

GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
Servicio de Información Recursos Hídricos
Área de Documentación

INFORME TÉCNICO

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE MODIFICACIÓN DE PUNTOS DE CAPTACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA EN EL ACUÍFERO DE COPIAPÓ

REALIZADO POR:

DEPTO. DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN

S.I.T. N° 158

Diciembre de 2008

2008-5000

c 1

EQUIPO DE TRABAJO

Jefe Depto. Estudios y Planificación	: Ing. Sr. Pedro Rivera
Jefe Unidad Fuentes y Desarrollo	: Ing. Sr. Julio Cornejo Morales.
Ingeniero Consultor	: Sr. Alvaro San Martín N.

INDICE

Introducción	4
Objetivos	11
Objetivo General	11
Objetivos Específicos	11
Metodología General	12
Desarrollo, Resultados y Análisis	13
Estado de los Modelos	14
Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas Cía. Minera Candelaria	21
Escenarios	23
Conclusiones	35
Bibliografía	37

Apéndice 1: SIT N°87/2003, Balance y Niveles freáticos sector Mal Paso-Copiapó

Apéndice 2: SIT N°87/2003, Balance y Niveles freáticos sector Piedra Colgada-Angostura

1. INTRODUCCIÓN

El valle del río Copiapó, ubicado en la cuenca homónima de la Región de Atacama (Figura 1.1), ha visto incrementada fuertemente su demanda hídrica, sobre todo en la actual década, ya sea por la incorporación de nuevas tierras a producción agrícola, como por la expansión de la minería en la zona. Estas nuevas demandas se han logrado satisfacer mediante la explotación del recurso subterráneo, lo que ha producido descensos importantes de la napa, en particular en los sectores donde se concentran las mayores demandas.

Se sabe que en el valle del río Copiapó existe un importante embalse subterráneo, con rellenos que van desde los 40 metros a más de 500 metros y que el sector de Angostura puede considerarse como límite poniente del embalse subterráneo.

El funcionamiento del embalse subterráneo está fundamentalmente condicionado por los recursos superficiales disponibles, en especial por el caudal que lleve el río Copiapó y sus afluentes. Las infiltraciones desde el sistema de riego, el aporte de las quebradas laterales, y principalmente, del río Copiapó, son las fuentes de recarga más importantes. Las descargas más importantes son producto de extracciones de agua de los pozos y afloramientos de vertientes. Cabe señalar que dada la magnitud del acuífero éste presenta una clara relación con las fluctuaciones de los caudales superficiales.

En cuanto a la evaluación y gestión del recurso hídrico en el valle del río Copiapó, el “Plan de Acción del río Copiapó para Generar una Estrategia de Manejo del Agua en la Cuenca” señala lo siguiente:

Existe un consenso generalizado respecto a la precaria condición en que se encuentran actualmente las fuentes de agua en la cuenca del río Copiapó, así como, de la necesidad de implementar un plan de acción que permita aliviar dicha situación en el corto plazo, revertirla en un mediano plazo y mantener la sustentabilidad en el largo plazo, todo a partir de una gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca. En este aspecto, la Dirección General de Aguas (DGA) ha venido desarrollando diversas iniciativas a nivel nacional en el tema del ordenamiento y gestión integrada de los recursos hídricos a objeto de entregar recomendaciones tanto en el ámbito público como privado con el propósito central de un aprovechamiento eficiente del recurso hídrico bajo un

concepto de sustentabilidad. Dentro de estas tareas la DGA ha implementado el desarrollo de planes directores concebidos como instrumentos de ordenamiento que permitan fijar orientaciones y lineamientos para el accionar de las instituciones públicas, usuarios directos del recurso hídrico y otros usuarios de recursos naturales con vinculación directa sobre el agua.

Este Plan busca, a partir de las reuniones efectuadas en el Gabinete Regional y el trabajo coordinado en el último tiempo con la Mesa del Agua de Copiapó, proponer y programar intervenciones y proyectos para poder:

- Desarrollar una institucionalidad para la gestión integrada del agua en el valle de Copiapó
- Diseñar las herramientas técnicas necesarias para la optimización del sistema
- Crear un comité técnico para operar las herramientas de gestión a nivel del Valle de Copiapó
- Diseñar las instancias participativas y resolutivas para la III región en cuanto a los recursos hídricos
- Alentar trabajos como el desarrollado en Copiapó en otras cuencas de la región
- Plantear una línea sistemática de trabajo e investigación para explorar recursos hídricos disponibles a nivel regional

Todo esto con el objetivo central de al mediano plazo disponer de una Estrategia Regional de Gestión del Agua y de instancias regionales técnicas y políticas para desarrollar, aplicar, y actualizar la Estrategia.

Recientemente la DGA ha levantado a nivel nacional la información de cuanta agua se está usando en el país. Se aplicó una metodología estándar, y se realizó una desagregación por regiones y cuencas. Los resultados para la cuenca del Copiapó se muestran en la Figura 1.2.

