



## **RESUMEN EJECUTIVO**

### **DIAGNOSTICO DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE LA CUENCA DEL RIO COPIAPO Y PROPOSICION DE UN MODELO DE EXPLOTACION SUSTENTABLE**

Preparado por:

Golder Associates S.A.  
Av. 11 de Septiembre 2353, piso 2,  
Providencia-Santiago

#### DISTRIBUCIÓN:

2 Copias - Cliente  
1 Copia - Golder Associates S.A.

Julio - 2006

059-2707

## RESUMEN EJECUTIVO

Golder Associates S.A. fue asignado para desarrollar el estudio “Diagnóstico de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Copiapó y Proposición de un Modelo de Explotación Sustentable”, por encargo de empresas y asociaciones de la Región de Atacama relacionadas con el uso de los recursos hídricos de la cuenca.

El Comité Técnico que dio seguimiento a este trabajo estuvo constituido por Anglo American Chile - División Manto Verde, la Asociación de Productores y Exportadores Agrícolas del Valle de Copiapó (APECO), la Compañía Contractual Minera Candelaria, la Junta de Vigilancia del Río Copiapó y sus Afluentes y la Sociedad Punta del Cobre S.A (PUCOBRE); mientras que la coordinación estuvo a cargo de la Corporación para el Desarrollo de la Región de Atacama (CORPROA) quien formó parte activa del Comité Técnico.

Los objetivos principales de este estudio han sido tres. El primero de ellos consistió en la selección de la información más actual disponible, procedente de informes realizados por organismos públicos (DGA, SERNAGEOMIN, SAG, CNR, CIREN, INE, etc.) los que, una vez analizados por expertos, permitieron la comprensión de la situación que afecta a la cuenca y la elaboración de un diagnóstico independiente de los recursos hídricos que son objeto de aprovechamiento en la cuenca. El segundo objetivo fue la elaboración de un modelo conceptual de explotación sustentable, labor que comprende la evaluación del volumen de aprovechamiento que permita mantener las reservas en el largo plazo y la identificación de las medidas que pueden conducir en la práctica hacia la sustentabilidad. El tercer objetivo fue el diseño de una estructura de Plan de Acción, que recoge las medidas seleccionadas y propone su desarrollo e implementación por parte de las entidades promotoras de este estudio, con el apoyo de otras instituciones regionales.

Los datos seleccionados de estudios anteriores, así como los cálculos y evaluaciones realizadas a lo largo de este informe no fueron contrastadas con mediciones o catastros de terreno, por estar éstos fuera del alcance de los trabajos contratados.

### **1 Características Físicas de la Cuenca**

La cuenca del Río Copiapó comprende una superficie de 18.540 km<sup>2</sup>. En la cabecera alcanza las altitudes máximas en el nevado Jotabeche (5.862 m.s.n.m) y en el Volcán Copiapó (6050 m.s.n.m). La desembocadura de este río en el Océano Pacífico se encuentra al norte de Puerto Viejo, localidad situada a 60 km al oeste de la ciudad de Copiapó. Los afluentes principales son el río Jorquera, Pulido y Manflas.

## **2 Area de Estudio**

El trabajo estuvo focalizado en el valle del Río Copiapó y en particular en su acuífero, dividiéndose este en los siguientes sectores objeto de análisis:

- Sector 1. Afluentes aguas arriba del Embalse Lautaro – By Pass Lautaro
- Sector 2. By Pass Lautaro – La Puerta
- Sector 3. La Puerta – Malpaso
- Sector 4. Malpaso – Ciudad de Copiapó
- Sector 5. Ciudad de Copiapó – Piedra Colgada
- Sector 6. Piedra Colgada - Angostura

## **3 Desarrollo Social y Económico.**

La región de Atacama cuenta con una población de 254.336 habitantes de los cuales 125.983 (50 %) residen en la ciudad de Copiapó y 12.888 (5%) lo hacen en Tierra Amarilla (INE, Censo 2002). El crecimiento poblacional regional alcanzó el 10,2 %, entre el periodo 1992 - 2002, lo que sitúa a Atacama en el noveno lugar nacional.

