

## **ANEXO XI**

### **TABLA DE CONTENIDOS**

<b>1. Introducción.....</b>	<b>2</b>
1.1 Objetivos .....	3
1.2 Metodología de Trabajo .....	4
<b>2. Descripción de los escenarios .....</b>	<b>4</b>
2.1 Implementación de los pasos de tiempo.....	4
2.2 Operación del modelo.....	5
<b>3. Resultados de las simulaciones.....</b>	<b>6</b>
3.1 Descargas simuladas .....	6
3.2 Almacenamiento .....	8
3.3 Niveles Simulados .....	9
<b>4. Conclusiones .....</b>	<b>11</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

El proyecto “Suministro, Construcción y Operación Aducción de Agua Pampa Puno”, de CODELCO Norte, hoy División Ministro Hales (DMH), evaluado y autorizado ambientalmente, considera la explotación de un campo de 8 pozos ubicados en Pampa Puno, distribuidos de Oriente a Poniente en una franja de 2 kilómetros, y de Norte a Sur en una franja de 6,5 kilómetros, aproximadamente. Además, contempla la construcción y operación de una aducción de 93 kilómetros entre Pampa Puno y la cuenca del río San Pedro, emplazándose en gran parte de su trazado, en forma paralela al cauce del río Loa, en sentido Norte Sur.

Para la predicción y evaluación de los efectos de la explotación del acuífero Pampa Puno sobre la componente recurso hídrico, al igual que para el otorgamiento de los derechos de aprovechamiento y la elaboración del PAT, el Estudio de Impacto Ambiental utilizó el modelo denominado “Hidrogeología y Modelo de Simulación Pampa Puno”, preparado por INGEOREC Ltda. en el año de 2001, y que fue acompañado en Anexo 6-1 del EIA del respectivo proyecto.

Según establece el Considerando 8.1 de la RCA, el Plan de Seguimiento ambiental asociado a la componente hídrica integra los compromisos adquiridos por Codelco en el Plan de Alerta Temprana Pampa Puno (PAT – PP), lo que implica desarrollar y aplicar el modelo de simulación para la predicción oportuna de los impactos derivados de la extracción de agua subterránea en el acuífero Pampa Puno y áreas sensibles asociadas, para prevenir afecciones negativas en el sector, tomando las medidas necesarias para evitar los impactos no deseados.

De conformidad con la exigencia establecida en el Considerando 7.9 de la RCA, la actualización del Modelo Hidrogeológico debía efectuarse después de 12 meses de operación, incluyendo y representando el comportamiento hidráulico de la vega o vertiente de Sapunta y además, una recalibración en estado transiente considerando todos los antecedentes recopilados durante el primer año de bombeo.

CODELCO DMH ha dado cumplimiento a las acciones previstas en la RCA, realzando las acciones necesarias para la actualización del modelo hidrogeológico y su posterior presentación ante la autoridad. Los principales antecedentes obtenidos en el seguimiento ambiental del proyecto, respecto del modelamiento hidrogeológico, se contienen en los siguientes informes:

- Actualización del modelo hidrogeológico al primer año de explotación (anual), presentado a la autoridad competente a través de la plataforma de

seguimiento de RCA de la SMA, con fecha 14 de abril de 2015 (HIDROMAS, 2014).

- Actualización del modelo hidrogeológico al segundo año de explotación (HIDROMAS 2015), actualmente en proceso de revisión, y cuyas conclusiones preliminares se entregan en un Informe Ejecutivo, adjunto en esta presentación.

Los resultados de la actualización del modelo en su primer año de explotación del acuífero Pampa Puno, en adelante HIDROMAS 2014, consignados en el respectivo Informe entregado a la SMA y a la DGA en abril de 2015, a través de la plataforma de seguimiento de RCA de dicha Superintendencia, aportan información más detallada y de mayor precisión acerca de las características del acuífero Pampa Puno y de los supuestos establecidos por las modelaciones anteriores.

