

**ANTECEDENTES TÉCNICOS DE CUATRO  
MEDIDAS VOLUNTARIAS DE APOYO A LA  
SUSTENTABILIDAD HÍDRICA  
DEL VALLE DE COPIAPO  
PROYECTO CASERONES.**

## I.- INTRODUCCIÓN

La Empresa Minera Lumina Copper Chile está presentando a las autoridades, dentro del marco del Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Caserones, una serie de medidas de voluntarias de apoyo a la sustentabilidad hídrica del valle de Copiapó.

Se describen a continuación tres de éstas medidas, que contemplan disminución de la evapotranspiración y evaporación por distintos métodos, y que significan aportes a las escorrentías superficiales del río Copiapó. Se incluye además una medida que disminuye la descarga en el acuífero bajo el sector de La Puerta.

Estas medidas se localizan geográficamente en dos sectores:

### A) Aguas Arriba de la estación La Puerta

- Disminución de evapotranspiración por cambio de cultivos en la zona de Carrizal, que aporta 40 l/s por siempre al sistema (incluso después del cierre del Proyecto).
- Disminución de la evaporación y evapotranspiración de las zonas húmedas del embalse Lautaro, que aporta 12,5 l/s en promedio al sistema.

### B) Aguas Abajo de la estación La Puerta

- Disminución de la evapotranspiración por aumento de limpieza de los canales bajo la tuición de la Junta de Vigilancia del Río Copiapó, que aporta 13,5 l/s promedio al sistema superficial.
- Suspender la extracción en un pozo en uso con derechos de aprovechamiento por 100 l/s ubicado bajo La Puerta, lo que significa en promedio disminuir en 50 l/s la descarga en ese acuífero.

El conjunto de estas medidas permite disminuir la evapotranspiración en 66 l/s promedio, caudal que se aporta al caudal de los ríos Pulido y Copiapó, y disminuir en 50 l/s la descarga sobre el acuífero que se desarrolla aguas abajo del sector de La Puerta.

## II.- CAMBIO DE CULTIVOS EN FUNDO CARRIZAL

### A. Generalidades

El fundo Carrizal, que incluye ambas riberas del río Pulido, aguas abajo del estero Ramadillas, tiene de manera permanente una plantación de alfalfa, la cual en la actualidad es de 23,1 hectáreas, junto con otras 37,3 hectáreas de pastizales. Estos cultivos se riegan con un pequeño derecho superficial que tiene el fundo (del orden de los 3 l/s), el que se complementa con caudales de vertientes ubicados en la ribera Sur del mencionado río Pulido. Las vertientes se encuentran canalizadas y destinadas al riego de la alfalfa y pastizales de manera permanente.

La medida propuesta es cambiar el tipo de cultivo y vegetación del entorno agrícola dejando un paisaje tipo desértico, y canalizar estas vertientes directamente al río Pulido, aumentando su caudal. El caudal que se incrementa en el río Pulido es el caudal que dejan de recibir el cultivo de alfalfa y los pastizales.

Al canalizar las vertientes al río, las vertientes pierden su calidad de “nacer y morir en la propiedad” por lo que esta medida pasa a ser una medida permanente, aún después de que el Proyecto se termine.

### B. Mecanismo para materializar la medida

El mecanismo propuesto consiste en hacer un sistema de drenaje que capte las aguas de las vertientes y drene el suelo del fundo. Estos drenajes, que serán canales con una profundidad de 4 a 6 metros, conducirán el agua directamente hacia el caudal del río Pulido, sumándose al caudal original.

Dado el origen de las vertientes, estas tienen un mecanismo de regulación que hace su caudal más regular durante los distintos meses del año, lo que ayuda al río también a mantener su caudal en los meses de flujo bajo.

Se debe diseñar un sistema colector de las aguas instalando un sistema de totalizador de flujo para controlar la eficacia del proceso.

### C. Cálculo del Caudal Utilizado como Riego en el Predio.

El cultivo de alfalfa se hace mediante riego tendido, el cual tiene una eficiencia muy baja. Esta eficiencia en términos conservadores se puede estimar en un 40%, en el informe elaborado por el DICTUC para la DGA en Junio de 2007 “Evaluación de la explotación máxima sustentable del acuífero de Huasco” se considera una eficiencia de tan sólo 30% para este tipo de regadío. El cálculo del caudal que

utiliza la alfalfa se hará estimando primero aquel que es evapotranspirado por la planta, corregido después por el porcentaje de eficiencia del riego.

