

**MAT.:** Responde observaciones.

**ANT.:** Res. Ex. N° 16/Rol F-041-2016

**REF.:** Expediente **F-041-2016**

Santiago, 26 de enero de 2018

**Benjamín Muhr Altamirano**

Instructor de la División de Sanción y Cumplimiento

Superintendencia de Medio Ambiente

Presente



**JULIO GARCÍA MARÍN**, en representación de **SQM SALAR S.A.**, domiciliado en Badajoz N° 45, of. 801 – B, comuna de Las Condes, Región Metropolitana, en procedimiento sancionatorio **F-041-2016**, vengo en cumplir lo requerido mediante Res. Ex. N° 16/Rol F-041-2016, en el sentido de dar respuesta a las observaciones formuladas por la Dirección General de Aguas en Of. Ord. N° 116/2017, y por la Dirección Regional de la Dirección General de Aguas en Of. Ord. DGA II N° 764/2017, acompañando la información técnica de respaldo correspondiente.

La presente respuesta se presenta dentro del plazo conferido, el que fue ampliado mediante Res. Ex. N° 17/Rol F-041-2016.

Previo a dar respuesta derechamente a las observaciones formuladas, se efectuará una mención sucinta de los principales conceptos transversales que estructuran la respuesta a las observaciones formuladas por la Dirección General de Aguas.

#### **I. ANTECEDENTES Y CONSIDERACIONES PREVIAS**

Mediante Res. Ex. N° 15, de 16 de noviembre de 2017, se solicitó el pronunciamiento de la Dirección General de Aguas en relación a un conjunto de minutas e informes acompañados por mi representada en su propuesta de PdC Refundido ingresada con fecha 17 de octubre, y que se refieren a materias sobre las cuales la Dirección General de Aguas cuenta con especial *expertise* técnica y a aspectos que han sido objeto de anteriores pronunciamientos de ese organismo. El Considerando 8 de la Res. Ex.

Nº 15 identifica los Apéndices 1.1, 4.1, 6.1 y 6.2, y los Anexos 4.1 y 6.1.1, como los antecedentes sobre los cuales el organismo sectorial debía emitir su informe. Lo anterior es relevante, en la medida que los programas de cumplimiento son instrumentos complejos, que se articulan a partir del plan de acciones y metas, sus fundamentos y antecedentes técnicos, e información de respaldo o de comprobación de la ejecución de medidas. La lectura parcial de determinados anexos y apéndices puede dificultar su debida comprensión, lo que en alguna medida puede apreciarse del Ord. Nº 116, donde la autoridad hídrica parece no haber tenido a la vista todos los antecedentes.

Ahora bien, precisamente, mediante Ord. Nº 116, la Dirección General de Aguas ha remitido su informe formulando un conjunto de observaciones que se abordan en la Sección II de este escrito. En particular, para las observaciones 1.1, 1.2 y 1.3, este organismo se remite a otro pronunciamiento que adjunta, el Ord. Nº 764, que formula una serie de observaciones al informe de la Cuarta Actualización del modelo numérico asociado a la RCA 226/2006. Dichas observaciones son integradas en su informe y, considerando su vinculación con las observaciones 1.1, 1.2 y 1.3, se ha otorgado traslado a mi representada para que las aborde, lo cual se efectúa en la Sección III de esta presentación.

Previo a abordar estas observaciones, nos permitimos expresar tres conceptos que, a nuestro juicio, permiten contextualizar de manera integral la respuesta a las observaciones formuladas.

En primer término, la propuesta de PdC refundido tiene como objetivo el cumplimiento estricto de la RCA 226/2006. Entendemos que la aprobación de un programa de cumplimiento no puede constituir una instancia de flexibilización o de validación de cambios o ajustes cuya evaluación corresponde a otro organismo. De este punto de vista, si bien se valora que la Dirección General de Aguas reconozca el fundamento técnico de los ajustes incorporados por el Titular a los planes de contingencia de la RCA 226/2006, e informados periódicamente en el marco de los informes del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico, como lo hace, por ejemplo, en el punto 5.5 del Ord. Nº 116, lo que corresponde es aplicar los términos de la RCA 226/2006, como se reportó a partir del Informe Nº 20 del PSAH.

