata sobre el uso del agua en la minería del cobre en Chile. Se estiman valores representativos del consumo específico de agua en distintos procesos de la minería del cobre, expresados en unidades de metros cúbicos por unidad de cobre fino producido. Estos valores se presentan para los procesos de lixiviación-Sx-EO y concentración-fusión-electrorrefinación en las figuras a continuación.



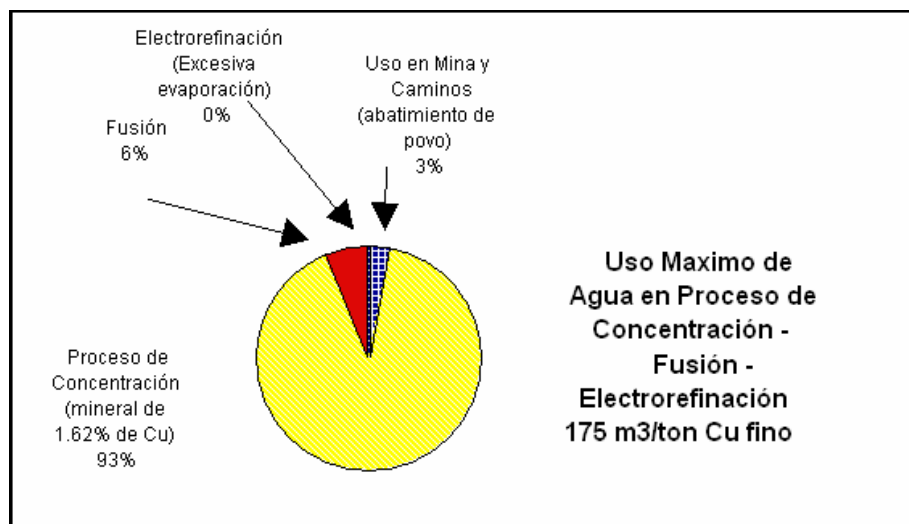
[Fuente: G. Lagos (1997)]

Figura 3-23. Consumo típico proceso Lixiviación-Sx-EO.



[Fuente: G. Lagos (1997)]

Figura 3-24. Consumo mínimo proceso Concentración-Fusión-Electrorrefinación.



[Fuente: G. Lagos (1997)]

Figura 3-25. Consumo máximo proceso Concentración-Fusión-Electrorrefinación.

La estimación de los consumos unitarios de agua en los principales procesos de la minería del cobre en Chile permite establecer una relación entre la producción de cobre de una mina y la cantidad de agua que ésta consume. De otros estudios revisados en este estudio se tiene la producción anual de las mineras que se ubican en la cuenca del Río Copiapó, además de proyecciones futuras de la producción de estas mineras, por lo que utilizando estimaciones de consumos unitarios se puede obtener el orden de magnitud de los requerimiento hídricos de la minería y una proyección de la demanda futura de agua por parte de esta industria.

3.1.12 SERNAGEOMIN (1999). Estudio Hidrogeológico del Valle del Río Copiapó, Segmento Embalse Lautaro – Piedra Colgada

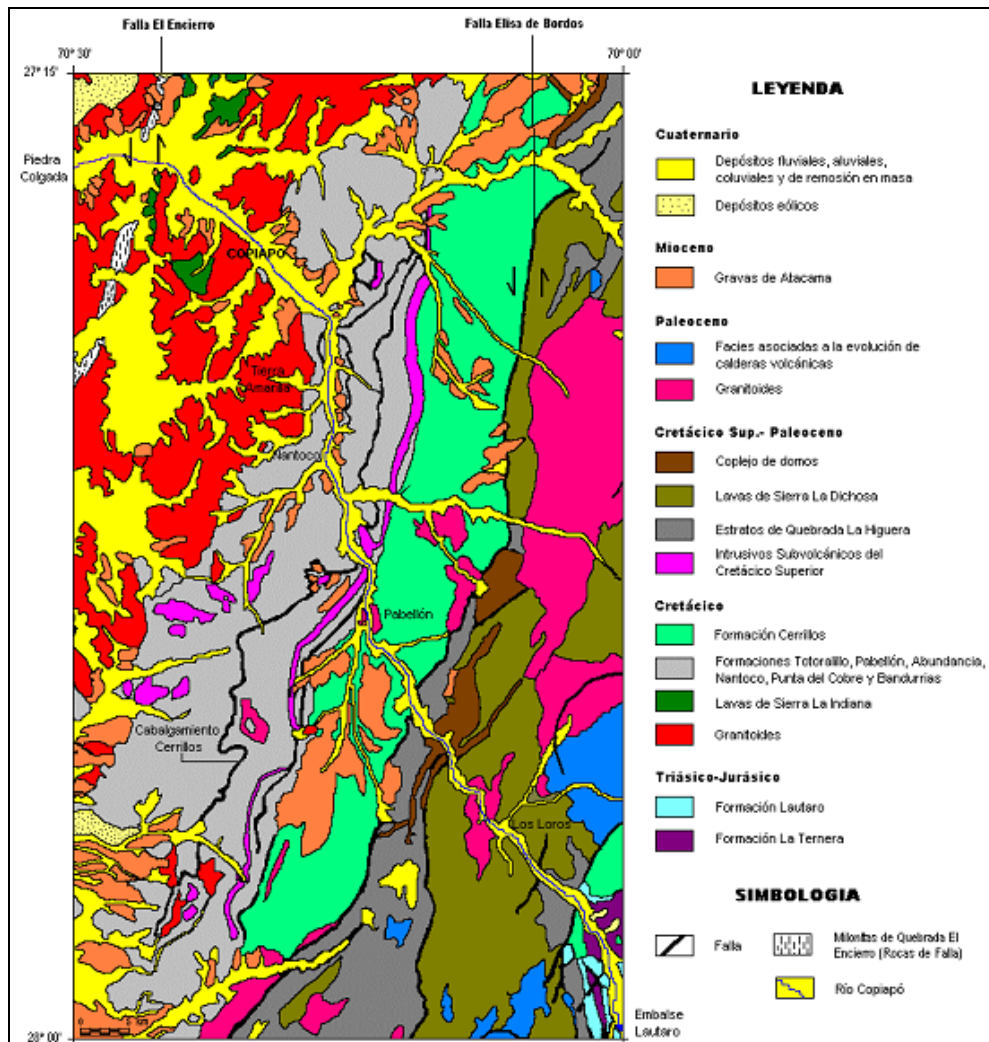
Este estudio, realizado dentro de un proyecto de cooperación técnica entre los gobiernos de Chile y Alemania, tiene por objetivo la identificación, delimitación y caracterización hidrogeológica de las unidades que componen el valle del Río Copiapó, en el segmento de 100 km ubicado entre el Embalse Lautaro y el sector de Piedra Colgada.

El estudio comprende una caracterización de los distintos depósitos sedimentarios de acuerdo a su capacidad para almacenar y transmitir flujo, un catastro de pozos en la zona, un análisis del riesgo de contaminación en el acuífero, el establecimiento de los niveles de calidad química del agua, un estudio isotópico, y la determinación de la geometría acuífera y las propiedades eléctricas de las unidades geológicas.

Geología

El basamento rocoso impermeable está representado por la cobertura Mesozoica, constituida por unidades depositadas durante el Ciclo Tectónico Andino como por eventos geológicos ocurridos durante el Cretácico superior-Paleoceno. La Figura 3-26 muestra las principales unidades geológicas del sector entre Los Loros y Copiapó.





Respecto de los depósitos no consolidados, la Tabla 3-25 presenta los tipos presentes en el sector Embalse Lautaro – Piedra Colgada. De acuerdo al estudio los acuíferos de gran importancia se presentan en los depósitos fluviales, fluviales en cauces actuales, y en secuencias del tipo sobreyacidas intercaladas de depósitos fluviolacustres.



[Fuente: SERNAGEOMIN (1999)]





Figura 3-26. Geología simplificada del sector Los Loros y Copiapó.

Tabla 3-25. Depósitos no consolidados en sector Embalse Lautaro – Piedra Colgada.

| Tipo depósito | Ubicación | Granulometría | Imagen |
|--|---|--|---|
| Dunas y paleodunas | Se ubican entre Tierra Amarilla y Piedra Colgada. Cubren relieves rocosos y depósitos no consolidados. | Desde arenas muy finas y a medias. |  |
| Depósito fluviales de cauces naturales | Actual zona de meandros del Río Copiapó. Incluye cauces activos y zonas de inundación del río. | Arenas gruesas, gravillas arenosas, gravas, ripios, bolones. |  |
| Depósitos lacustres y fluvioacustres | Planicies aguas arriba de zonas en que el río se estrecha. Los Loros-La Puerta, Copiapó, Piedra Colgada. | Limos, limos arcillosos, arenas finas a medias alternadas con niveles de gravilla y grava arenosa. |  |
| Depósitos de conos de deyección | En rocas ígneas en sector entre Los Loros-Hornito. | Mezclas de fragmentos rocosos de variados tamaños, englobados en escasa matriz del tipo gravilla, gravilla arenosa, arena. |  |
| Depósitos de conos aluviales | Fondo de quebradas menores tributarias. | Gravas y gravillas arenosas con ocasionales bloques. |  |
| Depósitos fluvioaluvionales | Depósitos no consolidados que rellenan extensos valles tributarios. Ej. Paipote, Carrizalillo, Nantoco, Chomonte. | Gravas y gravillas arenosas con abundantes niveles francamente arenosos y en ocasiones limoarenosos. |  |

[Fuente: SERNAGEOMIN (1999)]

Tabla 3-25. Depósitos no consolidados sector E. Lautaro – Piedra Colgada (continuación).

| Tipo depósito | Ubicación | Granulometría | Imagen |
|--|---|---|---|
| Depósitos fluviales | Engloba la mayor parte del relleno en el sector comprendido en el estudio. Cubre todo el ancho del valle. | Depósitos granulares, ripios, gravas y gravilla. Aguas abajo se encuentran secuencias más finas. |  |
| Depósitos de flujo de barro y detritos | Mayor desarrollo en segmento Embalse Lautaro – Villa del Cerro | Mezcla caótica de fragmentos líticos de variados tamaños. |  |
| Depósitos de flujos aluvionales antiguos | Afloran principalmente entre Paipote y Piedra Colgada. | Gravilla, bloques, barro, arena fina. |  |
| Depósitos fluviales a fluvioaluvionales de terrazas antiguas | Segmento Hornito-Paipote. | Gravas, gravillas mal seleccionadas, clastos heterocomposicionales, arenas, limos y arcillas. Elevada compacidad. |  |

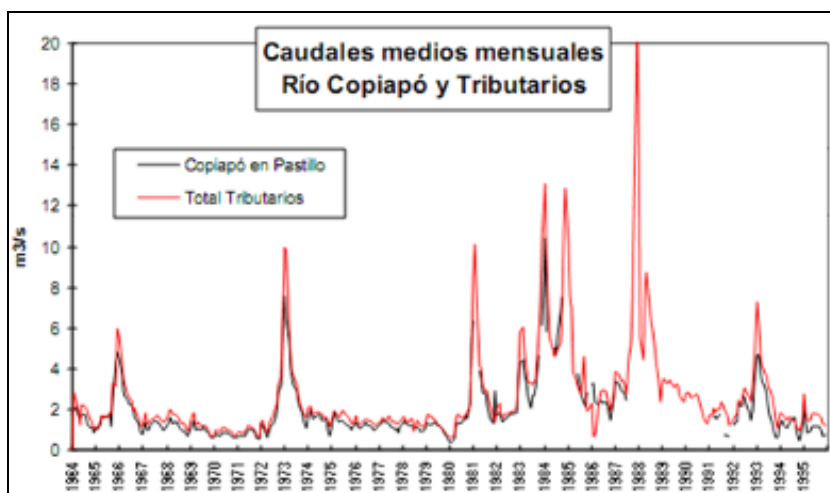
[Fuente: SERNAGEOMIN (1999)]

Geofísica

El estudio incluye una reinterpretación de los antecedentes geofísicos existentes mediante software especializado, lo cual permitió la construcción de un perfil transversal del basamento y el potencial hidrogeológico para el sector que comprende el estudio. En los sectores donde la interpretación geoelectrica resultó extremadamente variable en cuanto a la profundidad del basamento impermeable se realizó una intensa campaña de mediciones con gravímetro. El perfil del fondo impermeable y el potencial del acuífero obtenido en este estudio se muestra en la Figura 3-27.

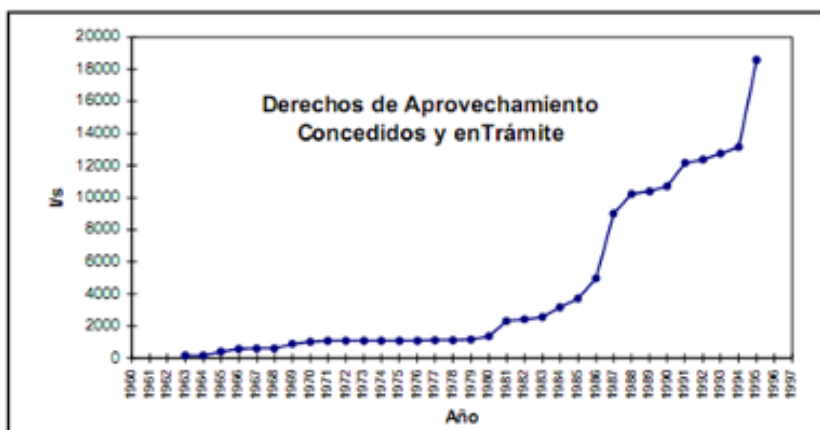
Recursos hídricos

La Figura 3-28 muestra los caudales medios mensuales en la estación Copiapó en Pastillo y la suma de los tributarios. Los derechos solicitados experimentaron un crecimiento bajo durante los años que duró la sequía, es decir, entre 1961 y principios de la década de 1980. Frente a los años de mayor abundancia que se produjeron luego de la sequía y los buenos resultados en las exportaciones agrícolas las solicitudes crecieron de forma considerable, tal como se aprecia en la Figura 3-29, en la se presentan un mapa con las curvas de igual precipitación, evaporación y escorrentía, esta figura está basada en el estudio de Álamos y Peralta (1987).



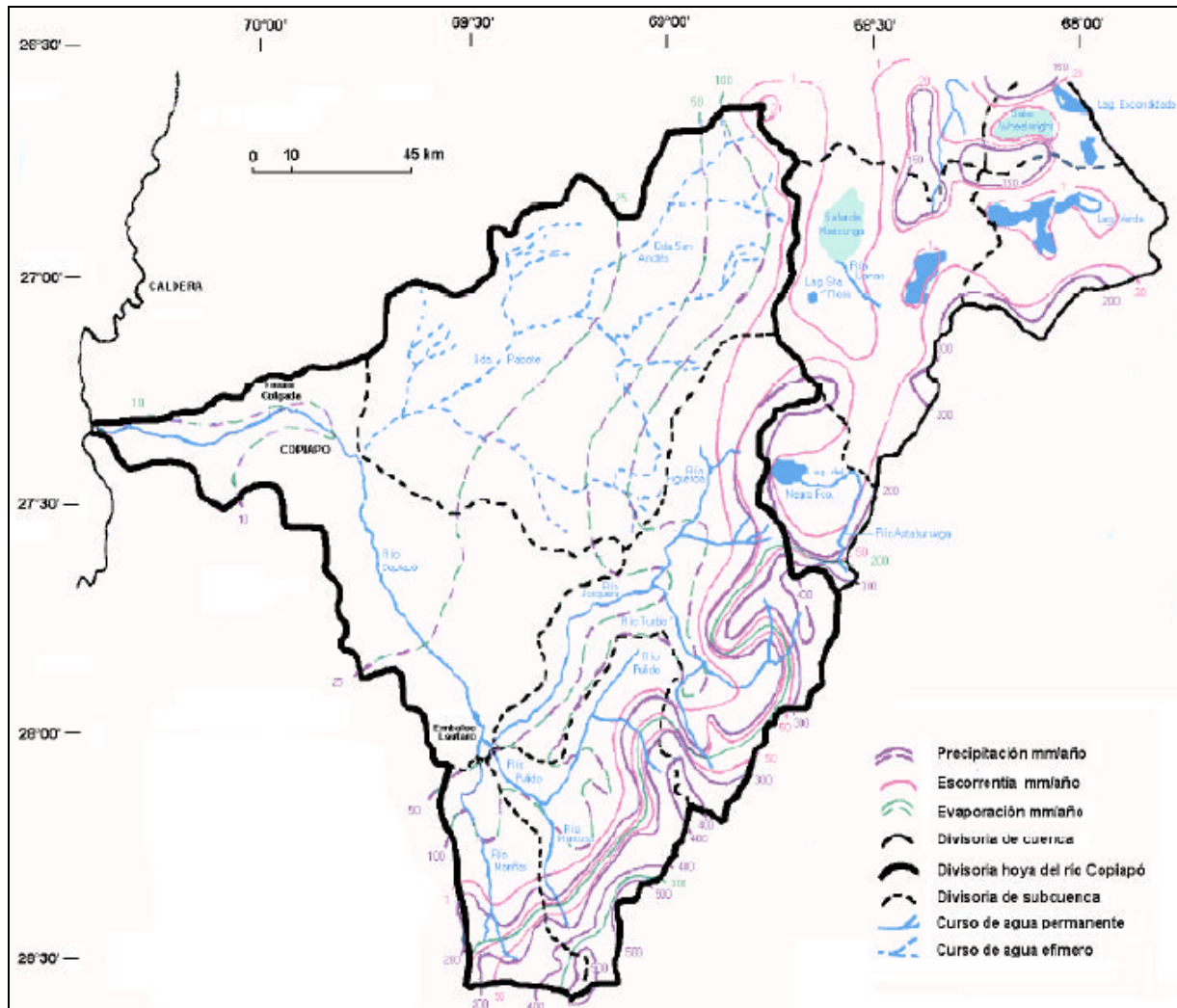
[Fuente: SERNAGEOMIN (1999)]

Figura 3-28. Caudales medios mensuales en Copiapó en Pastillo y suma de afluentes.



[Fuente: SERNAGEOMIN (1999)]

Figura 3-29. Evolución de los derechos de agua.



[Fuente: SERNAGEOMIN (1999)]

Figura 3-30. Mapa de curvas de igual precipitación, escorrentía y evaporación.

Este estudio comprende una completa caracterización hidrogeológica de las unidades geológicas existentes en el valle del Río Copiapó, además de una visión bastante integral del funcionamiento del sistema, lo cual incluye una revisión de antecedentes, la elaboración de un catastro, y la aplicación de diversas disciplinas como son la geofísica, la geoquímica y el análisis isotópico. Con esto, se dispone de información sobre los depósitos que contienen al acuífero y se facilita su comprensión global. La descripción de los aspectos generales y antecedentes de la cuenca es bastante completa y entrega una adecuada síntesis del estado del conocimiento del sector de interés.

3.1.13 DGA (2002). Catastro de Pozos y Norias Valle de Copiapó

Consiste en un catastro de 442 pozos y norias ubicados en toda la cuenca del Río Copiapó, incluyendo las quebradas laterales y las subcuencas de los principales afluentes del Río.

La información incluida en el catastro corresponde a las coordenadas UTM del pozo (datum PSAD1956), el predio y sector del valle en que se encuentra, el propietario, sus características geométricas y de diseño tales como diámetro, profundidad de perforación y habilitación; los niveles estáticos y dinámicos, el caudal de explotación, el estado actual del pozo, los tiempos y caudales de explotación en distintos períodos del año.

Un catastro de pozos con la cantidad de información y el nivel de detalle encontrado acá resulta un aporte importante para conocer el nivel de utilización que tienen los recursos hídricos subterráneos en la cuenca, y la distribución espacial que presenta este patrón de uso.