En el caso de los pastizales, se considerará también una eficiencia del 40% en el sistema de riego.

La evapotranspiración real se determina de la multiplicación de los valores de evapotranspiración potencial  $ET_0$  y de los coeficientes de cultivo  $k_c$ , ambos valores fueron obtenidos del informe DGA-IPLA 1994. En la tabla siguiente se muestra la evapotranspiración calculada:

**Tabla 1. Tasa de Evapotranspiración ( $m^3/ha/año$ ).**

Superficie cultivada	Sector arriba embalse Lautaro
Vides	7.629
Hortalizas	6.141
Praderas	12.147
Frutales	10.107

(Fuente: Modelo hidrogeológico cuenca alta Río Copiapó, SITAC, 2006, informe interno Caserones).

Las plantaciones de alfalfa, gran consumidor de agua, serán consideradas como un cultivo con evapotranspiración un 20% mayor que el tipo praderas, estableciéndose en  $14.576 m^3/ha/año$ .

El fundo Carrizal tiene plantadas, a Octubre del 2008, 23,1 ha de alfalfa, por lo que su evapotranspiración es de  $336.705 m^3/año$ . Si consideramos que este caudal es el 40% del caudal con que el cultivo se regó (40% de eficiencia en riego tendido), el caudal que se ahorra sin este cultivo, y que estaría disponible como flujo superficial es de  $841.764 m^3/año$ .

Además existen 37,3 ha de pastizales, que se riegan con las vertientes del sector los cuales asimilamos a la mitad de la evaporación que las praderas, con lo que tenemos una evaporación de  $6.073 m^3/ha/año$ , con un total de  $226,522 m^3/año$ . Dado el 40% en la eficiencia del riego, el caudal requerido es entonces de  $566.305 m^3/año$ .

Finalmente el Fundo Carrizalillo tiene 39,6 ha de pastizales ralos, los cuales no se considera se vayan a afectar.

La vegetación presente en el fundo Carrizal tendría entonces un consumo por riego de  $1.408.069 m^3/año$ , equivalentes a 44 l/s. Como efecto de esta medida voluntaria estableceremos este flujo en 40 l/s.

Estos 40 l/s serán un aporte directo al río si se cambian los cultivos mencionados.

### III.- LIMPIEZA CANALES DE RIEGO CUENCA DEL COPIAPO

#### A. Generalidades

La Junta de Vigilancia del Río Copiapó cada año se ve en la obligación de limpiar parte de sus canales de riego, por la excesiva acumulación de malezas y matorrales que crecen en ellos. Esta vegetación no deseada obtiene agua de los canales y la evapotranspira, produciendo al mismo tiempo una disminución de la velocidad del flujo. Ambos sucesos se transforman en pérdidas de agua para el sistema.

La medida voluntaria propuesta es aumentar el área de canales limpiados cada año, disminuyendo consecuentemente las pérdidas del recurso.

#### B. Mecanismo para materializar la medida

El mecanismo propuesto consiste en proporcionar los fondos a la Junta de Vigilancia para aumentar la limpieza de canales dos veces más de la que actualmente se hace. En la actualidad se limpia un tercio de los canales cada año. La limpieza pasaría a ser todos los canales en un año.

#### C. Cálculo del Flujo en que se Disminuye la Evapotranspiración.

Los canales en el valle del río Copiapó tienen un desarrollo aproximado de 260 km. Ello abarca tanto canales matrices como así los canales derivados. De esta longitud sólo 20 km se encuentran revestidos con losetas, que no necesitan limpieza.

Según los datos de la Junta de Vigilancia del Río Copiapó (JVRC), el proceso de limpieza cubre cada año aproximadamente el 33% del total de la longitud de canales, esto es +/- 80 km, correspondiendo un 50% a canales matrices y 50% a canales derivados y canales menores. La vegetación eliminada corresponde principalmente a vegetación herbácea y cañaverales.