Lo anterior, no obsta a la consideración de los indicadores que habían sido agregados a partir del Informe Nº 1 para el Sistema Vegetación Borde Este, como complemento a la operación de los planes de contingencia. Ello no importa, en sentido alguno, una persistencia en el incumplimiento. En efecto, en la medida que tales pozos son igualmente medidos en el marco del seguimiento ambiental del proyecto y que los planes de contingencia representan un sistema de activación de medidas de control, poner una especial atención en la evolución de sus niveles permite contar con mejor información para asegurar la mantención de las condiciones de funcionamiento natural. Se tiene especialmente a la

vista que su incorporación tuvo un fundamento técnico, oportunamente reportado en el marco del seguimiento y que se reconoce en el punto 5 del Ord. N° 116.

En segundo término, en relación a la acreditación de la no existencia de efectos derivados de las infracciones imputadas, en particular, de los cargos 1, 4 y 6 de la Res. Ex. N° 1/Rol F-041-2016, se estima oportuno subrayar que la propia RCA 226/2006 contempla el mecanismo de verificación de tales efectos. Como hemos sostenido, y según se explicará detalladamente en la respuesta al punto 5.1 del Ord. N° 116, la verificación de la activación de Fase II en el marco de los planes de contingencia del proyecto “Cambios y Mejoras en la Operación Minera del Salar de Atacama”, es perfectamente posible con la información disponible, y a dichos efectos, se han acompañado los Apéndices 6.1 y 6.2, que permiten comprobar que durante toda la operación de proyecto, e independiente de los umbrales reportados a lo largo del seguimiento, no se ha activado Fase II en ningún momento, esto es, que no se han observado descensos del nivel freático mayores a los que representan la mantención de las condiciones de funcionamiento natural de los sistemas objeto de protección.

Seguidamente, en relación al mismo punto anterior, la incorporación de la opinión experta del Sr. Emilio Custodio tiene por finalidad respaldar las conclusiones que arroja el examen del seguimiento ambiental del proyecto, de manera de revisar su correspondencia o relación con los conceptos que explican el funcionamiento general del sistema. Para estos efectos, el Sr. Custodio toma en consideración la reciente Cuarta Actualización del Modelo Hidrogeológico del Salar de Atacama (Abril 2017), elaborado por IDAEA-CSIC, como información de respaldo. Ello no implica, de parte de mi representada, pretender que dicha Cuarta Actualización constituya un documento validado u oficial; se trata de un instrumento complejo, cuya revisión y eventuales ajustes exceden al alcance de un procedimiento administrativo sancionador. Lo que sí estimamos necesario puntualizar, respecto al referido modelo, es lo siguiente:

- a) El modelo numérico desarrollado, de acuerdo a lo establecido en la RCA 226/2006, tiene por objeto permitir comparar lo predicho con lo observado en el ámbito del seguimiento ambiental. Su finalidad no es la verificación de efectos. Su actualización en el marco de la operación del proyecto, a partir de las series actualizadas del nivel de los acuíferos, de las variables meteorológicas (precipitación y evaporación), de las recargas y de los bombeos de salmuera y de agua dulce, permite “*comparar los valores predichos con los observados*” (Considerando 10.2.1 de la RCA 226/2006).
- b) El modelo hidrogeológico no fue utilizado para la definición de umbrales de activación en el marco de la evaluación del proyecto aprobado mediante RCA 226/2006. Dichos umbrales

representan, por el contrario, la situación efectivamente observada (mínimo histórico) y los efectivos requerimientos hídricos de los sistemas objeto de protección, no una simulación, como sí ocurre con el proyecto "Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama", calificado mediante RCA N° 21/2016, de la Comisión de Evaluación de la Región de Antofagasta. Respecto de los umbrales implementados para el Sistema Borde Este (descensos), cabe señalar que estos se definieron a partir de los resultados de modelos la escala local que permiten una precisión adecuada para definir dichos valores.