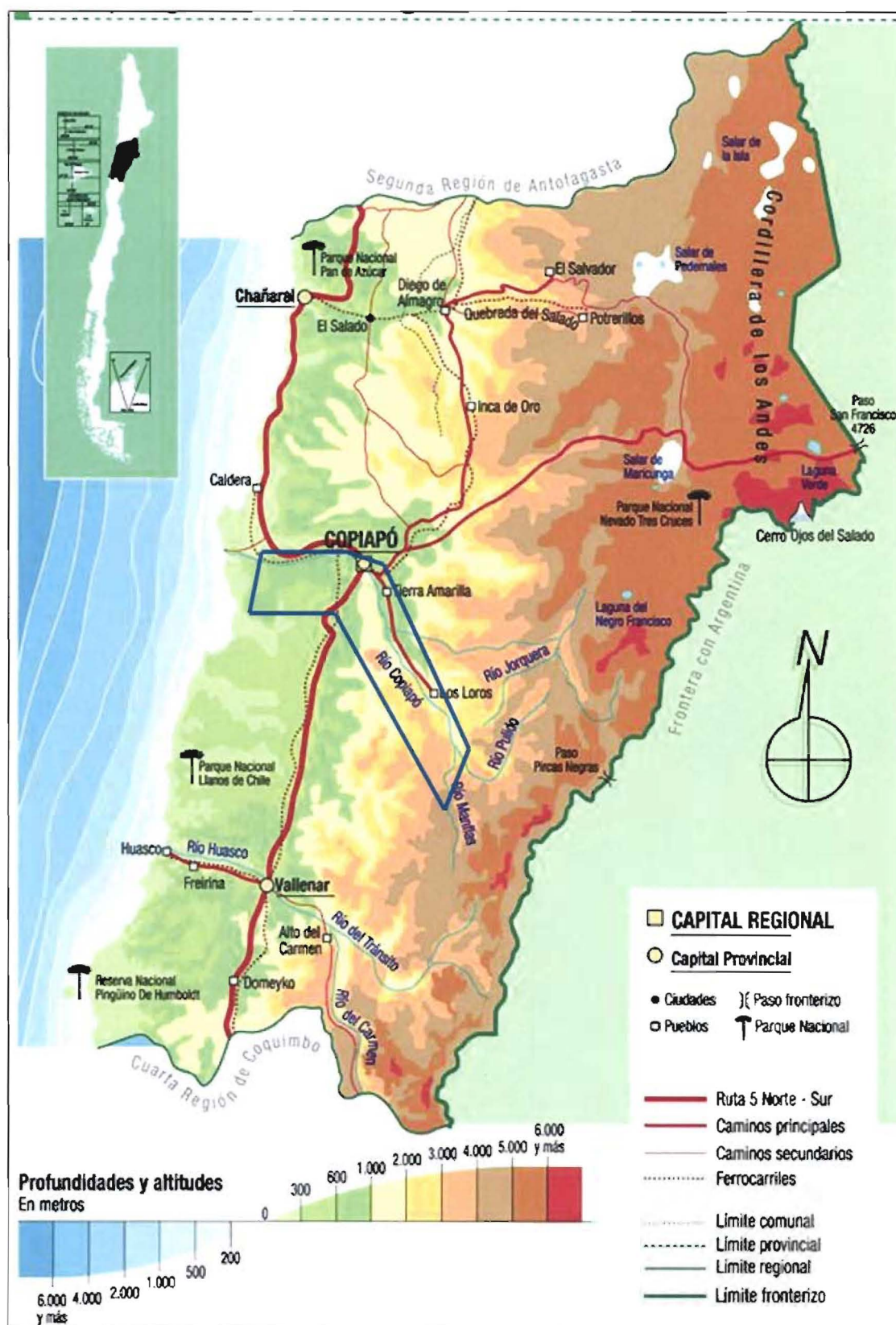


Figura 1.1: Ubicación de la zona de estudio

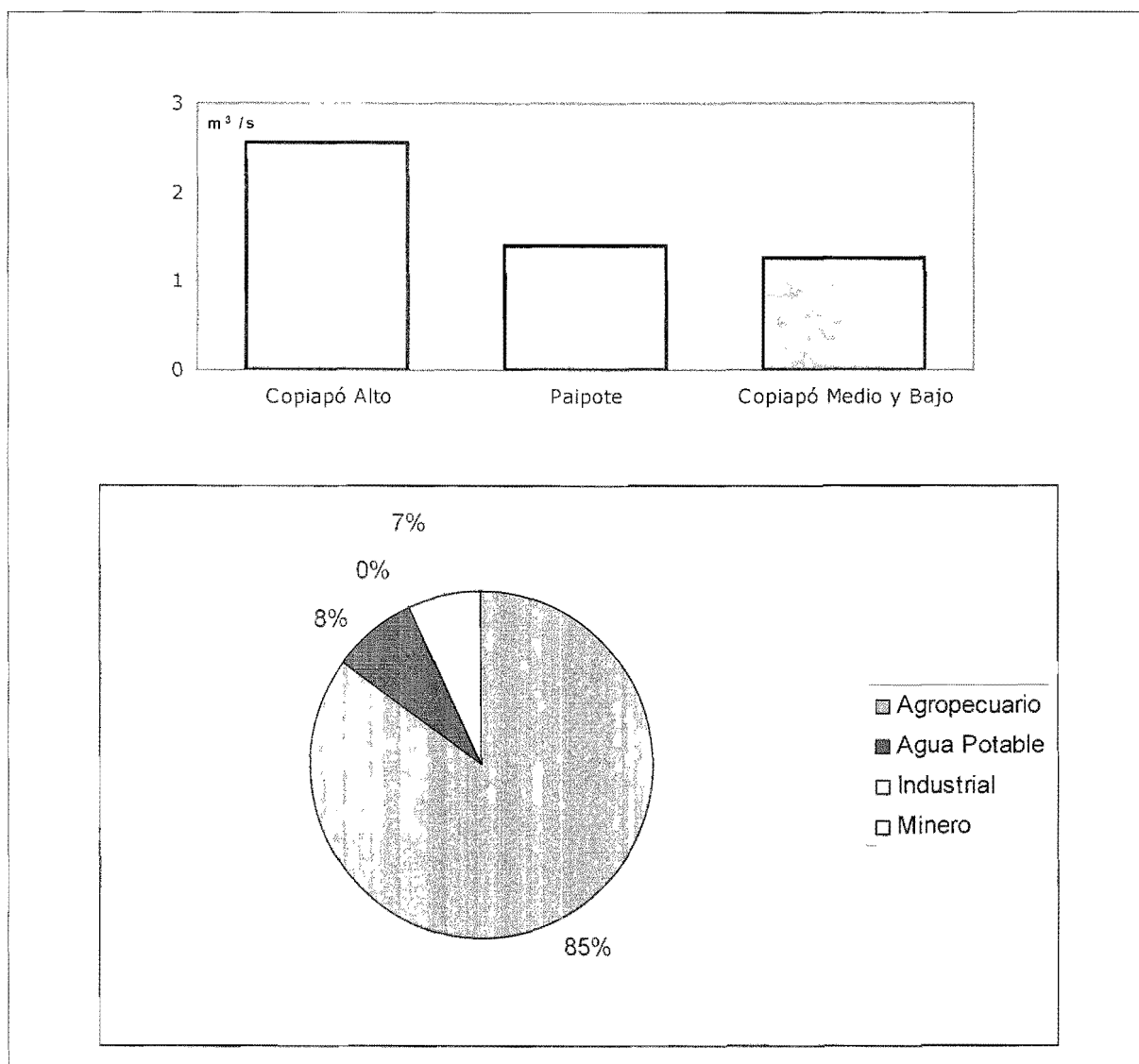


Figura 1.2. Usos del agua en el valle de Copiapó. DGA 2006

La información del 2006 indica que se están usando en el valle 5,5m³/s, alrededor de un 30% más que la oferta conocida del valle, aproximadamente de 4,0 m³/s, proveniente de estudios anteriores. Se puede verificar físicamente una sobre explotación del acuífero del Copiapó, debido al descenso del nivel de los pozos de un amplio sector del acuífero. El problema principal que afecta al valle es justamente la sustentabilidad del acuífero, y los factores con contribuyen a incrementar el problema son:

- Extracciones ilegales
- Falta de integración de comunidades de aguas y usuarios en general
- Falta de conocimiento de disponibilidad de otras fuentes cercanas
- Problemas de gestión

Entonces, los objetivos prioritarios planteados de acuerdo al trabajo de la Mesa del Agua de la cuenca del Copiapó son:

- Controlar las extracciones ilegales
- Buscar fuentes nuevas y recursos adicionales y promover su uso
- Mitigar el sobreotorgamiento de derechos de aprovechamiento
- Mejorar el nivel de organización y gestión del agua en la cuenca del Copiapó

Para ello, se necesita del diseño de una herramienta de análisis de la cuenca del río Copiapó, es decir, se requiere la construcción de un modelo de simulación hidrológico operacional, que integre las componentes superficial y subterránea, y que permita evaluar distintas alternativas de gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca del río Copiapó, esto es, representar el sistema en condiciones de operación distintas a las actuales, ya sea por cambios en la modalidad de explotación de las aguas subterráneas, en los patrones de escurrimiento superficial de ríos y canales, sobre tasas de infiltración, eficiencias de uso, etc.

En cuanto a la modalidad de gestión eficiente y sustentable del acuífero, en el Plan se plantea que, en el mediano plazo, y a partir de la herramienta de análisis, se debiera conocer el nivel de explotación sustentable del acuífero, así como, la modalidad de explotación óptima por sector hidrogeológico. En este sentido y atendiendo las características aleatorias del sistema hidrológico de la cuenca del río Copiapó, se esperaría contar con una planificación dinámica de los niveles de explotación en que se considerara, al igual que en los pronósticos de agua para riego, la condición hidrológica presente y la esperada, es decir, la definición del caudal de extracción sustentable para el año en curso, y la estimación de un caudal referencial para el año siguiente. Cabe señalar que una modalidad de este tipo, tendría la ventaja de incentivar la movilidad de recursos entre los usuarios y la estructuración y fortalecimiento de un mercado del agua, permitiendo captar directamente el costo marginal para el ingreso de nuevos recursos provenientes de fuentes alternativas de agua, o para la toma de decisiones respecto a la implementación de alguna obra de intervención sobre el sistema río -acuífero.

Respecto de lo anterior, no existiría impedimento legal para que fueran las propias *organizaciones de usuarios, debidamente constituidas, auto controladas y fiscalizadas*, las que establezcan una condición de distribución temporal a prorrata. Más aún, se podría materializar un traspaso temporal de caudal o volumen de agua subterránea, sin requerir el pronunciamiento de la autoridad. Para ello,

bastaría una reglamentación que restringiera los traspasos dentro de un mismo sector hidrogeológico, y por un volumen o caudal de agua que no sobrepasara los derechos de agua asociados a las captaciones involucradas.

Por otra parte, previo al “Plan de Acción del río Copiapó para Generar una Estrategia de Manejo del Agua en la Cuenca” se cuenta con varios estudios enfocados a cuantificar los caudales a través de balances hídricos, cuyo objetivo principal se enmarca en obtener parámetros que determinen la oferta de este recurso. Por otro lado, existen estudios enfocados a la demanda de agua que están referidos a proyecciones de esta misma a escala nacional. Adicionalmente, existen estudios que integran ambas variables proyectadas (oferta-demanda), pero que no son muy utilizados debido a la complejidad de sus modelos o al desconocimiento cabal de su funcionamiento. A continuación, se detallan los antecedentes principales de algunos de éstos:

- **Análisis de los Recursos Hidrogeológicos**

La DGA, a través de la firma Álamos y Peralta Ingenieros Consultores Ltda., desarrollo el estudio “Análisis de los Recursos Hidrogeológicos del Valle del Río Copiapó”, (1987) en el cual se construyeron y operaron 8 modelos hidrogeológicos de diversos sectores acuíferos, evaluando las recargas y descargas hacia y desde el acuífero, analizándose las implicancias de la explotación del acuífero con las fluctuaciones periódicas del nivel estático.

- **Análisis del Uso Actual y Futuro de los Recursos Hídricos de Chile**

El estudio realizado por la DGA, a través de la firma IPLA en 1994, analiza las demandas actuales y futuras sobre los recursos hídricos que originan los distintos usos o actividades existentes en las cuencas del país. Con los recursos superficiales disponibles, por lo menos para un 50% de probabilidad de excedencia, determina el grado de equilibrio que existe entre demandas y ofertas, con el fin de definir una política sobre el ordenamiento o importancia que tienen los diferentes usos dentro de una cuenca. Los resultados indican la necesidad de desarrollar algún tipo de acción o de obras que lleven a un mejor aprovechamiento de los recursos.

- Análisis de los Recursos Hídricos en el Valle del Río Copiapó

Estudio realizado por la DGA, a través de la firma Alamos y Peralta Ingenieros Consultores Ltda. (1995), debido a la necesidad de mejorar las evaluaciones disponibles y actualizar la evolución y comportamiento del acuífero en los últimos 10 años (1985-1995).

El estudio divide la cuenca del río Copiapó en seis sectores, los que son tratados en forma separada y sistemática. Dentro de cada sector se analiza las variaciones del nivel de saturación, en relación con las recargas y descargas, y dentro de éstas últimas, la relación con las extracciones de agua subterránea así como la revisión de la geometría de los acuíferos, al mismo tiempo, analiza la situación de los derechos de aprovechamiento tanto concedidos como en trámite, y su relación con los volúmenes embalsados en el acuífero.

- Pronóstico de Disponibilidad de Agua

La Dirección General de Aguas, elabora periódicamente desde 1986 informes de “Pronóstico de Disponibilidad de Agua, Temporada de Riego”. El pronóstico para la estación de verano se obtiene a partir de datos fluviométricos, pluviométricos y nivales de la temporada Otoño-Invierno; a partir de herramientas estadísticas se proporciona información sobre caudales y volúmenes de deshielo para dicha temporada. La cuenca del río Copiapó está incluida en el pronóstico.

- Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos del río Copiapó

Estudio realizado por la DGA en el año 2003, analiza la oferta hídrica en base a los estudios anteriores e incorpora una actualización de la demanda al año 2001-2002 mediante un levantamiento de las extracciones de agua del valle. El estudio además incorpora la modelación hidrogeológica del valle implementada en el software Visual Modflow, el área modelada comprende el valle del río Copiapó desde el Embalse Lautaro hasta el sector de Angostura.

2. OBJETIVOS

Como una forma de evaluar casos particulares, de manera previa a la implementación cabal del “Plan de Acción del río Copiapó para Generar una Estrategia de Manejo del Agua en la Cuenca” se utilizan las herramientas numéricas disponibles en la actualidad. En este sentido, el presente estudio corresponde a la evaluación de un caso particular, que consiste en la reubicación del punto de captación de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas.

2.1 Objetivo General

Evaluar los efectos en los niveles y balances de agua subterránea al modificar los puntos de captación de los derechos de aprovechamiento de agua subterránea pertenecientes a Compañía Minera Candelaria, mediante el uso de los modelos hidrogeológicos DGA del valle de Copiapó, desarrollados con motivo de la “Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos del río Copiapó” efectuada en el año 2003 por la DGA.

2.2 Objetivos Específicos

1. Verificar el estado de los modelos.
2. Actualizar los modelos a la versión 4.1 de Visual Modflow.
3. Generar Escenarios de traslado, a diversos lugares, de los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas de la Compañía Minera Candelaria.
4. Evaluar el comportamiento del acuífero en cada escenario.
5. Elaborar el respectivo informe.

3. METODOLOGÍA GENERAL

En primer lugar, se procedió a verificar el estado de los modelos, realizando un chequeo tanto de los modelos numéricos, Modelo 1: Embalse Lautaro-Copiapó y Modelo 2: Copiapó-Angostura, como su respectivo informe. El chequeo incluyó revisión de áreas modeladas, divisiones hidrogeológicas incorporadas en los balances, período de calibración y períodos de estrés utilizados, demanda por sector hidrogeológico y la versión de Visual Modflow en la cual están ambos modelos.

Cabe destacar que la utilización de los modelos numéricos hidrogeológicos 1 y 2 del valle del río Copiapó son aceptados por la DGA para ser utilizados en la simulación de condiciones transientes en el sistema de aguas subterráneas y por consiguiente como herramientas para la evaluación de escenarios de desarrollo futuro.

En segundo lugar, correspondió incorporar la totalidad de los derechos que posee actualmente Minera Candelaria al Modelo 1 (Escenario 1), específicamente en el sector de Tierra Amarilla, y obtener los resultados arrojados por el modelo al incorporar dicha demanda.

En tercer lugar, se procedió a desactivar los pozos de bombeo de Minera Candelaria, incorporados en el punto anterior, para observar su efecto sobre el sistema acuífero (Escenario 2), con la finalidad de predecir si el traslado de dichos derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas produce algún “alivio” o disminuye el estrés hídrico del sector 4, es decir entre Mal Paso y Copiapó.

En cuarto lugar, se procedió a trasladar los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas de Minera Candelaria (Escenario 3), es decir, se trasladaron los pozos de bombeo de la minera a un sector con menor estrés hídrico, esto es, entre la ciudad de Copiapó y Angostura, sector representado en el Modelo 2.

Por último, de acuerdo a los resultados obtenidos, se analiza un escenario adicional, reubicando los pozos de bombeo de la minera con respecto al escenario 3 y modificando el caudal explotado (Escenario 4).

4. DESARROLLO, RESULTADOS Y ANÁLISIS

Sintéticamente, el funcionamiento general del sistema modelado del valle del río Copiapó es el siguiente:

La zona modelada del valle del río Copiapó presenta un acuífero no confinado, con niveles de agua subterránea que en general se encuentran a profundidades de entre 2 m. en el sector de Amolanas y 96 m. en el sector de Paipote en el Modelo 1. La zona correspondiente al modelo 2, presenta un acuífero no confinado, con niveles de agua subterránea que en general se encuentra a profundidades de entre 1 metro en el sector de Angostura a 45 metros en el sector de Bodega.

En cuanto a las variaciones estacionales de los niveles de la napa de agua, la variable externa que más condiciona la evolución temporal y espacial del sistema son los bombeos o extracciones de agua, dada su condición de desequilibrio dinámico. En cambio, la variable que condiciona las variaciones interanuales es la recarga del acuífero.

Como flujos de entrada al área de estudio, se identifican las recargas provenientes de percolaciones de riego, de los aportes de los cauces superficiales a la napa subterránea, de los aportes laterales por quebradas y del aporte producido en el sector del Embalse Lautaro, la precipitación se considera un aporte marginal frente a los ya mencionados; como flujo de salida, se tiene el flujo propio de la napa en el extremo de aguas abajo del valle, los afloramientos (vertientes), la evapotranspiración y las extracciones desde pozos y norias.

4.1 Estado de los Modelos

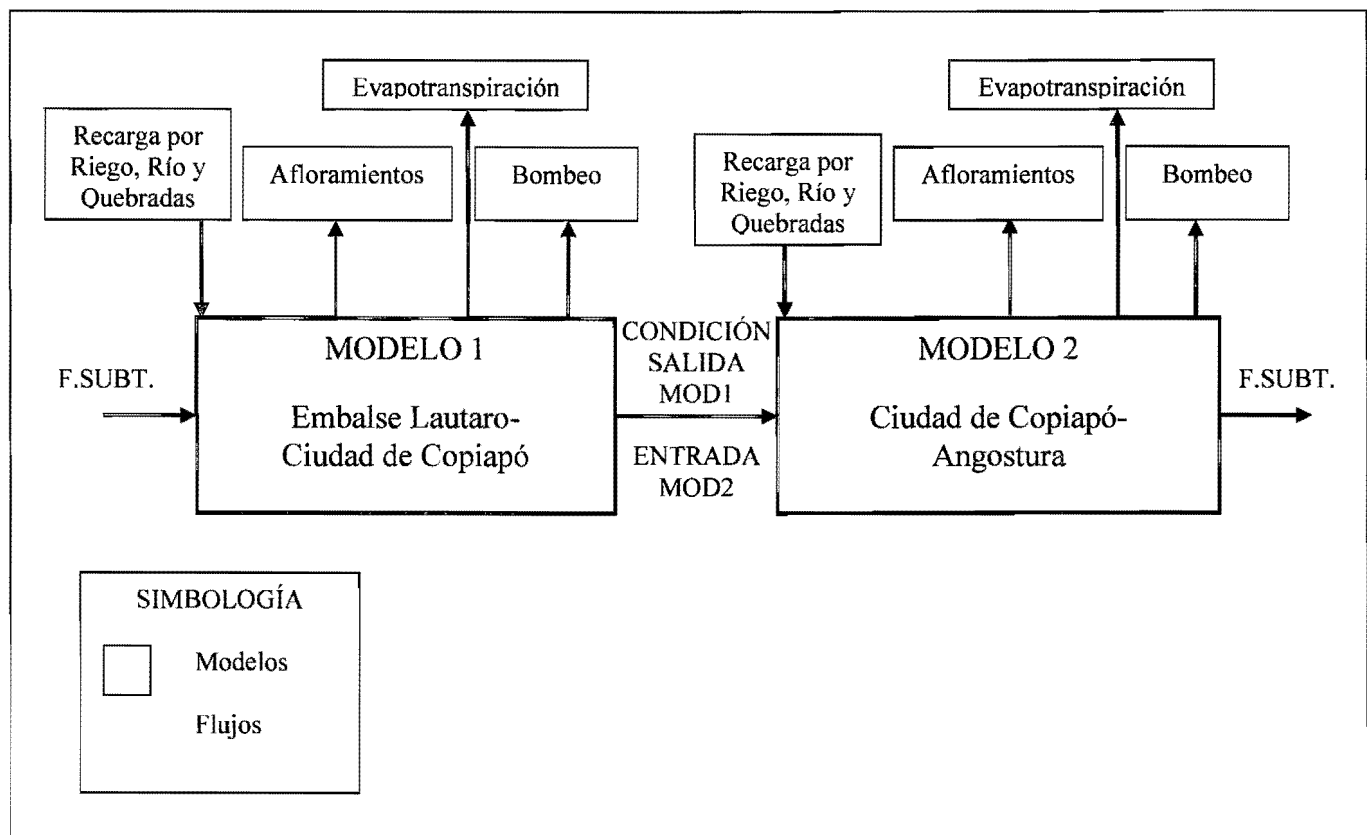
4.1.1 Área Modelada

La información hidrogeológica procesada permitió sectorizar la cuenca en 2 modelos, los cuales son independientes pero interrelacionados entre sí a través de los flujos que los integran funcionalmente. La Figura 4.1 presenta un esquema conceptual del funcionamiento integrado de los 2 modelos desarrollados.

Modelo 1: Sector Embalse Lautaro – Ciudad de Copiapó

Modelo 2: Sector Salida Ciudad de Copiapó – Angostura

Figura 4.1: Esquema General de la Modelación Hidrogeológica.



