

Observaciones y Conclusiones

Recursos Hídricos Cuenca del Rio Copiapó

Por

Dr. Charles M. Burt, P.E.

171 Twin Ridge Dr.
San Luis Obispo, California USA 93405
1-805-543-4907
cburt@calpoly.edu

Junio 2008

Informe Preparado para y Financiado por el Gobierno Regional de Atacama,
CHILE

Traducción: Leoncio Martínez Barrera
Ingeniero Agrónomo, Ph.D.
INIA-INTIHUASI

Observaciones y Conclusiones
Recursos Hídricos
Cuenca del Rio Copiapó

Dr. Charles M. Burt, P.E.
June 2008

Introducción:

La visita al Valle de Copiapó fue realizada desde el sábado 22 de Junio hasta el viernes 27 de Junio. El objetivo de la visita fue examinar el problema del sobre consumo de agua en el Valle de Copiapó, proveer recomendaciones respecto a la experiencia en otras partes del mundo con problemas similares y formular ideas respecto a posibles soluciones. La visita fue coordinada por el Dr. Leoncio Martínez del Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA.

La consultoría consistió en un total de 6 días pagados, debido a la brevedad del tiempo y la disponibilidad de fondos, se imposibilitó la elaboración de un informe muy refinado. Un informe bien refinado susceptible de un análisis profundo de la información requiere de una mayor cantidad significativamente mayor de recursos.

Esta consultoría se fundamentó en proveer observaciones importantes y posibles soluciones basadas en experiencia de otros lugares. Esas observaciones están incluidas en este informe. Este informe también presenta un ejemplo de un correcto balance de agua para el valle, aun cuando los valores específicos presentados aquí contienen cierto grado de incertidumbre. La consultoría incluyó la presentación de estos conceptos en una reunión celebrada en la tarde del día 26 de Junio, 2008.

La Tarea:

Las preguntas que fueron planteadas para esta consultoría fueron las siguientes:

1. Que tan serio es el problema de la falta de agua?
2. Cuales son las posibles soluciones desde el punto de vista técnico?
3. Que tipo de soluciones técnicas se proponen para este tipo de problemas, pues ellos parecen atractivos, pero cuales deberían ser evitados porque ellos proveen pequeños beneficios en términos de conservación de agua?
4. Cuales han sido las experiencias en otras partes del mundo desde el punto de vista legal y político?

Antecedentes:

Hay en general conciencia en el valle de los siguientes puntos, que han sido corroborados por diferentes estudios:

1. Niveles de agua están descendiendo en parte del acuífero.

2. El descenso del nivel freático es una evidencia de la sobre explotación del acuífero.
3. La calidad del agua en las partes mas bajas se esta deteriorando.
4. Aunque el río Copiapó fluyó en la parte baja del valle hace aproximadamente 20 años, esto ya no ocurre. Es un río seco aguas arriba de la ciudad de Copiapó.
5. Menos agua esta fluyendo fuera del valle y en el estuario de la desembocadura del río.

Estudios Previos:

El informe elaborado por Golder Associates (2006¹) suministró excelente y substancial información técnica. Una de sus referencias, el estudio hidrogeológico del año 1999 del valle², fue particularmente de mucha utilidad. La Figura 1 publicada por el informe de Aguirre-Hauser-Schwerdtfeger ilustra la naturaleza del acuífero en el valle. En la actualidad, Sernageomin esta realizando un estudio mas completo del acuífero del valle.

La información publicada fue acrecentada por la discusión con numerosos grupos de personas y por observaciones realizadas mientras viajaba físicamente a través del valle. El viaje se extendió desde aguas arriba del embalse Lautaro (sector Rodeo), hasta la desembocadura del río.

Es evidente la falta de algunos datos para cálculos exactos o ellos deben ser estimados en forma grosera. Esos datos faltantes son discutidos en este informe.

¹ Informe Final. Diagnostico de los recursos hídricos de la Cuenca del Rio Copiapó y proposición de un modelo de explotación sustentable. Golder Associates S.A. Providencia – Santiago. Julio 2006.

² Aguirre, Hauser, y Schwerdtfeger. Estudio hidrogeologico del Valley del Rio Copiapó. Segmento Embalse Lautaro - Piedra Colgada. 1999.