La información obtenida en la actualización 2014, se ratifica con los resultados de la segunda actualización del Modelo Hidrogeológico de Pampa Puno (HIDROMAS 2015), que incorpora el comportamiento del acuífero Pampa Puno durante el segundo año de explotación. Las modelaciones correspondientes a los años 2014 y 2015 incorporan dentro de su desarrollo, un mayor nivel de detalle, por ejemplo, bloques de caracterización del acuífero con menor distancia; precisiones en relación a la geometría del acuífero, entre otras, proporcionando mayores detalles en la caracterización de los componentes hidrogeológicos.

## 1.1 Objetivos

En la presentación de la solicitud de revisión de la RCA 2603/2005 conforme al artículo 25 quinquies de la Ley N° 19.300, se han planteado una serie de medidas de corrección para hacerse cargo de la variable ambiental que ha evolucionado de manera sustantivamente distinta de la prevista. La segunda y tercera de las medidas correctivas que se proponen, tienen por finalidad favorecer la recuperación de la condición hídrica del acuífero, y consisten en disminuir progresivamente el caudal de explotación y en rebaja de la vida útil del campo de pozos a 4 años. El programa de disminución y detención indicado, es el siguiente:

- 180 l/s a partir del 1 de mayo de 2016, reducción ya materializada
- 120 l/s a partir del 15 de mayo de 2016, reducción ya materializada con la detención del pozo 4B
- 90 l/s a partir del 31 de agosto de 2016, mediante la detención de pozos por definir

- Caudal necesario para las medias ambientales en el año 2020.

Como se ha consignado en las actualizaciones del modelo hidrogeológico, la recarga natural del acuífero es de 120 l/s, de manera que la reducción del caudal de bombeo a 90 l/s y la detención de la explotación productiva en el año 2020, generarán un balance favorable para el acuífero, que ayudará a la recuperación de sus niveles.

El efecto concreto que se espera de estas medidas, se describen en el presente informe, en el que se compara el comportamiento del acuífero proyectando extracciones de 220 l/s promedio, versus el comportamiento esperado con extracciones acotadas a 90 l/s durante 4 años.

Los escenarios desarrollados en el presente informe corresponden a:

1. Escenario 1: simula la situación de explotación del campo de pozos a un caudal de 220 l/s a contar de 06 de mayo del presente año, (se simula condición sin las bajas sucesivas ya realizadas) hasta completar 25 años de operación del campo de pozos.
2. Escenario 2: simula la situación de explotación del campo de pozos a un caudal de 90 l/s a contar del 06 mayo del presente año, (se simula condición sin las bajas sucesivas ya realizadas) hasta completar 4 años más de operación del campo de pozos, y posteriormente el bombeo se detiene.

## **1.2 Metodología de Trabajo**

Para la elaboración de los escenarios se ha utilizado la actualización del modelo de flujo elaborado para el primer año de explotación (HIDROMAS 2015). A este modelo se agregaron los antecedentes de explotación de los últimos 5 meses (desde diciembre de 2015 a abril de 2016), con el propósito de incluir la información más actualizada posible. Se reajustaron los parámetros de conductividad hidráulica en zonas específicas y se reajustaron los coeficientes de almacenamiento de aquellas zonas que lo requirieron.

## **2. DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS**

### **2.1 Implementación de los pasos de tiempo**

El periodo de recalibración del modelo se dividió en 154 períodos de stress de frecuencia semanal, que representan las condiciones desde el 01/06/2013 al 06/05/2016. Las simulaciones se desarrollaron en 578 períodos de stress. Cada

periodo de stress de simulación representa un tiempo de 2 semanas, que simulan el comportamiento del acuífero entre el 06/05/2016 al 31/05/2038.

## 2.2 Operación del modelo

Durante la operación de los escenarios propuestos, se verificó que el modelo marchara correctamente respecto a:

- a) mantener la recarga impuesta,
- b) explotar los caudales planteados en los escenarios, y
- c) cumplir con el error de balance de masas máximo sugerido por la Guía para Uso de Modelos de Aguas Subterráneas en el SEIA, emitida por Servicio de Evaluación Ambiental.