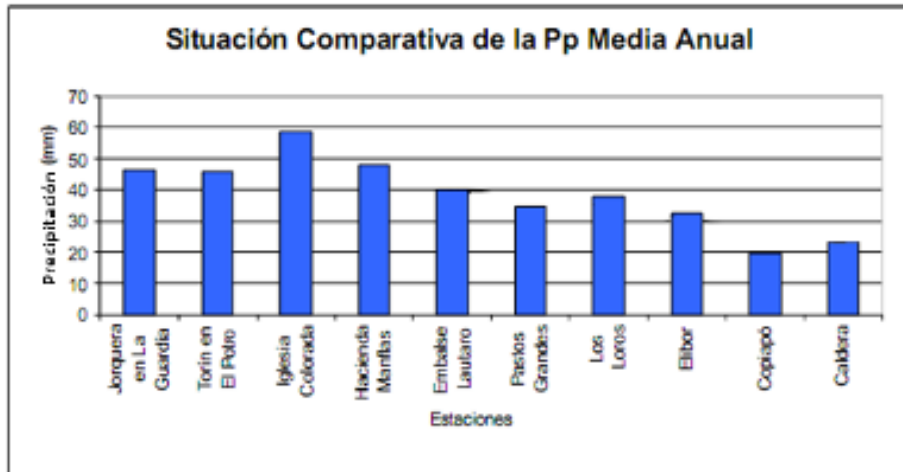
3.1.14 DGA (2003). Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos del Valle del Río Copiapó

Comprende la confección de un modelo de diferencias finitas del acuífero del Río Copiapó utilizando el software de modelación hidrogeológica Visual MODFLOW. Este modelo tiene por objetivo su utilización como herramienta de apoyo en la toma de decisiones, dentro del marco del concepto de gestión integrada de los recursos hídricos de la Región de Atacama.

Modelo conceptual

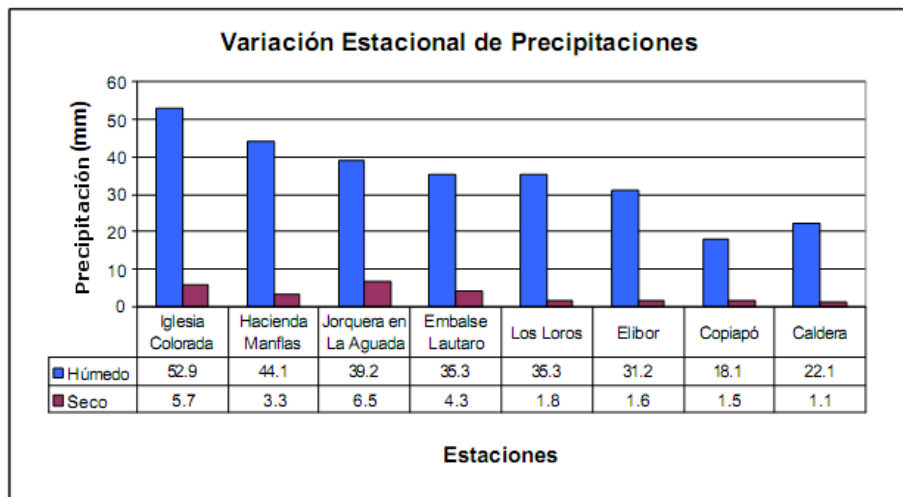
Para el desarrollo del modelo conceptual se contó con los datos de las estaciones meteorológicas existentes en la cuenca, los cuales se rellenaron en algunos casos. La Figura 3-31 muestra la precipitación media anual en las 10 estaciones existentes.

En la Figura 3-32 se presentan las variaciones estacionales para estas estaciones definiendo un período “seco” para los meses octubre a marzo, y un período “húmedo” comprendido entre abril y septiembre. Las precipitaciones con probabilidad de excedencia se presentan en la Tabla 3-26 para las distintas estaciones meteorológicas.



[Fuente: DGA (2003)]

Figura 3-31. Precipitación media anual estaciones meteorológicas (hasta año 2000).



[Fuente: DGA (2003)]

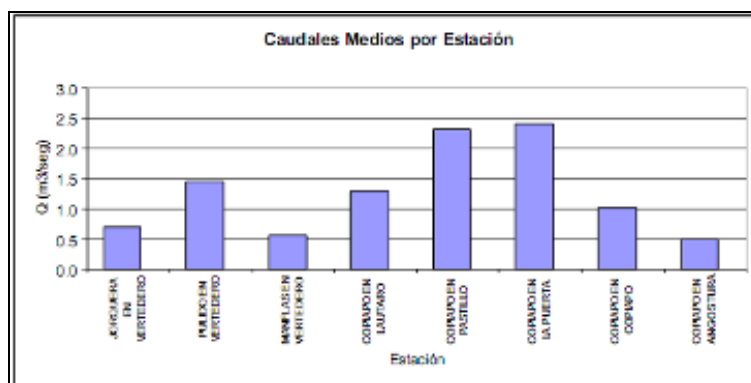
Figura 3-32. Variación estacional de las precipitaciones (datos hasta el año 2000).

Tabla 3-26. Precipitaciones medias anuales con probabilidad de excedencia (hasta año 2000).

| Estación | N° de observación | Probabilidad 10% [mm] | Probabilidad 50% [mm] | Probabilidad 85% [mm] |
|------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Jorquera en La Guardia | 35 | 124,9 | 34,5 | 11,9 |
| Torin en El Potro | 3 | - | - | - |
| Iglesia Colorada | 13 | 182,2 | 29,5 | 6,1 |
| Hacienda Manflas | 35 | 124,5 | 32 | 6,2 |
| Embalse Lautaro | 44 | 112,5 | 27,7 | 3,3 |
| Los Loros | 34 | 103,3 | 24,5 | 1,6 |
| Elibor | 23 | 81 | 6 | 0 |
| Pastos Grandes | 35 | 89,4 | 21,5 | 3,4 |
| Copiapó | 30 | 59,5 | 8,4 | 0,3 |
| Caldera | 9 | 133,5 | 0,5 | 0,0 |

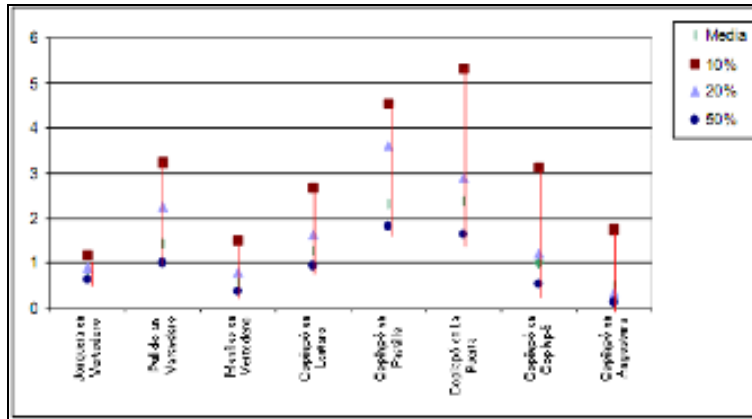
[Fuente: DGA (2003)]

En la Figura 3-33 se muestran los caudales medios anuales para las estaciones fluviométricas ubicadas en la hoya del Río Copiapó. Estos valores están calculados con datos hasta 1999. Los caudales con probabilidad de excedencia se presentan en la Figura 3-34. Con objeto de presentar la variación estacional de los caudales, se presentan en la Figura 3-35 los caudales medios según estación del año.



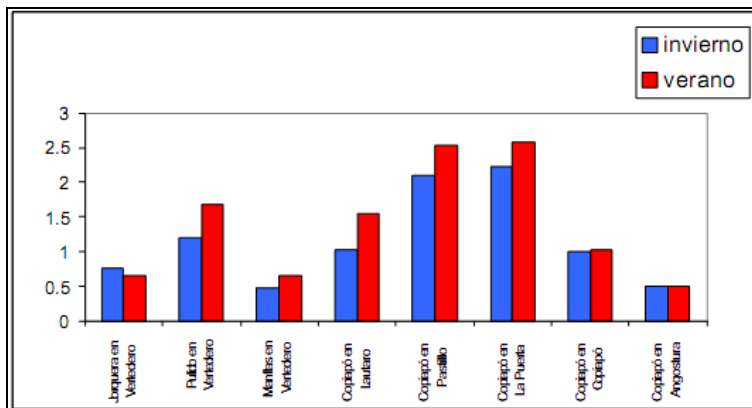
[Fuente: DGA (2003)]

Figura 3-33. Caudales medios anuales (datos hasta 1999).



[Fuente: DGA (2003)]

Figura 3-34. Caudales con probabilidad de excedencia (datos hasta 1999).

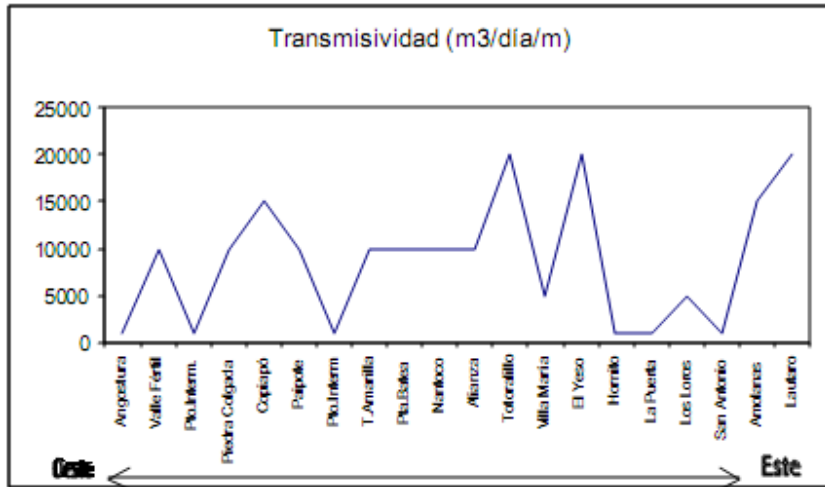


[Fuente: DGA (2003)]

Figura 3-35. Caudales medios según estación (datos hasta 1999).

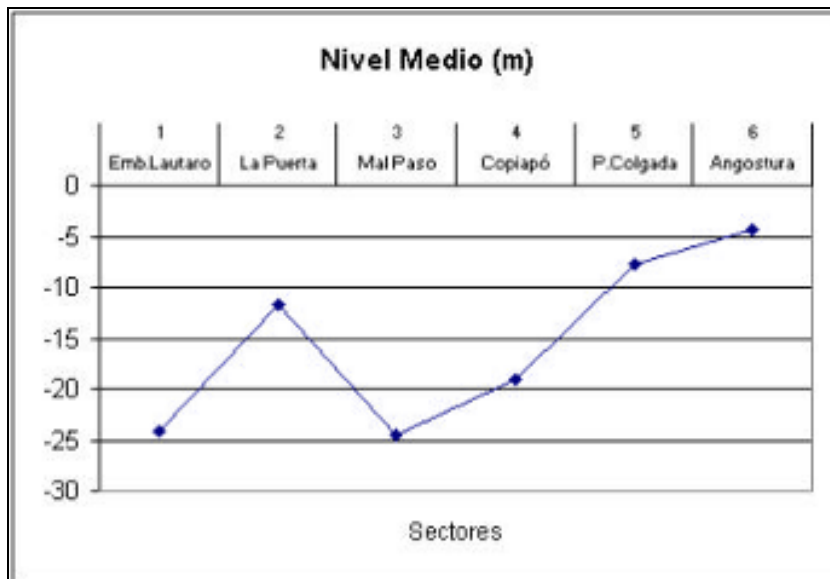
Los antecedentes geológicos y geomorfológicos utilizados en este estudio provienen de SERNAGEOMIN (1999), y de Álamos y Peralta (1987, 1995). Éstos describen las principales fallas en la zona, las características de los depósitos no consolidados donde se encuentra el acuífero (Tabla 3-25 del presente informe) y la ubicación del basamento rocoso (Figura 3-27).

Respecto a la hidrogeología, las transmisividades fueron obtenidas del estudio de Álamos y Peralta (1987), las cuales se presentan en la Figura 3-36. Se utilizó un coeficiente de almacenamiento de 10%. Las profundidades medias de la napa se muestran en la Figura 3-37 para algunos sectores del valle. La Figura 3-38 indica el uso dado a los pozos existentes. Esta información fue obtenida de catastros realizados por la DGA en los años 2000-2001.



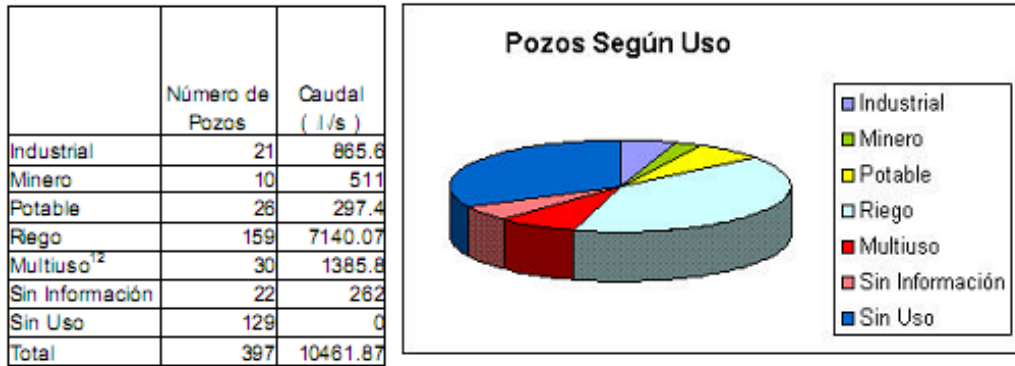
[Fuente: DGA (2003)]

Figura 3-36. Transmisividad a lo largo del valle.



[Fuente: DGA (2003)]

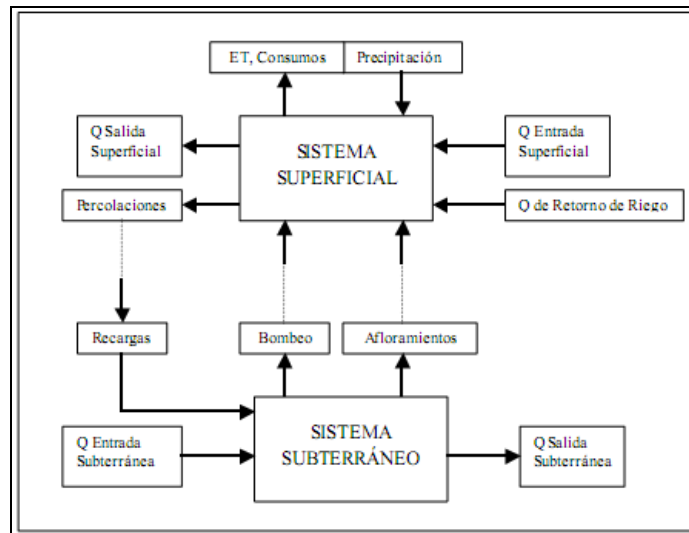
Figura 3-37. Profundidades medias de la napa.



[Fuente: DGA (2003)]

Figura 3-38. Pozos según uso.

La Figura 3-39 esquematiza el funcionamiento conceptual del acuífero, el cual fue posteriormente implementado en MODFLOW. La evapotranspiración de los cultivos y las zonas de vegas se obtuvo del estudio de IPLA (1994). Los requerimientos hídricos de los cultivos, la infiltración y afloramiento, y los aportes subterráneos de las quebradas se obtuvieron del estudio de Álamos y Peralta (1995). Los anexos de este estudio presentan las pérdidas de agua potable en los distintos sectores.



[Fuente: DGA (2003)]

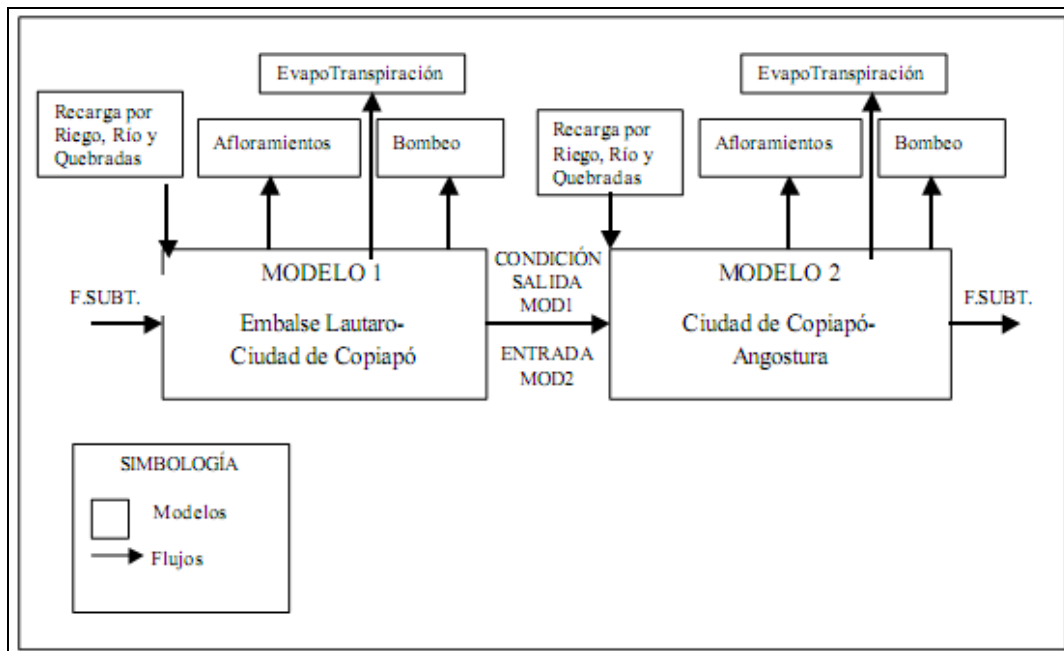
Figura 3-39. Modelo conceptual desarrollado.

Modelo en MODFLOW

El acuífero se dividió en dos sectores que fueron modelados en forma separada, tal como se puede apreciar en la Figura 3-40. Cada uno de estos sectores se modeló como un acuífero no

confinado, utilizando un solo estrato (layer) delimitado en el fondo por el basamento impermeable.

La calibración realizada consiste en ajustar las permeabilidades (K) y los coeficientes de almacenamiento (Sy) de manera de representar adecuadamente los niveles observados. El período de calibración son los 174 meses comprendidos entre el 1 de abril de 1987 y el 30 de septiembre de 2001. Se utilizó una condición de borde de altura constante aguas arriba y aguas debajo de ambos modelos, y también en algunas quebradas aportantes. El Río Copiapó se representó mediante la condición de borde de dren.



[Fuente: DGA (2003)]

Figura 3-40. Representación del acuífero en MODFLOW.

Como resultado de la calibración se obtuvieron valores de la permeabilidad que van entre 3 y 35 m/d, y coeficientes de Sy entre 0,01 y 0,15, dependiendo del sector.

Para ambos modelos se obtuvo, al comparar los niveles calculados con los niveles observados, un error medio normalizado (RNS normalizado) menor al 5%. En el modelo 2 se tienen discrepancias no tan bajas en el balance de masa, lo que de acuerdo al estudio debería mejorarse con mayor información del sector.

Tabla 3-27. Balance de masa Modelo 1 para período 1987-2001.

| Zona | Ingresos [l/s] | | Salidas [l/s] | | | | | In-Out [l/s] |
|-----------------------|-------------------|---------|-------------------|------|-----|---------|-------------|--------------|
| | Variaciones nivel | Recarga | Variaciones nivel | Dren | ETP | Bombeos | | |
| Sector I | | | | | | | | |
| Valle | 0 | 336 | 0 | 0 | 50 | 671 | -385 | |
| Embalse Lautaro | 1.086 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.086 | |
| Dren y Qda. Calqui | 30 | 30 | 0 | 623 | 29 | 115 | -707 | |
| Sector II | | | | | | | | |
| Valle | 0 | 972 | 0 | 0 | 33 | 1008 | -69 | |
| Qda. Cerrillos | 68 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 68 | |
| Sector III | | | | | | | | |
| Valle | 43 | 1215 | 0 | 0 | 6 | 1050 | 202 | |
| Qda. Paipote | 265 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 265 | |
| Dren | 0 | 0 | 0 | 21 | 8 | 33 | -62 | |
| Descarga aguas abajo | 0 | 0 | 527 | 0 | 0 | 0 | -527 | |
| Total Modelo 1 | | | | | | | -129 | |

[Fuente: DGA (2003)]

Tabla 3-28. Balance de masa Modelo 2 para período 1987-2001.

| Zona | Ingresos [l/s] | | Salidas [l/s] | | | | |
|-----------------------|-------------------|---------|-------------------|------|-------|---------|--------------|
| | Variaciones nivel | Recarga | Variaciones nivel | Dren | ETP | Bombeos | In-Out [l/s] |
| Sector IV | | | | | | | |
| Valle | 588 | 437 | 0 | 0 | 206.9 | 246 | 572.1 |
| Dren | 0 | 0 | 0 | 96 | 47.5 | 0 | -143.5 |
| Sector V | | | | | | | |
| Valle | 0 | 187 | 0 | 0 | 95 | 94 | -2 |
| Dren | 0 | 0 | 0 | 351 | 142.5 | 0 | -493.5 |
| Descarga aguas abajo | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | -3 |
| Total Modelo 2 | | | | | | | -69.9 |

[Fuente: DGA (2003)]

Este trabajo corresponde al segundo modelo numérico del acuífero que se enfoca en la disponibilidad de los recursos hídricos. Los antecedentes utilizados en la confección del modelo corresponden principalmente a los generados por los estudios para la DGA de Álamos y Peralta en 1987 y 1995, y al estudio hidrogeológico del SERNAGEOMIN (1999).