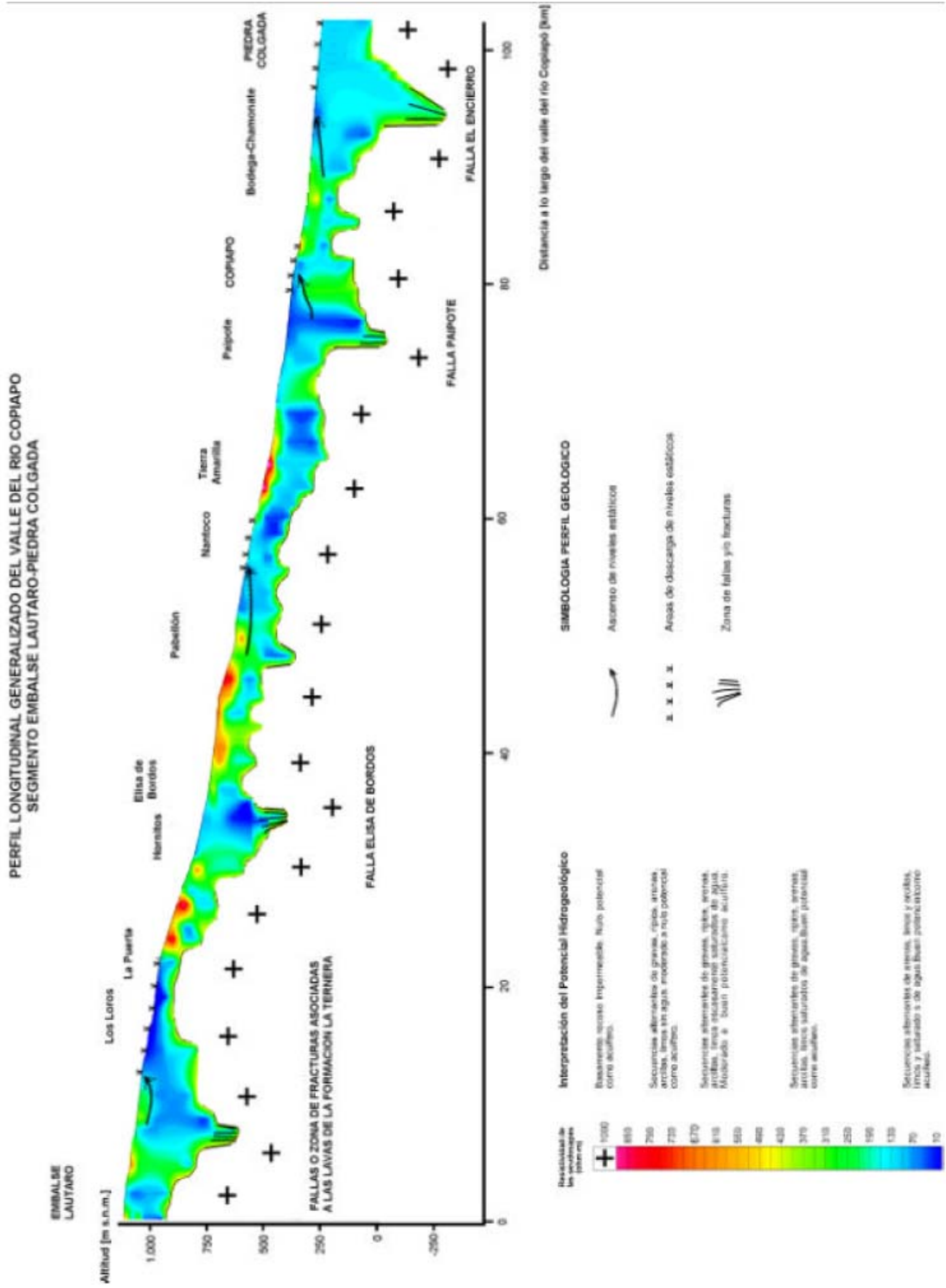


Figura 1. Perfil generalizado del basamento rocoso indiferenciado e impermeable del valle del río Copiapó. (Figura 4.2 de Aguirre-Hauser-Schwerdtfeger, 1999).