Al respecto, se verificó que ambos escenarios cumplen correctamente con mantener el 100% de la recarga impuesta.

En cuanto a la verificación de caudales de extracción planteados en los distintos escenarios, se tiene que:

- En el caso del Escenario 1, el modelo opera con el 100% del caudal proyectado hasta mediados de Junio 2018, reduciéndose al 80,4% por el resto del tiempo de simulación.
- En el Escenario 2, el modelo opera sin dificultad con el 100% del caudal impuesto para los 4 años de explotación.

En relación al error de cierre del balance de masas, los 732 periodos de stress totales (recalibración - simulación) generan 1306 registros de este índice:

- Para el Escenario 1, 43 registros superaron el 1% en el error de cierre para el balance y sólo 4 registros superan el 2% para el mismo índice. Los mayores errores para el Escenario 1, se producen después de los 20 primeros años de operación.
- Para el Escenario 2, los 732 periodos de stress totales (recalibración - simulación) generan 1306 registros de este índice, de los cuales, 531 registros superaron el 1% en el error de cierre para el balance y sólo 3 registros superan el 2% para el mismo índice. Si bien esto no es deseable, es suficiente y aceptable para los escenarios analizados.

Respecto de los caudales de extracción planteados para el escenario 1 (220 l/s) se puede indicar que aun cuando el modelo opera correctamente hasta junio de 2018,

después de esta fecha, el modelo indica que no es posible extraer la totalidad de este caudal. Los niveles descienden a niveles que impiden la operación de los pozos y el bombeo se reduce en magnitud.

### 3. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

#### 3.1 Descargas simuladas

La principal descarga del acuífero se produce hacia pampa Yocas. Una de las restricciones para el acuífero dice relación con el caudal pasante de 91 l/s mínimo hacia ésta zona. Para el caso del Escenario 1, esta condición deja de cumplirse desde junio de 2022 en adelante. Para el Escenario 2, no se transgrede esta restricción en todo el período simulado.