Los cultivos agrícolas ocupan una extensión de 9.299 ha en la cuenca del Río Copiapó según la información aportada por el Censo Nacional Agropecuario de 1997, actualizada con el registro de frutales que presenta el Censo Frutícola (CIREN, 2005). Los frutales alcanzarían las 8.151 ha, de los cuales un 83% corresponden a uva de mesa y un 14% son olivares. Hay alrededor de 1000 hectáreas dedicadas a hortalizas y algo más de 100 ha plantadas con especies forrajeras.

Dentro de la cuenca del río Copiapó hay instaladas un total de 34 plantas productoras de mineral y 64 explotaciones mineras (SERNAGEOMIN , 2004). De las plantas, un total de 26 se encontraban operando en el 2004. En el conjunto de la Región de Atacama hay una capacidad instalada para el tratamiento diario de 248.690 Tn, de las cuales 139.280 corresponden a flotación y 109.410 Tn corresponden a lixiviación. Dentro de la cuenca está instalada el 67 % de la capacidad productiva regional. Las empresas mineras están concentradas en el sector 4, Malpaso – Copiapó, dónde se localizan 29 plantas mineras.

## **4 Pluviometría y Fluviometría**

Se evaluaron registros de precipitación y caudal obtenidos durante más de 30 años. Las precipitaciones aumentan desde el mar hacia la cordillera. En la parte media y baja de la cuenca hay promedios anuales más bajos (Estación Copiapó, 19,6 mm) y un periodo seco más prolongado (generalmente ocho meses), mientras que en la parte alta llueve más (Estación Jorquera, 46,2 mm) y la ausencia de precipitaciones dura sólo entre cinco y seis meses.

En la fluvimetría de la cuenca predomina la componente nival, es decir, los caudales más importantes proceden de los deshielos, aunque algunos afluentes como el Jorquera tienen

un régimen mixto nivo-pluvial. Los glaciares más importantes que alimentan al río Copiapó son Los Helados, Marancel y Cerro del Potro ubicados en la alta cordillera.

## 5 Hidrogeología

Los depósitos de gravas y arenas del valle forman un acuífero no confinado con un espesor saturado medio del orden de 150 m. Los depósitos tienen una anchura de 250 a 1000 m. La transmisividad del acuífero varía entre 1.000 y 20.000 m<sup>2</sup>/día y tiene una capacidad de almacenamiento de agua del 10%. La conductividad hidráulica varía entre 6 y 120 m/día.

El agua superficial y subterránea tienen flujos interconectados entre sí, como podría esperarse de un acuífero no confinado. Es decir, el río Copiapó está hidráulicamente conectado con su acuífero, constituyendo éste una fuente de recarga. En ciertos lugares (como en los estrechamientos de los valles) hay afloramientos importantes por lo que el río recibe aportes desde el acuífero. El nivel del río puede ser considerado como el nivel máximo de elevación del nivel freático. Sin embargo, si los niveles del acuífero declinan el nivel del agua en el río cae, generando una progresiva disminución de los volúmenes de agua superficial.

La recarga del acuífero ocurre debido a la infiltración de las aguas que fluyen por el río Copiapó y por infiltración desde los sistemas de regadío del valle. Según la DGA 2003, la infiltración desde el lecho del río es, con diferencia, el mecanismo más importante de recarga.

El agua subterránea en el valle rellena los depósitos y se encuentra a profundidades promedio en un rango entre 4 y 25 metros por debajo de la superficie. En general, la distancia más grande desde la superficie del terreno hasta el nivel del agua se encuentra localizada en sectores aguas arriba de Copiapó. Aguas abajo de la ciudad, los niveles freáticos se encuentran más cercanos a la superficie.