Elementos Importantes:

1. La magnitud de la sobre explotación del acuífero es muy importante, pero parece ser menor que la informada por Golder Associates. La estimación de la sobre explotación del acuífero fue aproximadamente 110 Hm³/año, mientras que este consultor estima una sobre explotación de 43 Hm³/año. Ambas estimaciones realmente se basan en información imprecisa, sin embargo, la diferencia entre los dos valores es debida principalmente a diferentes métodos de cálculo.
2. Para abordar apropiadamente el problema de sobre explotación del acuífero, las conversaciones deben considerar volúmenes de agua consumida, mas que utilizar:
 - a. Derechos de agua en litros por segundo
 - b. Flujo de agua bombeada

La utilización de “flujos o caudales” en reemplazo de “volúmenes” en conversaciones, leyes y procesos de cálculo ha creado significantes equivocaciones y dificultades.

3. El balance hídrico anual debe ser calculado utilizando volúmenes estimados de suministro y consumo. Además, las condiciones de borde del área deben ser definidas. Las condiciones de borde utilizadas por este consultor fueron:

Borde Lateral:

- Borde lateral del acuífero (se asume que no hay agua que entra o sale)
- Flujo superficial y sub superficial ingresando debido a las 1000 has cultivada aguas arriba del embalse.
- Flujo superficial y sub superficial saliendo por la desembocadura del río.

Borde superior:

- Superficie del suelo

Borde inferior:

- Fondo del acuífero.

Para el cálculo de balance hídrico, el valle es considerado como una “caja”. Todas las diferencias entre volúmenes de entrada y salida (a través de esos bordes) resultan en cambios en el almacenamiento de agua subterránea, los cuales se manifiestan en cambios en los niveles de agua subterránea.

4. Los flujos de bombeo interno y volúmenes no deben ser utilizados para el cálculo del balance hídrico, porque ellos no son iguales al consumo. Por ejemplo, una porción significativa de agua potable (para las ciudades al interior del valle) y una pequeña porción de bombeo de agua para riego finalmente vuelven al acuífero como percolación profunda. Sin embargo, salida de agua hacia Caldera o aguas utilizadas por la minería se definen como “consumo” debido a que ellas representan un 100% de extracción para el sistema de hidrología del valle o “caja”.
5. Los Anexos 1 y 2 contienen elementos de un balance hídrico apropiado para el valle.

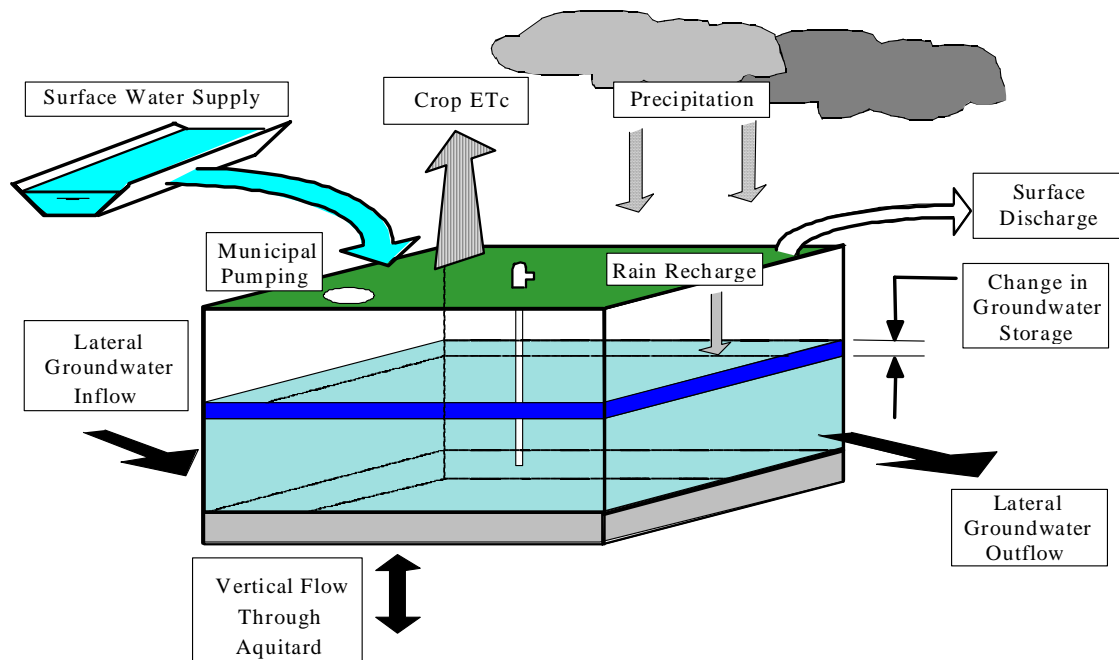


Figura 2. Conceptos básicos de un balance hídrico.