En conformidad a lo expresado, si bien se abordan las observaciones formuladas mediante Ord. N° 764/2017 en este escrito, conforme a lo requerido por la Res. Ex. N° 16/ Rol F-041-2016, mi representada entiende que ello en ningún caso implica que la evaluación y validación de la Cuarta Actualización del Modelo Hidrogeológico será objeto del presente procedimiento, sino que constituyen antecedentes de contexto que permiten ponderar el contenido del Ord. N° 116, y en definitiva, emitir un pronunciamiento respecto de la propuesta de PdC refundido presentado con fecha 16 de octubre de 2017.

## **II. RESPUESTA A LAS OBSERVACIONES**

### **a. RESPUESTAS A LAS OBSERVACIONES FORMULADAS MEDIANTE OF. ORD. N° 116/2017, DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS**

Según indica la Dirección General de Aguas, el Ord. N° 116 contiene el pronunciamiento técnico sobre los fundamentos y conclusiones de los antecedentes singularizados en el Considerando 8 de la Res. Ex. N° 15, los que se traducen en la formulación de observaciones, solicitudes de información y recomendaciones, requerimientos que se abordan a continuación.

*1. Respecto del Apéndice 1.1: 'Informe relativo al funcionamiento de la cuenca del Salar de Atacama como apoyo a la respuesta a los cargos de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) por las actuaciones de SQM en el Salar'*

*1.1. "Sobre el Cargo N°1 (Extracción de salmuera por sobre lo autorizado entre agosto de 2013 y agosto de 2015), en el Apéndice se indica que "Los cálculos y elaboraciones para esclarecer los posibles efectos se han hecho por el equipo de modelación de la Gerencia de Hidrogeología de SQM con este objetivo, previa coordinación entre IDAEA-CSIC, SQM y el autor de este informe. **Se ha***

*utilizado el modelo calibrado por IDAEA-CSIC (2017), introduciendo los valores de extracción que se dan al principio de esta sección. Como ya se ha especificado antes, el modelo es la mejor herramienta de cálculo disponible y la calibración se cierra con diferencias entre lo simulado y lo observado que son milimétricas y como mucho centimétricas en las áreas más variables de la zona activa. Esto está dentro de las tolerancias asociadas a las inevitables simplificaciones e imprecisiones de cálculo y a los errores de representación de los propios datos. Así pues, cabe considerar que la mencionada sobre-extracción no ha tenido efectos perceptibles en el estado hidrogeológico actual, ni lo tendrá en el del momento de cese de las operaciones. Como para pequeñas variaciones el comportamiento es lineal una vez que se ha casi anulado la evaporación freática en el salar, el exceso de extracción de salmuera que se ha realizado supone una variación de 2 mm en los niveles de salmuera, por debajo de la incertidumbre en las áreas periféricas lagunares y del mismo orden de magnitud de la precisión de las observaciones (1 mm). Además, el comportamiento del área lagunar, incluso en las áreas con mayor cambio en el nivel de salmueras marginales, no está influenciado por ese nivel" (sección 4 del Apéndice, pág. 28, énfasis agregado). Al respecto, este Departamento no puede validar las conclusiones antes expuestas, que emanan del uso de la Cuarta Actualización del Modelo Numérico desarrollada por el titular (IDAEA-CSIC, 2017), ello en atención a las observaciones técnicas que se han formulado a esta herramienta matemática. En lo específico, por medio del Oficio DGA II Región N°764/2017 (adjunto N°1), se manifestó que el Informe del Modelo Conceptual y sus Anexos no permiten a este Servicio validar el balance hídrico propuesto por el titular, insumo principal para el modelo conceptual y numérico desarrollado, siendo insuficiente la profundidad adoptada para explicar las variables que componen el referido balance hídrico".*

### **Respuesta**

La propuesta de programa de cumplimiento (PdC) refundido, presentada con fecha 17 de octubre de 2017, se basa en la observancia estricta de la RCA 226/2006, conforme a la cual la justificación sobre la concurrencia o no de efectos, como consecuencia de los hechos infraccionales, se verifica en el estado de las variables ambientales evaluadas y contempladas en el plan de seguimiento de la RCA 226/2006, y de las condiciones bajo las cuales se autorizó la operación de SQM Salar S.A. en el Salar de Atacama.