La faena de limpieza cubre la sección del canal (1,0 m base x 1,5 m altura) más 1,0 metro por cada ribera de canal. Para los 240 kilómetros de canales esto da un área de 48 hectáreas.

Si consideramos una tasa de evapotranspiración para este tipo de vegetación de 13.502 m<sup>3</sup>/ha/año (Golder, 2006), el flujo total es de 0,65 mM<sup>3</sup> al año, que equivale a 20,55 l/s. Dado que la actual faena cubre un tercio cada año, se recuperan anualmente sólo 6,85 l/s. Si la limpieza adicional cubre los dos tercios de canales que faltaran al año, el flujo a recuperar es de 13,5 l/s.

**Tabla 2. CALCULO CAUDAL EVAPOTRANSPIRADO DESDE CANALES**

<b>ESCENARIO ACTUAL</b>		
260	km de canales (Matrices y Secundarios)	Fuente: JVRC
20	km abovedado	Fuente: JVRC
35%	Limpieza actual anual aprox 80 kms	Fuente: JVRC

<b>Evapotranspiración</b>			
2	M	(1 metro por lado del canal)	Fuente: JVRC
48	Ha	Área total con vegetación	
13.502	m <sup>3</sup> /ha/año	Tasa de evapotranspiración (Vegas)	Fuente: Golder
0,65	Mm <sup>3</sup> /año	Evapotranspiración total anual	
<b>20,55</b>	l/s	Evaporación total anual	
<b>13,56</b>	l/s	Beneficio efectivo por 160 kms de canales adicionales	

#### **IV.- CANAL DE CONDUCCION EN EMBALSE LAUTARO**

##### **A. Generalidades**

La medida propuesta consiste en captar y conducir el agua que ingresa al embalse Lautaro, hasta una magnitud de caudales a determinar, mediante un canal perimetral de bajo flujo y llevarlas hasta las obras de entrega del embalse, para entregarlas a los regantes del sector, sin pasar por la cubeta del embalse Lautaro. Esto con el objeto de disminuir la evaporación y evitar así la pérdida de agua, en el proceso de evaporación de la cubeta del embalse. Se sabe que la evaporación que se produce en el espejo de agua del embalse, es comparativamente alta en relación a la que se produciría en un canal, dimensionado y diseñado para optimizar el flujo del agua. En consideración a lo anterior, para los efectos del presente informe la evaporación desde el canal de bajo flujo se considerara nula.

De acuerdo con lo anterior, el canal de bajo flujo conduciría los recursos necesarios para abastecer a los regantes, y solamente los excedentes sobre dichos caudales sería vertido a la cubeta del embalse Lautaro produciéndose allí el correspondiente proceso evaporativo.

De acuerdo con la información disponible en la página web de la Junta de Vigilancia del Río Copiapó, en la actualidad la altura máxima de embalsamiento del embalse Lautaro es de 24,23 mts, partiendo desde los 8 m, lo cual representa una capacidad actual de embalsamiento de 27,35 millones de m<sup>3</sup> (Batimetría de 1991). Es importante señalar que la disminución de la capacidad del embalse es de aproximadamente 19 millones de m<sup>3</sup>, debido al efecto de colmatación. Esto

mismo trae asociado otra problemática que es el aumento de la infiltración de las aguas en el embalse.

El estudio detallado de esta medida está en el informe de JMR Asesorías Ltda., octubre 2008.

## **B. Metodología de Trabajo**

La metodología de trabajo consideró las siguientes hipótesis:

- Caudal de entrada al embalse Lautaro son los registros de la estación fluviométrica de Copiapó en Pastillo, de mayo 1970 a abril 2006.
- Caudal de entrega a los regantes ubicados aguas abajo del embalse Lautaro, se considerarán los registros de la estación fluviométrica de Copiapó en Lautaro, de mayo 1970 a abril 2006.
- Se considera que los requerimientos de los regantes, son los registrados en la estación fluviométrica de río Copiapó en Lautaro, hasta un caudal máximo de  $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$ . El valor de la demanda máxima de  $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$ , se obtuvo de informes de la DGA de 1995 y 2003.
- La capacidad de porteo del canal de bajo flujo, será igual al máximo caudal de demanda de los regantes ubicados aguas abajo del embalse Lautaro, es decir  $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Se utilizará la evaporación media mensual de la estación Meteorológica del Embalse Lautaro, obtenida del Balance Hídrico de Chile (DGA 1987).
- La evaporación de tanque de la estación Embalse Lautaro, será corregida por el coeficiente de embalse (C.E.).
- Se considera poco significativa la evaporación desde el cauce artificial del canal de bajo flujo.
- Se utilizará la curva de descarga del embalse Lautaro del 2007.
- Las simulaciones del sistema se realizarán a nivel mensual, para un período de 432 meses.