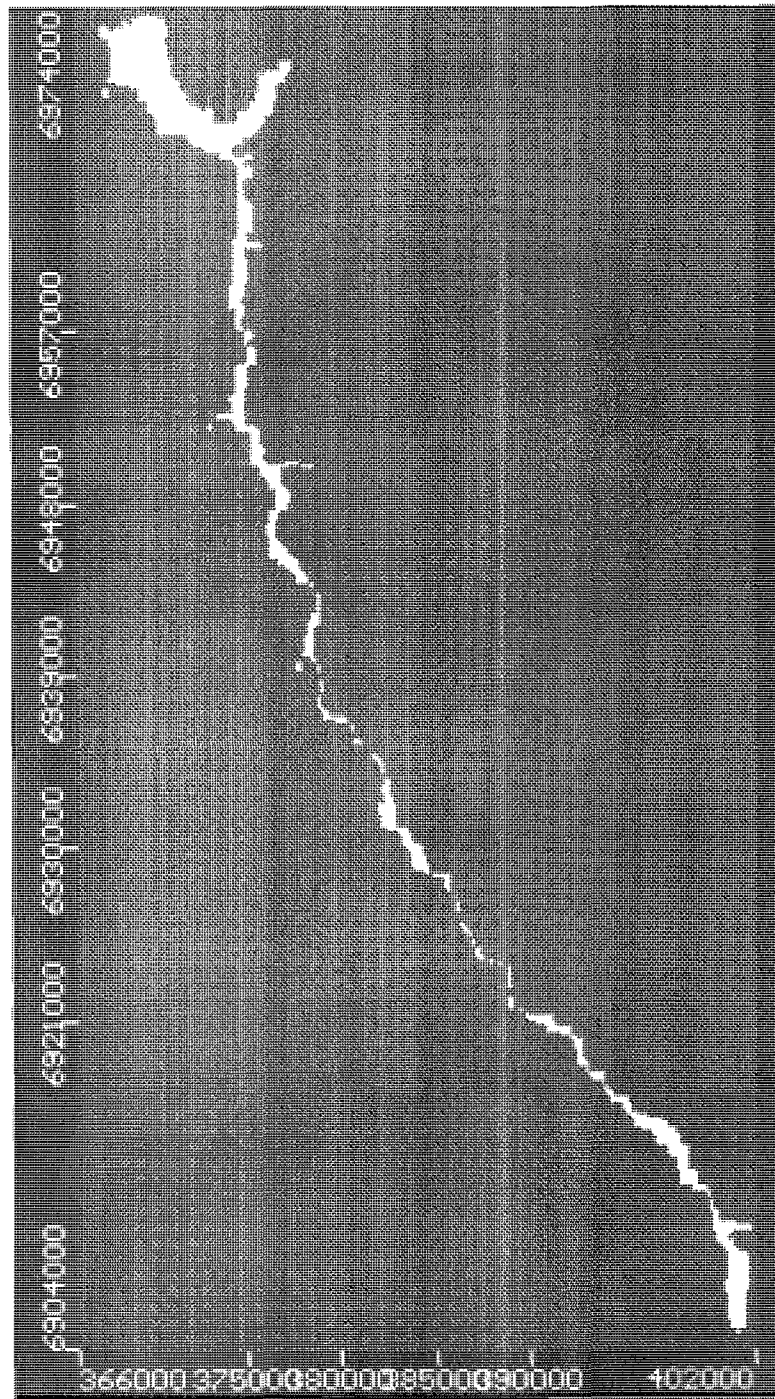
La zona considerada en el Modelo 1 corresponde al sector hidrogeológico comprendido entre el muro del embalse Lautaro, aguas abajo de la confluencia de los ríos Manflas, Jorquera y Pulido, hasta la ciudad de Copiapó, específicamente en el angostamiento producido por el cerro La Cruz.

Dicha zona está comprendida aproximadamente entre las coordenadas UTM Norte 6.974.000 y 6.904.000, Este 366.000 y 402.000. La zona comprende el sector medio de la cuenca del Copiapó, en que el río escurre siguiendo una dirección mayoritariamente Nor-poniente desde el embalse Lautaro hasta el sector de Nantoco para después escurrir en franca dirección Norte, hasta el sector de Paipote; lugar donde nuevamente toma la dirección Nor-poniente hasta la ciudad de Copiapó.

En el área de estudio quedan comprendidos los sectores de Lautaro, Amolanas, San Antonio, Los Loros, La Puerta, 3 Puentes, La Turbina, Hornito, El Yeso, Villa María, Pabellón, Totoralillo, Alianza, Nantoco, Tierra Amarilla, Paipote y la ciudad de Copiapó. La Figura 4.2 se muestra la zona modelada correspondiente al Modelo 1.

En planta, el área está subdividida con una grilla de 200 por 200 metros en la mayor parte del área. En sectores donde existe aglomeración de pozos existe una grilla de hasta 50 por 50 metros. El número definido de columnas (sentido Oeste - Este) es de 198 y el número de filas (sentido Norte – Sur) es de 377, lo que entrega un total de 74.646 celdas. En tanto que el sistema en profundidad está integrado por un acuífero no confinado.

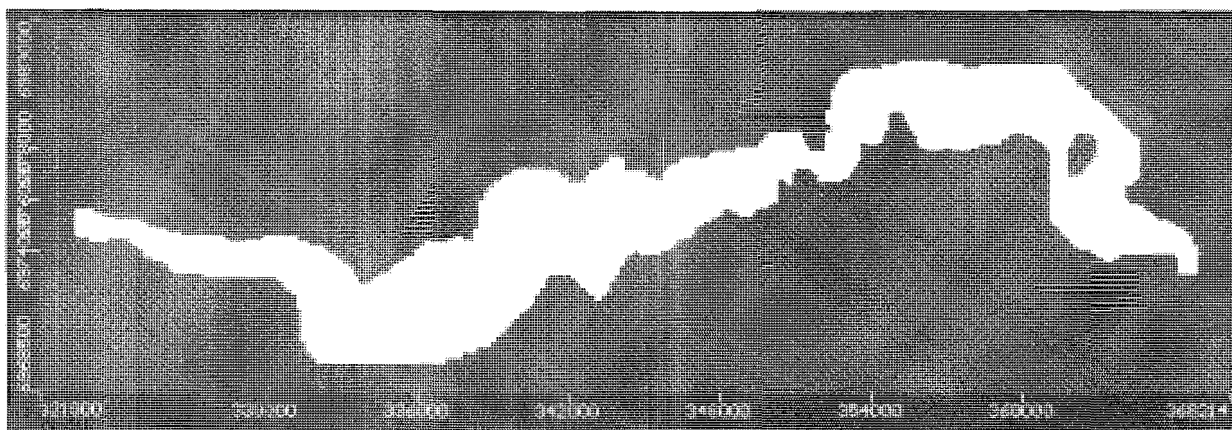
Figura 4.2: Límites del Modelo 1



La zona que considera el Modelo 2 corresponde al sector hidrogeológico comprendido entre la ciudad de Copiapó (específicamente desde el cerro La Cruz) hasta la localidad denominada Angostura. Esta zona está comprendida aproximadamente entre las coordenadas UTM Norte 6.983.000 y 6.968.500, Este 321.000 y 368.500. La zona se encuentra en el sector oriente del valle del río Copiapó, en que el río escurre siguiendo una dirección mayoritariamente Nor-poniente desde la ciudad de Copiapó hasta aproximadamente el sector de Piedra Colgada, para después escurrir en dirección Sur-poniente desde Piedra Colgada hasta el sector de Valle Fértil y finalmente escurrir en franca dirección poniente hasta el sector de Angostura.

El área que comprende el modelo 2 incorpora las localidades de Chamonate, Toledo, Piedra Colgada, San Pedro, Valle Fértil y Angostura. La Figura 4.3 muestra la zona modelada.

Figura 4.3: Límites del Modelo 2



4.1.2 Divisiones Hidrogeológicas

Como de se mencionó anteriormente, la información hidrogeológica procesada permitió sectorizar el valle en 2 modelos, los cuales son independientes pero interrelacionados entre sí a través de los flujos que los integran funcionalmente. Los dos modelos desarrollados son:

Modelo 1: Sector Embalse Lautaro – Ciudad de Copiapó

Modelo 2: Sector Salida Ciudad de Copiapó – Angostura

Por otro lado, cada modelo está subdividido en sectores hidrogeológicos para realizar el ajuste de los balances de masa. En este sentido, el Modelo 1 está dividido en tres sectores hidrogeológicos, en tanto que el Modelo 2 está dividido en dos sectores hidrogeológicos, a continuación el detalle de ellos:

Modelo 1

- **Sector I: Embalse Lautaro-La Puerta**

Este sector comienza en la estación fluviométrica Embalse Lautaro, aguas abajo del muro del embalse, llegando hasta la estación fluviométrica La Puerta, ubicada en dicha localidad.

- **Sector II: La Puerta-Mal Paso**

Este sector comienza en la estación fluviométrica La Puerta, en la localidad del mismo nombre y termina en la estación Mal Paso.

- **Sector III: Mal Paso-Copiapó**

Este sector esta comprendido entre la estación fluviométrica Mal Paso y la angostura producida frente al cerro La Cruz en la ciudad de Copiapó

Modelo 2

- **Sector IV: Copiapó-Piedra Colgada**

Este sector comienza en la angostura producida por el cerro La Cruz en la ciudad de Copiapó, llegando hasta la localidad de Piedra Colgada.

- **Sector V: Piedra Colgada-Angostura**

Este sector esta comprendido entre la localidad de Piedra Colgada y la localidad de Angostura.

4.1.3 Período de Calibración e Intervalos de Estrés

De acuerdo a la información recopilada destinada a determinar la condición de explotación del acuífero, se definió como periodo de calibración del modelo el comprendido entre abril de 1987 y septiembre del 2001. Esto debido a que a partir de 1987 se presenta mejor calidad de información en cuanto a cantidad y consistencia.