La única información nueva corresponde a datos más actualizados de las demandas que se generaron a partir de catastros realizados por la DGA los años 2000 y 2001.

Este modelo resulta un aporte interesante al conocimiento del funcionamiento del acuífero dado que simula el comportamiento dinámico del acuífero y las interacciones entre los distintos sectores. El modelo fue solamente calibrado y no se realizaron simulaciones con él, lo cual habría sido interesante para verificar el comportamiento del sistema bajo diferentes escenarios de explotación. El modelo tiene un margen de error algo alto en cuanto a diferencias entre los niveles observados y calculados, lo cual de acuerdo a las conclusiones del estudio podría ser mejorado con información más detallada de los sectores conflictivos.

3.1.15 AC Ingenieros Consultores para Comisión Nacional de Riego (2003). Diagnóstico Actual del Riego y Drenaje en Chile y su Proyección

Este estudio consistió en un extenso levantamiento de información sobre el riego y la agricultura en Chile. Se generaron, mediante el uso de SIG, coberturas con los distintos recursos y características del suelo relacionados con el riego, como áreas regadas, tipos de cultivos, infraestructura de riego, usos del suelo, etc. Esta información fue generada para todo el país, y para efectos de este estudio se dispone de las coberturas relacionadas con el uso de los recursos hídricos para la III Región.

Las coberturas en formato Arcview disponibles a través de la CNR para la cuenca del Río Copiapó son:

- Uso del suelo
- Aptitud del suelo para riego y drenaje
- Red de cauces y canales
- Bocatomas, singularidades en los cauces
- Embalses grandes y pequeños
- Pozos
- Tipos de cultivos

De acuerdo a este estudio el riego en la cuenca del Río Copiapó se realiza en un 80% con el sistema de riego por goteo, un 19% con riego gravitacional y un 1% con riego por aspersión. La eficiencia promedio del riego en la cuenca es de un 75%.

El sector de aguas arriba del Canal Mal Paso cuenta con el 48,9% de los derechos de las aguas superficiales, mientras que aguas abajo se tiene el 51,1% restante. El uso de las aguas superficiales en muchos casos no concuerda con los derechos otorgados. Según el estudio esto se debe principalmente a que muchas de las obras de captación fueron destruidas por las fuertes precipitaciones en los años 1984 y 1985, y su reparación no había sido completada. Otra causa corresponde al hecho de que la implantación de viñedos y riego por goteo aumentó el uso de las aguas subterráneas, con lo cual se extendió el período en que las aguas superficiales no se utilizan (en el sector alto del valle). Por último, se debe considerar el hecho de que la Junta de Vigilancia no cuenta con los medios ni la autoridad para hacer valer los derechos individuales de los regantes.

La información de las áreas según cultivo de este estudio corresponde a la publicada en el V Censo Agrícola (2004). En este presente informe de revisión de antecedentes se presenta esta información pero actualizada al VI Censo Agrícola realizado el año 2007 (sección 3.1.23).

La importancia de este estudio radica en la gran cantidad de coberturas digitales generadas con las áreas regadas, las obras de infraestructura y los tipos de cultivo a lo largo del valle del Río Copiapó. La visualización de esta información en forma espacial sirve de complemento a otras coberturas disponibles, y puede ser usada para estimar algunos componentes del ciclo hidrológico de manera desagregada.

3.1.16 CIREN (2005). Catastro Frutícola III Región

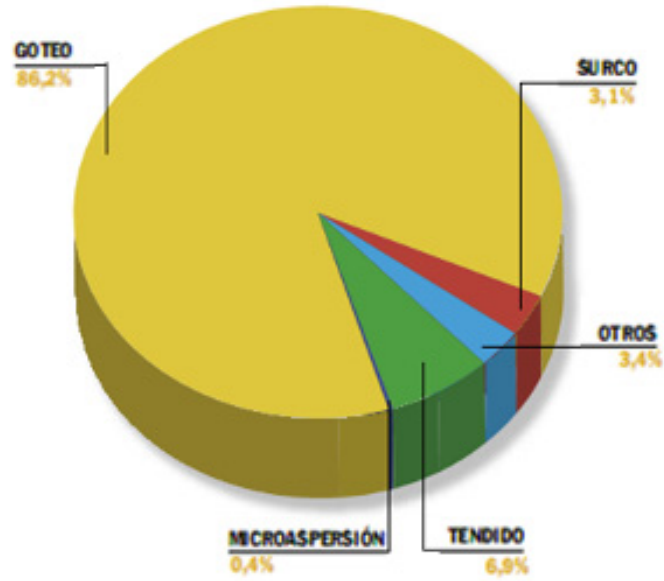
Este estudio entrega un panorama completo de la fruticultura en la región. Se incluye una estimación de las superficies correspondientes a cada tipo de fruta (ver Tabla 3-29), los métodos de riego empleados (Figura 3-41 y Figura 3-42), la cuantificación de empresas proveedoras de servicios para esta industria, la producción anual y el destino de esta producción.

Tabla 3-29. Superficies frutales por comuna.

| Cultivo | Caldera [ha] | Copiapó [ha] | Tierra Amarilla [ha] |
|----------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| Olivo | 212,63 | 1.100,96 | |
| Vid de mesa | | 774,15 | 6.001,32 |
| Limonero | | 93,49 | |
| Granado | | 26,93 | 4,69 |
| Naranja | | 25,30 | 43,55 |
| Chirimoyo | | 6,42 | |
| Lima | | 5,63 | |
| Mandarino | | 0,98 | 66,51 |
| Pomelo | | | 1,00 |
| Total | 212,63 | 2.033,86 | 6.117,07 |

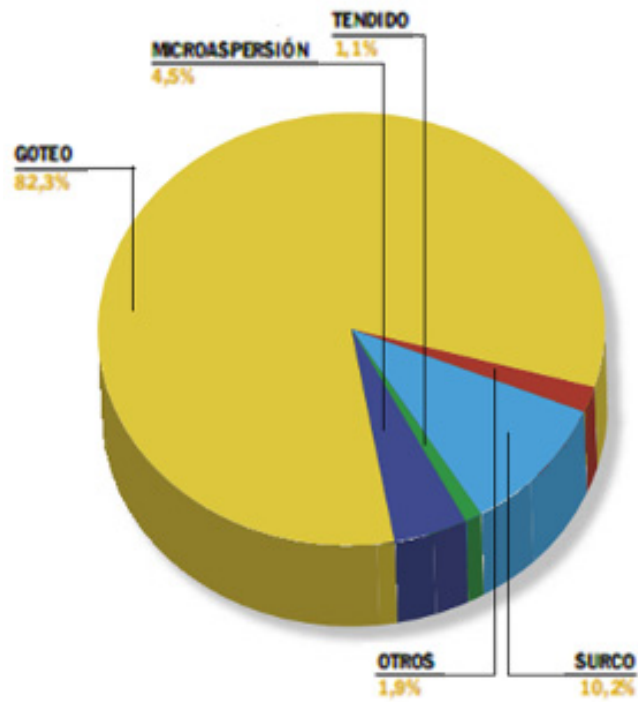
[Fuente: CIREN (2005)]

Para efectos del presente informe la información de interés que entrega este catastro corresponde a la cuantificación de las superficies plantadas según tipo de fruta, y los métodos de riego utilizados en estas plantaciones. Ambos datos se relacionan con el uso dado al suelo de la cuenca y a los recursos hídricos existentes.



[Fuente: CIREN (2005)]

Figura 3-41. Distribución porcentual de la superficie de frutales mayores.



[Fuente: CIREN (2005)]

Figura 3-42. Distribución porcentual de la superficie de frutales menores.

3.1.17 MINVU (2005). Plan Regulador Intercomunal Provincia de Copiapó

Un Plan Regulador Intercomunal (PRI) es un instrumento de planificación territorial que regula las áreas urbanas y rurales de un conjunto de comunas. El PRI de Copiapó incluye las comunas de Caldera, Copiapó y Tierra Amarilla, y dentro de sus diversos objetivos se incluye la identificación de las zonas más afectadas ambientalmente y de zonas relevantes en cuanto a su patrimonio ambiental. De acuerdo al informe la conservación de estas zonas fue una prioridad dentro del PRI. Las zonas de conservación se presentan en la Tabla 3-30.

Tabla 3-30. Prioridades ambientales del PRI Copiapó.

| Componente | Elemento | Descripción |
|--|--|---|
| Agua | Curso medio del Río Copiapó y sus afluentes | Ríos Manflas, Pulido y Jorquera, y el Río Copiapó en su curso medio. |
| | Glaciares | Nevado Tres Cruces, Ojos del Salado, El Azufre, El Potro, Maranceles, Los Tronquitos |
| Biodiversidad | Áreas Silvestres Protegidas | Parque Nacional Nevado Tres Cruces, perteneciente al SNASPE |
| Patrimonio | Monumento Nacional | Santuario de la Naturaleza Granito Orbicular, Santuario de la Naturaleza Paleontológico Caldera. Santuario en vías de aprobación Formación Bahía Inglesa. |
| Campos Dunarios | Paleodunas al norte de Copiapó y en la costa | Dunas al norte de Copiapó son una formación geológica antigua de interés. |
| Sendero de Chile | Tramo definido en la intercomuna | Rescata patrimonio natural y cultural |
| Sitios Arqueológicos y Paleontológicos | Sitios identificados por el MOP y por el estudio | Alta importancia por fósiles únicos en Chile |

[Fuente: MOP (2005)]

Se identifican zonas con alta prioridad ambiental que deben tenerse en cuenta al generar escenarios futuros de explotación de los recursos hídricos. Se identifican también los cambios en el uso del suelo para las localidades consideradas, lo cual podría tener alguna incidencia en variables del ciclo hidrológico como la infiltración y la evapotranspiración.

3.1.18 MOP (2005). Decreto 743 Tabla de Equivalencias

Este decreto fija valores de consumo unitario de agua para los principales usos que se le da a este recurso. Estos valores fueron estimados de acuerdo a la realidad chilena, y pueden ser usados por la DGA para limitar fundadamente caudales en los derechos de agua solicitados. Los valores presentados en este decreto son únicos a nivel nacional, es decir, no dependen de la cuenca donde se genere la solicitud.

Las actividades incluidas en esta tabla son:

- Agua potable
- Riego
- Procesos mineros metálicos y no metálicos
- Turismo
- Acuicultura
- Agroindustria
- Industria textil y del cuero
- Industria maderera
- Industria del papel y celulosa
- Industria química y farmacéutica
- Industria del cemento, vidrio y cerámica
- Fabricación de maquinarias
- Generación de energía hidroeléctrica

A partir de este decreto se tienen valores oficialmente aceptados sobre el consumo específico de agua tanto superficial como subterráneo en una gran variedad de actividades productivas. Para el caso de la cuenca del Río Copiapó donde la agricultura, la agroindustria y la minería tienen un papel relevante, se puede disponer de estimaciones gruesas de sus requerimientos a partir de los volúmenes que producen, como por ejemplo las toneladas de cobre anuales para el caso de una minera.

3.1.19 Golder Associates para DGA (2006). Diagnóstico de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Copiapó y Proposición de un Modelo de Explotación Sustentable

El primer objetivo de este estudio consistió en entregar un diagnóstico de la situación de los recursos hídricos en la cuenca del Río Copiapó, para lo cual se tomaron como base los estudios y antecedentes generados con anterioridad. El segundo objetivo correspondió a proponer un modelo de explotación sustentable de los recursos hídricos de manera que éstos

no se agoten y puedan seguir siendo aprovechados en los años venideros, lo cual incluye la elaboración de un plan de acción.

Diagnóstico de los recursos hídricos

Esta sección consta de una revisión de antecedentes, siendo los principales el estudio de la DGA (2003), el de Álamos y Peralta para DGA (1995) y el de Cade-Idepe (2004) para el tema de calidad de agua, el cual no se incluyó en esta revisión. El diagnóstico se expresa como un balance de aguas superficiales y subterráneas, realizado a partir de los valores de las variables hidrometeorológicas entregadas en los estudios revisados o estimadas a partir de información entregada por éstos.

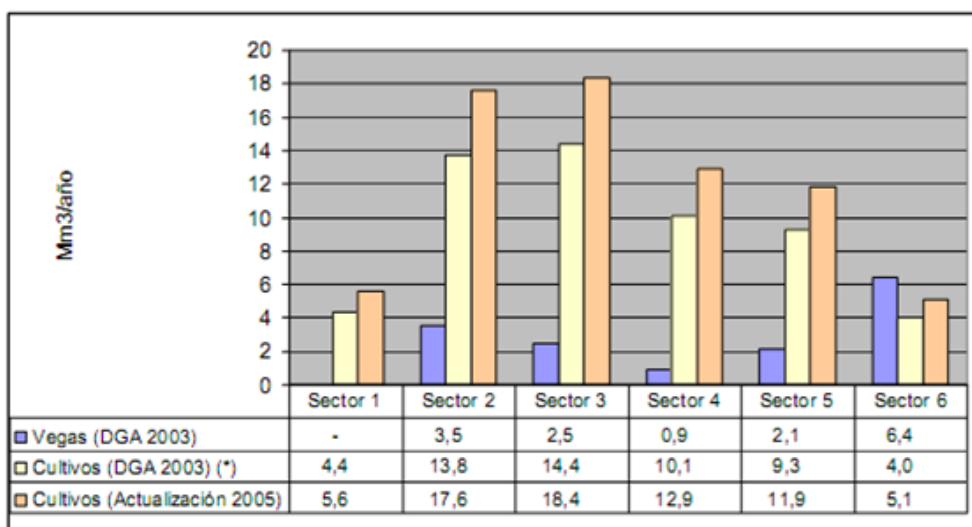
En la revisión de datos fluviométricos se completaron los caudales con probabilidad de excedencia calculados por la DGA (2003) para disponer de probabilidades de excedencia mayores al 50% y disponer así de los rangos de valores que se dan en los años tanto secos como húmedos. Estos caudales se muestran en la Tabla 3-31, junto con los valores promedio que fueron usados en los balances hídricos realizados.

Tabla 3-31. Caudales con probabilidad de excedencia y caudales medios [m³/s].

| Estación | Años de registro | Promedio [m ³ /s] | Prob. | Prob. | Prob. | Prob. | Prob. | Prob. |
|-------------------------------|------------------|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | | | Exced. 5% [m ³ /s] | Exced. 10% [m ³ /s] | Exced. 20% [m ³ /s] | Exced. 50% [m ³ /s] | Exced. 85% [m ³ /s] | Exced. 95% [m ³ /s] |
| Río Jorquera en Vertedero | 1947-2000 | 0,71 | 1,55 | 1,17 | 0,91 | 0,63 | 0,41 | 0,35 |
| Río Pulido en Vertedero | 1954-2000 | 1,45 | 4,10 | 3,25 | 2,26 | 1,01 | 0,72 | 0,43 |
| Río Manflas en Vertedero | 1964-2000 | 0,57 | 1,98 | 1,52 | 0,81 | 0,38 | 0,16 | 0,12 |
| Río Copiapó en Pastillo | 1927-2000 | 2,32 | 6,30 | 4,55 | 3,59 | 1,83 | 1,12 | 0,75 |
| Río Copiapó en bypass Lautaro | 1931-2000 | 1,29 | 4,35 | 2,66 | 1,65 | 0,94 | 0,56 | 0,35 |
| Río Copiapó en La Puerta | 1927-2000 | 2,40 | 6,99 | 5,34 | 2,89 | 1,65 | 1,03 | 0,87 |
| Copiapó | 1983-2000 | 1,02 | 4,38 | 3,13 | 1,22 | 0,54 | 0,24 | 0,17 |
| Río Copiapó en Angostura | 1963-2000 | 0,50 | 2,39 | 1,77 | 0,32 | 0,13 | 0,11 | 0,11 |

[Fuente: Golder Associates (2006)]

Para el cálculo de la evapotranspiración se usan datos de los estudios anteriores y las superficies actualizadas de los cultivos entregadas por el Catastro Frutícola del CIREN (2005). La Figura 3-43 presenta la estimación de la evapotranspiración de los cultivos y en las vegas. La infiltración en este estudio fue sacada del estudio de la DGA (2003), que a su vez toma los valores estimados por Álamos y Peralta (1995).



[Fuente: Golder Associates (2006)]

Figura 3-43. Evapotranspiración en cultivos y vegas.

La Tabla 3-32 presenta el consumo de agua superficial, en forma sectorizada, en la cuenca del río Copiapó. La Tabla 3-33 muestra los volúmenes bombeados desde el acuífero para distintos años. En la Tabla 3-34 se presentan los principales usos del agua en la cuenca del río Copiapó. La Tabla 3-35 muestra el consumo hídrico agrícola en la cuenca.