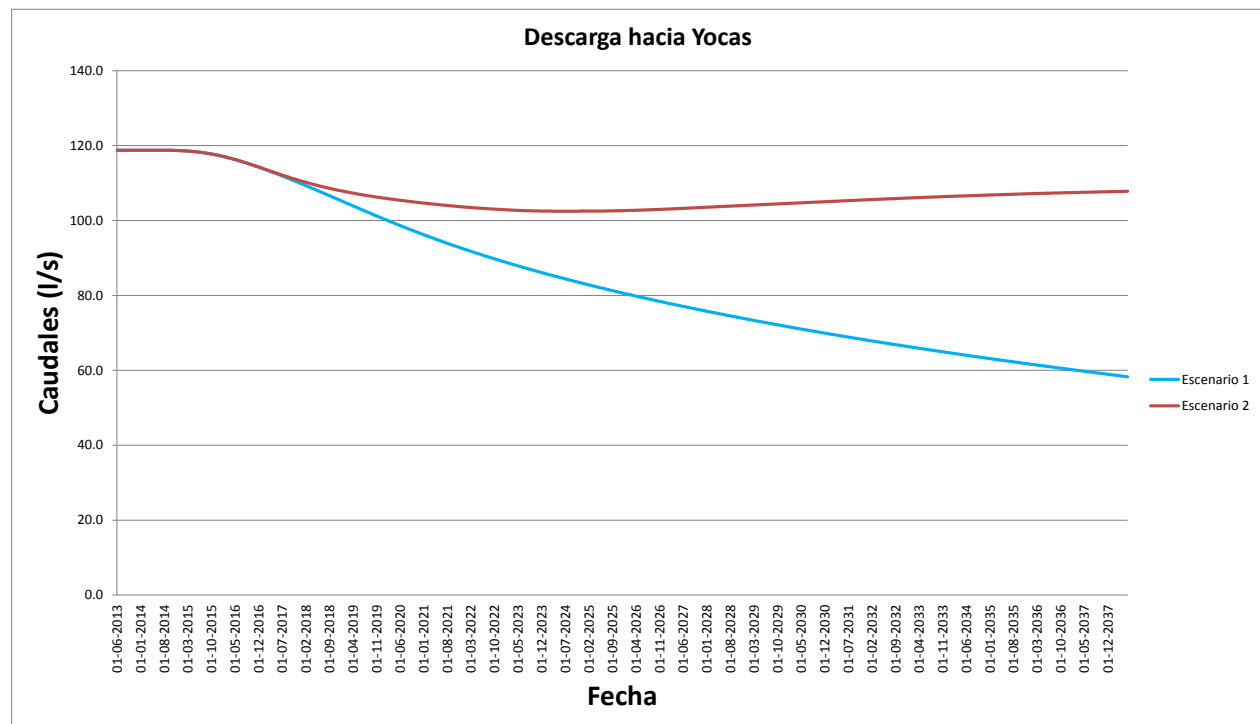


Figura 1: Caudales de descarga hacia Yocas.

La otra descarga del acuífero se produce hacia la vega Sapunta. En la siguiente gráfica se puede observar la evolución del caudal de descarga para los dos escenarios propuestos. En ambos escenarios, la descarga disminuye en forma progresiva, notándose en el escenario 2 (90 l/s) que la detención de la explotación en el cuarto año favorece la recuperación de esta salida.

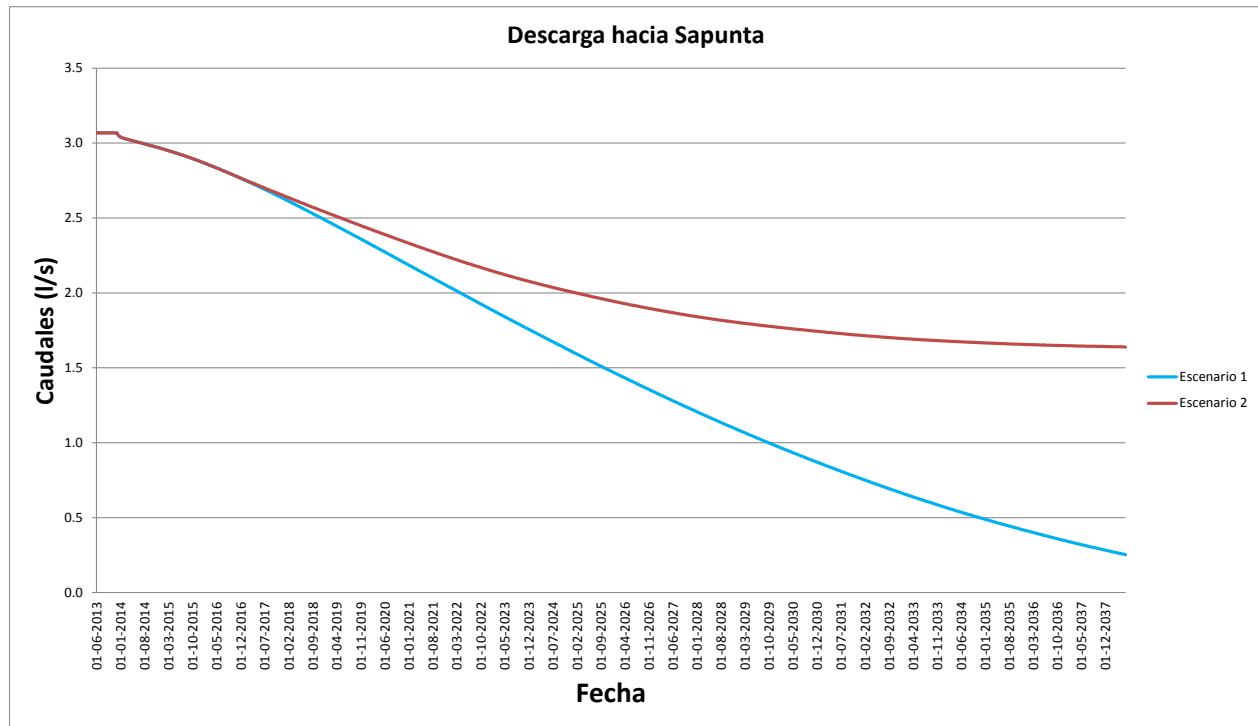


Figura 2: Caudales de descarga hacia Sapunta.