6. Hay en general hay desacuerdos respecto al porcentaje de consumo de agua por sector económico dentro del valle. Durante la visita, números tales como los indicados abajo fueron escuchados respecto al consumo de agua:

- Agricultura:	85%
- Minería:	6%
- Ciudades:	7%
- Otros:	2-7%

Golder (Figura 19, pagina 50) indica los siguientes porcentajes de extracción:

- Riego:	75%
- Agua potable:	10%
- Minería:	13%

- Industria: 2%

Si uno considera correctamente el consumo volumétrico que extrae agua desde el sistema hidrológico del valle (en reemplazo de caudales obtenidos de canales o derechos de agua bombeados), los porcentajes de la Figura 3 son los siguientes:

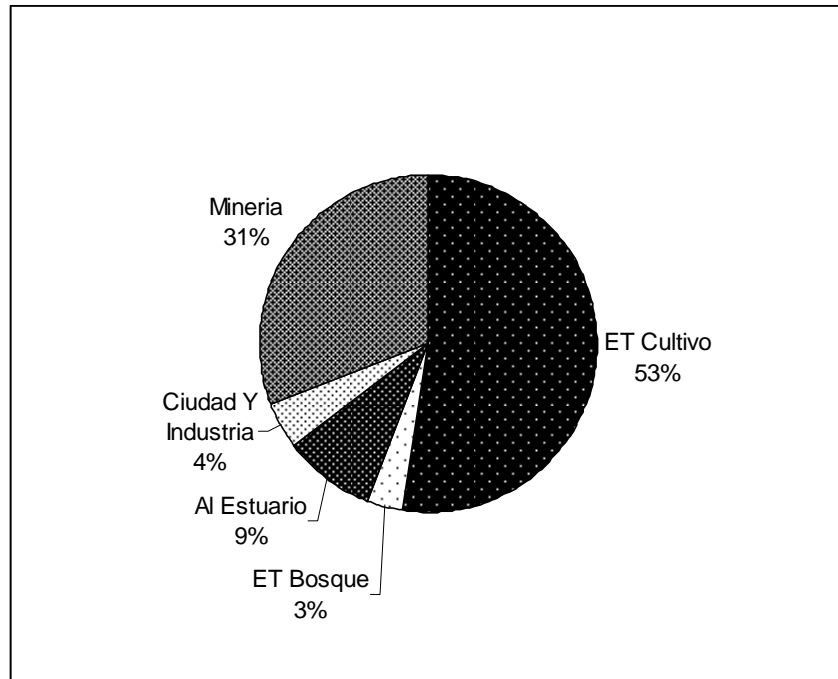


Figura 3. Estimación del consumo relativo de agua en el valle de Copiapó.

7. La Tabla 1 proporciona un balance de agua volumétrico para el valle de Copiapó con unidades de Hm³/año (Nota: 1 Hm³ es igual a 1.000.000 m³)

Tabla 1. Balance Hídrico para el valle de Copiapó. (Hm³/año).

Suministro de agua (superficial y sub superficial)		93
Consumo de agua		
<i>Cultivos ET</i>	71.6	
<i>Vegetación Phreatofitas ET</i>	4.5	
<i>Salida de agua hacia el estuario (desembocadura)</i>	12.4	
<i>Ciudades</i>	6	
<i>Minería</i>	42	
<i>Consumo Total</i>		137
Sobre explotación acuífero		43

8. Los derechos de agua otorgados para consumo son aproximadamente 19 m³/s continuos. La percepción general es que el agua disponible para

consumo es 5.5 m³/s. Hay una percepción correcta en que definitivamente no hay concordancia entre derechos de aguas otorgados y el agua disponible.