### C. Desarrollo

En el embalse Lautaro la evaporación se considera un fenómeno que corresponde a las pérdidas de volúmenes dinámicos hidrológicos que dependen directamente de dos variables:

- El calor medido por medio de las tasa de evaporación mensual que presenta el área geográfica donde se ubica el embalse.
- El espejo de agua o área de superficie del embalse.

Por ende tenemos lo siguiente:

$$\text{Evaporación del embalse} = \text{espejo de agua} * \text{tasa de evaporación}$$

El espejo de agua corresponde al área que presenta el embalse Lautaro en su superficie, que es dependiente de la altura del embalse. A mayor altura se produce una mayor superficie del espejo de agua del embalse.

La evaporación es un fenómeno producido por el efecto directo del calor sobre el suelo y las masas de aguas, las tasas de evaporación son calculadas y determinadas mediante valores medidos en estaciones meteorológicas. Para el caso del presente estudio, se considerarán los antecedentes disponibles de la estación meteorológica del Embalse Lautaro, ubicada en la zona del embalse.

Dado la profundidad del agua en el embalse, la evaporación es sensiblemente inferior a la que proporcionan los evaporímetros. Por este motivo, para estimar la evaporación de embalse, debe corregirse el poder evaporante de la atmósfera, proporcionado por el evaporímetro, por un coeficiente de corrección que se denomina "Coeficiente de Embalse" (C.E.).

En la tabla siguiente se muestran los coeficientes de embalse utilizados en el presente estudio para corregir las mediciones obtenidas en el evaporímetro tipo A de la estación Embalse Lautaro.

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0.73	0.77	0.81	0.86	0.89	0.83	0.74	0.68	0.65	0.64	0.66	0.69

Se cuenta además con los registros de las estaciones fluviométricas de río Copiapó en Pastillo y Copiapó en Lautaro, que representan las entradas y salidas del embalse Lautaro respectivamente.

Considerando que se cuenta con registros fluviométricos a la entrada y salida del Embalse Lautaro desde mayo de 1970 hasta abril del 2006 se realizará la simulación del sistema replicando la misma hidrología y operación del embalse, producida en dicho período. Dicha hidrología y operación del embalse se replicará



a partir de mayo de 2006. Estas simulaciones considerarán la operación del sistema en la situación sin canal de bajo flujo y en la situación con canal de bajo flujo.

La capacidad del embalse considerada es la capacidad que actualmente tiene el embalse Lautaro de 27,35 millones de  $m^3$ , según la información de la Junta de Vigilancia del río Copiapó. La condición de almacenamiento inicial adoptada para el embalse será de 11 millones de  $m^3$ , que corresponde a la indicada por la DGA en su Boletín Mensual N° 336 del mes de abril de 2006, de información Pluviométrica, Fluviométrica, Estado de Embalses y Aguas Subterráneas.

La capacidad de porteo del canal de bajo flujo se ha considerado igual a  $1,6 m^3/s$ , que corresponde al uso máximo de los derechos de los regantes ubicados aguas abajo del Embalse Lautaro (DGA 1995, 2003 considerando 6 meses de uso de los derechos constituidos). De esta manera todos aquellos caudales requeridos por los regantes hasta un monto de  $1,6 m^3/s$ , serán conducidos por el canal de bajo flujo evitando así su proceso evaporativo al dejar de pasar por la cubeta del Embalse Lautaro, y solamente los caudales excedentes serán vertidos al embalse.

