



**GOBIERNO DE CHILE  
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS  
DIRECCION GENERAL DE AGUAS**

DIRECCION GENERAL DE AGUAS  
Centro de Información Recursos Hídricos  
Área de Documentación

**DEFINICIÓN DE ESTRATEGIAS DE  
MANEJO SUSTENTABLE PARA EL  
ACUÍFERO DE AZAPA, XV REGIÓN**

**RESÚMEN EJECUTIVO**

**REALIZADO POR:**

**AC INGENIEROS CONSULTORES LTDA.**

**S.I.T. N° 201**

**Santiago, Diciembre de 2009**

**MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS  
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS  
DIVISIÓN DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN**

**Ministro de Obras Públicas  
Ingeniero Civil Sr. Sergio Bitar Chacra**

**Director General de Aguas  
Abogado Sr. Rodrigo Weisner Lazo**

**Jefe División de Estudios y Planificación  
Ingeniero Civil Sr. Pedro Rivera Izam**

**Inspector Fiscal  
Ingeniero Civil Sr. Julio Cornejo Morales**

**Profesionales DGA**

**Ingeniero Civil Sr. Luis Rojas Badilla  
Ingeniera Civil Sra. Andrea Osses Vargas**

**AC INGENIEROS CONSULTORES LTDA:**

**Jefe de Proyecto  
Ingeniero Civil Guillermo Cabrera Fajardo**

**Profesionales**

**Ingeniero Civil Félix Pérez Soto  
Ingeniero Civil Lem Mimiça Viladrich  
Ingeniera Civil Sergio Matus García  
Ingeniero Civil Javiera Pérez Jara  
Cartógrafa Lorena Bustamante Jiménez**

## Resumen ejecutivo

### 1 Generalidades

La agricultura constituye una de las principales actividades económicas en la región de Arica y Parinacota. El valle de Azapa alberga al área agrícola más importante de la región, la que es regada con aguas subterráneas y aguas superficiales, conducidas por el canal Azapa.

Antes de la elaboración del presente estudio, se había estimado que la recarga total al acuífero era del orden de 700 l/s, aproximadamente un quinto del caudal otorgado en derechos de extracción de agua subterránea.

Descensos sostenidos en los niveles de los pozos del valle, durante periodos prolongados de tiempo (hasta 10 años), y la reducción de los caudales superficiales captados en las vertientes existentes en el valle, hacían presumir que el sistema acuífero se encontraba en un estado de sobreexplotación y vulnerabilidad. Sin embargo, los niveles de agua subterránea y los caudales de vertientes, durante otros periodos, se han recuperado, tras las crecidas del río San José.

El objetivo del presente estudio es cuantificar la disponibilidad real de agua en la cuenca a través del tiempo, para la gestión sustentable de los recursos hídricos en el valle de Azapa.

Se elaboró un modelo de flujo subterráneo para cuantificar la disponibilidad de agua en distintos escenarios que podrían presentarse en el futuro. Los resultados obtenidos permitieron definir estrategias de manejo sustentable del acuífero del valle de Azapa. Las comunidades de agua podrán llevar a cabo dichas estrategias, dentro del plan de acción para la gestión de los recursos hídricos de la región.

### 2 Objetivos

El objetivo general del presente estudio fue definir estrategias para el manejo sustentable de los recursos hídricos del valle de Azapa, a través de la gestión del agua subterránea almacenada en el acuífero del valle de Azapa, usando como herramienta, un modelo de flujo subterráneo, elaborado con datos actuales.

Los objetivos específicos de este trabajo son los siguientes:

- a) Extender el dominio de la modelación hidrogeológica del valle del río San José y actualizar la representación de los elementos que conforman y determinan el estado del sistema: relleno, recargas, explotación, afloramientos, entre otros.
- b) Actualizar las demandas hídricas del sistema, evapotranspirativa y legal (derechos otorgados y solicitados). Además del consumo de agua real (extracciones).



#### **4 Representación del sistema**

El sistema acuífero fue representado a través de dos modelos de flujo, elaborados con el programa Visual Modflow. Uno regional, que incluye íntegramente a la cuenca baja del río San José y otro de detalle, que cubre el valle desde Ausipar a la costa.

Según los resultados obtenidos, tras haber calibrado el modelo para el período histórico estudiado (1960-2008), el acuífero del valle de Azapa se ha mantenido, en promedio, en un pseudo equilibrio. Si bien, se han producido grandes descensos de los niveles freáticos en algunos sectores, como lo ocurrido el año 1996, éstos se han recuperado gracias a periodos de recarga por sobre el promedio.

#### **5 Vertientes**

No es posible disponer de los afloramientos de las vertientes como un recurso permanente, dado que los caudales son muy sensibles a las crecidas en el río San José, por lo tanto, los caudales aprovechables presentan grandes variaciones, desde casi cero a peaks de 600 l/s, aproximadamente (promedios anuales).

#### **6 Recarga y descarga**

De acuerdo a los resultados del modelo elaborado, para el período histórico, las entradas totales al acuífero, en el dominio del modelo de detalle (Ausipar-Costa), ascienden en promedio a 900 l/s. De ese caudal, 210 l/s provienen de excedentes de riego y pérdidas en conducciones, 36 l/s serían pérdidas de la red de A.P., 198 l/s ingresan subterráneamente, como flujo propio de la napa y 457 l/s provienen de la infiltración de la escorrentía generada por las precipitaciones, principalmente las que se producen en la cuenca alta del río San José.