### 3.2 Almacenamiento

En la siguiente gráfica, se puede ver cómo se desarrolla la curva que representa el porcentaje de volumen extraído desde el acuífero. En el caso del Escenario 1, se observa como aumenta el porcentaje extraído respecto de la condición original, llegando aproximadamente al 14% al final del escenario de 25 años.

En la curva que representa el porcentaje de volumen extraído desde el acuífero para el Escenario 2, se observa como, aproximadamente en marzo de 2021, hay un cambio de pendiente que representa el inicio de la recuperación del almacenamiento utilizado.

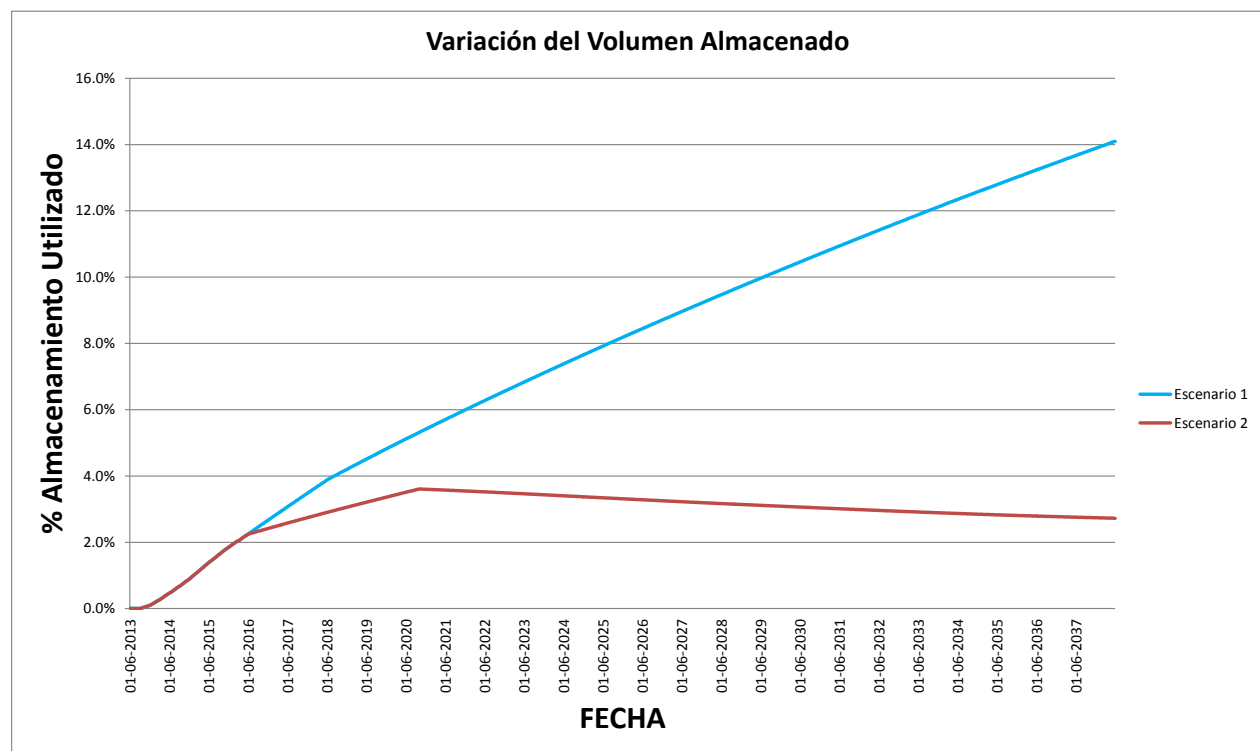


Figura 3: Evolución del volumen almacenado utilizado.