9. La actual forma de “Derechos de Agua” es inapropiada para un uso colectivo de la cuenca con escasez de agua. Los problemas incluyen:
 - a. Los derechos de agua están basados en el concepto de un caudal instantáneo, mientras que el problema es de volúmenes anuales de consumo de agua.
 - b. El impacto en la sobre explotación del acuífero debido a la extracción de 1 L/s por una compañía minera es equivalente a 0,4 L/s por un agricultor cuando se registra en base a un año. Esto ocurre debido a:
 - i. Toda la extracción de agua realizada por la minería es removida desde el sistema hidrológico de la cuenca.
 - ii. La mayor parte de las ineficiencias del riego a nivel de predial retorna al acuífero como percolación profunda, esa agua es simplemente reciclada.
 - iii. La extracción por parte de la minería es realizada los 365 días del año, pero la extracción realizada por la agricultura puede ser la mitad en duración.
 - c. Mas derechos de agua (expresados como flujo continuo) han sido otorgados, que los posibles de suministrar por el sistema hidrológico.
 - d. No hay incentivo para los agricultores para ahorra agua, ello pueden ser multados si bombean menos agua que la otorgada en derecho.
 - e. Los derechos existentes no son verdaderamente derechos de agua por que no existe un mecanismo que garantice su disponibilidad. Mas bien, los derechos de agua son un limite superior legal para el bombeo de pozos individuales.
10. Los derechos de agua de un formato específico pueden ser excelentes en ciertas circunstancias, pero pueden ser contra productivos en otras. La Tabla 2 proporciona una comparación entre diferentes tipos de derechos de agua y su aplicabilidad.

Tabla 2. Comparación entre diferentes tipos de derechos de agua.

Fuente de Agua	Intención	Tipo de derecho de Agua	Impacto
Agua fluye en el río – * No hay almacenaje en represas *No hay bombeo de agua subterránea	Distribución igualitaria de los flujos superficiales	Porcentaje del flujo superficial que esta disponible	No hay garantía de un flujo o volumen constante. El uso del agua varía por mes y por año, dependiendo de la cantidad de flujo
Caudal superficial mas el uso de agua subterránea Adecuado suministro de agua	Distribución equitativa de los caudales superficiales	Porcentaje dl caudal superficial que esta disponible	Los usuarios pueden bombear agua subterránea sin restricción debido a un adecuado suministro. No es necesario poseer derechos de aguas subterráneas
Almacenamiento de agua en represas mas uso de agua subterránea, pero no hay una adecuado suministro, el nivel del acuífero esta en descenso	Protección de los derechos de aguas existentes en la medida de los posible. Se permite el mercado libre del agua.	Derechos de agua en volumen tanto de agua superficial como subterránea basado en el consumo (no flujo o simple volumen)	No hay garantía de un volumen de agua suficiente. Los usuarios deben ajustar el bombeo anual basado en la disponibilidad de agua. Requisitos: - Balance Hídrico “Excelente” - Código de aguas basado en el consumo - Excelentes mediciones en todos los pozos y puntos de repartición de agua - Excelente fiscalización y multas

11. Una decisión política debe ser adoptada por el gobierno en referencia a los derechos de agua de las compañías de agua potable, respecto a si tienen el derecho e extraer un caudal específico o si lo tienen para consumirlo. Actualmente, el agua municipal tratada es una importante fuente de flujos de retorno al acuífero, agua que es utilizada por agricultores ubicados en posición baja respecto a la ciudad. Si el agua tratada es vendida para exportarla (sacarla del sistema hidrológico del valle), se transforma en consumo, mas que de uso transitorio y desaparece del sistema.
12. Existen algunas oportunidades de conservación de agua por la agricultura, minería y uso urbano. Pero el efecto neto de tales medidas de conservación podrían ser poco significativos.
13. Hay solo dos caminos para resolver el problema de sobre explotación:
 - a. Reducir el actual consumo de agua. Cualquier acción que remueva agua desde el sistema hidrológico del valle o de la “caja tridimensional” es un consumo. Esto incluye:
 - i. Evapotranspiración de los cultivos (importante)
 - ii. Evapotranspiración de plantas nativas (menos importante)
 - iii. Evapotranspiración en ciudades, parques, jardines (despreciable)
 - iv. Exportación de agua por la industria minera para procesos, control de polvo, etc (importante)

- v. Exportación de agua para ciudades vecinas como Caldera (pero importante).
- vi. Evaporación desde embalse (casi despreciable)

La reducción del bombeo, en sí, no ahorra agua.

b. Incremento del suministro de agua que fluye al interior del valle o permanece en él. Típicas sugerencias son:

- i. Bombardeo de nubes
- ii. Traer agua desde Argentina cruzando Los Andes
- iii. Desalinización
- iv. Incrementar la recarga del acuífero durante grandes lluvias.