El periodo seleccionado para efectuar la calibración del modelo correspondió al lapso de 174 meses comprendidos entre 01 de Abril de 1987 y el 30 de Septiembre del 2001. La discretización en dicho periodo en intervalos se determinó por las reglas de bombeo y recargas, por cuanto el modelo asume que dichas variables son constantes en cada intervalo (*stress period*). De acuerdo con dichos factores, el intervalo fue establecido en 6 meses, por lo que el modelo opera para un total de 29 intervalos o *stress period*.

En la Tabla 4.1 se muestra en detalle la discretización temporal considerada, mostrándose las fechas de inicio y término de cada periodo.

Tabla 4.1: Discretización Temporal

PERIODOS DE STRESS	DIAS DEL SEMESTRE	DIAS ACUMULADOS	DIA INICIAL	DIA FINAL	FECHA INICIAL	FECHA FINAL
SP1	183	183	0	183	01-04-87	30-09-87
SP2	183	366	183	366	01-10-87	31-03-88
SP3	183	549	366	549	01-04-88	30-09-88
SP4	182	731	549	731	01-10-88	31-03-89
SP5	183	914	731	914	01-04-89	30-09-89
SP6	182	1096	914	1096	01-10-89	31-03-90
SP7	183	1279	1096	1279	01-04-90	30-09-90
SP8	182	1461	1279	1461	01-10-90	30-03-91
SP9	183	1644	1461	1644	01-04-91	30-09-91
SP10	183	1827	1644	1827	01-10-91	30-03-92
SP11	183	2010	1827	2010	01-04-92	30-09-92
SP12	182	2192	2010	2192	01-10-92	30-03-93
SP13	183	2375	2192	2375	01-04-93	30-09-93
SP14	182	2557	2375	2557	01-10-93	30-03-94
SP15	183	2740	2557	2740	01-04-94	30-09-94
SP16	182	2922	2740	2922	01-10-94	30-03-95
SP17	183	3105	2922	3105	01-04-95	30-09-95
SP18	183	3288	3105	3288	01-10-95	30-03-96
SP19	183	3471	3288	3471	01-04-96	30-09-96
SP20	182	3653	3471	3653	01-10-96	30-03-97
SP21	183	3836	3653	3836	01-04-97	30-09-97
SP22	182	4018	3836	4018	01-10-97	30-03-98
SP23	183	4201	4018	4201	01-04-98	30-09-98
SP24	182	4383	4201	4383	01-10-98	30-03-99
SP25	183	4566	4383	4566	01-04-99	30-09-99
SP26	183	4749	4566	4749	01-10-99	30-03-00
SP27	183	4932	4749	4932	01-04-00	30-09-00
SP28	182	5114	4932	5114	01-10-00	30-03-01
SP29	183	5297	5114	5297	01-04-01	30-09-01

4.1.4 Demanda Incorporada en Extracciones por Bombeo

Se utilizó diferentes fuentes para evaluar las recargas y descargas al sistema. En el caso de las extracciones por bombeo, se utilizaron los datos de los catastros 1995, 2001 y los expedientes de cada pozo para evaluar los caudales extraídos por sondajes, norias y drenes.

Las demandas debidas al bombeo finalmente incorporado, que corresponden al caudal medio real bombeado, se presentan en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2: Caudales Bombeados en cada Sector

MODELO	SUB SECTOR HIDROGEOLÓGICO	CAUDAL (l/s)
1	Embalse Lautaro - La Puerta	808
	La Puerta - Mal Paso	1095
	Mal Paso - Copiapó	1168
2	Copiapó - Piedra Colgada	413,5
	Piedra Colgada - Angostura	203

4.1.5 Versión de la Plataforma de Modelación

Los modelos 1 y 2 están contruidos en plataforma Visual Modflow, sin embargo, poseen versiones diferentes del software. El Modelo 1 posee la versión 2.61 y una actualización a la versión 4.1, en tanto que el Modelo 2 posee la versión 3.0.

4.2 Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas Cía. Minera Candelaria

La Compañía Minera Candelaria, posee derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en la cuenca del río Copiapó por un total de 775.87 l/s, de ellos 25.87 l/s corresponden a derechos obtenidos por el artículo 5° Transitorio y no se ubican dentro del valle del río Copiapó, por lo tanto no es posible representarlos en la modelación numérica. La Tabla 4.3 presenta el detalle de los derechos.

Tabla 4.3: Derechos de Aprovechamiento de Aguas Subterráneas de Minera Candelaria

EXPEDIENTE	CAUDAL OTORGADO	UBICACIÓN (PSAD 56)	
	l/s	UTM NORTE	UTM ESTE
ND-0302-158	150.00	6961236	374682
ND-0302-162	150.00	6961164	374591
ND-0302-169	150.00	6961156	374516
ND-0302-170	150.00	6960966	374736
ND-0302-183	150.00	6960966	374589
Art. 5º Transitorio	4.17	6979143	359878
Art. 5º Transitorio	6.70	6979143	359878
Art. 5º Transitorio	5.00	6977850	361450
Art. 5º Transitorio	10.00	6977850	361450

4.3 Escenarios

En consideración a la ubicación de los puntos de extracción de aguas subterráneas, por parte de Compañía Minera Candelaria, se procedió a generar los distintos escenarios con los pozos que se ubican dentro de la zona modelada, es decir , los pozos de los expedientes ND-0302-158, 162, 169, 170 y 183, que en conjunto poseen derechos por 750 l/s.

La descripción de los escenarios desarrollados es la siguiente:

- Escenario 1: Modelo 1, demanda al año 2001 + incorporación del total de derechos de Minera Candelaria (750 l/s)
- Escenario 2: Modelo 1, demanda al año 2001 excluyendo la totalidad de los derechos de Minera Candelaria.
- Escenario 3: Modelo 2, demanda al año 2001 + el total de derechos de Minera Candelaria (750 l/s) en el sector de menor demanda hídrica.
- Escenario 4: Modelo 2, demanda al año 2001 más el 60% de los derechos de Minera Candelaria (450 l/s) relocalizando las extracciones en zonas de mayor permeabilidad acuífera.

A continuación se presentan los resultados de los cuatro escenarios descritos.

4.3.1 Escenario 1

El escenario 1 posee la demanda al año 2001 y se ha actualizado la demanda de Minera Candelaria incorporando el total de sus derechos, esto es, de 376 l/s explotados en 2001 a 750 l/s. La ubicación de la batería de pozos de la minera, en el sector de Tierra Amarilla, se presenta en la Figura 4.4.

Figura 4.4: Ubicación Pozos Minera Candelaria en Modelo 1



Los niveles de agua subterránea obtenidos en el tramo entre Tierra Amarilla y la ciudad de Copiapó se presentan en la Figura 4.5, en tanto que el balance de dicha zona se presenta en la Tabla 4.4.

Figura 4.5: Niveles de Agua Subterránea entre Tierra Amarilla y Copiapó

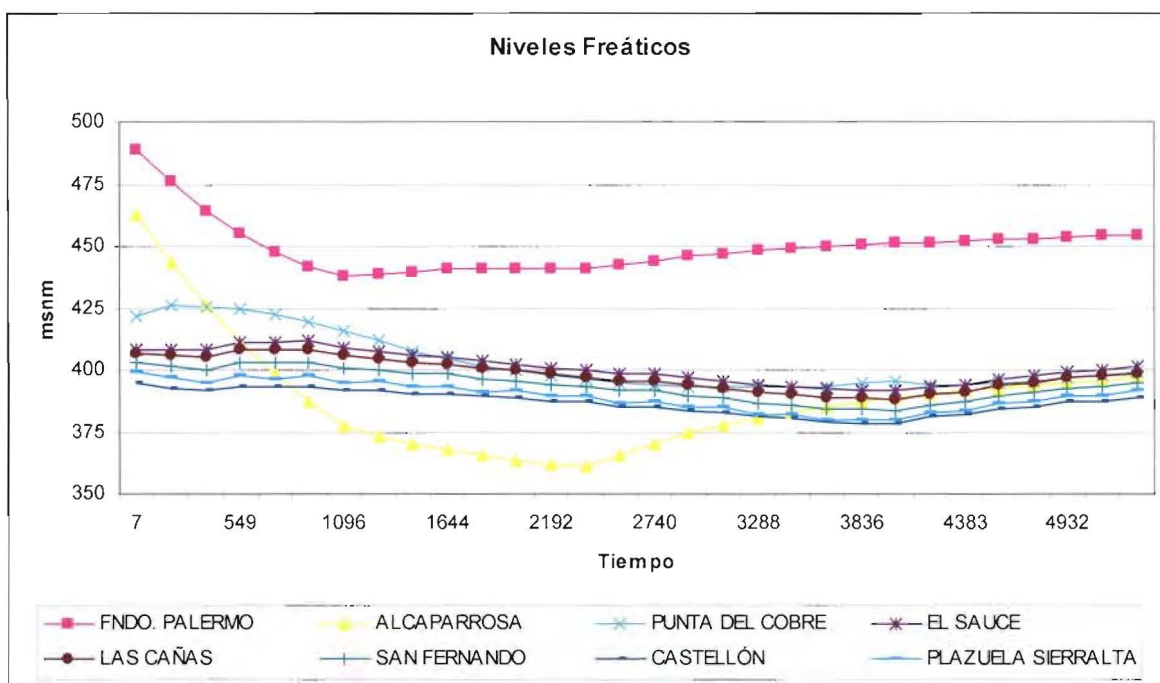


Tabla 4.4: Balance sector Tierra Amarilla-Copiapó (valores medios)

IN	l/s
Qda. Paipote	287.19
Flujo subt.desde aguas arriba	69.54
Recarga	1213.82
Cond. Borde	178.15
TOTAL INGRESOS	1748.7
OUT	
Flujo subt. hacia aguas abajo	503.93
Evapotranspiración	11.31
Pozos	1310.62
Dren	18.06
TOTAL SALIDAS	1843.92

Del comportamiento de los niveles según el modelo, se observa una clara tendencia a la disminución de estos, especialmente en los pozos de observación Fundo Palermo y Alcaparrosa, ubicados inmediatamente aguas arriba y aguas abajo respectivamente, de la batería de pozos de Minera Candelaria. Este efecto, se atenúa hacia aguas abajo en la medida que aumenta la distancia a la zona de extracción en cuestión, sin embargo los resultados del balance evidencian una disminución de niveles hasta la salida del Modelo 1 (frente al cerro La Cruz en la ciudad de Copiapó) en comparación con el balance al año 2001¹ (SIT N°87/2003), puesto que existe disminución tanto en la condición Dren como en la Evapotranspiración. En consecuencia, el aumento de la demanda de 374 l/s provocó, según la modelación, una disminución generalizada de los niveles freáticos en comparación con la condición al año 2001 y los mayores descensos se presentan en el sector de Tierra Amarilla.