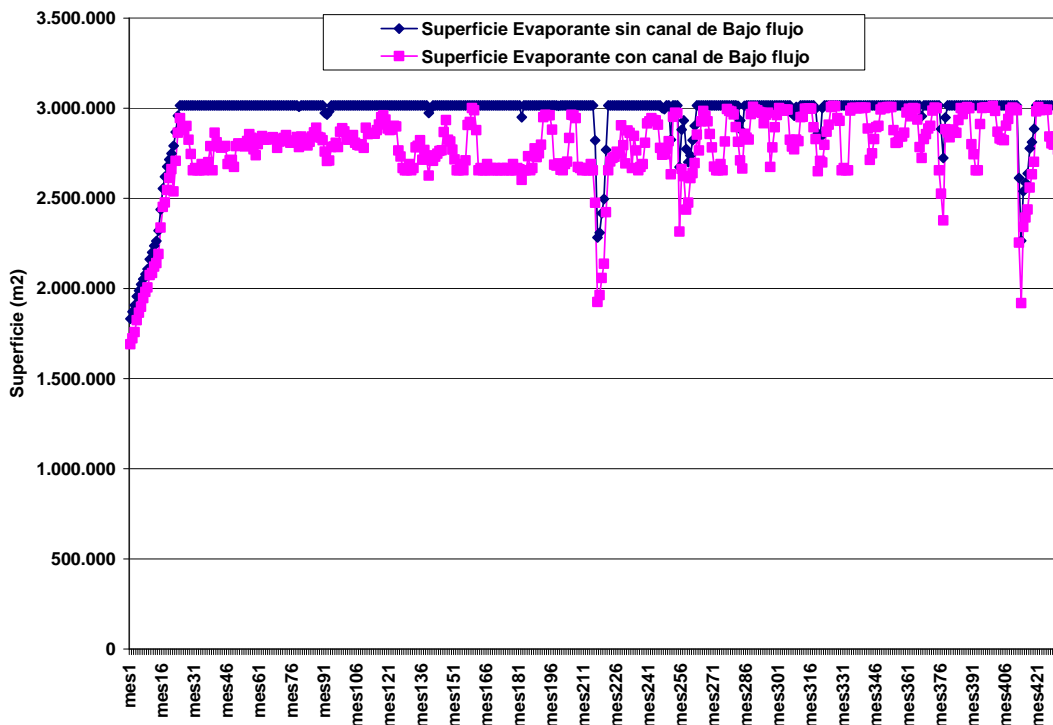
#### **D. Escenario de Simulación y Resultados**

Bajo las hipótesis adoptadas se simulará la operación del embalse, a nivel mensual, para un período de 432 meses a contar de mayo de 2006, considerando dos escenarios: el primero sin contemplar un canal de bajo flujo, y el segundo considerando la operación en el sistema de un canal de bajo flujo que conduzca las aguas requeridas por los regantes hasta un caudal de  $1,6 m^3/s$ .

La operación del embalse sin contemplar un canal de bajo flujo generará al final de cada mes simulado un determinado volumen almacenado en el embalse, volumen que a través de la curva de descarga del embalse se relaciona con la superficie evaporante del espejo de agua asociada a cada volumen embalsado.

Del mismo modo la operación del embalse considerando un canal de bajo flujo en el sistema, generará al final de cada mes simulado un determinado volumen almacenado en el embalse, volumen inferior al generado en un escenario sin canal de bajo flujo, debido a que se asume que los caudales que escurren por dicho canal no pasan a la cubeta del embalse. Este volumen generado, también a través de la curva de descarga del embalse, se relaciona con una superficie evaporante del espejo de agua asociada a cada volumen embalsado; esta superficie evaporante es inferior a la obtenida de la simulación del sistema sin canal de bajo flujo.

En la figura siguiente se muestra la variación de la superficie evaporante para cada uno de los dos escenarios simulados:



La diferencia de superficies evaporantes genera a su vez el caudal que puede ser recuperado de la operación del embalse considerando en el sistema un canal de bajo flujo que conduzca las aguas requeridas por los regantes aguas abajo del embalse Lautaro.