De esta manera, el análisis de eventuales efectos derivados de una extracción de salmuera por sobre el límite anual autorizado debe verificarse en los indicadores de estado singularizados en los planes de contingencia del proyecto. En efecto, los planes de contingencia del proyecto identifican pozos y/o reglillas que son considerados como indicadores de un potencial efecto producto del bombeo de salmuera desde el núcleo (p. 10 del PdC refundido).

Cabe recordar que los planes de contingencia de la RCA 226/2006 se activan en dos fases; la primera, correspondiente a una alerta temprana que gatilla una mayor frecuencia de monitoreo a fin de anticipar un potencial efecto sobre el respectivo sistema a proteger, "*antes que se verifiquen impactos*

*en los sistemas que son objeto de protección”, mientras que la Fase II da origen a la aplicación de medidas “para abatir los efectos potencialmente detrimentales en los sistemas a proteger” (Considerando 11.1) (p. 11 del PdC refundido).*

Sobre esta base, cuya observancia estricta es prescrita por el artículo 24 de la Ley 19.300, el Anexo 1 del PdC refundido analizó el comportamiento del acuífero en el período de infracción y su respuesta ante la extracción adicional objeto del cargo 1, mediante la revisión de los niveles de los indicadores de estado de los Sistemas de Soncor, Aguas de Quelana y Vegetación Borde Este, así como de los umbrales propuestos en la acción 4.1 del PdC para el sistema de Peine, con el objeto de verificar la eventual activación de Fase II. En relación a ese examen, nos referiremos al responder la observación 6 del Ord. N° 116.

En forma adicional, se verificó la evolución de las variables bióticas objeto de protección entre los que se encuentran la flora, vegetación, fauna y biota acuática, evaluando si durante el período de infracción se mantuvieran sus condiciones históricas naturales.

En el contexto de la evaluación de potenciales efectos derivados de la infracción, el denominado “Informe de análisis de funcionamiento hidrogeológico de la cuenca del Salar de Atacama” (Emilio Custodio, 2017), permite respaldar las conclusiones que arroja el examen del seguimiento ambiental del proyecto desde un punto de vista conceptual. El objetivo de incluir esta opinión experta entre los antecedentes técnicos que sustentan el PdC ha sido robustecer el análisis de efectos no limitándolo a la sola observación de los parámetros previstos por la RCA 226/2006 como indicadores del estado de la variable, sino que revisando su correspondencia o relación con los conceptos que explican el funcionamiento general del sistema.

Es efectivo que el informe del Sr. Custodio tiene a la vista y utiliza la Cuarta Actualización del Modelo preparado por IDAEA-CSIC (2017), en conjunto con otra información disponible y su propio conocimiento del área (p. 4). En particular, el informe elaborado por IDAEA-CSIC constituye el esfuerzo de sistematización del conocimiento del Salar de Atacama más actualizado disponible. El Sr. Custodio expresa que sus consideraciones son aceptables *“para dar respuesta suficientemente aproximada a las cuestiones actuales durante un tiempo de varias décadas, que cubren el periodo de explotación y el de recuperación posterior”* (p. 8), y lo califica como *“la mejor herramienta de cálculo disponible” para estos efectos”* (p. 28).

Ahora bien, como lo expresa la Dirección General de Aguas, dicha cuarta actualización no se encuentra validada y presenta observaciones. Es razonable y perfectamente normal que así sea. Se trata de un instrumento complejo, detallado, que requiere de una revisión minuciosa y cuyo entendimiento y aplicación puede generar dudas. Mi representada se encuentra plenamente a

disposición para facilitar su entendimiento y aclarar los conceptos que lo estructuran. A tales efectos, estimamos, contribuyeron los talleres realizados en la ciudad de Antofagasta con los autores del informe en septiembre de 2016, cuando se presentó el Modelo Conceptual que describe la hidrogeología de la cuenca del Salar de Atacama, y en mayo de 2017, cuando se presentaron los resultados finales del trabajo desarrollado, incluyendo la herramienta numérica, instancia que podría repetirse si se considerase necesario por la autoridad.