¹ Ver Apéndice 1

4.3.2 Escenario 2

El escenario 2 posee la demanda al año 2001 menos la demanda de Minera Candelaria a esa fecha, (376 l/s). La desactivación de los pozos de la minera tiene la finalidad de observar el comportamiento del sistema al disminuir la demanda en el sector de Tierra Amarilla.

Los niveles de agua subterránea obtenidos en el tramo entre Tierra Amarilla y la ciudad de Copiapó se presentan en la Figura 4.6, en tanto que el balance de dicha zona se presenta en la Tabla 4.5.

Figura 4.6: Niveles de Agua Subterránea entre Tierra Amarilla y Copiapó

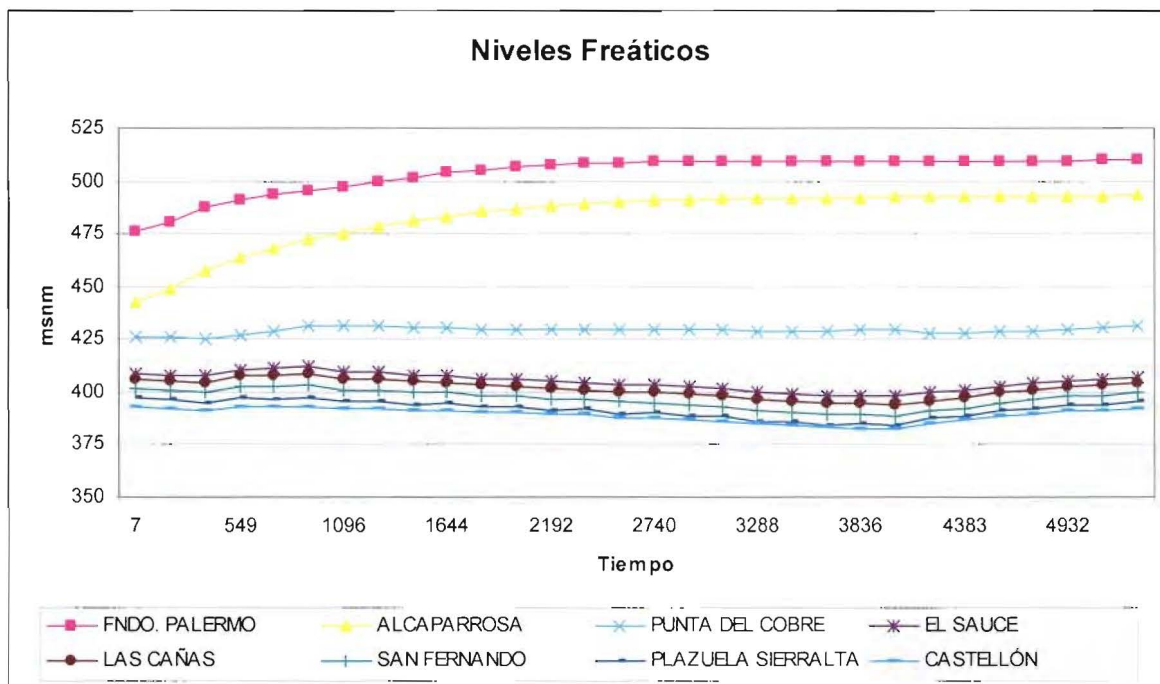


Tabla 4.5: Balance sector Tierra Amarilla-Copiapó (valores medios)

IN	l/s
Qda. Paipote	247.84
Flujo subd.desde aguas arriba	56.81
Recarga	1215.41
Cond. Borde	2.52
TOTAL INGRESOS	1522.58
OUT	
Flujo subd. hacia aguas abajo	536.05
Evapotranspiración	64.41
Pozos	772.68
Dren	23.40
TOTAL SALIDAS	1396.54

Del comportamiento de los niveles según el modelo, se observa una clara recuperación de los niveles, especialmente en los pozos de observación Fundo Palermo y Alcaparrosa, ubicados inmediatamente aguas arriba y aguas abajo respectivamente, de la batería de pozos de Minera Candelaria. Este efecto, se atenúa hacia aguas abajo en la medida que aumenta la distancia a la zona de extracción en cuestión, así los niveles presentan mayor estabilidad en el tiempo. Los resultados del balance evidencian aumentos en las condiciones de salida hacia aguas abajo (salida del modelo 1), evapotranspiración y afloramiento desde drenes, además, el caudal medio de las entradas de agua al sistema es superior al de las salidas.

En consecuencia, la disminución de la demanda en el sector de Tierra Amarilla en 376 l/s en comparación a la situación del año 2001² y 750 l/s del escenario 1, provoca según la modelación, recuperaciones significativas de la napa subterránea en el sector de Tierra Amarilla, en tanto que en el sector de la ciudad de Copiapó también se observa su efecto, aunque en un grado menor. Por otro lado, el hecho que el balance entregue caudales medios de entrada superiores a los de salida, es una señal clara que el comportamiento del acuífero está fuertemente influenciado por su explotación, ya que una disminución de ésta provoca un almacenamiento positivo de agua, el que repercute en el aumento de los niveles de la napa.

² Ver Apéndice 1

4.3.2 Escenario 3

El escenario 3 incorpora a la demanda del Modelo 2 al año 2001 la totalidad de los derechos de Minera Candelaria, esto es 750 l/s. La finalidad de este escenario es determinar si el sistema posee la capacidad de sustentar esta demanda sin menoscabo de los derechos de terceros. Por lo tanto, la ubicación de esta nueva demanda dentro de los límites del valle del río Copiapó, en el tramo entre la ciudad de Copiapó y Angostura se realizó teniendo presente la localización de la demanda al año 2001. La Figura 4.7 presenta la ubicación de los pozos en dicho sector al año 2001, en ella se observa una menor explotación en el tramo ubicado entre Piedra Colgada y Angostura. Dentro de este tramo se eligió el lugar que no presenta explotación de aguas subterráneas, la Figura 4.8 muestra el área escogida.

Figura 4.7: Ubicación de la demanda al año 2001, sector Copiapó-Angostura

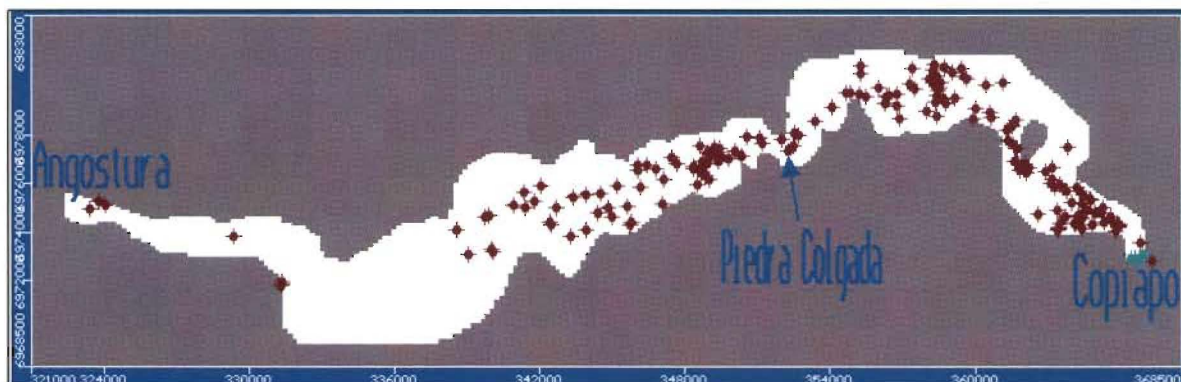


Figura 4.8: Área elegida para la ubicación de los pozos de Minera Candelaria



La ubicación dada a cada pozo se presenta en la Tabla 4.6, en tanto que los niveles de agua subterránea obtenidos en el tramo entre Piedra Colgada y Angostura se presentan en la Figura 4.9 y el respectivo balance de dicha zona se presenta en la Tabla 4.7.