Por ende tenemos lo siguiente:

$$\text{Caudal Recuperado del embalse} = (A1 - A2) * \text{tasa de evaporación}$$

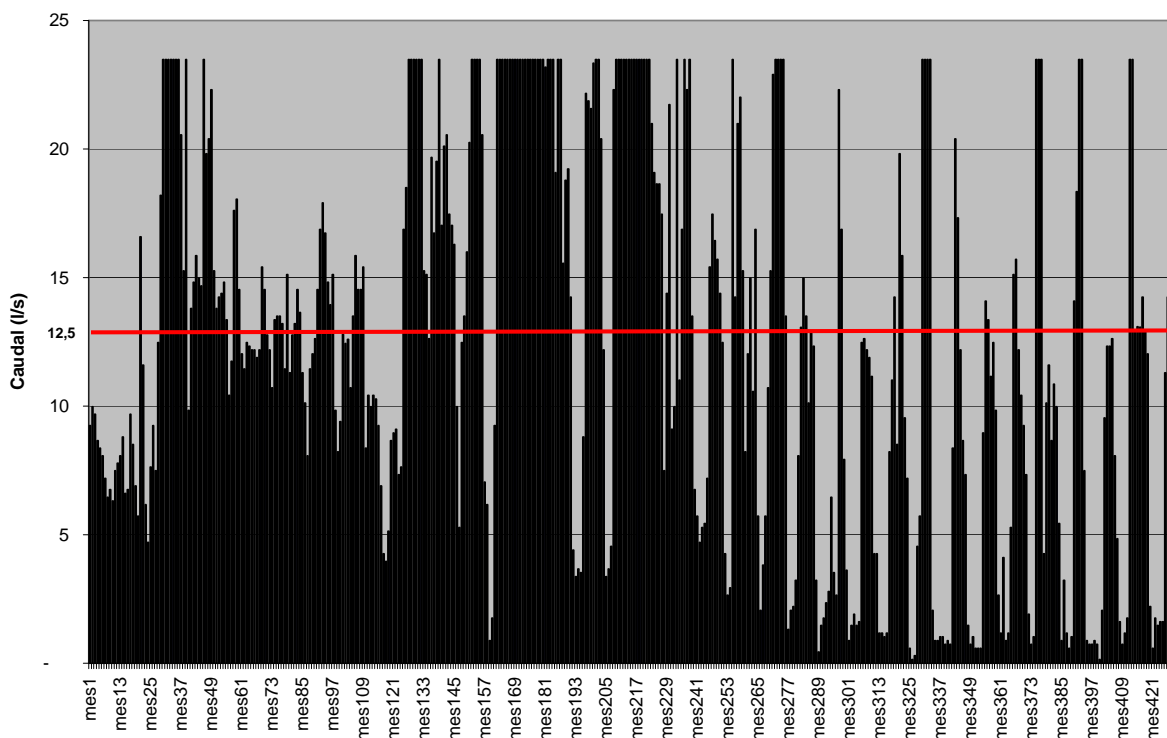
Donde:

A1 = espejo de agua sin considerar canal de bajo flujo,  
 A2= espejo de agua considerando un canal de bajo flujo.

El espejo de agua corresponde al área que presenta el embalse Lautaro en su superficie, que es dependiente del volumen embalsado al final de cada mes de operación simulado, donde a mayor volumen se produce una mayor superficie del espejo de agua del embalse.

En la figura siguiente se muestra la variación mensual de los caudales, en l/s, recuperados desde el embalse Lautaro, producto de la operación de un canal de bajo flujo en el sistema. De dicha figura se desprende que en promedio se logra una recuperación de largo plazo de 12,5 l/s con un máximo de 23 l/s.

Caudal medio mensual recuperado



## V.- DETENER EXTRACCION EN POZO HACIENDA DELIBER

En el marco de adquisiciones de derechos de agua subterráneas, la Compañía compró los derechos de aprovechamiento de 100 l/s asociados a un pozo ubicado en la Hacienda Deliber, aguas abajo del sector de La Puerta.

El pozo se ubica en las siguientes coordenadas (PSAD 56):

Norte 6.932.920, Este 382.580.

Al momento de su adquisición el pozo se encontraba en uso para riego de las plantaciones del vendedor. Esta situación fue comprobada en terreno y consta en los informes correspondientes.

Dado que la Compañía no incluye este pozo en su sistema de abastecimiento, no se ejercerán los derechos sobre este pozo. Esto significa que, considerando un uso agrícola de 50% del tiempo, 50 l/s no serán extraídos del acuífero en este sector.