### **3.3 Niveles Simulados**

Los niveles simulados que muestran el descenso en el acuífero para ambos escenarios, se presentan en la tabla 1.

Para el Escenario 1, se puede observar que los descensos al final del período van de 0,54 m a 34,92 m, con un promedio de 18,7 m como descenso general.

Para el Escenario 2, se puede observar que los descensos al final del período de simulación van de 0,02 m a 4,35 m, con un promedio de 3,51 m, como descenso general remanente en el acuífero.

Para ambos escenarios, la zona que se ve menos afectada es hacia el norte de la cuenca (descarga a Yocas).

TABLA 1

Pozo	Nivel (msnm)			Descenso (m)		
	Permanente	Escenario 1	Escenario 2	Permanente	Escenario 1	Escenario 2
YOCA-09	3955.42	3947.65	3954.11	0.00	7.77	1.31
YOCA-10	4036.46	4035.93	4036.44	0.00	0.54	0.02
PIB-2	4054.22	4053.16	4054.12	0.00	1.07	0.10
YOCA-08	4045.94	4026.20	4042.97	0.00	19.73	2.96
PUNO-10E	4032.09	SECO	4028.30	0.00		3.79
PUNO-05E	4061.29	4042.24	4057.80	0.00	19.05	3.49
PUNO-11E	4041.40	4007.89	4037.19	0.00	33.51	4.21
PSAP-1	4030.56	4022.38	4027.29	0.00	8.18	3.26
PSAP-2	4031.45	4022.60	4027.93	0.00	8.85	3.52
PUNO-13	4033.49	4001.79	4029.56	0.00	31.69	3.92
PSAP-3	4032.55	4022.69	4028.70	0.00	9.86	3.85
PUNO-08B	4034.36	4002.37	4030.40	0.00	31.99	3.96
PUNO-19B	4048.10	4018.85	4043.93	0.00	29.25	4.17
PUNO-19	4047.55	4018.04	4043.37	0.00	29.51	4.18
PUNO-21	4043.93	4012.28	4039.66	0.00	31.65	4.26
PUNO-20	4044.06	4012.97	4039.79	0.00	31.09	4.27
PUNO-02E	4045.91	4011.00	4041.63	0.00	34.92	4.28
PUNO-3EA	4047.16	4036.17	4043.17	0.00	10.99	3.99
PUNO-314B	4142.50	4130.49	4140.20	0.00	12.01	2.30
PUNO-01E	4049.03	4044.68	4044.68	0.00	4.34	4.34
PUNO-18	4048.17	4023.80	4043.87	0.00	24.37	4.30
PUNO-17	4048.50	4025.68	4044.20	0.00	22.82	4.30
PUNO-15B	4049.90	4034.29	4045.54	0.00	15.61	4.35
PUNO-15	4049.90	4034.28	4045.54	0.00	15.61	4.35
PUNO-16	4050.15	4035.44	4045.81	0.00	14.71	4.33

#### **4. CONCLUSIONES**

La ejecución de los escenarios predictivos utilizando el modelo 2015 y recalibrado hasta abril de 2016, operan en forma correcta y es suficiente para procesar los escenarios predictivos presentados.

El resultado de la simulación para el escenario 1 (220 l/s de extracción), revela que no sería posible explotar el caudal propuesto con la actual configuración del campo de pozos.

La explotación de un caudal reducido (Escenario 2, 90 l/s) es claramente favorable respecto del Escenario 1 (220 l/s), tanto en efectos sobre las descargas (Yocas y Sapunta), como en la utilización de volumen almacenado. En efecto, en el caso de la explotación reducida se logra un proceso de recuperación del almacenamiento del acuífero. Los descensos en los pozos son visiblemente menores en el caso de la explotación reducida, generando una clara recuperación de niveles en toda la cuenca.

Por último, es importante indicar que la reproducción de niveles simulados en la cabecera de la quebrada Sapunta, para el escenario más favorable (Escenario 2, 90 l/s) viene a configurar información de entrada para un modelo de detalle de la vega, que será considerado en el diseño de una medida de recuperación de la condición hídrica natural de la vega.