Tabla 4.6: Ubicación dada a la demanda de Candelaria en Modelo 2

EXPEDIENTE	CAUDAL	UBICACIÓN (PSAD 56)	
	l/s	UTM NORTE	UTM ESTE
ND-0302-158	150.00	6970919	338313
ND-0302-162	150.00	6970075	337157
ND-0302-169	150.00	6970736	337175
ND-0302-170	150.00	6970093	336202
ND-0302-183	150.00	6970736	336165

Figura 4.9: Niveles de Agua Subterránea entre Piedra Colgada y Angostura

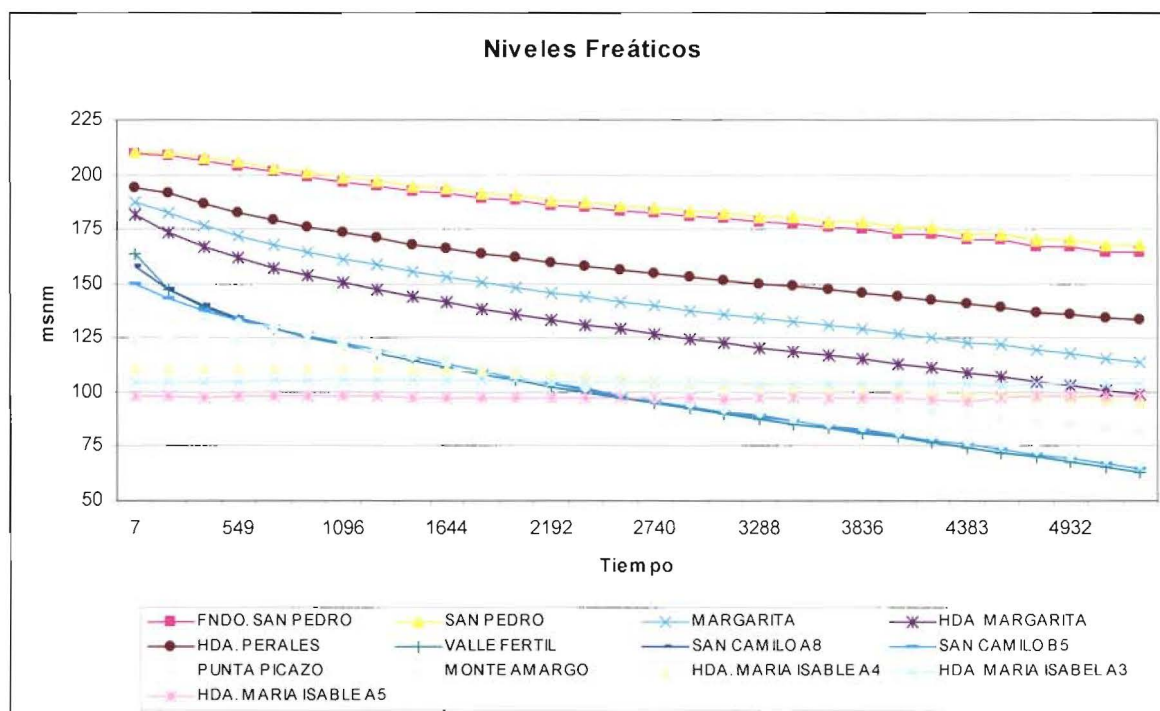


Tabla 4.7: Balance sector Piedra Colgada-Angostura (valores medios)

IN	l/s
Flujo sub. desde aguas arriba	452.33
Recarga	187.73
TOTAL INGRESOS	640.06
OUT	
Flujo sub. hacia aguas abajo	1.45
Evapotranspiración	10.83
Pozos	833.28
Dren	8.40
TOTAL SALIDAS	853.96

Del comportamiento de los niveles según el modelo, se observa una clara tendencia a la disminución en la mayoría de los pozos de observación, la excepción a este comportamiento se produce en los pozos ubicados en la hacienda Santa Isabel, lugar de cierre de la cuenca hidrogeológica de Copiapó. El efecto de descenso de niveles se observa claramente, tanto aguas arriba como aguas abajo del punto de extracción de los pozos de Minera Candelaria, incluso en áreas bastante alejadas como el sector de San Pedro. Los mayores descensos superan los 50 m.

De acuerdo al balance, se tiene un claro desequilibrio respecto a las entradas y salidas de agua del sistema. Un claro ejemplo de ello es la disminución del caudal de recuperación del río Copiapó en este sector, el que se estima en alrededor de 350 l/s al año 2001³.

En consecuencia, el aumento de la demanda en 750 l/s provocó, según la modelación, una disminución generalizada de los niveles freáticos en casi toda el área comprendida entre Piedra Colgada y Angostura y mermó las recuperaciones del río Copiapó en esa zona en un 99%.

³ Ver Apéndice 2

4.3.2 Escenario 4

El escenario 4 es producto de los resultados obtenidos del escenario 3, en que el acuífero se muestra capaz de sustentar la demanda en el mediano plazo, sin embargo, no tan solo se producen grandes depresiones de la napa subterránea sino que además genera afectación en los caudales del río Copiapó.

El escenario 4 incorpora a la demanda del Modelo 2 al año 2001 y el 60% de los derechos de Minera Candelaria, esto es 450 l/s. Con la finalidad de reducir el área de impacto provocada en el escenario anterior, se reubicaron los pozos en lugares con mayores permeabilidades. De esta forma la nueva ubicación de los pozos se señala en la Figura 4.10 y las coordenadas se presentan en la Tabla 4.8.

Los niveles de agua subterránea obtenidos en el tramo entre Piedra Colgada y Angostura se presentan en la Figura 4.11 y el respectivo balance de dicha zona se presenta en la Tabla 4.9.

Figura 4.10: Área elegida para la ubicación de los pozos de Minera Candelaria

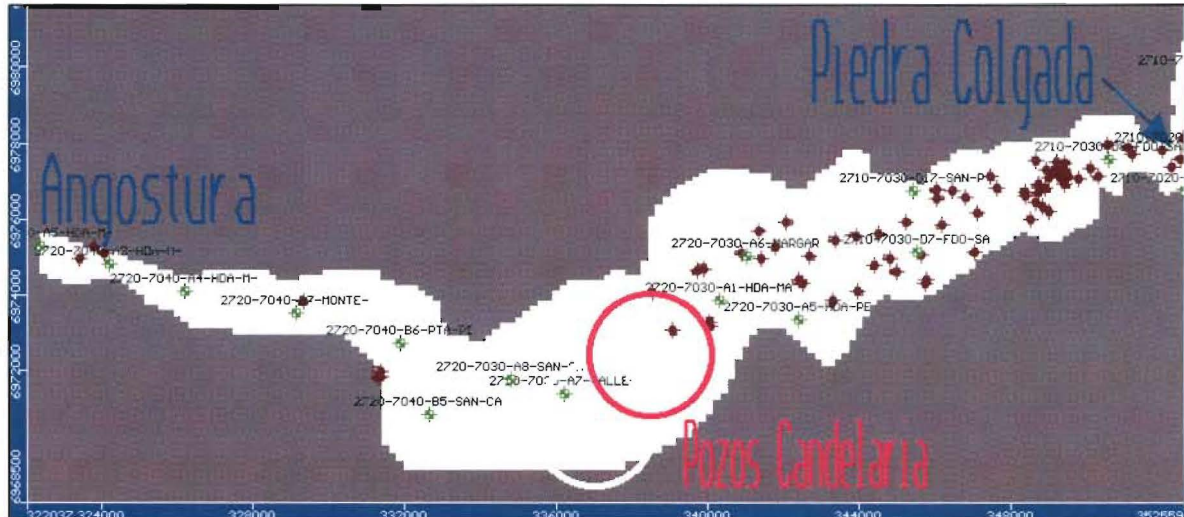


Tabla 4.8: Ubicación dada a la demanda de Candelaria en Modelo 2

EXPEDIENTE	CAUDAL	UBICACIÓN (PSAD 56)	
	l/s	UTM NORTE	UTM ESTE
ND-0302-170	150.00	6972181	336316
ND-0302-162	150.00	6972700	337729
ND-0302-169	150.00	6971823	338284

Figura 4.11: Niveles de Agua Subterránea entre Piedra Colgada y Angostura

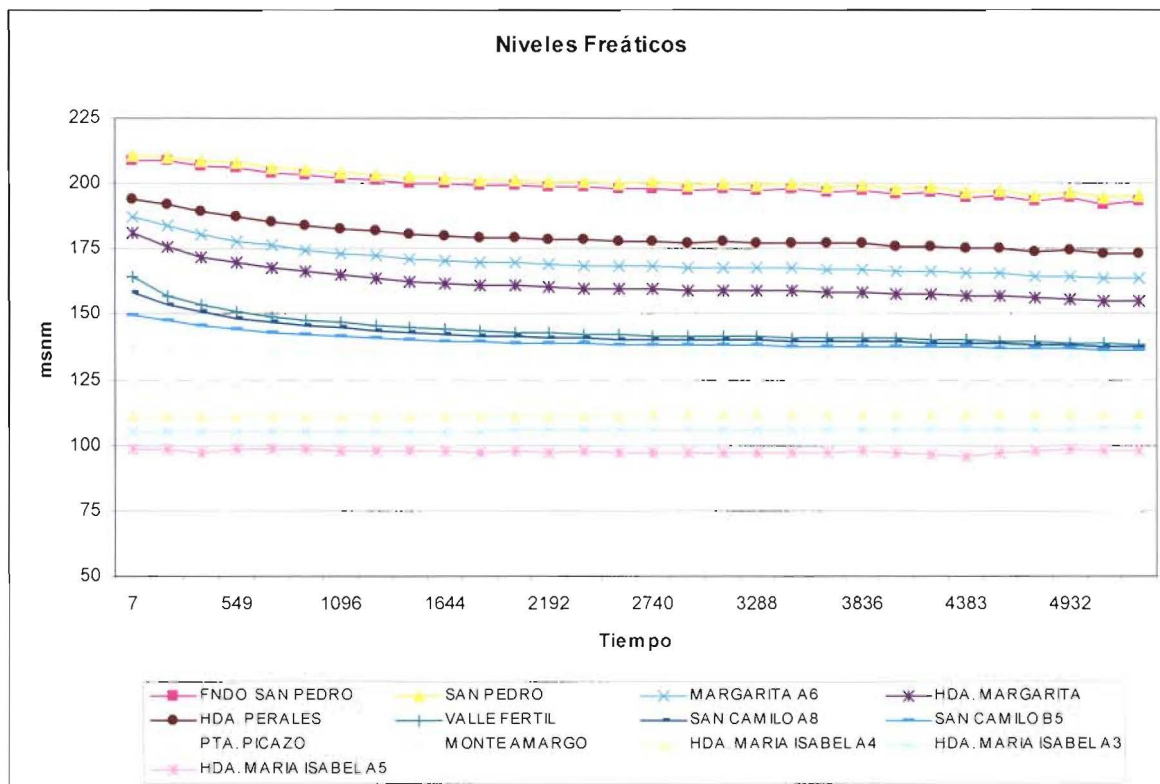


Tabla 4.9: Balance sector Piedra Colgada-Angostura (valores medios)