En el sentido anotado, en esta presentación se abordan las observaciones formuladas por la Dirección Regional de la Dirección General de Aguas (Ord. N° 764/2017), con el objeto de clarificar los aspectos y elementos que han generado dudas y observaciones de parte de ese organismo, entendiendo siempre que las mismas contribuyen a una mejor evaluación de los antecedentes que sustentan la propuesta de PdC refundido y que, en ningún caso, se pretende obtener la validación de la cuarta actualización, cuestión que excede al ámbito del presente procedimiento sancionatorio.

Sin perjuicio de lo anterior, estimamos relevante subrayar que el empleo de la cuarta actualización del modelo por parte del consultor experto autor del Apéndice 1.1 del PdC refundido, como antecedente de soporte, no obsta a la debida y completa acreditación de la inexistencia de efectos derivados de la infracción formulada como cargo 1 de la Res. Ex. N° 1/Rol F-041-2016. Como lo señala la RCA 226/2006, los planes de contingencia y, en particular, la activación de Fase II, constituye la herramienta precisa e indicada para verificar la condición de funcionamiento natural de los sistemas objeto de protección. En tal sentido, y sin perjuicio de las precisiones que se realizan en este escrito a propósito de la observación N° 6 del Ord. N° 116, nos encontramos en condiciones de confirmar que la mayor extracción imputada como hecho infraccional N° 1 no ha generado efectos negativos, como lo sostiene el Sr. Custodio a través de un expediente diverso.

*1.2. "Sobre el Cargo N°2 (Afectación progresiva del estado de vitalidad de algarrobos en el área del Pozo Camar 2), en el Apéndice se reporta que "Con la información disponible y dada la configuración del acuífero en el sector de Camar, no es de esperar que los algarrobos en el entorno del pozo Camar-2 estén captando agua del nivel freático profundo, a unos 50 m de profundidad (...) Por lo tanto, salvo situaciones extremas poco probables y verosímiles para la situación bajo estudio, cabe concluir que la explotación de agua industrial en el pozo Camar-2 no ha producido efectos sobre el estado de los algarrobos" (sección 5 del Apéndice, pág. 35, énfasis agregado).*

*En el mismo documento se informa que "En el caso extremo de la existencia de algunos algarrobos con raíces del orden de los 50 m de profundidad, el potencial efecto de las extracciones de agua industrial podría hipotéticamente ser atribuido a que los algarrobos no son capaces de extender las raíces con suficiente rapidez para adaptarse al descenso freático, pero esto es improbable ya que las fluctuaciones naturales del nivel freático parecen ser similares a las que se producen por las extracciones" (Resumen del Apéndice, pág. 2, énfasis agregado). Para sustentar lo antes destacado,*

y haciendo uso de los resultados de la Cuarta Actualización del modelo numérico (IDAEA-CSIC, 2017), en la Figura 5.7 se compara la evolución hasta el año 2017 de los niveles de aguas subterráneas en el pozo Camar-2 y en los puntos de monitoreo L3-2 y L3-16, esto para el escenario con las extracciones realizadas en el periodo (en azul), para el escenario sin extracción de agua industrial (en amarillo), para el escenario sin extracción ni reinyección de salmuera (en rojo) y para el escenario sin extracción ni reinyección de salmuera ni extracción de agua industrial (en verde). Por las razones expuestas en el numeral 1.1, se reitera que no es posible validar las conclusiones que emanan del uso de la Cuarta Actualización del Modelo Numérico desarrollada por el titular. A mayor abundamiento, cabe destacar que las mediciones de niveles que reporta el titular para el mismo periodo modelado en los pozos L3-2 y L3-16, son del orden de más de 10 metros mayores que los resultados de las simulaciones de la Figura 5.7, revelando problemas de ajuste importantes en la herramienta matemática. Este hecho complementa las interrogantes técnicas que este Servicio ya ha planteado sobre el modelo hidrogeológico, las que en definitiva impiden asignar confiabilidad a su utilización. Finalmente, y de manera de validar los 50 metros que el titular establece como profundidad del nivel freático en el entorno del pozo Camar-2 (Figura 5.3 del Apéndice, pág. 31), se considera necesario solicitar al titular que acompañe la base de datos histórica -en formato de planilla digital editable- de las cotas del agua subterránea en m.s.n.m. y de las profundidades de la napa en metros de los pozos de monitoreo L3-2 y L3-16, requerimiento que también se hace extensivo para los demás pozos que componen el Plan de Seguimiento del titular”.