Tabla 3-32. Consumo de agua superficial en la cuenca del río Copiapó.

| Tramo | Total acciones | Volumen anual [hm ³ /año] (DGA, 1995, 2003) | Volumen anual [hm ³ /año] (Sr. Carlos Araya, Junta de Vigilancia del Río Copiapó) |
|-----------------------------|----------------|--|---|
| Arriba Embalse Lautaro | 1.386 | 1,8 | 1,82 |
| Embalse Lautaro – La Puerta | 1.902 | 3,6 | 5,53 |
| La Puerta – Mal Paso | 3.654 | 17,7 | 10,70 |
| Mal Paso – Copiapó | 5.148 | 24,8 | 14,22 |
| Copiapó – Piedra Colgada | 100% del río | 4,7 | Sin información |
| Piedra Colgada – Angostura | 100% del río | | Sin información |
| Total | | 52,7 | 32,30 |

[Fuente: Golder Associates (2006)]

Tabla 3-33. Volúmenes bombeados del acuífero de acuerdo a distintas fuentes.

| Fuente de información | Año | Bombeo desde pozos [hm³/año] |
|------------------------------|------------|--|
| Italconsult | 1963 | 5,0 |
| Uri Hammer | 1980 | 25,1 |
| DGA – Álamos y Peralta | 1987 | 45,5 |
| DGA – Álamos y Peralta | 1995 | 124,5 |
| DGA | 2003 | 140,0 |

[Fuente: Golder Associates (2006)]

Tabla 3-34. Principales usos del agua por sector en el valle del Río Copiapó.

| Principales actividades | Sector | | | | | |
|--------------------------------|------------------------------|------------------------|----------------------|--------------------|--------------------------|----------------------------|
| | Aguas arriba Embalse Lautaro | E. Lautaro - La Puerta | La Puerta - Mal Paso | Mal Paso - Copiapó | Copiapó - Piedra Colgada | Piedra Colgada - Angostura |
| Agricultura | X | X | X | X | X | X |
| Minería | | | | X | X | |
| Asentamientos humanos | | | | X | | |

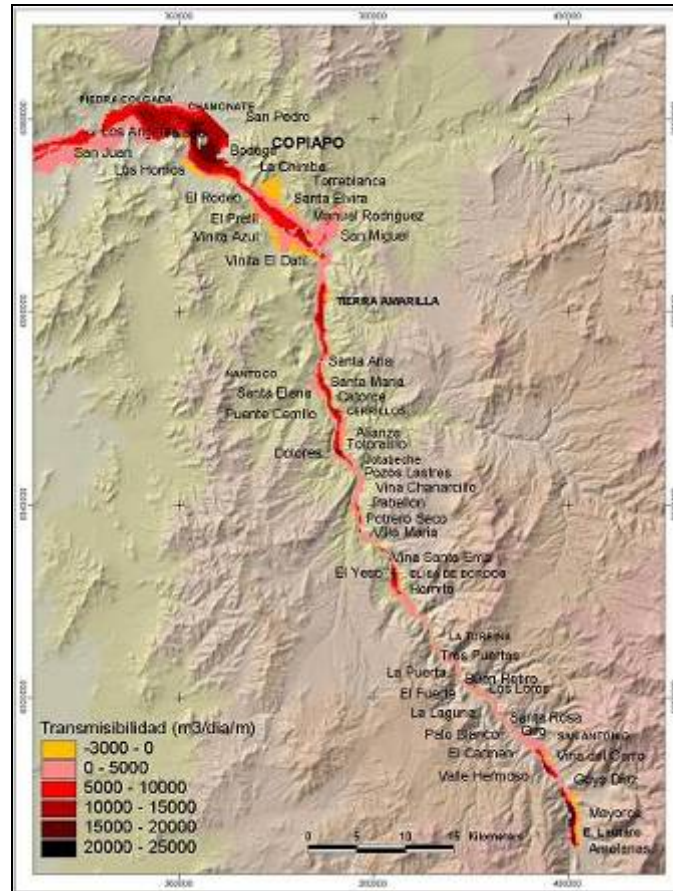
[Fuente: Golder Associates (2006)]

Tabla 3-35. Consumo hídrico agrícola en el valle del río Copiapó.

| Tipo de cultivo | Total superficie [ha] | Rango tasa de riego [m³/ha/año] | Tasa de riego empleada en balances [m³/ha/año] | Total consumo [hm³/año] |
|------------------------|------------------------------|---|--|---|
| Vid | 6.775 | | 12.000 15.768 | 81 - 107 |
| Hortalizas | 1.030 | 13.510 – 12.281 | 12.895 | 13 |
| Praderas | 118 | 38.170 – 34.704 | 36.437 | 4 |
| Otros frutales | 1.376 | 22.240 – 20.214 | 21.227 | 29 |
| Total | 9.299 | | | 128 - 154 |

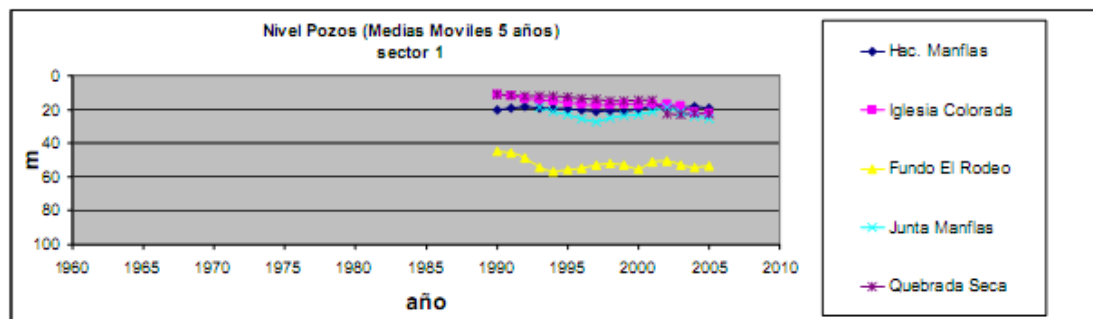
[Fuente: Golder Associates (2006)]

Se revisaron los antecedentes geológicos de los estudios anteriores y se graficó en forma espacial la transmisividad en el acuífero, lo cual se presenta en la Figura 3-44. Se recopilaron datos de niveles de una gran cantidad de pozos, y se graficaron sus variaciones. La Figura 3-45 muestra los niveles de algunos pozos a modo de ejemplo.



[Fuente: Golder Associates (2006)]

Figura 3-44. Transmisividad en el acuífero.



[Fuente: Golder Associates (2006)]

Figura 3-45. Niveles de pozos.

El consumo hídrico de la minería del cobre en la zona se obtuvo a partir del contacto directo con algunas empresas y del Decreto 743 del MOP. Los consumos específicos y totales de los distintos procesos de la minería en la zona se presentan en la Tabla 3-36.

Tabla 3-36. Consumos de la minería del cobre en el valle del Río Copiapó.

| Tipo de proceso | Capacidad instalada [ton/día] | Tasa de consumo de agua por ton procesada [m ³ /ton] | Tasas de consumo empleadas [m ³ /ton] | Consumo de agua [Mm ³ /año] |
|-----------------|-------------------------------|---|--|--|
| Flotación | 91.880 | 0,8 en plantas con > 8.000 ton/día | 0,4 – 1 | 13 - 34 |
| | | 2,0 en plantas con ≤ 8.000 ton/día | | |
| | | 0,6 hasta 1 | | |
| | | 0,4 maximizando reciclado | | |
| Lixiviación | 73.000 | 0,4 | 0,4 | 11 |
| Total | 164.880 | | | 24 – 44 |

[Fuente: Golder Associates (2006)]

Otro uso de los recursos hídricos corresponde al agua potable. En la Tabla 3-37 se muestra la cantidad de clientes que tiene Aguas Chañar en distintas comunas. La Tabla 3-38 presenta el volumen facturado en cada una de estas localidades.

Tabla 3-37. Cantidad de clientes empresa sanitaria Aguas Chañar.

| Tipo de cliente | Cantidad de clientes | | | | Total |
|-----------------|----------------------|-----------------|--------------|--------------|---------------|
| | Copiapó | Tierra Amarilla | Caldera | Chañaral | |
| Residenciales | 37.621 | 2.196 | 6.130 | 3.482 | 49.429 |
| Comerciales | 830 | 70 | 195 | 245 | 1.340 |
| Industriales | 70 | 10 | 34 | 29 | 143 |
| Otros | 227 | 26 | 86 | 141 | 480 |
| Total | 38.748 | 2.302 | 6.445 | 3.897 | 51.392 |

[Fuente: Golder Associates (2006)]

Tabla 3-38. Volumen facturado empresa sanitaria Aguas Chañar.

| Localidad | Volumen facturado [Mm³/año] |
|------------------|---|
| Copiapó | 14,3 |
| Tierra Amarilla | 1,0 |
| Caldera | 1,8 |
| Chañaral | 1,0 |
| Total | 18,1 |

[Fuente: Golder Associates (2006)]

Con toda esta información sobre los usos de los recursos hídricos y las cuantificaciones de las variables del ciclo hidrológico se realizaron balances hídricos para aguas superficiales y subterráneas con un enfoque de largo plazo, por lo cual se usaron mayormente valores promedio de varios años cuando la cantidad de datos lo permitió.

La Tabla 3-39 presenta el balance de aguas superficiales por sectores, donde se pueden apreciar los principales destinos que tiene el agua en cada uno de los sectores. Este balance está basado en valores obtenidos de estudios anteriores y existen discrepancias en los balances de masa de cada tramo y en los volúmenes que entran de un tramo e ingresan al tramo siguiente. Esto se puede explicar en parte por la incertidumbre asociada a la estimación de la infiltración y el afloramiento, y al hecho de que muchos de estos valores se tratan de promedios anuales que pueden ocultar variaciones importantes y que no están calculados necesariamente con los mismos períodos de años.

En la Tabla 3-40 se presenta un balance hídrico para el Embalse Lautaro realizado con datos de 30 años. El balance para la cuenca completa se encuentra en la Tabla 3-41, el cual tiene una inconsistencia de sólo un 2%, mucho menor que el balance por sectores.

Tabla 3-39. Balance de aguas superficiales Río Copiapó, por sectores [Mm³/año].

| | Aguas arriba Embalse Lautaro | E. Lautaro – La Puerta | La Puerta - Mal Paso | Mal Paso - Copiapó | Copiapó – Piedra Colgada | Piedra Colgada - Angostura |
|-------------------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---|---|
| Total Entradas | 86 | 82 | 78 | 40 | 35 | 10 |
| Caudal de entrada en Río Copiapó | 86 | 41 | 76 | 39 | 32 | 4 |
| Afloramientos | 0 | 41 | 2 | 1 | 3 | 6 |
| Total Salidas | 100 | 82 | 73 | 52 | 11 | 16 |
| Caudal de salida Río Copiapó | 73 | 76 | 39 | 32 | 4 | 16 |
| Canales de Riego | 2 | 6 | 11 | 14 | - | - |
| Infiltración | 25 | 1 | 24 | 5 | 7 | 0 |
| Entradas - Salidas | -14 | 0 | 5 | -12 | 24 | -5 |

[Fuente: Golder Associates (2006)]

Tabla 3-40. Balance hidrológico del Embalse Lautaro.

| | Total [Mm³/año] | Total [l/s] |
|-----------------------|-----------------------------------|--------------------|
| Total Entradas | 73 | 2.320 |
| Caudal de entrada | 73 | 2.320 |
| Total Salidas | 73 | 1.290 |
| Caudal de salida | 41 | 73 |
| Evaporación | 2 | 957 |
| Infiltración | 30 | 2.320 |

[Fuente: Golder Associates (2006)]

Tabla 3-41. Balance de aguas superficiales Río Copiapó, cuenca completa.

| | Total [Mm³/año] | Total [l/s] |
|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| Total Entradas | 139 | 4.423 |
| Caudal de entrada en Río Copiapó | 86 | 2.730 |
| Afloramientos | 53 | 1.693 |
| Total Salidas | 142 | 4.504 |
| Caudal de salida Río Copiapó | 16 | 500 |
| Canales de Riego | 32 | 1.023 |
| Infiltración Río | 62 | 1.950 |
| Evaporación Embalse | 2 | 73 |
| Infiltración Embalse | 30 | 957 |
| Entradas - Salidas | -3 | -81 |

[Fuente: Golder Associates (2006)]

En la Tabla 3-42 se puede apreciar el balance de aguas para el acuífero en el largo plazo. De acuerdo a estos resultados se estaría produciendo en promedio un vaciamiento de 3,5 m³/s.

Tabla 3-42. Balance de aguas subterráneas cuenca del Río Copiapó.

| | Volumen [Mm³/año] | Volumen [l/s] | Porcentaje [%] |
|--|-------------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Total Entradas | 151 | 4.779 | 100 |
| Infiltración Río | 37 | 1.171 | 24 |
| Infiltración Canales | 24 | 752 | 16 |
| Infiltración Riego | 18 | 566 | 12 |
| Infiltración Agua potable más Alcantarillado | 6 | 183 | 4 |
| Flujo lateral | 66 | 2.107 | 44 |
| Total Salidas | 261 | 8.280 | 100 |
| ET | 67 | 2.125 | 26 |
| Afloramiento y Vertientes | 53 | 1.693 | 20 |
| Caudal de salida | 0,3 | 10 | 0.12 |
| Pozos | 140 | 4.452 | 54 |
| Entradas - Salidas | -110 | -3.501 | |

[Fuente: Golder Associates (2006)]

Proposición de modelo de explotación sustentable

Se define el aprovechamiento óptimo sustentable del acuífero como la diferencia entre las entradas del acuífero y las salidas que se tendrían sin intervención antropogénica, es decir, no afectando el volumen almacenado del acuífero. Este valor es de 30 hm³/año ($\pm 20\%$).

Un valor más alto de la extracción sustentable se obtiene si se considera el hecho de que al descender el nivel del acuífero producto de las extracciones se tendría un menor afloramiento y un mayor gradiente hidráulico entre el río y el acuífero, lo que aumentaría la recarga y disminuiría la descarga del acuífero. Bajo estas condiciones se estimó el bombeo sustentable como 48 hm³/año ($\pm 20\%$).

Las medidas principales del modelo de gestión propuesto corresponden a:

- El control del aprovechamiento de los recursos hídricos actuales, superficiales y subterráneos.
- El aprovechamiento de los caudales que salen de la cuenca, de manera superficial y subterránea.
- La auto-regulación por parte de los usuarios.
- El ingreso de fuentes externas de agua a la cuenca.
- El reciclado del agua y la optimización de su uso en los procesos productivos.
- La sensibilización de los usuarios respecto de los problemas del agua en la cuenca.

Este estudio corresponde a una revisión profunda de estudios de alta relevancia realizados en la cuenca del Río Copiapó. Se entrega un resumen de sus principales resultados y se entregan comparaciones entre algunos de los supuestos y estimaciones. El balance hídrico realizado agrupa información de los distintos estudios consultados y entrega órdenes de magnitud del comportamiento del sistema en el largo plazo a partir de los datos históricos. Los resultados de los balances realizados deben ser considerados como un orden de magnitud, ya que existe un grado de incertidumbre no menor e inconsistencias con relación a algunas de las variables involucradas.

La revisión de antecedentes incluye datos entregados internamente por empresas mineras sobre los consumos específicos de agua en los procesos mineros, lo que permitiría relacionar el consumo de agua de estas industrias con su producción de cobre. Finalmente, se proponen medidas concretas y se elabora un plan de acción para usuarios del recurso y entidades relacionadas a los recursos hídricos en la cuenca.

3.1.20 AC Ingenieros Consultores para DGA (2006). Análisis y Determinación de Caudales de Reserva para Abastecimiento de la Población y Usos de Interés Nacional

Este estudio tuvo por objetivo estimar los caudales de reserva para todo el territorio nacional, a raíz de la entrada en vigencia de la Ley N° 20.017 que modifica el Código de Aguas incorporando las situaciones en que el Presidente de la República tiene la facultad de negar un cierto derecho de agua para entregarlo a algún uso de interés nacional. Las áreas de interés nacional pueden involucrar componentes geopolíticos, medioambientales, sanitarios, o socioeconómicos, entre otros.

En el estudio se analiza el abastecimiento del agua potable. En la Tabla 3-43 se presenta el déficit de agua potable en la III Región para las comunas donde pasa el Río Copiapó en el año 2005, junto con una proyección hasta 2025 de este déficit. En el estudio se listan los planes de desarrollo de las empresas sanitarias para cada localidad y la infraestructura de agua potable existente.

Las áreas prioritarias de interés turístico en la III Región son el volcán Ojos del Salado y la Cordillera de Atacama, y el Valle Huasco. Otra zona de interés turístico es la Puna de Atacama.

Las áreas pertenecientes al Sistema Nacional de Áreas Verdes Protegidas por el Estado (SNASPE) son los parques nacionales Pan de Azúcar, Llanos de Challes y Nevado Tres Cruces, y la reserva nacional Pingüino Humboldt. Ninguno de estos parques se encuentra en el valle del Río Copiapó. Los sitios prioritarios para la conservación de la naturaleza son el desierto florido, el estuario del Río Huasco y Carrizal, el estuario del Río Copiapó hasta Morro Copiapó, el Salar de Pedernales, la Laguna Valeriano y la Laguna Grande. No existen áreas de protección de etnias en la región.

Tabla 3-43. Población sin agua potable y déficit del abastecimiento.

| Comuna | Año 2005 | | Situación futura | |
|-----------------|-----------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|
| | Población | Requerimientos de agua [L/día] | Población | Requerimientos de agua [L/día] |
| Copiapó | 340 | 51.022 | 461 | 69.127 |
| Tierra Amarilla | 762 | 114.289 | 1.032 | 154.844 |
| Caldera | 911 | 136.582 | 1.234 | 185.047 |

[Fuente: AC Consultores (2006)]

De acuerdo al estudio la única zona de interés nacional afectada por derechos concedidos no consuntivos en el valle del Río Copiapó corresponde a Tierra Amarilla, la cual es considerada de interés debido a su situación de pobreza. En esta zona el derecho en conflicto correspondería a un caudal de 100 l/s solicitados por un particular.

Respecto de derechos no consuntivos en trámite (al momento del estudio), se tiene una mayor cantidad de zonas de interés afectadas, principalmente la comuna de Tierra Amarilla y Copiapó, ambas clasificadas en esta categoría debido a la pobreza. Existen también solicitudes que afectarían la zona de interés turístico Ojos del Salado.

En este estudio se analizaron los requerimientos hídricos por región de acuerdo a la existencia de “áreas de interés nacional”, que son definidos como áreas con características económicas, ambientales, sociales o geopolíticas, que resulta de interés para el Estado el que estas zonas tengan sus requerimientos hídricos cubiertos.

Dentro de este contexto, para la cuenca del Río Copiapó se identificaron como áreas de interés los asentamientos humanos en situación de pobreza que no disponen de agua potable, el desierto florido y la zona de interés turístico Ojos del Salado. De acuerdo a este estudio no existen en la cuenca del Río Copiapó áreas de interés nacional en situación crítica o que requieran una completa reestructuración en las asignaciones de recursos dentro de la cuenca.

3.1.21 AC Ingenieros Consultores para DGA (2007). Estimaciones de Demanda de Agua y Proyecciones Futuras. Zona I Norte. Regiones I a IV

Este estudio comprende una estimación de la demanda de agua actual (Tabla 3-44) en todo el territorio nacional y una proyección futura de esta demanda. Esta estimación y proyección se realizó tomando por separado los principales usos que tienen los recursos hídricos en el país: uso agropecuario y forestal, producción de agua potable, industrias, minería, acuicultura, generación de energía, turismo, recepción de contaminantes y caudal ecológico. Se consideró horizontes de 10 y 25 años para las proyecciones.

Tabla 3-44. Demanda actual de los recursos hídricos en la cuenca del Río Copiapó.

| Código subcuenca | Nombre subcuenca | Caudal por uso [m ³ /s] | | | | | | | | |
|------------------|----------------------|------------------------------------|--------------|------------|--------|---------|----------|----------|---------|----------------------|
| | | Agropec. | Agua potable | Industrial | Minero | Energía | Forestal | Acuicola | Turismo | Receptor contaminac. |
| 0340 | Copiapó Alto | 2,548 | 0,000 | 0,000 | 0,020 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,280 |
| 0341 | | | | | | | | | | |
| 0342 | | | | | | | | | | |
| 0344 | Paipote | 0,835 | 0,000 | 0,000 | 0,206 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,272 | |
| 0343 | Copiapó Medio y Bajo | 1,019 | 0,445 | 0,010 | 0,115 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | |
| 0345 | | | | | | | | | | |

[Fuente: AC Consultores (2007)]

La proyección de la demanda para 10 y 25 años se hizo en base a una gran cantidad de antecedentes y supuestos para cada sector, lo cual se detalla caso a caso en el estudio. La Tabla 3-45 y la Tabla 3-46 presentan estas proyecciones.

Tabla 3-45. Proyección del uso de los recursos hídricos a 10 años.

| Código subcuenca | Nombre subcuenca | Caudal por uso [m ³ /s] | | | | | | | | | |
|------------------|----------------------|------------------------------------|--------------|------------|--------|---------|----------|----------|---------|----------------------|------------------|
| | | Agropecu | Agua potable | Industrial | Minero | Energía | Forestal | Acuícola | Turismo | Receptor contaminac. | Caudal ecológico |
| 0340 | Copiapó Alto | | | | | | | | | | |
| 0341 | | 2,438 | 0,000 | | 0,051 | | 0,000 | | | 0,000 | 0,280 |
| 0342 | | | | | | | | | | | |
| 0344 | Paipote | 0,835 | 0,000 | 0,000 | 0,300 | | 0,000 | | 0,000 | 0,272 | |
| 0343 | Copiapó Medio y Bajo | | | | | | | | | | |
| 0345 | | 1,019 | 0,421 | 0,019 | 0,536 | | 0,000 | | 0,000 | 0,000 | |

[Fuente: AC Consultores (2007)]

Tabla 3-46. Proyección del uso de los recursos hídricos a 25 años.

| Código subcuenca | Nombre subcuenca | Caudal por uso [m ³ /s] | | | | | | | | | |
|------------------|----------------------|------------------------------------|--------------|------------|--------|---------|----------|----------|---------|----------------------|------------------|
| | | Agropecu | Agua potable | Industrial | Minero | Energía | Forestal | Acuícola | Turismo | Receptor contaminac. | Caudal ecológico |
| 0340 | Copiapó Alto | | | | | | | | | | |
| 0341 | | 2,438 | 0,000 | | 0,074 | | 0,000 | | | 0,000 | 0,280 |
| 0342 | | | | | | | | | | | |
| 0344 | Paipote | 0,835 | 0,000 | 0,000 | 0,435 | | 0,000 | | 0,000 | 0,000 | |
| 0343 | Copiapó Medio y Bajo | | | | | | | | | | |
| 0345 | | 1,019 | 0,532 | 0,052 | 0,777 | | 0,000 | | 0,000 | 0,000 | |

[Fuente: AC Consultores (2007)]

Se puede apreciar que se espera una reducción cercana al 10% de la demanda hídrica en Copiapó Alto para el sector agropecuario en ambos horizontes. En el sector industrial se espera tener una demanda un 90% mayor que la actual luego de 10 años, a partir de lo cual se espera tener un crecimiento mucho mayor, alcanzando a los 25 años un valor equivalente a un 530% de la demanda actual. En el sector minero se esperan también aumentos importantes, con un 230% de crecimiento luego de 10 años y un 370% luego de 25 años (con respecto al valor actual).