IN	l/s
Flujo subterraneo desde aguas arriba	383.13
Recarga	187.73
TOTAL INGRESOS	570.86
OUT	
Flujo subterraneo hacia aguas abajo	1.63
Evapotranspiración	21.49
Pozos	533.28
Dren	70.54
TOTAL SALIDAS	626.94

Del comportamiento de los niveles según el modelo, se observa una tendencia a la disminución en los pozos de observación ubicados entre San Pedro y San Camilo. El efecto de descenso de niveles se observa tanto aguas arriba como aguas abajo del punto de extracción de los pozos de Minera Candelaria, incluso en áreas bastante alejadas como el sector de San Pedro, aunque con tasas de descenso bastante menores a las del escenario anterior. Los mayores descensos no superan los 20 m.

De acuerdo al balance, se tiene desequilibrio respecto a las entradas y salidas de agua del sistema. Sí bien, se observan aumentos en los caudales evapotranspirados y drenados, con respecto al escenario 3, se presenta de todas formas afección al caudal del río Copiapó debido a la disminución de las recuperaciones. Respecto al valor de recuperaciones estimadas al año 2001⁴ (350 l/s), se afecta en alrededor de un 80% el caudal superficial.

En consecuencia, el aumento de la demanda en 450 l/s y su reubicación respecto al escenario 3, provocó, según la modelación, una disminución de los niveles freáticos entre los sectores de San Pedro y San Camilo, además de mermar las recuperaciones del río Copiapó en esa zona.

⁴ Ver Apéndice 2

5. CONCLUSIONES

Del presente estudio se obtienen las siguientes conclusiones:

1. La revisión de los modelos numéricos hidrogeológicos del valle de Copiapó en cuanto a su estado, respecto del estudio SIT N°87 de 2003, arrojó concordancia entre ellos.
2. Ambos modelos están actualmente operativos en la versión 4.1 de la plataforma computacional Visual Modflow.
3. Se realizó la evaluación de cuatro escenarios con diferentes demandas y diferentes puntos de captación de las aguas subterráneas, correspondientes a los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas de Compañía Minera Candelaria. La evaluación de cada escenario se resume a continuación:

Escenario 1: Con una demanda media efectiva de 1311 l/s, que corresponde a la explotación del año 2001 y la actualización de los caudales de los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas pertenecientes a Minera Candelaria en el Modelo 1, tramo Tierra Amarilla- Copiapó, el sistema se muestra capaz de satisfacer la demanda impuesta en el mediano plazo, sin embargo, debido a ello se produce una fuerte disminución de los niveles freáticos, que abarca todo el sector. Debido a esto disminuye el aporte al río Copiapó por afloramientos y el flujo subterráneo hacia aguas abajo de la ciudad de Copiapó.

Escenario 2: Con una demanda media efectiva de 773 l/s, que corresponde a la explotación del año 2001, descontada la demanda de Minera Candelaria, en el tramo entre Tierra Amarilla y Copiapó del Modelo 1, el sistema no solo se muestra capaz de satisfacer la demanda impuesta, sino que además muestra recuperaciones en los niveles de la napa, en los caudales de salida y experimenta una variación de almacenamiento positiva.

Escenario 3: Con una demanda media efectiva de 833 l/s, que corresponde a la explotación del año 2001 en el tramo entre Piedra Colgada y Angostura del Modelo 2: Copiapó-Angostura más los derechos de Minera Candelaria (750 l/s), el sistema se muestra capaz de satisfacer la demanda en el mediano plazo, sin embargo se evidencia una fuerte

disminución de los niveles, que abarca todo el tramo, producto de lo cual se ven disminuidos los afloramientos hasta valores de 99%, además se experimenta una variación de almacenamiento marcadamente negativa.

Escenario 4: Con una demanda media efectiva de 533 l/s, que corresponde a la explotación del año 2001 en el tramo Piedra Colgada-Angostura del Modelo 2 más el 60% de los derechos de Minera Candelaria, correspondientes a 450 l/s y la reubicación de las captaciones en zona de mayor permeabilidad, el sistema se muestra capaz de satisfacer la demanda en el mediano plazo, sin embargo se evidencia una tendencia a la disminución de los niveles en una amplia zona del modelo y existe un desembalse desde almacenamiento.

4. En consecuencia, según los escenarios evaluados se tiene que el traslado de los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas de Compañía Minera Candelaria posee dos aristas:

La primera es que al sacar la demanda del sector de Tierra Amarilla se produce un impacto positivo en el sistema acuífero, el que debiese tender a la recuperación de los niveles si la explotación del sector ubicado entre Tierra Amarilla y Copiapó no supera los 800 l/s.

La segunda arista, es que los sectores menos explotados del valle, es decir, el tramo ubicado entre Piedra Colgada y Angostura poseen permeabilidades bastante menores en comparación a las existentes en la zona de Tierra Amarilla, por lo cual una explotación de 750 l/s, correspondientes a la totalidad de los derechos que la minera posee en Tierra Amarilla, o incluso una explotación menor, equivalente al 60% de dicho caudal no es posible en el mencionado tramo sin causar menoscabo a las aguas superficiales y a la profundidad media de la napa.

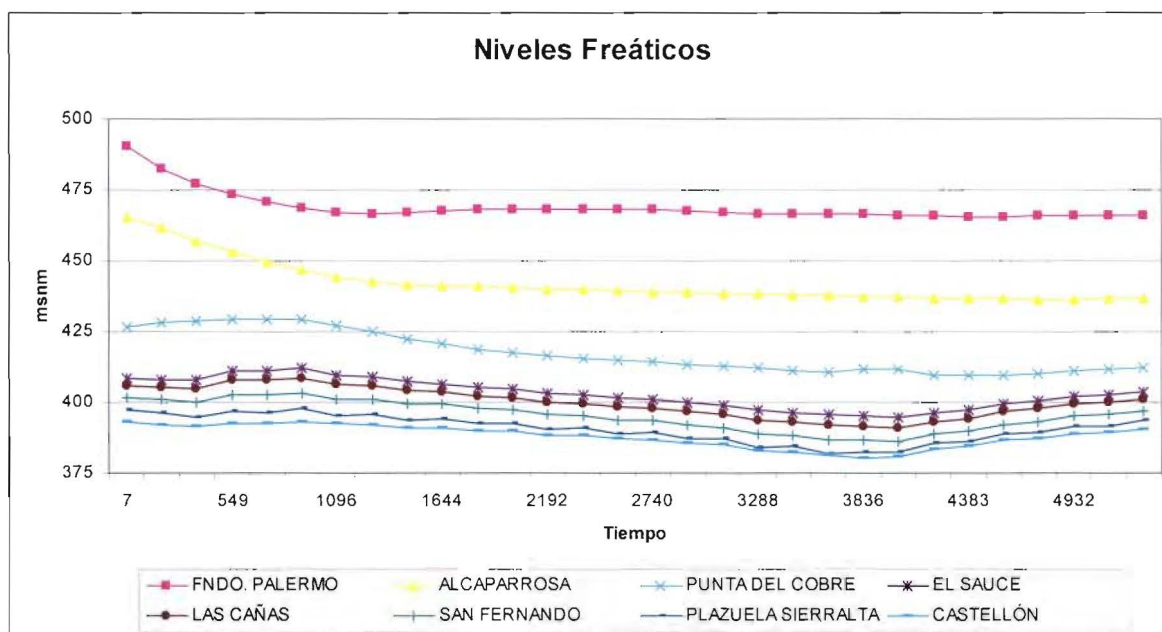
5. Por último, el desarrollo del presente estudio deja en evidencia que el actual desembalse del acuífero existente aguas arriba de Copiapó, no solamente está influenciado por la hidrología natural de la cuenca, sino que también por la fuerte demanda existente en el sector, puesto que la disminución de la demanda, sin alterar las condiciones hidrológicas, puede revertir la tendencia de disminución de los niveles.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos del río Copiapó, DGA año 2003.
- Modelos Hidrogeológicos del Valle del río Copiapó, DGA.
- Plan de Acción del río Copiapó para Generar una Estrategia de Manejo del Agua en la Cuenca, DGA año 2007.

Apéndice 1

Balance y Niveles Freáticos Sector Mal Paso-Copiapó



IN	l/s
Qda. Paipote	264.94
Flujo subt. desde aguas arriba	65.69
Recarga	1214.82
Cond. Borde	43.01
TOTAL INGRESOS	1588.46
OUT	
Flujo subt. hacia aguas abajo	527.47
Evapotranspiración	14.47
Pozos	1083.67
Dren	20.94
TOTAL SALIDAS	1646.55

CENTRO DE INFORMACION DE RECURSOS HIDRICOS



3 5617 00004 9187