## 6 Aprovechamiento del Agua Subterránea en la Cuenca

El agua subterránea es extraída mediante bombeo desde pozos por empresas agrícolas, mineras y prestadoras de servicios sanitarios. En total en la cuenca hay localizados alrededor de 440 pozos, de los cuales unos 298 estarían operativos. A fines del 2005 hay derechos de aprovechamiento, constituidos y en trámite, por un total de 21.161 l/s los que equivalen a un máximo de 667 Mm<sup>3</sup>/año.

El volumen de agua subterránea efectivamente extraído mediante pozos fue evaluado en el 2001 en 140 Mm<sup>3</sup>/año, a partir de datos obtenidos mediante levantamientos de terreno (DGA 2003). Los sectores con mayor volumen de extracción son La Puerta - Malpaso (32%) y Malpaso - Copiapó (23%). Para fines de riego en el 2001 se estaría extrayendo mediante bombeo un volumen estimado en 106 Mm<sup>3</sup>/año (75%). La segunda actividad en importancia es la minería, que representaba a esa fecha un volumen de 17,7 Mm<sup>3</sup>/año (13%) y el tercero es el consumo humano con 13,6 Mm<sup>3</sup>/año (10%) (DGA 2003).

Los datos de extracción de agua desde pozos entregados por la DGA para cada uso fueron contrastados en este informe con cálculos teóricos desarrollados en base a tasas de consumo de cada rubro y diversa información reunida a lo largo del trabajo realizado. Fruto de este contraste se recomienda la actualización de esta información con trabajo específico de terreno, pues desde el 2001 se sabe que han ocurrido cambios.

## 7 Aprovechamiento del Agua Superficial en la Cuenca

El aprovechamiento de las aguas superficiales es objeto de regulación desde los tiempos de la colonia. Ya entonces se registran problemas de suministro para riego agrícola por lo cual las autoridades de la época establecieron reglas entre los usuarios.

La organización que regula actualmente los aprovechamientos de **aguas superficiales** es la Junta de Vigilancia del Río Copiapó (JVRC). Esta entidad fue constituida oficialmente en 1996 y en la actualidad agrupa a un total de 57 Comunidades de Regantes y 9 Canales, con un rol de regantes compuesto por 1.127 usuarios que se reparten 12.080 acciones, donde están presentes pequeños y grandes propietarios agrícolas. La JVRC gestiona 9 Distritos de Riego, los que alcanzan desde las cabeceras del Río Copiapó, aguas arriba del Embalse Lautaro, hasta escasos kilómetros aguas abajo de la ciudad de Copiapó. Quedan fuera de esta organización de canalistas parte de los sectores 5° (Copiapó – Piedra Colgada) y 6° (Piedra Colgada – Angostura).

La extracción de agua superficial, a través de bocatomas para riego agrícola, en el área de estudio, se estima que es del orden de 32 Mm<sup>3</sup>/año.

## 8 Situación de los Niveles Freáticos

- Sector N°1, Aguas Arriba del Embalse Lautaro. La mayoría de los pozos registrados presentan profundidades entre 10 y 30 m, ocurriendo algunos acercamientos de niveles a la superficie con ocasión de mayores precipitaciones. En este sector se encuentra un escaso número de pozos construidos, por consiguiente los descensos corresponden a períodos naturales de descarga y recarga del acuífero.
- Sector N°2, Embalse Lautaro-La Puerta. El nivel estático en sectores cercanos al embalse se mantiene en promedio a menos de 20 m de profundidad con fluctuaciones menores. Aguas abajo, y como consecuencia de la angostura del valle, decrece la profundidad del basamento rocoso y se produce una zona de vertientes conocida como Los Loros.
- Sector N°3, La Puerta-Mal Paso. Se observan niveles estáticos profundos (25-60 m) entre La Puerta y Carrizalillo. Desde aquí hasta Mal Paso, los niveles estáticos vuelven a acercarse a la superficie favoreciendo la presencia de vegas y vertientes. A partir del año 1988 se produjo un fuerte descenso de niveles freáticos en varios de los pozos registrados, alcanzando algunos de ellos una profundidad superior a los 60

m. Esta situación sólo fue compensada en parte por las precipitaciones caídas en el año 1997