En resumen, de acuerdo a este estudio la demanda estimada para la actualidad equivalente a 5,75 m³/s, y se espera que ésta sea de 6,17 m³/s luego de 10 años y de 6,44 m³/s luego de 25 años. Esto representa un crecimiento importante en el uso de los requerimientos hídricos de la cuenca y va a plantear desafíos en relación a las prioridades que tendrán los distintos sectores para hacer uso de estos recursos.

Los valores estimados están basados en una gran cantidad de supuestos y antecedentes diversos, por lo que deben ser tomados en cuenta como órdenes de magnitud más que como estimaciones con alta precisión.

3.1.22 DGA (1985-2008). Pronósticos de Disponibilidad de Agua para Temporadas de Riego.

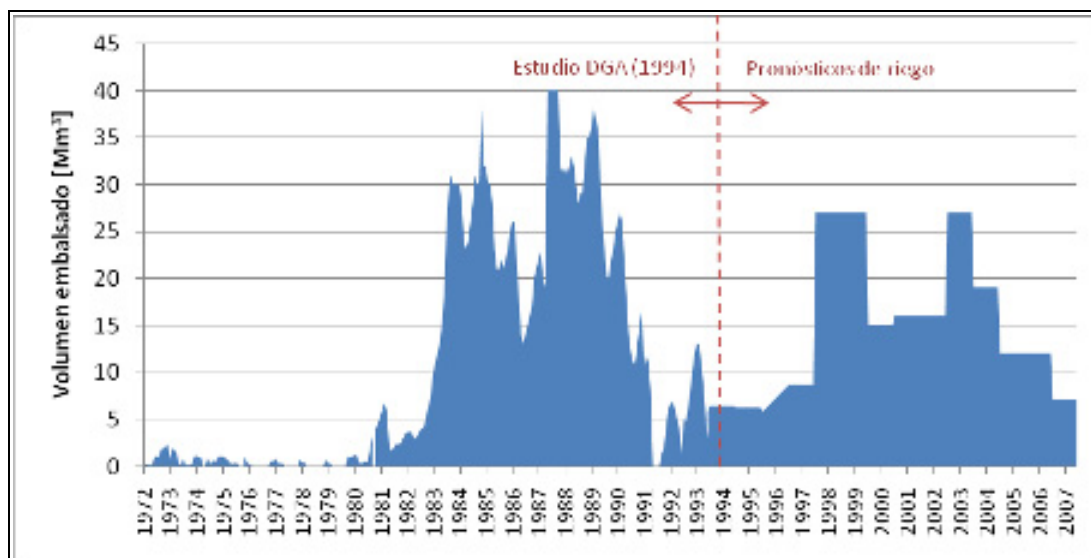
La DGA genera todos los años un pronóstico de la disponibilidad de los recursos con el propósito de dar a conocer la situación hidrológica del país, en especial en las zonas de riego en las principales cuencas del norte chico, centro y sur.

Estos informes entregan un pronóstico para la temporada siguiente de algunas variables hidrometeorológicas, y presentan un resumen de estas variables para el año transcurrido. Dentro de estas variables se tienen caudales, precipitaciones nivales y estados de los embalses.

Para la cuenca del Río Copiapó el único antecedente además de los caudales corresponde al estado del Embalse Lautaro. En estos informes no se publican mediciones de precipitaciones nivales para esta cuenca.

En la Figura 3-46 se presentan los niveles del Embalse Lautaro. En esta figura se agrupan datos de dos fuentes distintas. Por un lado, se tienen volúmenes mensuales entre los años 1972 y 1993 obtenidos a partir del estudio Situación de los Recursos Hídricos (DGA, 1994), cuyo resumen se encuentra en la sección 3.1.7, y por otro se tienen los volúmenes promedio anual del embalse entre 1985 y 2007 de los pronósticos. Para los años en que se tienen tanto valores mensuales como anuales se optó por dejar los valores mensuales.

De estos antecedentes los únicos datos de interés para la cuenca del Río Copiapó corresponden a los volúmenes anuales para el período comprendido entre 1994 y 2007, donde no se tenían datos al respecto. Esta información puede ser de utilidad en el posterior modelo de aguas superficiales.



[Fuente: Modificado de DGA (1985-2008)]

Figura 3-46. Volumen de agua en Embalse Lautaro.

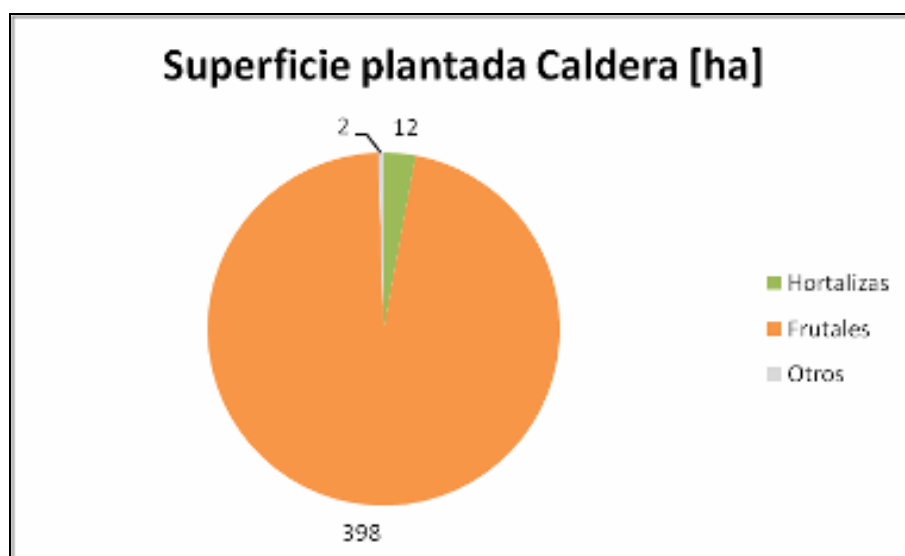
3.1.23 INE (2008). Resultados Preliminares VI Censo Nacional Agropecuario y Forestal

El Censo Nacional Agropecuario y Forestal tiene por objetivo generar información confiable y detallada geográficamente sobre las actividades silvoagropecuarias en el territorio nacional. En la Tabla 3-47 y Figura 3-47 a la Figura 3-49 se resume la *información* relevante para las comunas pertenecientes a la cuenca del Río Copiapó.

Tabla 3-47. Superficie según sistema de riego.

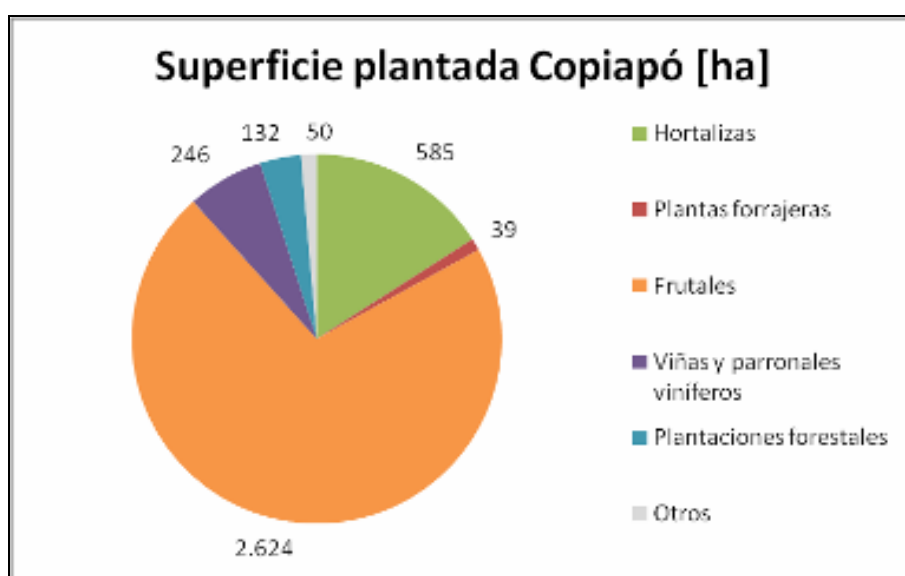
| | Sistema de riego | | | | | |
|-----------------|------------------|------------|-----------------------|----------------|--------------------|--------------------------------|
| | Tendido [ha] | Surco [ha] | Otro tradicional [ha] | Aspersión [ha] | Goteo y cinta [ha] | Microaspersión y microjet [ha] |
| Copiapó | 175,15 | 631,90 | 52,90 | 3,90 | 2.761,80 | 0,00 |
| Caldera | 0,00 | 40,00 | 0,00 | 0,00 | 364,50 | 0,00 |
| Tierra Amarilla | 220,17 | 138,00 | 6,82 | 0,60 | 6.573,65 | 0,30 |

[Fuente: INE (2008)]



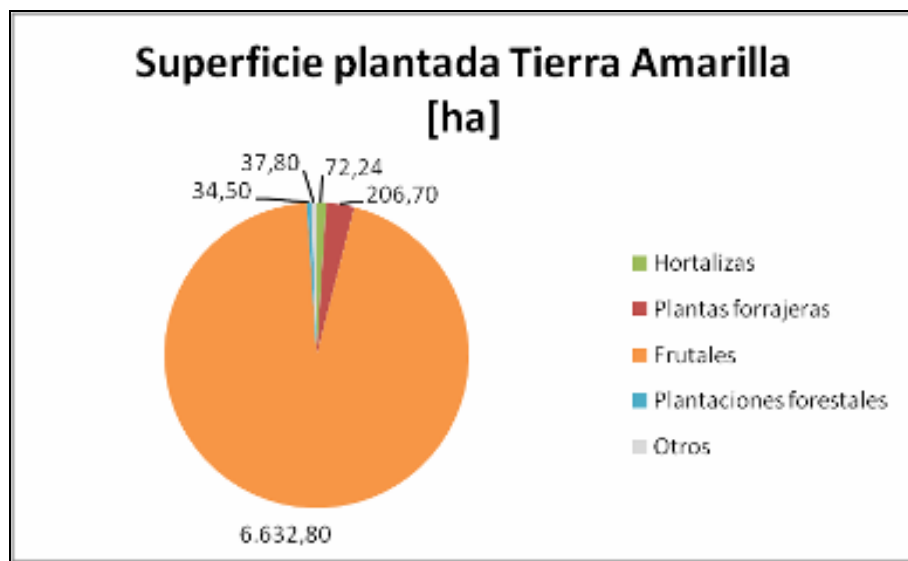
[Fuente: Modificado de INE (2008)]

Figura 3-47. Distribución de superficie plantada comuna de Caldera.



[Fuente: Modificado de INE (2008)]

Figura 3-48. Distribución de superficie plantada comuna de Copiapó.



[Fuente: Modificado de INE (2008)]

Figura 3-49. Distribución de superficie plantada comuna de Tierra Amarilla.

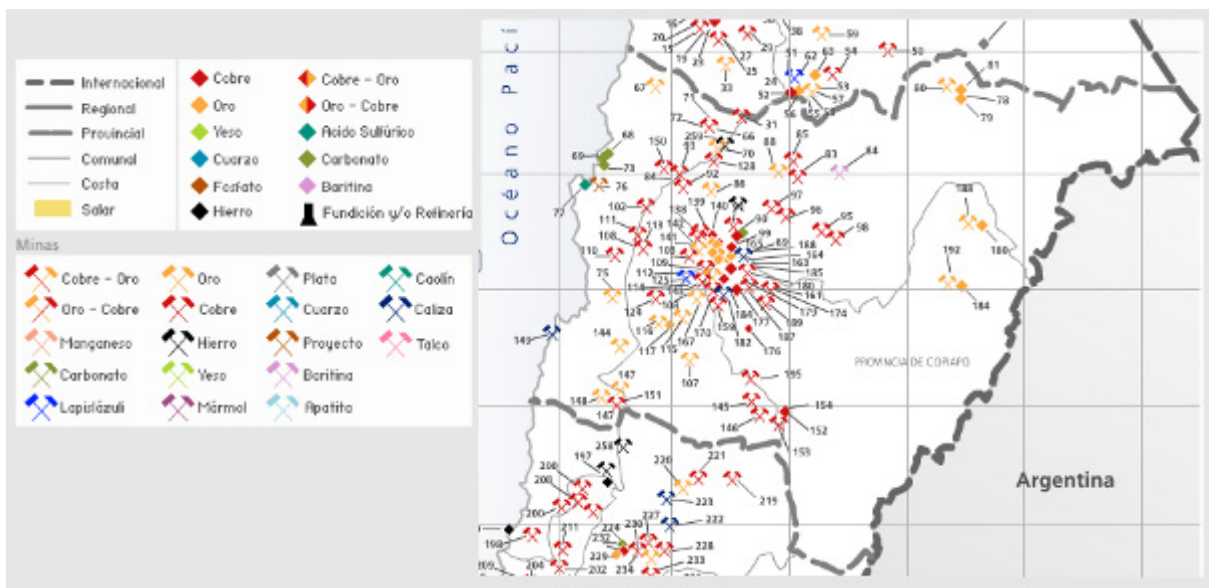
Los resultados de este censo permiten disponer de información confiable y actualizada sobre los usos del suelo de la cuenca y los sistemas de riego empleados. Se dispone de las superficies plantadas por tipo de cultivo y de los sistemas de riego utilizados, lo cual resulta un antecedente importante para efectos de este proyecto.

3.1.24 CORFO (2008). Estudio Mercado Minero Industrial Macrozona Norte

En este informe se presentan estadísticas e información actualizada sobre los proyectos mineros en la zona norte del país y sus principales características. Se incluye además un listado con los principales proyectos en carpeta y la capacidad estimada de éstos, tanto para la minería metálica como no metálica.

La Figura 3-50 presenta un mapa con los principales las faenas mineras existentes en la Provincia de Copiapó.

Este informe sirve como fuente de información sobre una de las principales actividades económicas en la zona. Tal como se ha presentado en diversos estudios, la minería es uno de los principales usuarios de los recursos hídricos de la cuenca, por lo que conocer el detalle de los proyectos existentes y en carpeta resulta de utilidad para proyectar la demanda de agua de esta industria en los años venideros, teniendo en cuenta además que se dispone de valores promedio de los requerimientos hídricos de una mina por unidad de producto.



[Fuente: CORFO (2008)]

Figura 3-50. Proyectos mineros Provincia de Copiapó.

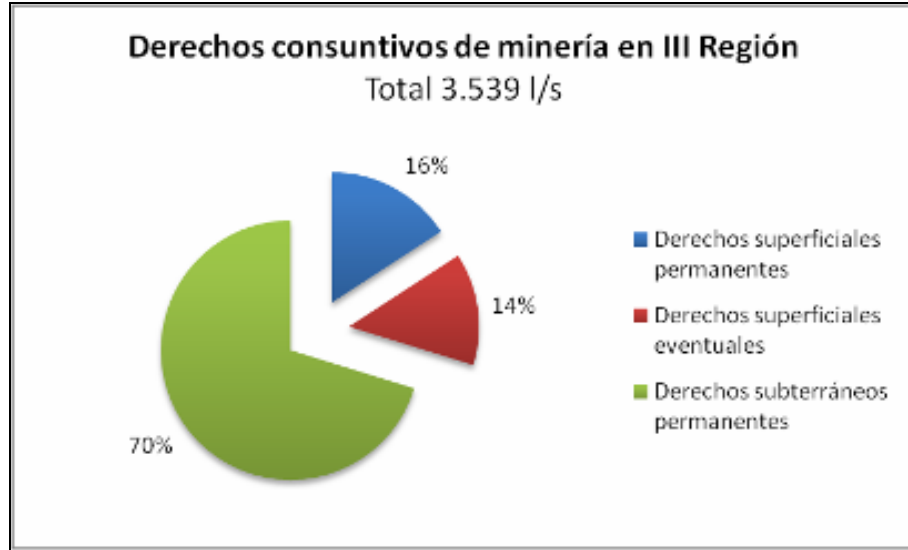
3.1.25 Proust Consultores para DGA (2008). Derechos, Extracciones y Tasas Unitarias de Consumo de Agua del Sector Minero Regiones Centro-Norte de Chile

Este estudio tuvo por objetivo cuantificar los derechos de agua de la industria minera en Chile, así como también estimar los caudales utilizados en la faena como agua fresca (o make up) y las tasas de consumo unitario en los principales procesos. El estudio comprende las faenas ubicadas desde la VI Región al norte, productoras de cobre, hierro, oro, plata y minerales no metálicos, y agrupa el 95% de la producción nacional.

Las empresas mineras de la III Región incluidas en el estudio son: Mantos Verdes, Cía. Minera Nevada, Cía. Minera Mantos de Oro, Codelco División Salvador, Cía. Minera Candelaria, Cía. Minera Ojos del Salado, Cía. Minera del Pacífico, Sociedad Punta del Cobre y Soquimich.

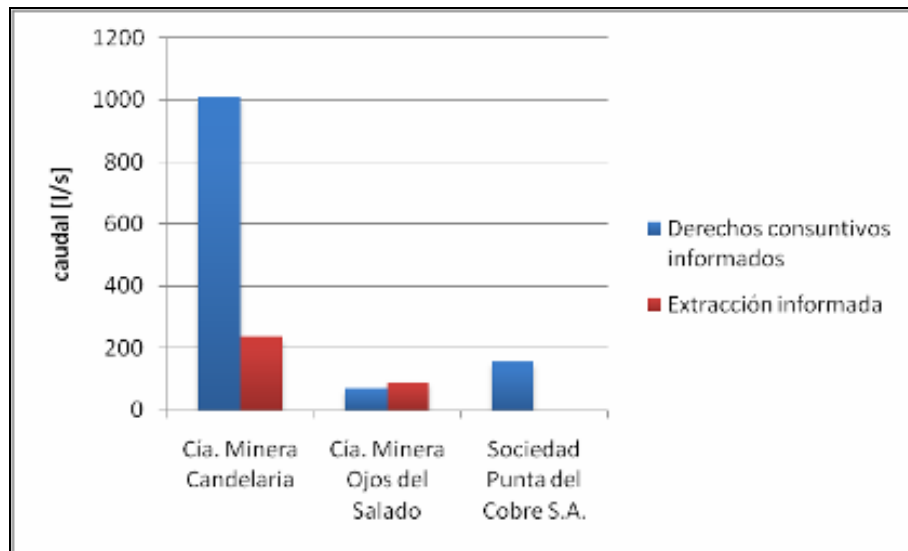
En la Figura 3-51 se presenta la distribución de los derechos de uso consuntivo de las mineras en la III Región, los cuales suman un total de 3.539 l/s. La situación de la cuenca del Río Copiapó se presenta en la Figura 3-52.

El consumo unitario de agua de las mineras pertenecientes a la cuenca del Río Copiapó se presentan en la Tabla 3-48. El coeficiente unitario promedio nacional para el proceso de concentración es de 0,79 m³/ton y para el proceso de hidrometalurgia es de 0,13 m³/ton.



[Fuente: Modificado de Proust Consultores (2008)]

Figura 3-51. Distribución de derechos consuntivos informados en la III Región.



[Fuente: Modificado de Proust Consultores (2008)]

Figura 3-52. Derechos consuntivos de mineras informados en la cuenca del Río Copiapó.

Tabla 3-48. Consumos unitarios mineras en cuenca del Río Copiapó.

| Empresa | Extracción validada proceso concentración [L/s] | Consumo unitario [m³ agua fresca/ton] |
|-----------------------------|--|---|
| Cía. Minera Candelaria | 239 | 0,34 |
| Cía. Minera Ojos del Salado | 89 | 1,99 |

[Fuente: Proust Consultores (2008)]

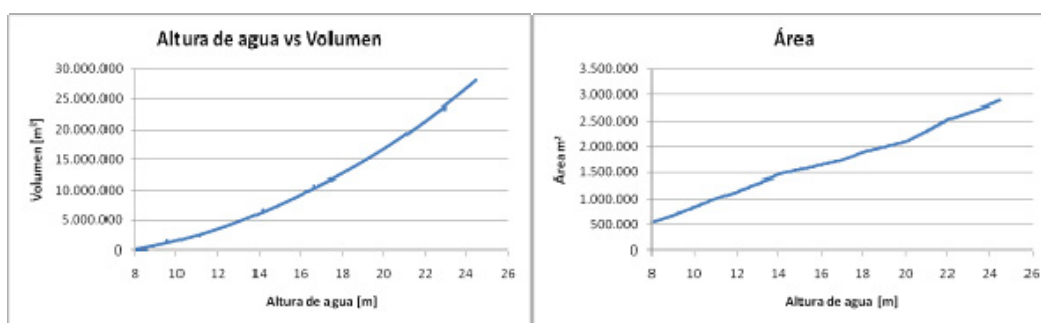
El estudio entrega información detallada y actualizada sobre el uso de los recursos hídricos en a minería a nivel nacional y a nivel de la cuenca del Río Copiapó. Los consumos específicos de cada proceso se suman a los antecedentes ya existentes sobre el consumo de agua en la minería y hacen posible contar con rangos confiables para la estimación de la demanda hídrica de las empresas mineras.