14. A menos que alguna acción se realice para resolver el actual problema de sobre explotación del acuífero, los dos grupos de usuarios del agua que sufrirán con mayor crudeza serán:

- a. El Medio Ambiente. Específicamente, el agua dejará de fluir al estuario o se verá disminuida a una cantidad insignificante.
- b. Los pequeños agricultores al nor-oeste de la ciudad. Los niveles de agua continuarán en descenso y la calidad del agua disminuirá. Los resultados serán:

- i. Los agricultores no podrán sostener la producción agrícola debido al alto costo de bombeo, a la necesidad de profundizar sus pozos, o la pobre calidad del agua que será de tan mala calidad que los cultivos no crecerán bien.
- ii. Los costos de producción se incrementarán y los agricultores venderán sus derechos de aguas (a un mercado de derechos de agua insatisfecho), para extracción.

15. El concepto de “libre mercado del agua” no es verdaderamente un libre mercado del agua. Aunque hay un concepto de derechos de agua, ellos no fueron diseñados para el manejo del recurso en un sistema hidrológico ubicado una zona árida con insuficiente suministro de agua. Compras de “aguas sobrantes” agua arriba, son en realidad compras de agua que abastece personas y ambiente aguas abajo. Los usuarios aguas abajo no reciben compensación. No hay un concepto incorporado de protección para el medio ambiente. El mercado permite legalmente a los individuos vender los derechos que actualmente no utilizan, pero que es la única fuente de agua para los usuarios de aguas abajo. El mercado asume una realidad física artificial e ignora derechos de aguas existentes.

Necesidad de Información Básica.

1. Un método independiente para evaluar la sobre explotación del acuífero es necesaria. La información existente lo avala. El descenso anual del nivel freático es conocido para diferentes áreas del valle. Conociendo sus correspondientes áreas y producción específica, un chequeo cruzado puede ser realizado para estimar el déficit de 43 Hm³/año.

$$\text{Déficit} = \sum_{i=1}^n (\text{Area}_i \times (\text{Coef. de Almacen.})_i \times \text{Caida}_i)$$

Donde:

Déficit = volumen de déficit, (m³)

Área = área con un constante descenso del nivel freático uniforme (m²)

Coef. de Almacen. = (Coeficiente de Almacenamiento)/100 para esa área.

Caída = Descenso anual del nivel freático (m)

n = numero de áreas con descenso del nivel freático que tienen diferentes características.

2. Estudios de aguas subterráneas debería enfocarse en flujo sub superficial hacia el embalse Lautaro y agua que sale al estuario. Esos valores son inmensamente importantes para estimar la magnitud relativa del déficit, por ahora, esos valores son solo estimaciones realizadas por este consultor.
3. Una red de instrumentos debe ser instalada, consistente en el menos tres unidades de estaciones meteorológicas automáticas bien posicionadas para el monitoreo del clima que registren la información cada una hora. Esto es necesario para estimar un balance hídrico y también para un mejor uso de todos los recursos relacionados con la evapotranspiración (ET).

Posibles Soluciones y Acciones

Categoría Principal:

1. La solución mas obvia es solicitar a las compañías mineras la utilización de agua de mar salada para los procesos industriales, en reemplazo del agua dulce. Si los cálculos estimativos efectuados por este consultor están cercanos a la realidad, esto podría generar un equilibrio en el balance hídrico.

2. Toda expansión de la superficie agrícola debería terminar. Eventualmente debería haber una reducción de la superficie cultivada.
3. Algunas plantas phreatofitas (plantas que se alimentan de agua desde el nivel freático) deberían ser eliminadas. Pero ello, podría tener consecuencias ambientales negativas, por lo cual, tal solución debería ser considerada con extrema precaución.