- Sector N°4, Mal Paso-Copiapó. El acuífero presenta fuertes variaciones de la napa y niveles cercanos a la superficie en el sector de Tierra Amarilla para ir profundizándose los niveles hacia el sector de Paipote, aunque manteniendo fuertes fluctuaciones de nivel. Posteriormente, se produce desde San Fernando a Copiapó un aumento de los niveles, acercándose paulatinamente hacia la superficie y disminuyendo la magnitud de sus fluctuaciones. A partir del año 1989 se produjo un descenso notable de los niveles freáticos en este sector, tendencia que se revirtió parcialmente en el año 1997. Desde el año 2000 en adelante están secos varios de los pozos utilizados para el registro de niveles.
- Sector N°5 Copiapó-Piedra Colgada. En este sector se aprecia a partir de 1988 un paulatino descenso de los niveles freáticos objeto de observación. Se pueden diferenciar dos zonas hidrogeológicas en el acuífero. La primera corresponde a Bodega – Chamonate donde los niveles se encuentran más bien profundos, entre los 25 y 30 metros, para ir ascendiendo a la superficie a medida que se avanza hacia el poniente. La segunda zona, identificada como Chamonate-Piedra Colgada, presenta los niveles menos profundos que los anteriores, de 10 a 20 m. a la altura del aeropuerto, para ir reduciéndose a medida que se avanza hacia Piedra Colgada donde los niveles alcanzan menos de 10 metros de profundidad.
- Sector N°6 Piedra Colgada-Angostura. Esta zona se caracteriza por niveles estáticos cercanos a la superficie y escasas fluctuaciones en las últimas décadas, por lo que es común la presencia de una extensa zona de descarga de la napa subterránea, fenómeno que ocurre por evapotranspiración de las vegas y principalmente por afloramientos de vertientes que se ubican en el lecho del río.

## **9 Balances de Agua**

Se realizaron diversos Balances Hídricos para la cuenca del río Copiapó, tanto para aguas superficiales como subterráneas, considerando los valores de largo plazo disponibles a partir de registro de estadísticas fluviométricas y pluviométricas y estimaciones asociadas a mediciones de diversos parámetros (tales como evapotranspiración, infiltración, extracción de agua desde pozos, etc.) realizadas en los últimos años. La fuente de información de estos cálculos fueron los datos aportados por informes oficiales publicados por la DGA y SERNAGEOMIN (DGA 1987, 1995, 2003; y SERNAGEOMIN 1999, principalmente).

El balance hidrogeológico para el conjunto de la cuenca, teniendo en cuenta niveles de extracción desde pozos al 2001 (aportado por DGA 2003) presenta una diferencia negativa entre ingresos y salidas, que asciende a  $-110 \text{ Mm}^3/\text{año}$ . Esta diferencia representa un 70 % del volumen que entra en la cuenca según un promedio anual de largo plazo.

Esto significa que el balance de las aguas subterráneas de largo plazo es claramente negativo, lo que supone que se está reduciendo el volumen almacenado en el acuífero

(considerando las tasas de extracción por bombeo del 2001) en un monto de 110 Mm<sup>3</sup>/año.

Como referencia, puede indicarse que el volumen total de agua embalsada en el acuífero se estima de 5.270 Mm<sup>3</sup> (DGA 2003), aunque otros autores evalúan el volumen realmente disponible en 1.222 Mm<sup>3</sup>, considerando un espesor medio saturado de 65 m de profundidad (SERNAGEOMIN 1999).