Por otro lado, las salidas ascienden a un caudal semejante (casi equilibrio, en promedio), 950 l/s. De ese caudal, 199 l/s afloran en las vertientes del valle, 174 l/s afloran en el cauce del río San José durante las crecidas, 567 l/s han sido bombeados y 10 l/s fluyen subterráneamente hacia el norte en el sector costero.

Se debe tener en cuenta que parte de la infiltración calculada aflora en el mismo cauce y durante las crecidas, es decir, se produce una recarga a nivel subsuperficial y en tramos ubicados hacia aguas abajo de dicha infiltración, se produce una recuperación. Por consiguiente, la entrada neta sería aproximadamente de 725 l/s (crecidas, riego, pérdidas de A.P. y flujo propio). Esa recarga ha posibilitado la explotación histórica (567 l/s) y los afloramientos de las vertientes (199 l/s).

## **7 Extracciones**

El bombeo histórico promedio desde pozos en el valle asciende a 567 l/s. Con ese nivel de bombeo, el sistema ha estado casi en equilibrio de largo plazo, por lo tanto, si se proyecta una extracción permanente por sobre los 600 l/s, habrán períodos prolongados en los que las vertientes quedarán sin recursos. Más aún es esperable que condiciones de desembalse como las ocurridas en el año 1996 se repliquen con mayor frecuencia. Por otra parte, existen claras evidencias que bajo condiciones de sobreexplotación, se producirá un empeoramiento de la calidad del agua.

Según los resultados del modelo, la demanda sería satisfecha con la recarga una vez cada 5 años. El tiempo restante (80 % del tiempo), parte de los caudales de extracción del acuífero provienen del volumen almacenado, generando descensos progresivos de los niveles freáticos en el valle y afectando el rendimiento del 67 % de las captaciones catastradas.

## **8 Derechos**

Con relación a los derechos de agua subterránea otorgados y solicitados en el área, éstos superan largamente la disponibilidad de recursos del sistema:

En resumen la situación de derechos en el valle es la siguiente:

Caudal total en derechos otorgados: 3539 l/s

Caudal total en derechos solicitados: 755 l/s

Caudal total solicitado 4º Transitorio: 677 l/s (caudales individuales menores a 2 l/s)

Si se supone que las captaciones usadas para riego operan el 30 % del tiempo, las de agua potable, el 70 % y las de uso industrial, el 90 % del tiempo, los caudales se reducen a:

Caudal total en derechos otorgados: 1195 l/s

Caudal total en derechos solicitados: 293 l/s

Caudal total solicitado 4º Transitorio: 206 l/s

De las cifras anteriores se deduce que incluso al suponer que las captaciones no operan el 100 % del tiempo, los escenarios de derechos exceden las posibilidades reales del sistema.

Por otro lado, si se considera la explotación actual, según el catastro realizado, ésta alcanza los 740 l/s, y en el año más crítico hasta 850 l/s. El caudal actualmente utilizado para agua potable es 183 l/s, ese caudal es producto de una disminución paulatina en el último tiempo, debido a que parte de los recursos requeridos se obtienen de pozos en el río Lluta.

El proyecto de una planta desalinizadora fue incluido en el análisis, suponiendo que ésta permite reducir en un 50 % y en un 100 % el bombeo para el uso potable del agua; lo que permite reducir los bombeos en 91 y 183 l/s, respectivamente.

## **9 Medidas propuestas**

Una de las mayores dificultades encontradas al desarrollar el presente estudio, fue la falta de datos fluviométricos en el río San José. Para afinar la modelación de la escorrentía y las recargas, sería recomendable medir caudales en Ausipar, Bocatoma y Saucache. Idealmente con estaciones fluviométricas ubicadas en secciones mejoradas y regulares. Las crecidas se deberían registrar de manera continua. De esa forma, se podría calcular para distintos eventos, la infiltración en los tramos Ausipar-Bocatoma y Bocatoma-Saucache. Además de obtener una relación precipitación-escorrentía con período de ajuste más largo que el usado en este trabajo.

Junto a la fluviometría es necesario medir sedimentos, para estudiar la variación del lecho del río San José con las crecidas. Según lo anterior, idealmente se recomienda crear 4 estaciones sedimentométricas en Tignamar, Ausipar, Bocatoma y Saucache.

Otro aspecto que se podría mejorar es la caracterización de las precipitaciones; debido a la gran variabilidad espacial de las precipitaciones, en la cuenca alta, se podría incrementar el número de estaciones meteorológicas (3 actualmente).

La información relacionada con los pozos es fundamental para monitorear al acuífero; agregar nuevos pozos a la red de control de la DGA sería muy útil. La información de la red actual debería mejorarse, asegurando que se midan mensualmente todos los pozos de la red y que se realice una nivelación topográfica de detalle para contar con las elevaciones de terreno y con las elevaciones de los puntos que se usan como niveles de referencia para efectuar las mediciones de las profundidades de los niveles freáticos.