Categoría Secundaria:

1. Debería construirse embalses de infiltración para mejorar la recarga del acuífero en los eventos futuros de alta precipitación.
2. La siembra de nubes puede proveer de algunos beneficios.
3. Hay una posibilidad de reducir la evapotranspiración del cultivo en vides y olivos en aproximadamente 10 a 15%, si los agricultores utilizan químicos de color blanco lavables especiales sobre las hojas. Un ejemplo es SURROUND™, al cual se atribuye incrementar la reflexión de la energía cercana la infrarrojo alrededor de un 27% y reflexión ultravioleta cercana al 40%. Antes de recomendar esto, una excelente investigación debería ser realizada para demostrar beneficios, determinar costos, posible daño a la comercialización, etc. Probablemente, la única forma concluyente es testear/verificar los resultados sea aplicar el químico a un area substancial (ejemplo 500 has) y monitorear la evapotranspiración en forma remota con tecnología satelital tal como SEBAL™.
4. Toda exportación de agua desde el valle de Copiapó debería ser acompañada del requerimiento que los consumidores (en Caldera y otras localidades), instalen WC de bajo consumo, duchas de bajo consumo y que la compañía de agua potable local aborde un programa agresivo de detección de filtraciones. Tales programas nos son necesarios en el valle, debido a que las filtraciones y aguas servidas son actualmente recicladas al acuífero como flujos de retorno.
5. Existe la posibilidad de reducir Evapotranspiración no beneficiosa en plantaciones de vides reduciendo el crecimiento de las malezas. Investigación y trabajo de extensión es necesario para evaluar productos químicos, practicas agronómicas, costos, etc.
6. Para algunos predios irrigados en forma tradicional, parece que hay una proporción importante de evapotranspiración no beneficiosa. Investigación técnica debería ser realizada para determinar si los agricultores (quienes a menudo son pequeños y requieren de ayuda técnica y financiera) pudiesen reducir el área cultivada e incrementar la productividad, resultando en “mayor producción por gota de agua”.

Temas de Políticas Publicas

1. El sistema de derechos de agua debería ser modernizado y arbitrado en el valle debido a la aridez y la hidrología con escasez de agua.
2. La carencia de preocupación por el ambiente y las especies en peligro de extinción en el estuario podría proveer significativos desafíos en el futuro.

Anexo 1 – Water Balance Computations

Location	Golden		Burt		Explanation
	Q, LPS	Annual Volume, MCM	Q, LPS	Annual Volume, MCM	
External Supply - Beginning upstream of the dam, immediately before grapes are grown					
Surface +subsurface flows entering at the beginning of vine growing area				93.3	l
External Supply - Into the dam area					
Surface flows entering the lake	1300	41			j
Subsurface flows entering the lake				44.2	k
Consumption (exports)					
ET of crops above the dam		4.4		8.2	g
ET of crops below the dam		63.4			h
ET of phreatophytes				4.5	i
Surface flows into the estuary				9.4	e
Subsurface flows into the estuary				3	f
Export to Caldera and other cities				3.2	c
Export to mining industry				42	d
Consumption in the cities				2.8	b

Note: Explanations are found in Appendix 2.

Appendix 2 – Explanations of Water Balance Components

- a Estimated based on 52,000 houses @ 18 cu m/house-month = 11,232,000 cu. Meters DELIVERED
 However, there is an estimated 40% leakage, so actual pumping = 18.7 MCM/ano
- b The potable water agency believes that about 25% of what is DELIVERED is consumed.
 consumption = 2.8 MCM/ano
- c Estimated based on 9,000 houses @ 18 cu m/house-month = 1944000
 But if there is an estimated 40% leakage again, actual export = 3.2 MCM/ano
- d Based on average of 1 cu. Meter of fresh water used per ton of processed material.
 Candelaria processes about 3,000,000 tons/mo
 Smaller 5 processors each have about 100,000 tons/mo
 Total tons/year = 42 MCM/ano
- e Assumed average flow = 0.2 cu meters/sec
 This is less than the Golder report, because extractions have increased since the
 data used by Golder (2000) was recorded
 Annual volume = 6.3 MCM/ano
- f Very low hydraulic gradient there. This is an extremely rough estimate
 2.5 MCM/ano
- g Assumes 1000 ha above the dam is planted to grapes
 From PROM, there is an approximation of ETo for that region
- | Month | ETo, mm | Kc | ETc, mm | ETc, MCM | Explan. |
|--------|---------|------|---------|------------|--------------------------------------|
| Jan | 190 | 0.8 | 152 | 1.52 | |
| Feb | 157 | 0.8 | 125.6 | 1.256 | |
| March | 135 | 0.5 | 67.5 | 0.675 | 15 March - Leaves begin to die |
| April | 93 | 0.2 | 18.6 | 0.186 | |
| May | 65 | 0.15 | 9.75 | 0.0975 | |
| June | 48 | 0.15 | 7.2 | 0.072 | |
| July | 52 | 0.15 | 7.8 | 0.078 | |
| Aug | 73 | 0.3 | 21.9 | 0.219 | 15 August - begin leaves |
| Sept | 97 | 0.4 | 38.8 | 0.388 | 20 Sept - 20% cover |
| Oct | 134 | 0.65 | 87.1 | 0.871 | 1 Oct - 50% cover; 15 Oct 100% cover |
| Nov | 160 | 0.8 | 128 | 1.28 | |
| Dec | 192 | 0.8 | 153.6 | 1.536 | |
| Total: | 1396 | | 817.85 | 8.2 | |