Se estima que esta diferencia puede estar afectada por un error que puede alcanzar el 20% (por tanto puede estar en un rango entre -88 y -133 Mm<sup>3</sup>/año), debido a la incertidumbre asociada a algunas componentes como la evapotranspiración y otras cuya serie de tiempo es imperfecta.

## 10 Volumen de Aprovechamiento Sustentable

Se estimó el volumen de aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos subterráneos según tres métodos que involucran distintos criterios.

### - Estimación que no implique medidas de manejo

La sustentabilidad en el largo plazo según esta opción establece que las recargas al acuífero deben ser equilibradas con las descargas del sistema, incluyendo el bombeo, proyectando las condiciones actuales sin intervenir en mejorar la situación. Históricamente, esto ha sido interpretado de la siguiente manera:

### **Entradas = Salida Natural + Bombeo Sustentable**

Al acuífero ingresan anualmente alrededor de 151 Mm<sup>3</sup> (4.799 l/seg) y salen de manera natural 121 Mm<sup>3</sup>. Luego según una estimación que no implique medidas de manejo, el volumen de bombeo sustentable debería ser **30 Mm<sup>3</sup>/año**. Esta estimación está basada en promedios a largo plazo, que no afecta los ecosistemas naturales presentes en la cuenca ni tiene en cuenta las aguas que llegan hasta el mar de manera natural.

### - Estimación considerando la minimización de las pérdidas

Es posible aumentar la tasa sustentable de bombeo si se generan cambios en las descargas de aguas subterráneas. En efecto, el volumen extraído por bombeo puede incrementarse si se tiene en cuenta:

- el agua que normalmente se descargaría río abajo hasta llegar al mar y
- el agua que escapa a la atmósfera debido a la evaporación y evapotranspiración desde terrenos de vega.

Aplicando prácticas de manejo del acuífero y considerando que así se minimizarán las pérdidas de agua por su salida al mar y por evapotranspiración, es razonable pensar que la tasa sustentable de bombeo pueda incrementarse hasta **48 Mm<sup>3</sup>/Año**.

### - Estimación basada en la optimización del almacenamiento de agua en el acuífero

Este volumen podría ser incrementado aún más en una cierta magnitud si se dispusiera de un volumen de infiltración mayor y se aprovecharan efectivamente los años húmedos promoviendo la recarga del acuífero a lo largo de la cuenca, ya sea por medios naturales o artificiales. El incremento del volumen de bombeo sustentable por este concepto puede llamarse  $\Delta V$  (Variación en el almacenamiento en el acuífero), y su determinación es función de la infiltración efectiva que ocurra de recursos adicionales que ingresen al acuífero.

Así, el volumen sustentable podría ascender a un total de **48 Mm<sup>3</sup>/año +  $\Delta V$** , siendo  $\Delta V$  un valor a determinar en base a un estudio específico.

## **11 Diagnóstico de la situación del acuífero**

Comparando las cifras calculadas anteriormente de volumen de bombeo sustentable (30 Mm<sup>3</sup>/año, según la primera estimación) con la tasa real de bombeo que se presenta en los últimos años (140 Mm<sup>3</sup>/año, según DGA 2003), se deduce que esta última **sobrepasa 4,7 veces el Volumen de Aprovechamiento Sustentable**. Como consecuencia de este fuerte desbalance (del orden de 110 Mm<sup>3</sup>/año), los niveles freáticos del acuífero se deprimen progresivamente.

A las tasas de bombeo indicadas, sólo durante los años de precipitaciones abundantes se recuperan parcialmente los niveles del agua almacenada en el acuífero, lo que coincide con la opinión generalizada de los usuarios de estos recursos (Reunión en Corproa, Marzo 2006). Pero las proyecciones son que, entre ciclos del Niño y a las tasas actuales de extracción, los niveles del agua almacenada seguirán bajando progresivamente, en un proceso que será cada vez más rápido si se mantienen las condiciones hidrológicas ocurridas en los últimos 30 años.