Los anexos de este estudio presentan los valores en detalle para cada empresa, indicando también los pozos de extracción utilizados.

3.1.26 Junta de Vigilancia del Río Copiapó (2008). Resumen Embalse Lautaro

La Junta de Vigilancia del Río Copiapó (JVRC), a través de su sitio web www.jvrc.cl puso a disposición algunas estadísticas del Embalse Copiapó. En ellas se encuentran valores diarios para el año 2008 de la altura de agua del embalse, el volumen almacenado, la evaporación y el área del espejo de agua. Adicionalmente, se presentan los caudales de entrada y salida registrados para cada día, con lo cual se puede disponer de una aproximación del balance de masa diario en el embalse, ya que las pérdidas por infiltración se pueden deducir a partir de la diferencia en los niveles y los caudales registrados de entrada y salida.

En esta planilla se presenta también la curva de altura de agua vs. volumen del embalse, la curva de altura de agua vs. área superficial (ambas en la Figura 3-53), y las curvas de descarga de las secciones de entrada y salida.



[Fuente: JVRC (2008)]

Figura 3-53. Curvas de altura de agua vs. volumen y área del Embalse Lautaro.

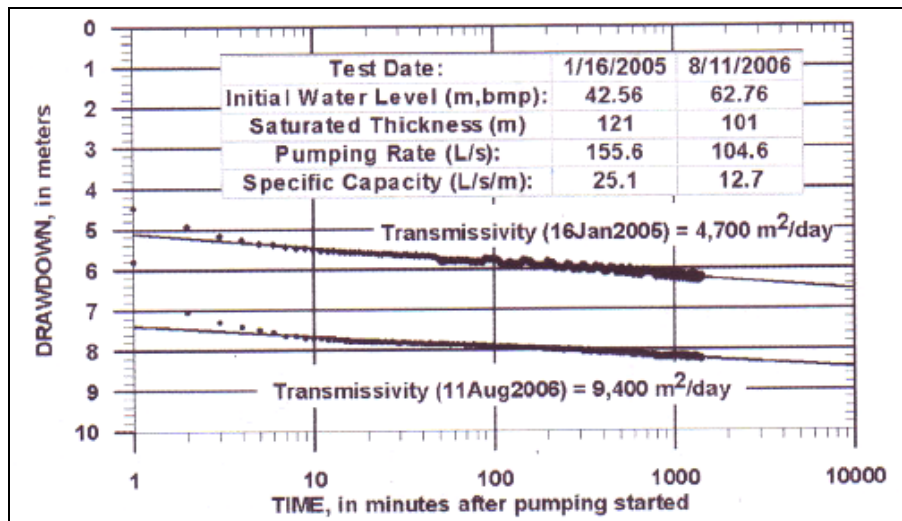
Los niveles del Embalse Lautaro, así como sus curvas de altura de agua versus volumen y área sirven para conocer el funcionamiento de esta obra de regulación cuya importancia en los caudales aguas abajo y en la recarga del acuífero ha sido recalcada por los diversos estudios revisados.

3.1.27 Rosko, M. & Cortés, J. (2008). Status of Groundwater Levels in the Copiapo Valley

Este paper realizado por personal de Minera Candelaria y Errol Montgomery da cuenta de las grandes variaciones del nivel freático en el acuífero de Copiapó al producirse cambios en la recarga del sistema.

La recarga del acuífero proviene del escurrimiento del Río Copiapó y sus afluentes, principalmente cuando se producen eventos poco frecuentes de precipitación, luego de los cuales los niveles decaen en forma progresiva hasta un nuevo evento de este tipo.

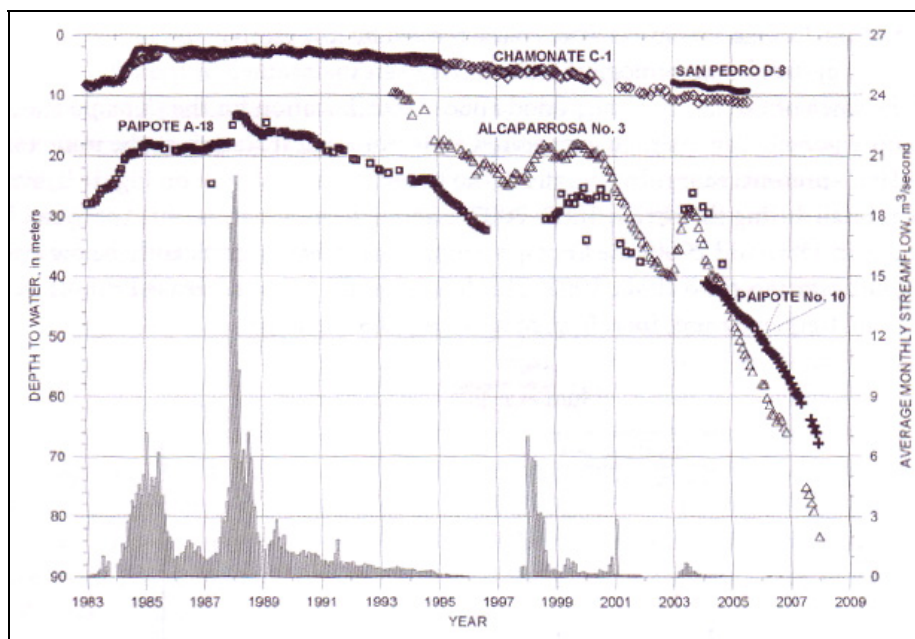
El acuífero registra descensos importantes en sus niveles frente a las extracciones y al vaciamiento natural del almacenamiento luego de un período de recarga debido a la alta transmisividad que presenta, y a la forma de “V” que posee el basamento visto en un corte transversal. Esto implica que a medida que descienden los niveles, se produce un agotamiento del recurso a una tasa cada vez más alta, lo cual se ve reforzado por una disminución de la transmisividad al aumentar la profundidad en el relleno, tal como se aprecia en la Figura 3-54.



[Fuente: Rosko, M. & Cortés, J. (2008)]

Figura 3-54. Resultados de prueba del pozo N° 12.

Los descensos históricos de los niveles del acuífero para distintos pozos se presentan en la Figura 3-55, junto con los caudales del Río Copiapó. Las opciones descritas para disminuir estos descensos consisten en incrementar de la conservación del agua, usar el recurso de manera más eficiente, aumentar la recarga, utilizar aguas subterránea de menor calidad de zonas subutilizadas del valle, e importar agua desde fuera del valle.



[Fuente: Rosko, M. & Cortés, J. (2008)]

Figura 3-55. Niveles en pozos de observación y caudales del Río Copiapó en estación Copiapó.

Este paper entrega un resumen de las principales características hidrogeológicas e hidrológicas en el valle del Río Copiapó. Se explican las razones por las cuales se han producido niveles de tal magnitud en los últimos años, siendo éstas la explotación no sustentable del acuífero y el vaciamiento natural que se produce, lo cual se agudiza por la alta permeabilidad del acuífero, su bajo espesor y la disminución de la capacidad de almacenar agua en los sectores más profundos del relleno.

3.1.28 Rosko, M. & Cortés, J. (2008). Preliminary Characterization of the Copiapo Valley Aquifer System

En este paper realizado por personal de Minera Candelaria y la consultora Errol Montgomery se reportan los resultados de una campaña de perforación y construcción de pozos llevada a cabo por Minera Candelaria en los sectores de Tierra Amarilla, Chamonate y Paipote. En la mayoría de las perforaciones realizadas se intentó atravesar el espesor completo del relleno

existente en el valle, para obtener así mayor conocimiento sobre la ubicación exacta del basamento rocoso, y estimar la permeabilidad a lo largo del relleno.

La Tabla 3-49, la Tabla 3-50 y la Tabla 3-51 presentan los resultados de la construcción y pruebas de bombeo de los pozos.

Tabla 3-49. Resumen de construcción y pruebas de bombeo en pozos de las áreas de Alcaparrosa y Palermo.

| Pozo | Fecha construcción/prueba de bombeo | Profundidad basamento [m] | Transmisividad [m²/d] | Permeabilidad promedio [m/d] |
|--------------------|--|----------------------------------|---|-------------------------------------|
| <i>Alcaparrosa</i> | | | | |
| Pozo N° 8 | Feb 2002 | >117 | 3.600 | 50 |
| Pozo N° 12 | Ene 2005 | 164 | 9.400 | 100 |
| Pozo N° 14 | Ene 2006 | >164 | 2.600 | 28 |
| <i>Palermo</i> | | | | |
| Pozo N° 9 | Abr 2002 | >152 | 3.400 | 33 |
| Pozo N° 13 | Mar 2005 | >169 | 3.200 | 32 |

[Fuente: Rosko, M. & Cortés, J. (2008)]

Tabla 3-50. Resumen de construcción y pruebas de bombeo en pozos del área de Paipote.

| Pozo | Fecha construcción/prueba de bombeo | Profundidad basamento [m] | Transmisividad [m²/d] | Permeabilidad promedio [m/d] |
|-------------|--|----------------------------------|---|-------------------------------------|
| Pozo N° 10 | Oct 2003 | 162 | 30.000 | 220 |
| Pozo N° 11 | Ene 2004 | 176 | 15.000 | 120 |
| Pozo N° 15 | Jul 2007 | >172 | 7.800 | 115 |

[Fuente: Rosko, M. & Cortés, J. (2008)]

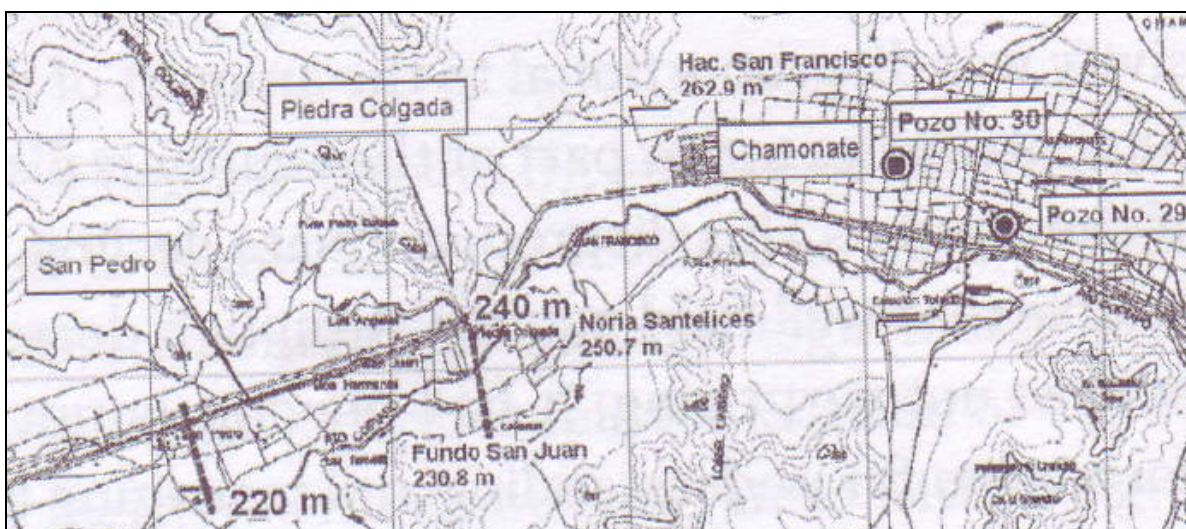
Tabla 3-51. Resumen de construcción y pruebas de bombeo en pozos del área de Chamonate.

| Pozo | Fecha construcción/prueba de bombeo | Profundidad basamento [m] | Transmisividad [m ² /d] | Permeabilidad promedio [m/d] |
|------------|-------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Pozo N° 29 | May 2006 | 120 | 9.000 | 140 |
| Pozo N° 30 | Ago 2006 | 89 | 2.000 | 40 |

[Fuente: Rosko, M. & Cortés, J. (2008)]

En este estudio se estimó además el flujo subterráneo entre el Sector 5 del valle, donde está localizado Chamonate, y el Sector 6, donde se ubica San Pedro (Figura 3-56). Esto se realizó en base a las mediciones de niveles y los parámetros estimados, y se obtuvo un valor de aproximadamente 1.400 l/s.

La realización de esta campaña de perforaciones y pruebas de bombeo entrega información de primera fuente sobre estos sectores ubicados aguas abajo del Río Copiapó, la cual pasa a engrosar los antecedentes disponibles y entrega un mejor conocimiento del funcionamiento del acuífero en este sector.



[Fuente: Rosko, M. & Cortés, J. (2008)]

Figura 3-56. Sectores 5 y 6.

3.2 Síntesis de Inspecciones a Terreno

Se realizó una visita a la región y una inspección de terreno entre los días 30 de Junio y 04 de Julio de 2008. Los objetivos de esta visita fueron, tomar contacto con los protagonistas involucrados en la gestión de los recursos hídricos y, el reconocimiento general de la zona a estudiar. A continuación se presenta una descripción de las actividades realizadas.

El día 30 de Junio se realizó la visita a dependencias de la Dirección General de Aguas de la Región de Atacama, efectuando una reunión junto con Patricio Luengo y Alejandra Aguilar. Los temas tratados en esta reunión fueron los siguientes: describir el objetivo principal del estudio, solicitar información sobre derechos de aprovechamientos de agua y finalmente tomar conocimiento de la gestión que se está realizando sobre los recursos hídricos en la zona, esto a través de la Secretaría Ejecutiva del Agua.

El día 01 de Julio fuimos invitados a participar de una salida de reconocimiento de la zona alta de la cuenca del río Copiapó, con el grupo que conforma la Secretaría Ejecutiva del Agua. En esta salida participaron integrantes de la Dirección General de Aguas, Junta de Vigilancia del río Copiapó, Fundación Chile, Gobierno Regional, Minera Candelaria, entre otros.

El principal objetivo de esta salida fue reconocer los afluentes del río Jorquera, que a su vez es un afluente importante al río Copiapó. En la Figura 3-57 se muestra la ruta realizada y en la Figura 3-58 algunas fotografías de la zona recorrida.

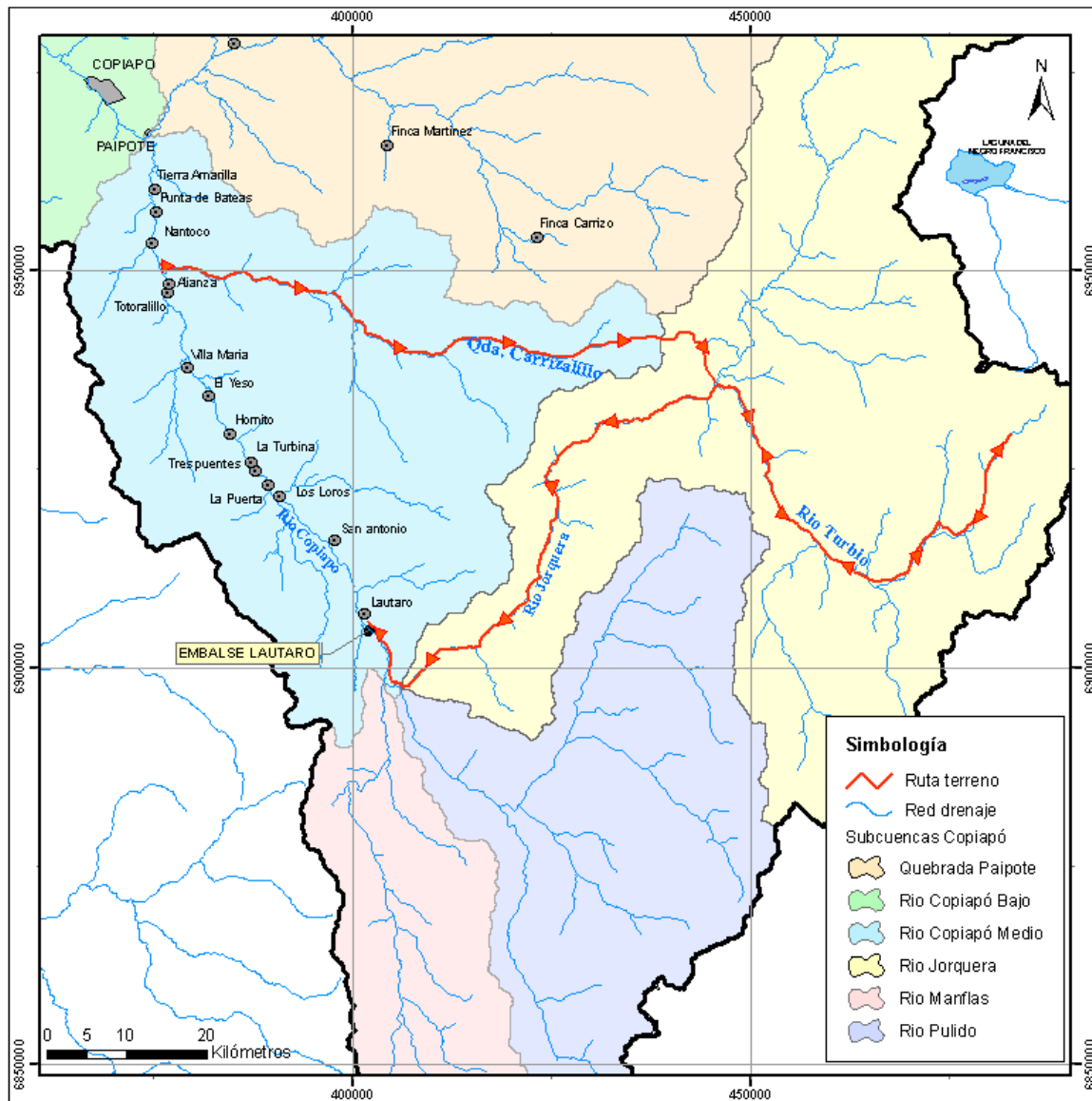
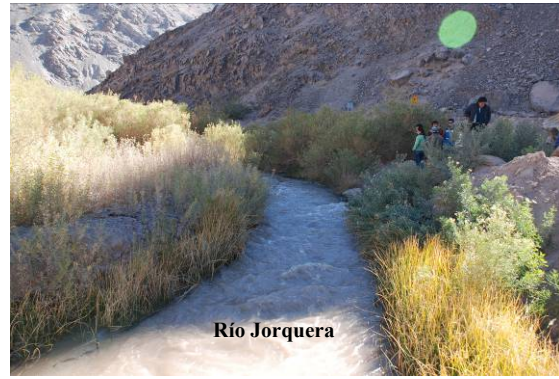


Figura 3-57. Recorrido realizado en conjunto con la secretaria ejecutiva del agua.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 3-58. Fotografías del recorrido realizado en conjunto con la Secretaría Ejecutiva del Agua. (a) Cuenca alta del Copiapó. (b) y (c) Río Jorquera. (d) Riego asociativo para pequeños agricultores. (e) Alfalfa de Comunidad Colla. (f) Afluentes del Río Jorquera: Turbio y Figueroa.



(g)



(h)



(i)



(j)



(k)



(l)

Figura 3-58. Fotografías del recorrido realizado en conjunto con la Secretaría Ejecutiva del Agua (Continuación). (g) Río Cachito y Turbio. (h) Estación SAG. (i) Río Mata Caballo. (j) Parronales del Valle del Río Jorquera. (k) Estación Fluviométrica DGA Río Jorquera en Vertedero. (l) Embalse Lautaro.

El día miércoles 02 de Julio nos reunimos con el Señor Carlos Araya perteneciente a la comunidad de aguas subterráneas del sector bajo de la cuenca. El objetivo principal de esta reunión fue mejorar la encuesta realizada por SITAC, empresa que abarcó la zona ubicada entre el nacimiento de los ríos Jorquera, Manflas y Pulido, y el sector La Puerta. Posteriormente, se realizó una visita que comprendió desde la desembocadura del Río Copiapó hasta el Sector Chamonate (puerta norte de la ciudad de Copiapó), la Figura 3-59 muestra la ruta realizada ese día.