Crop coefficients for CONSUMPTION have been reduced 10% from SCHEDULING coefficients
 due to inevitable non-uniformities in growth throughout fields plus some additional stress

- h The ET of crops below the dam is also a rough estimate. Certainly, there are differences in reference ET. But
 there is no good network of meteorological stations to provide good data, no control of instrumentation, and no system
 that provides daily values and quality control of meteorological data that is needed to compute Eto.

From Table 18 (page 30) of the Golder report, the following values are given:

Cultivo	Ha	ET MCM
Vides	6775	51.3
Hortalizas	1030	5.9
Praderas	118	1.6
Otros	1376	12.8
Total:	9299	71.6

The calculation procedure used here is as follows:

- The ET of 1000 ha from above the dam has already been computed 8.2 MCM
- It appears that the vineyard growth above the dam is more uniform and vigorous than below
 the dam. The variation increases as one moves north.
 Therefore, for the remaining 5775 ha of vides, it is assumed that the annual ET
 is 90% of that (per ha) of that found above the dam
 ET of the remaining vides: **42.5 MCM**
- The total ET for vides, then, is estimated at 50.7 MCM
 which is essentially the same as that estimated by Golder
- A rapid examination of the other ETc estimates by Golder indicates that they are reasonable
 given the information available at this time.

- i Page 27, Golder Assoc.

- j Tabla 9, page 22, Golder Assoc. However, it appears that this estimate includes the phreatophyte ET in the estuary, itself. The estuary is outside the boundaries of the water balance, so the numbers were reduced. Also, it appears to the consultant that the values are high when one considers the lowering of the water table. Therefore, the estimate was adjusted as follows:
- | | |
|---|---------|
| Total above Sector 6: | 9 MCM |
| Reduced by 50% to account for very low water table now: | 4.5 MCM |
- k This number is extremely important, but there is zero data available regarding its value. There are estimates of flow under the dam itself, but there was insufficient time during this consultancy to carefully analyze the source of these numbers.

To estimate the subsurface flows into the lake, it was assumed (with a great deal of uncertainty) that the aquifer at that point is similar to that below the dam. Above the dam, the river is fairly wide where the surface flows are measured. The aquifer appears to have a high transmissivity, and there is substantial slope to the aquifer surface.

To have a simple approximation, the following information was noted:

- a. Near Pabellon, at Compuertas Negras, there is a surface flow of about 1 cu meter/sec (continuous) even if there is no release from the dam.
- b. During the dry season, the diversion at Compuertas Negras extracts all of the surface flows
- c. There is a second surface diversion downstream at Mal Paso. During the dry season, there is a continuous flow of about 0.7 cu meter/sec diverted there.
- d. Above Pabellon, and below the dam are about 5000 ha of primarily vineyards

At Pabellon, therefore, one might surmise that the following is the total flow:

- 1 cu m/sec surface flow
- 0.4 cu m/sec subsurface flow that eventually surfaces before Mal Paso. This assumes that about 0.3 cu m/sec is lost as seepage and overirrigation from the Compuertas Negras canal.
- 0.3 additional subsurface flow that is not immediately recovered, but that goes into recharge.
- 1.7 cu m/sec total subsurface flow that supplies the BOUNDARY at Pabellon, that shows up as surface flow into Compuertas Negras plus later surface flows plus later subsurface flows

The assumption here is that something similar is happening ABOVE the dam. In other words, prior studies have focused on the flow UNDER the dam, without considering the possibility of additional subsurface flows entering the lake above the dam. But it would be illogical to assume there are no subsurface flows.

To be more conservative, a continuous value of

- 1.4 cu m/sec is used in the computations