Esta tendencia se podrá revertir en la medida en que el desbalance entre ingresos y salidas de agua de la cuenca se vaya minimizando, lo que se obtiene con medidas destinadas a aumentar los ingresos y a reducir las salidas o extracciones.

## **12 Modelo de Gestión Sustentable**

El Modelo de Gestión propuesto postula la ejecución de una serie de medidas que pueden desarrollarse de manera combinada:

1. El control del aprovechamiento de los recursos hídricos actuales, superficiales y subterráneos.
2. El aprovechamiento de los caudales que salen de la cuenca, de manera superficial y subterránea.

3. El reciclado del agua y la optimización de su uso en todos los procesos productivos.
4. La auto-regulación, llevada a cabo por todos los usuarios.
5. La creación de fuentes alternativas de agua que permitan incrementar los recursos hídricos que ingresan a la cuenca.
6. La sensibilización de todos los usuarios respecto a los problemas que presenta la cuenca del río Copiapó, para promover el ahorro del agua.
7. La mejora de la capacidad de infiltración a lo largo de la cuenca.

Entre las alternativas que existen para aumentar el ingreso de agua a la cuenca se han indicado la instalación de una planta desalinizadora, la estimulación artificial de las precipitaciones, la construcción de sistemas atrapanieblas y la captura de nieve. La estimulación artificial de precipitaciones se recomienda que sea desarrollada una vez evaluada la relación costo-beneficio; y debería comprender un mínimo de cinco años, según la opinión de profesionales del SAG consultados a este respecto, los que desarrollaron estos trabajos en la década del 90. De acuerdo a los estudios revisados no existe claridad respecto a cuánto sería el aumento de recursos hídricos que este método podría generar en las condiciones propias de la cuenca del Río Copiapó.

También se recomienda la evaluación de la relación costo-beneficio respecto de la instalación de plantas desalinizadoras que pudieran cubrir, parcial o totalmente, la demanda de algunos sectores productivos como la agricultura, la minería o el abastecimiento de agua a la población. En la medida en que esta iniciativa, en algunos casos fuera viable, técnica y económicamente, se reduciría la presión sobre el acuífero aumentando las posibilidades de lograr un aprovechamiento sustentable para el conjunto de la cuenca.

La instalación de atrapanieblas requiere de grandes extensiones de terreno e inversiones económicas cuantiosas, no habiéndose comprobado su eficiencia en grandes escalas, por lo que se recomienda su evaluación dentro de programas piloto o experimentales. Similar situación es aplicable a las medidas encaminadas a la captura de nieve tales como la instalación de barreras, perfilado de grandes extensiones de suelo, etc.

### **13 Plan de Acción**

Se propone a CORPROA el diseño detallado y ejecución de un Plan de Acción que comprende los siguientes programas:

- ✓ Programa de Consolidación de la Entidad Coordinadora
- ✓ Programa de Sensibilización de la Comunidad
- ✓ Programa de Monitoreo de Niveles y Control de Extracciones

- ✓ Programa de Implementación de Nuevos Aportes de Agua a la Cuenca.
- ✓ Programa de Mejora de la Infiltración
- ✓ Programa de Estudios Específicos

La implementación y puesta en ejecución de un Plan de Acción de esta naturaleza requiere de una **Entidad Coordinadora** (EC) con capacidad de convocatoria, liderazgo regional y legitimidad representativa, que se oriente a lograr los objetivos definidos por el plan, le preste continuo seguimiento y verifique su cumplimiento.

Teniendo en cuenta la capacidad organizativa demostrada por las entidades asociadas para la elaboración del presente estudio, convendría aprovechar el impulso y convicción con que están cooperando estas instituciones en la búsqueda de soluciones y así cabe recomendar que sea entorno a esta misma mesa en dónde se constituya y organice un ente director del Plan de Acción. Esta entidad puede reforzarse con la firma de convenios de cooperación con entidades públicas y privadas de la región.