La visita comenzó en el sector de la desembocadura del río Copiapó (a 2 km de la playa Puerto Viejo), luego seguimos viaje bordeando la rivera norte del río hasta encontrarnos con la gran Hacienda Maria Isabel, a unos 15 km de la desembocadura (según información de trabajadores la hacienda tiene una superficie de aproximadamente 35.000 há).

Siguiendo con la visita de reconocimiento, al tomar la ruta 5 norte, antes de Piedra Colgada, nos pudimos dar cuenta que existen una gran cantidad de predios con bastantes hectáreas, incluso algunos con sus propias instalaciones para preparar la fruta a exportar. Luego de esto, ingresamos al sector de Piedra Colgada para tener una idea de la cantidad de predios a catastrar, notándose la presencia de una gran cantidad de predios pequeños, situación que se repite hasta el sector de Chamonate (entrada norte de la ciudad de Copiapó). En la Figura 3-60 se muestran algunas de las fotografías tomadas en terreno.

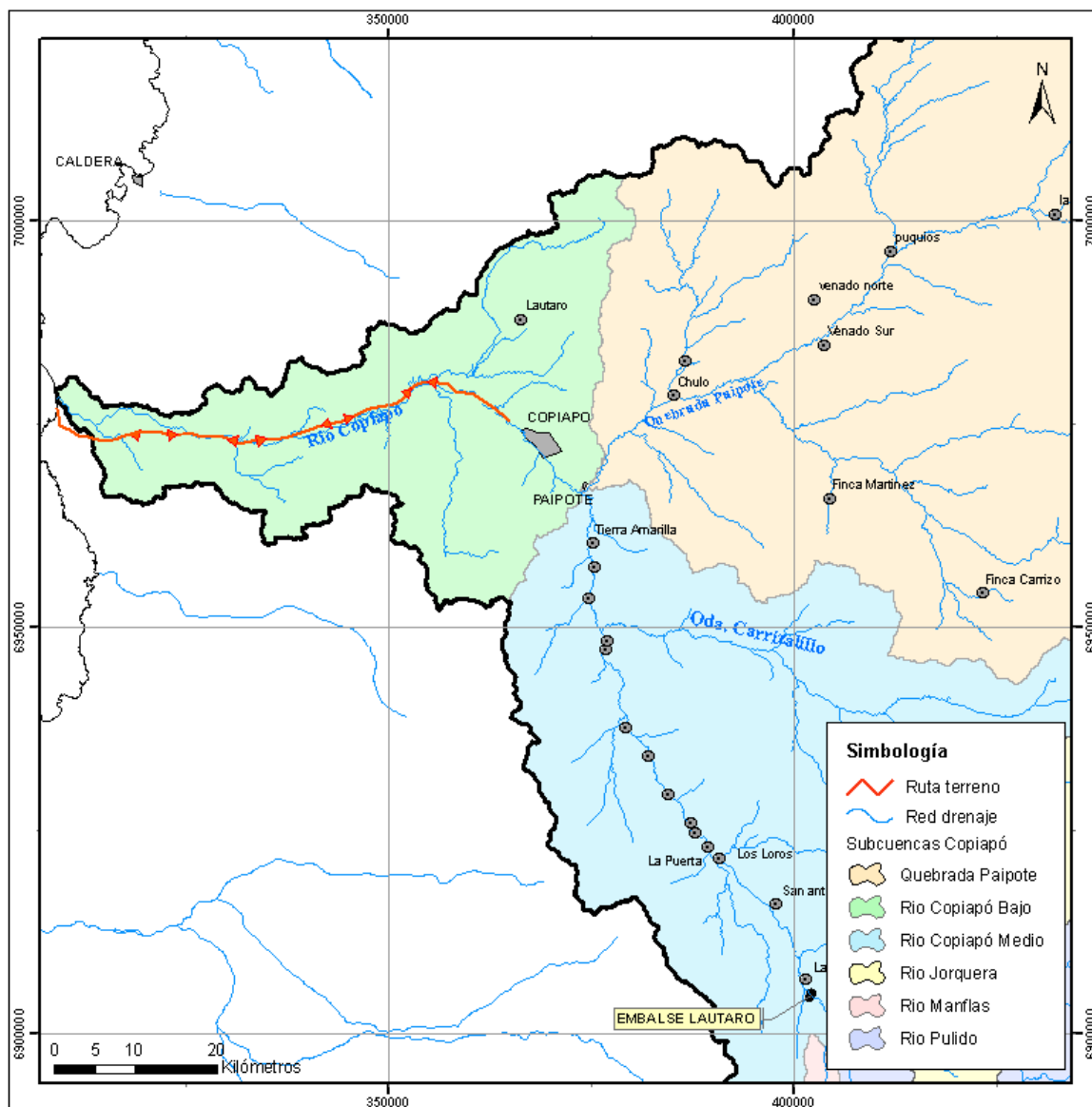


Figura 3-59. Ruta desde la Desembocadura del Río Copiapó hasta el sector Chamonate.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 3-60. Fotografías del recorrido realizado desde la desembocadura del río Copiapó hasta Sector Chamonate. (a) Pajonales lecho del Río Copiapó. (b) Paso sobre Río Copiapó. (c) Desembocadura. (d) Puente sobre Río Copiapó. (e) Entrada Hacienda María Isabel. (f) Cítricos en Hacienda María Isabel.



(g)



(h)

Figura 3-60. Fotografías del recorrido realizado desde la desembocadura del río Copiapó hasta Sector Chamonate (Continuación). (g) Río en San Pedro, (h) Pozo en Piedra Colgada.

El día jueves 03 de Julio se realizó una visita desde el sector La Puerta hasta la comuna de Tierra Amarilla, en conjunto con el celador mayor de la Junta de Vigilancia del río Copiapó, Señor Hugo Cicardini. Se recorrieron las obras de captación del río y se hizo un reconocimiento general de la zona a catastrar (Figura 3-61).

La visita se inició en la estación fluviométrica de la Dirección General de Aguas ubicada en el sector La Puerta correspondiente al tercer distrito del Río Copiapó. Luego se visitó la bocatoma La Turbina, que alimenta una pequeña central hidroeléctrica, devolviéndose posteriormente el agua al canal. A la salida de la central, el canal se divide en dos tramos mediante compuertas, el primero regresa una parte del caudal al río y el segundo conduce agua al predio de propiedad de los Prohens.

Posteriormente, se visitó el canal el Carrizo donde se observó que se están realizando trabajos de entubamiento del canal. Este canal alimenta a un acumulador, denominado Represa Comunitaria de Hornitos, que lo utilizan tres empresas.

Siguiendo con la visita, se recorrió el canal el Jardín, hasta el sector del puente El Yeso (sobre el río Copiapó) y posteriormente se llegó a la toma del canal Compuertas Negras, donde todo el caudal del río es extraído. Este canal presenta tres entregas de agua mediante compuertas a lo largo de su tramo. Posteriormente el canal cambia de nombre a Mal Paso Chico con 5 entregas prediales y, finalmente, el canal cambia de nombre a Mal Paso con 15 entregas. En la Figura 3-62 se muestran algunas de las fotografías tomadas en terreno.

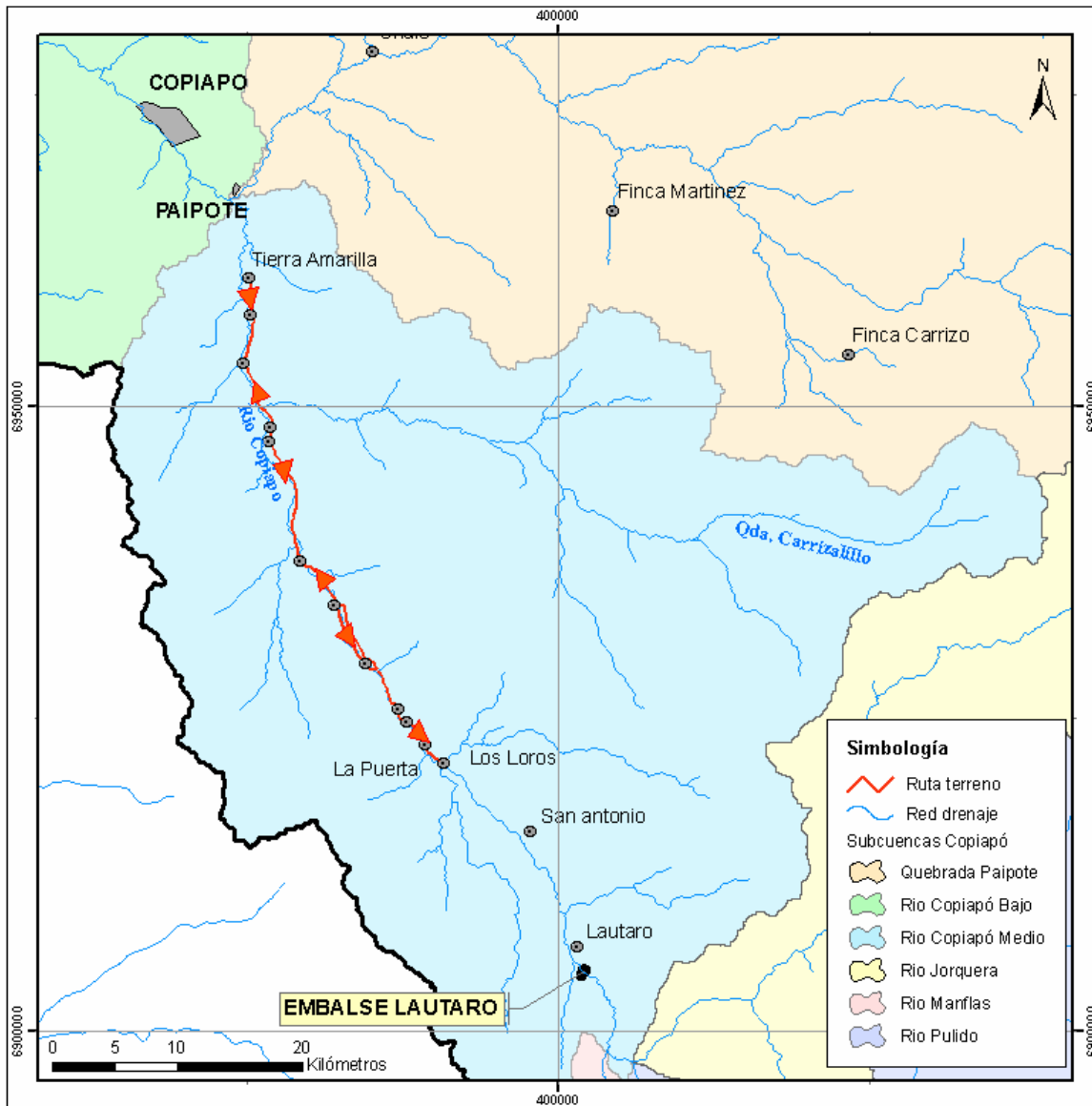


Figura 3-61. Ruta desde Sector la Puerta hasta Tierra Amarilla.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 3-62. Fotografías del recorrido realizado desde el sector La Puerta hasta Tierra Amarilla. (a) y (b) Estación Fluviométrica DGA sector La Puerta. (c) y (d) Canal Turbina, (e) y (f) predio perteneciente a Prohens.



(g)



(h)



(i)



(j)



(k)



(l)

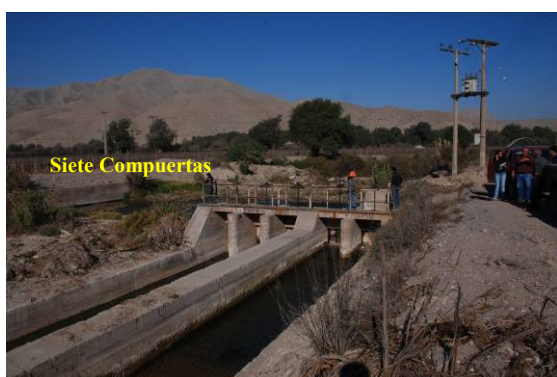
Figura 3-62. Fotografías del recorrido realizado desde el sector La Puerta hasta Tierra Amarilla (Continuación). (g) Represa comunitaria de Hornitos, alimentado por el canal El Carrizo. (h) Toma Canal el Carrizo. (i) y (j) Canal el Jardín. (k) Río Copiapó en el Yeso. (l) Relaves de la minera Elisa de Bordo.



(m)



(n)



(o)



(p)

Figura 3-62. Fotografías del recorrido realizado desde el sector La Puerta hasta Tierra Amarilla (Continuación). (m) y (n) Canal compuertas Negras. (o) Siete Compuertas, comienzo de Canal Mal Paso. (p) Canal Mal Paso.

El día viernes 04 de Julio se visitó las dependencias de la Junta de Vigilancia del Río Copiapó con el fin de obtener información sobre la distribución de las aguas superficiales, usuarios y acciones. Además se realizaron todos los contactos para comenzar con el catastro el día 04 de Agosto. Para finalizar la visita, nos pusimos en contacto con la oficina del Conservador de Bienes Raíces donde se informó que revisaríamos los documentos sobre derechos de aguas.

En conclusión, la visita a terreno permitió tener una idea clara de la cantidad de predios a catastrar, de la morfología general y cobertura vegetal de la cuenca. Se observó que la mayor parte de predios a catastrar están ubicados principalmente entre la comuna de Tierra Amarilla y el sector de San Pedro. En la zona norte de San Pedro la cantidad de predios disminuye, sin embargo, son de mayor superficie. Esta situación se repite entre el sector La Puerta hacia Tierra Amarilla.

En cuanto a la morfología, la cuenca presenta en su parte alta zonas con altas pendientes y escasa cobertura vegetal, siendo las precipitaciones de origen nival. En la zona media y baja de la cuenca, junto al cauce del río y sus afluentes, se presentan extensos valles con pendientes medias y bajas que han permitido el desarrollo de la agricultura. En las zonas alejadas del cauce no existe cobertura vegetal de ningún tipo. En esta zona el río es alimentado principalmente de precipitaciones y aportes subterráneos. En términos generales los suelos de los sectores visitados están formados principalmente de arenas y gravas con una permeabilidad media a alta, tanto en la parte alta, media y baja de la cuenca.

3.3 Síntesis de Información Hidrometeorológica

A continuación se presenta la disponibilidad de información hidrometeorológica entregada por la DGA dentro de los Términos de Referencia del presente estudio. Para cada una de las variables se indica la estación con su rol correspondiente, y el rango de años en que existe información. Es necesario mencionar que los rangos de años presentados muestran períodos donde existen datos, pero no se indica la calidad de los datos dentro de cada período, lo cual fue analizado en el Tomo III de este informe.

Las variables hidrometeorológicas con información disponible corresponden a: caudales medios mensuales, precipitaciones mensuales, evaporación total mensual, evaporación media mensual, humedad relativa media mensual, temperatura media mensual, velocidad diaria del viento.

3.3.1 Caudales

Tabla 3-52. Disponibilidad de caudales medios mensuales.

| Código BNA | Estación | Rango de años |
|-------------------|---|----------------------|
| 3434002 | Canal Mal Paso después de Bocatoma | 1988-2007 |
| 3453001 | Río Copiapó en Angostura | 1963-2007 |
| 3450001 | Río Copiapó en Ciudad de Copiapó | 1983-2007 |
| 3431002 | Río Copiapó en El Bosque | 1919-1931 |
| 3431001 | Río Copiapó en La Puerta | 1927-2007 |
| 3430001 | Río Copiapó en Lautaro | 1931-2007 |
| 3434003 | Río Copiapó en Mal Paso Aguas Abajo Canal | 1988-2007 |
| 3434001 | Río Copiapó en Mal Paso Aguas Arriba Canal | 1929-1988 |
| 3431003 | Río Copiapó en Pabellón | 1927-1930 |
| 3430003 | Río Copiapó en Pastillo | 1927-2007 |
| 3430002 | Río Copiapó en San Antonio | 1927-1988 |
| 3404001 | Río Jorquera en Vertedero | 1949-2007 |
| 3421002 | Río Manflas antes de Junta con San Salvador | 1985 |
| 3421001 | Río Manflas en Vertedero | 1964-2007 |
| 3414001 | Río Pulido en Vertedero | 1964-2007 |

[Fuente: DGA (2008)]

3.3.2 Precipitaciones

Tabla 3-53. Disponibilidad de precipitaciones mensuales.

| Código BNA | Estación | Rango de años |
|-------------------|------------------------------|----------------------|
| 02942001-7 | Aguas Verdes | 1987-2008 |
| 04323007-7 | Almendral | 1958-2008 |
| 02810001-9 | Cachinal de La Sierra | 1986 |
| 03330056-6 | Caldera | 1992-2008 |
| 03701001-4 | Canto de Agua | 1987-2007 |
| 04313003-K | Cochiguaz | 1989-2008 |
| 03802005-6 | Conay | 1965-2008 |
| 03802006-4 | Conay en Albaricoque | 1999-2008 |
| 03450004-5 | Copiapó | 1971-2008 |
| 03940001-4 | Domeiko | 1994-2008 |
| 03804006-5 | El Corral | 1995-2008 |
| 03804005-7 | El Parral | 2003-2008 |
| 03604001-7 | El Totoral | 1987-2008 |
| 03806002-3 | El Tránsito | 1993-2008 |
| 04120001-4 | El Trapiche | 1979-2008 |
| 03431004-1 | Elibor Campamento | 1978-2008 |
| 03825004-3 | Frerina | 1987-2008 |
| 04306002-3 | Huanta | 1989-2008 |
| 03826003-2 | Huasco | 1976-1992 |
| 03826003-0 | Huasco Bajo | 1993-2008 |
| 03414002-2 | Iglesia Colorada | 1988-2008 |
| 02640001-5 | Imilac | 1972-1977 |
| 03404002-8 | Jorquera en La Guardia | 1966-2008 |
| 03804007-3 | Junta del Carmen | 1948-2008 |
| 03801002-6 | Junta Valerianos | 1990-1992 |
| 04302014-5 | Juntas | 1990-2008 |
| 03823004-2 | La Compañía | 1993-2008 |
| 04311005-5 | La Ortiga | 1979-2008 |
| 04335002-1 | La Serena (Escuela Agrícola) | 1971-2008 |
| 03210001-5 | Las Vegas | 1984-2008 |
| 03430006-2 | Lautaro Embalse | 1930-2008 |
| 03430007-0 | Los Loros | 1967-2008 |

[Fuente: DGA (2008)]

Tabla 3-53. Disponibilidad de precipitaciones mensuales. (Continuación).

| Código BNA | Estación | Rango de años |
|-------------------|-------------------------|----------------------|
| 04311004-7 | Los Nichos | 1977-2008 |
| 03802004-8 | Los Tambos | 1959-1992 |
| 03421004-7 | Manflas Hacienda | 1966-2008 |
| 04331004-6 | Molino Yaco | 1958-1965 |
| 04314003-5 | Monte Grande | 1958-2008 |
| 02660001-4 | Monturaqui | 1974-1979 |
| 04400002-4 | Pan de Azúcar | 1978-1993 |
| 03441001-1 | Pastos Grandes | 1966-2008 |
| 04311003-9 | Pisco Elqui DMC | 1977-2008 |
| 04321001-7 | Puclaro Embalse | 1962-1966 |
| 03820001-1 | Río Huasco en Algodones | 2003-2008 |
| 04308003-2 | Rivadavia | 1937-2008 |
| 04334001-8 | San Antonio Fundo | 1961-1963 |
| 03815004-9 | San Félix | 1969-2008 |
| 03820004-6 | Santa Juana | 1961-2008 |
| 02960001-5 | Sierra Overa | 1986-1988 |
| 02943001-2 | Tal Tal | 1971-2008 |
| 03412001-3 | Torín en El Potro | 1991-1992 |
| 03823003-4 | Vallenar | 1972-2008 |
| 03823002-6 | Vallenar DMC | 1978-1983 |
| 02941001-1 | Vaquillas | 1987-1988 |
| 04320003-8 | Vicuña | 1971-2008 |

[Fuente: DGA (2008)]

3.3.3 Evaporación

Tabla 3-54. Disponibilidad de evaporación total mensual y media mensual.

| Código BNA | Estación | Rango de años |
|------------|----------------------|---------------|
| 03701001-4 | Canto de Agua | 1986-2007 |
| 03802005-6 | Conay | 1969-1998 |
| 03802006-4 | Conay en Albaricoque | 1999-2008 |
| 03450004-5 | Copiapó | 1984-2000 |
| 03804005-7 | El Parral | 1993-1998 |
| 03806002-3 | El Tránsito | 1993-2008 |
| 03825004-3 | Freirina | 1987-1992 |
| 03826003-0 | Huasco Bajo | 1993-2006 |
| 03414002-2 | Iglesia Colorada | 1993-2008 |
| 03823004-2 | La Compañía | 1993-2008 |
| 03430006-2 | Lautaro Embalse | 1969-2008 |
| 03430007-0 | Los Loros | 1963-2008 |
| 03815004-9 | San Félix | 1993-2008 |
| 03820004-6 | Santa Juana | 1965-2008 |
| 03823002-6 | Vallenar DMC | 1977-1983 |

[Fuente: DGA (2008)]

3.3.4 Humedad Relativa

Tabla 3-55. Disponibilidad de humedad relativa media mensual.

| Código BNA | Estación | Rango de años |
|------------|-------------------|---------------|
| 03701001-4 | Canto de Agua | 1986-2000 |
| 03802005-6 | Conay | 1986-1998 |
| 03802006-4 | Conay Albaricoque | 1999-2002 |
| 03450004-5 | Copiapó | 1986-2000 |
| 03804005-7 | El Parral | 1993-1998 |
| 03806002-3 | El Tránsito | 1993-2001 |
| 03825004-3 | Freirina | 1987-1992 |
| 03826003-0 | Huasco Bajo | 1993-2001 |
| 03414002-2 | Iglesia Colorada | 1993-2001 |
| 03823004-2 | La Compañía | 1993-2008 |
| 03430006-2 | Lautaro Embalse | 1986-2008 |
| 03430007-0 | Los Loros | 1993-2002 |
| 03815004-9 | San Félix | 1993-2008 |
| 03820004-6 | Santa Juana | 1986-2002 |

[Fuente: DGA (2008)]

3.3.5 Temperatura

Tabla 3-56. Disponibilidad de temperaturas medias mensuales de termómetros de extremas.

| Código BNA | Estación | Rango de años |
|-------------------|----------------------|----------------------|
| 03701001-4 | Canto de Agua | 1986-2007 |
| 03802006-4 | Conay en Albaricoque | 1999-2008 |
| 03802005-6 | Conay | 1965-1998 |
| 03450004-5 | Copiapó | 1984-2000 |
| 03804005-7 | El Parral | 1993-1998 |
| 03806002-3 | El Tránsito | 1993-2008 |
| 03825004-3 | Freirina | 1987-1992 |
| 03826003-0 | Huasco Bajo | 1993-2006 |
| 03414002-2 | Iglesia Colorada | 1993-2008 |
| 03823004-2 | La Compañía | 1993-2008 |
| 03430006-2 | Lautaro Embalse | 1969-2008 |
| 03430007-0 | Los Loros | 1988-2008 |
| 03815004-9 | San Félix | 1993-2008 |
| 03820004-6 | Santa Juana | 1965-2008 |
| 03823002-6 | Vallenar DMC | 1977-1983 |

[Fuente: DGA (2008)]

3.3.6 Velocidad del Viento

Tabla 3-57. Disponibilidad de velocidad diaria del viento.

| Código BNA | Estación | Rango de años |
|------------|----------------------|---------------|
| 03802006-4 | Conay en Albaricoque | 1999-2000 |
| 03450004-5 | Copiapó | 1993-2000 |
| 03804005-7 | El Parral | 1993-1998 |
| 03806002-3 | El Tránsito | 1993-2002 |
| 03826003-0 | Huasco Bajo | 1993-2002 |
| 03414002-2 | Iglesia Colorada | 1993-2002 |
| 03823004-2 | La Compañía | 1993-2007 |
| 03430007-0 | Los Loros | 1993-2002 |
| 03815004-9 | San Félix | 1993-2007 |
| 03820004-6 | Santa Juana | 1993-2002 |

[Fuente: DGA (2008)]

3.4 Listado de Catastros

Dentro de los estudios revisados se encontraron diversos catastros que resultan relevantes para el objetivo del estudio. En las tablas a continuación se identifica cada uno de ellos y se indica la información que contienen. Existen catastros disponibles de pozos, derechos de aprovechamiento, regantes, canales y actividades industriales y mineras en la zona.

3.4.1 Pozos

Tabla 3-58. Catastros de pozos en antecedentes revisados.

| Año | Autor | Título | Información disponible | Sector |
|------|-------------------|---|---|---|
| 2006 | Golder Associates | Diagnóstico de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Copiapó y Proposición de un Modelo de Explotación Sustentable | Coordenadas, cota, predio, propietario, profundidad de perforación, profundidad de habilitación, nivel estático, nivel dinámico, diámetro pozo, diámetro de impulso, caudal, uso, estado, extracción en verano e invierno, niveles estáticos en el tiempo | Cuenca completa |
| 2003 | DGA | Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos del Valle del Río Copiapó | Coordenadas, cota, profundidad de perforación, profundidad de habilitación, nivel estático y dinámico, estratigrafía, extracciones en invierno y verano | Cuenca completa |
| 2002 | DGA | Catastro de Pozos y Norias Valle de Copiapó | Coordenadas, cota, predio, propietario, profundidad de perforación, profundidad de habilitación, nivel estático, nivel dinámico, diámetro pozo, diámetro de impulso, caudal, uso, estado, extracción en verano e invierno | |
| 1999 | SERNAGEOMIN | Estudio Hidrogeológico del Valle del Río Copiapó, Segmento Embalse Lautaro – Piedra Colgada | Coordenadas, predio, propietario, constructor, fecha perforación, profundidad de perforación, profundidad de habilitación, nivel estático diámetro pozo, ubicación cribas, pruebas de bombeo, uso, estado | Entre Embalse Lautaro y Piedra Colgada |
| 1997 | DICTUC S.A. | Evaluación del Riesgo de Contaminación del Agua Subterránea Utilizada para Agua Potable en la Ciudad de Copiapó | Estratigrafías | Entre Angostura y Quebrada Carrizalillo |

Tabla 3-58. Catastros de pozos en antecedentes revisados. (Continuación)

| Año | Autor | Título | Información disponible | Sector |
|------|------------------------|--|--|--------------------------------|
| 1995 | Álamos y Peralta | Análisis y Evaluación de los Recursos Hídricos en el Valle del Río Copiapó | Coordenadas, predio, propietario, constructor, número de resolución, profundidad de habilitación, nivel estático, caudal otorgado, caudal extraído, caudal de diseño, volumen abril-agosto y septiembre-marzo, pruebas de bombeo, estado, uso, tipo de bomba | Cuenca completa |
| 1994 | Álamos y Peralta | Estudio Hidrogeológico General Sector Copiapó-Piedra Colgada | Pruebas de bombeo pozos B-17, D-21, D-, D-13, B-4 | Entre Copiapó y Piedra Colgada |
| 1987 | Álamos y Peralta | Análisis y Evaluación de los Recursos Hidrogeológicos del Valle del Río Copiapó | Coordenadas, cota, predio, dueño, constructor, número de resolución, nivel estático, caudal extraído, caudal otorgado, caudal específico, profundidad de habilitación, diámetro pozo, espesor del acuífero, nivel estático, pruebas de bombeo, uso | Cuenca completa |
| 1980 | Uri Hammer y Asociados | Plan Maestro de Acción Inmediata para el Desarrollo de los Recursos de Agua y Suelo del Valle de Copiapó | Coordenadas, propietario, caudal otorgado, caudal extraído, pruebas de bombeo | Entre La Puerta y Angostura |

3.4.2 Derechos de aprovechamiento

Tabla 3-59. Catastros de derechos de aprovechamiento en antecedentes revisados (superficiales y subterráneos)

| Año | Autor | Título | Información disponible | Sector |
|------|------------------|--|---|-----------------|
| 1995 | Álamos y Peralta | Análisis y Evaluación de los Recursos Hídricos en el Valle del Río Copiapó | Coordenadas pozos, predios, propietarios, expedientes, caudal otorgado, uso, estado | Cuenca completa |

3.4.3 Regantes

Tabla 3-60. Catastros de regantes de aprovechamiento superficial en antecedentes revisados.

| Año | Autor | Título | Información disponible | Sector |
|------|-------------------|---|--|-----------------|
| 2006 | Golder Associates | Diagnóstico de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Copiapó y Proposición de un Modelo de Explotación Sustentable | Año constitución, número de acciones, número de usuarios de las sociedades de canalistas | Cuenca completa |
| 1995 | Álamos y Peralta | Análisis y Evaluación de los Recursos Hídricos en el Valle del Río Copiapó | Número de acciones y tiempo de regado asociación de canalistas | Cuenca completa |

3.4.4 Canales

Tabla 3-61. Catastros de canales en antecedentes revisados.

| Año | Autor | Título | Información disponible | Sector |
|------|-------------------|---|--|-----------------|
| 2006 | Golder Associates | Diagnóstico de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Copiapó y Proposición de un Modelo de Explotación Sustentable | Distrito, ribera, número de acciones, tiempo de riego, estado bocatoma, caudal de extracción | Cuenca completa |
| 2003 | DGA | Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos del Valle del Río Copiapó | Distrito, ribera, número de acciones, tiempo de riego, estado bocatoma, caudal de extracción | Cuenca completa |
| 1995 | Álamos y Peralta | Análisis y Evaluación de los Recursos Hídricos en el Valle del Río Copiapó | Distrito, ribera, número de acciones, tiempo de riego, estado bocatoma, caudal de extracción | Cuenca completa |

3.4.5 Actividades Mineras e Industriales

Tabla 3-62. Catastros de actividades mineras e industriales en antecedentes revisados.

| Año | Autor | Título | Información disponible | Sector |
|------|--------------------|---|--|---|
| 2008 | Proust Consultores | Derechos, Extracciones y Tasas Unitarias de Consumo de Agua del Sector Minero Regiones Centro-Norte de Chile | Catastro de empresas mineras, derechos, extracciones informadas | Cuenca completa |
| 2008 | CORFO | Estudio Mercado Minero Industrial Macrozona Norte | Catastro de proyectos mineros, fechas inicio y fin del proyecto, producto, proceso, tecnología mina, tecnología procesamiento, monto inversión, producción anual | III Región |
| 1997 | DICTUC S.A. | Evaluación del Riesgo de Contaminación del Agua Subterránea Utilizada para Agua Potable en la Ciudad de Copiapó | Catastro de industrias manufactureras, mineras, bencineras, tranques de relave y vertederos | Entre Angostura y Quebrada Carrizalillo |

3.5 Listado de Información Cartográfica

Se recopiló información cartográfica utilizando diferentes fuentes de información tales como SERNAGEOMIN, CIREN, IGM, USGS, Google Earth, Junta de Vigilancia Río Copiapó y sus Afluentes. A continuación se presenta un listado de la información disponible y su fuente:

- “Mapa Hidrogeológico del Valle del Río Copiapó entre embalse Lautaro y Piedra Colgada, Escala 1:50.000” (SERNAGEOMIN 2000).
- Curvas de nivel de la III Región cada 100 metros a escala 1:250.000 (IGM).
- Red vial de la III Región a escala 1:250.000 (IGM).
- Centros poblados de la III Región a escala 1:250.000 (IGM).
- División geopolítica de la III Región a escala 1:250.000 (IGM)
- Red de drenaje de la III Región a escala 1:250.000 (IGM).
- Modelo digital de terreno de la zona con celdas de 90 metros por lado (USGS, <http://seamless.usgs.gov>)
- OrtoFotos del valle del Copiapó (río Jorquera, río Pulido y río Manflas) hasta sector La Puerta (CIREN).

3.6 Resumen de Antecedentes Recopilados

En esta sección se presenta un listado de las variables de interés para el presente estudio, junto con los antecedentes recopilados que entregan información sobre cada una de estas variables. Este listado se presenta en la Tabla 3-63, Tabla 3-64 y Tabla 3-65.

La información recopilada se agrupó en las siguientes categorías: información hidrometeorológica, que incluye antecedentes hidrológicos y de aguas superficiales; información geológica e hidrogeológica, que se compone de la descripción de las unidades geológicas y las características del acuífero; información de usos y derechos de aprovechamiento, donde se presentan los derechos de aguas superficiales y subterráneas, los requerimientos hídricos de las actividades económicas en la zona, y las obras de captación y distribución existentes.

Tabla 3-63. Resumen de información hidrometeorológica.

| Variable | Fuentes |
|-------------------------------|----------------------------------|
| Balances hídricos | Golder Associates (2006) |
| | DGA (2003) |
| | Álamos y Peralta (1995) |
| | Álamos y Peralta (1987) |
| | DGA (1987) |
| Uri Hammer y Asociados (1980) | |
| Precipitaciones | DGA (2008). Planillas entregadas |
| | Golder Associates (2006) |
| | DGA (2003) |
| | Álamos y Peralta (1995) |
| | Álamos y Peralta (1987) |
| | DGA (1987) |
| | INYGE (1985) |
| | IPLA (1984) |
| Uri Hammer y Asociados (1980) | |

Tabla 3-63. Resumen de información hidrometeorológica. (Continuación)

| Variable | Fuentes |
|-------------------------------|----------------------------------|
| Caudales | DGA (2008). Planillas entregadas |
| | DGA (1985-2008) |
| | Golder Associates (2006) |
| | Álamos y Peralta (1995) |
| | Álamos y Peralta (1987) |
| | DGA (1987) |
| | INYGE (1985) |
| | IPLA (1984) |
| Uri Hammer y Asociados (1980) | |
| Temperatura | DGA (2008). Planillas entregadas |
| | DGA (1987) |
| Humedad relativa | DGA (2008). Planillas entregadas |
| Velocidad del viento | DGA (2008). Planillas entregadas |
| Evaporación | DGA (2008). Planillas entregadas |
| | Golder Associates (2006) |
| | Álamos y Peralta (1995) |
| | IPLA (1994) |
| | Álamos y Peralta (1987) |
| | DGA (1987) |
| | INYGE (1985) |
| IPLA (1984) | |

Tabla 3-64. Resumen de información geológica e hidrogeológica.

| Variable | Fuentes |
|------------------------|----------------------------------|
| Formaciones | SERNAGEOMIN (1999) |
| | Álamos y Peralta (1987) |
| | Uri Hammer y Asociados (1980) |
| Rellenos sedimentarios | Golder Associates (2006) |
| | SERNAGEOMIN (1999) |
| | Álamos y Peralta (1987) |
| Profundidad basamento | Uri Hammer y Asociados (1980) |
| | SERNAGEOMIN (1999) |
| | Álamos y Peralta (1987) |
| Niveles freáticos | Uri Hammer y Asociados (1980) |
| | DGA (2008). Planillas entregadas |
| | Golder Associates (2006) |
| | SERNAGEOMIN (1999) |
| | Álamos y Peralta (1995) |
| | DGA (1994) |
| Estratigrafías | Álamos y Peralta (1994) |
| | Álamos y Peralta (1987) |
| | DGA (2003) |
| Geofísica | SERNAGEOMIN (1999) |
| | SERNAGEOMIN (1999) |
| | Álamos y Peralta (1987) |
| Pruebas de bombeo | Álamos y Peralta (1995) |
| | SERNAGEOMIN (1999) |
| | Álamos y Peralta (1994) |
| | Álamos y Peralta (1987) |
| | Uri Hammer y Asociados (1980) |

Tabla 3-65. Resumen de información de usos y derechos de aprovechamiento.

| Variable | Fuentes |
|--|---|
| Derechos constituidos | Proust Consultores (2008) CORFO (2008) Golder Associates (2006) SERNAGEOMIN (1999) Álamos y Peralta (1995) Álamos y Peralta (1987) |
| Agricultura y riego | INE (2008) AC Ingenieros Consultores (2007) CIREN (2005) AC Ingenieros Consultores (2003) Álamos y Peralta (1995) IPLA (1994) Álamos y Peralta (1987) |
| Minería | Proust Consultores (2008) CORFO (2008) AC Ingenieros Consultores (2007) MOP (2005) Gustavo Lagos (1997) DICTUC S.A. (1997) Álamos y Peralta (1995) Álamos y Peralta (1987) |
| Agua potable | AC Ingenieros Consultores (2007) AC Ingenieros Consultores (2006) MOP (2005) Álamos y Peralta (1995) Álamos y Peralta (1987) |
| Caudales de reserva de interés nacional y zonas de prioridad ambiental | AC Ingenieros Consultores (2006) MINVU (2005) AC Ingenieros Consultores (2003) DICTUC S.A. (1997) |
| Catastros de usuarios | Golder Associates (2006) Álamos y Peralta (1995) Álamos y Peralta (1987) |

Tabla 3-65. Resumen de información de usos y derechos de aprovechamiento (Continuación)

| Variable | Fuentes |
|-------------------|-------------------------------|
| Catastro de obras | Golder Associates (2006) |
| | DGA (2003) |
| | Álamos y Peralta (1995) |
| | Uri Hammer y Asociados (1980) |
| Embalse Lautaro | DGA (1985-2008) |
| | DGA (1994) |
| | Álamos y Peralta (1987) |

4 CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

El objetivo de las actividades realizadas y presentadas en este tomo es recopilar y sintetizar los antecedentes hidrológicos, hidrogeológicos, de gestión de recursos hídricos y catastros de derechos de aprovechamiento de la cuenca del río Copiapó. Se incluyen antecedentes de gabinete tales como estudios realizados en la zona y estadísticas hidrometeorológicas (caudales, precipitaciones, evaporación, humedad relativa, temperatura y velocidad del viento). Se revisaron y recopilaron catastros de derechos y usos para la cuenca. Además se realizó una visita de reconocimiento en terreno.

La elaboración de estudios basados en la recopilación de datos en terreno disminuyó notoriamente a partir de la década de 1990. La mayoría de los estudios realizados desde entonces se han basado casi por completo en los datos generados durante la década de 1980 (prospecciones geofísicas, corridas de aforo, pruebas de bombeo, entre otros), y con pocas excepciones se trata de reinterpretaciones con algunos datos actualizados.

La preocupación por la disponibilidad de recursos en el valle del Río Copiapó no es nueva, ya que a partir del informe de Uri Hammer (1980) se intentan proyectar los efectos del bombeo y del uso de las aguas superficiales. Esta preocupación, impulsada por las buenas condiciones del valle para la producción frutícola de exportación, por la necesidad de agua potable para la población y por la existencia de yacimientos mineros importantes, se ve reflejada en la confección de una gran cantidad de informes recopilatorios de información y de balances hídricos. Sin embargo, se observa la ausencia de la implementación de las recomendaciones propuestas en varios de estos estudios y de un seguimiento y actualización de los balances hídricos.

Respecto de la disponibilidad de datos, se tiene una buena cobertura de información hidrometeorológica en las cercanías del cauce del Río Copiapó. Se cuenta con una adecuada cantidad de estaciones tanto meteorológicas como de aforo en el tramo ubicado entre el Embalse Lautaro y Angostura. Sin embargo, en las zonas altas del valle la información disponible es bastante menor debido a la escasez de estaciones en estos sectores.

El reconocimiento de terreno permitió tener una idea clara de la cantidad de predios a catastrar, de la morfología general y cobertura vegetal de la cuenca. Se observó que la mayor parte de predios a catastrar están ubicados principalmente entre la comuna de Tierra Amarilla y el sector de San Pedro. En la zona norte de San Pedro la cantidad de predios disminuye, sin embargo, son de mayor superficie. Esta situación se repite entre el sector La Puerta hacia Tierra Amarilla.

En cuanto a la morfología, la cuenca presenta en su parte alta zonas con altas pendientes y escasa cobertura vegetal, siendo las precipitaciones de origen nival. En la zona media y baja de la cuenca, junto al cauce del río y sus afluentes, se presentan extensos valles con pendientes medias y bajas que han permitido el desarrollo de la agricultura. En las zonas alejadas del cauce no existe cobertura vegetal de ningún tipo. En esta zona el río es alimentado principalmente de precipitaciones y de aportes subterráneos. En términos generales los suelos de los sectores visitados están formados principalmente de arenas y gravas con una permeabilidad media a alta, tanto en la parte alta, media y baja de la cuenca.