### **Respuesta**

Para estos efectos, nos remitimos a lo señalado en la respuesta a la observación 1.1, reiterando que la disponibilidad para facilitar el entendimiento del instrumento considerado como antecedente por el Sr. Custodio en relación al cargo N° 2.

Es importante tener presente que, respecto del cargo N° 2, mi representada reconoce expresamente que la infracción imputada genera efectos negativos, consistente en la afectación progresiva del estado de vitalidad de los algarrobos presentes en el área del pozo Camar 2. Para ello, el PdC refundido compromete las acciones necesarias para controlar y mitigar los efectos generados. Para efectos de “generar una visión global respecto del comportamiento de los potenciales factores que inciden en el estado vital de los algarrobos y del sistema donde estos se desarrollan, que permita identificar las acciones a implementar” (Anexo 2, p. 5), se acompañaron una serie de antecedentes, siendo principales para estos efectos el informe elaborado por el grupo de especialistas de CONICET (Argentina) y el estudio de la relación entre morfología y escorrentía preparado por Xterrae (2017).

Respecto a las variaciones que observa la Dirección General de Aguas respecto de las mediciones de niveles para los pozos L3-2 y L3-16 respecto de los resultados de las simulaciones de la Figura 5.7 del Informe de IDAEA-CSIC (2017), hacemos presente que el modelo no busca representar los niveles de profundidad de la napa, sino que mostrar las variaciones naturales que experimenta. Los

pozos L3-2 y L3-16 son utilizados en el Apéndice 1.1 del PdC refundido por constituir “*dos puntos próximos de monitoreo*” respecto del pozo de bombeo Camar 2 (p. 30, nota a la figura 5.1), pero es importante hacer presente que estos puntos no forman parte de los planes de contingencia de la RCA 226/2006, ubicándose en el aluvial, fuera de los sistemas objeto de protección. Como lo explica el Sr. Custodio, estos pozos son incluidos con el objeto de discutir la variación de los niveles piezométricos en el entorno del pozo de extracción de agua industrial (pp. 29-35).

La discusión de los niveles medidos en relación con los sistemas objeto de protección, en el marco de la RCA 226/2006, se efectúa en el marco de los planes de contingencia, para los cuales se han definido indicadores de estado y umbrales. Como ha sido dicho, hasta la fecha, no se han generado efectos detrimentales, en la medida que los niveles medidos no han traspasado los umbrales previstos para Fase II. Para acreditar lo expresado, se acompañaron en el PdC refundido de 17 de octubre de 2017 los Apéndices 6.1 y 6.2. En este escrito, se aborda la observación N° 6, referido a dichos documentos.

Conforme a lo solicitado en el Ord. N° 116, se acompaña la base de datos histórica -en formato de planilla Excel- de las cotas de aguas subterránea en m.s.n.m. y de las profundidades de la napa en metros de los pozos de monitoreo L3-2 y L3-16, así como para los demás pozos que componen el plan de seguimiento actualizado hasta diciembre de 2016. Hacemos presente que dicha información fue entregada a la Superintendencia del Medio Ambiente en respuesta al Ord. MZN N° 418/2016 mediante Carta GS 255/2016, de 18 de octubre de 2016. En dicha carta se hizo entrega de toda la información de las bases de datos históricas del Plan de Seguimiento Hidrogeológico aprobado mediante la RCA 226/2006, en formato editable, actualizado hasta el mes de junio de 2016.

Finalmente, nos permitimos hacer presente que en texto reproducido en la observación 1.2, tomada del informe del Sr. Custodio, se contienen una serie de apreciaciones del consultor que dicen relación con la potencial profundidad de las raíces de los algarrobos, las que constituyen, como lo reconoce el autor, “*comentarios generales sobre la vegetación*”. El aporte del informe del Sr. Custodio en relación al cargo N° 2 se concentra en el examen del nivel freático del área del pozo Camar 2, antecedente relevante que debe ser ponderado con otros antecedentes adicionales que se encuentran en actual investigación.

1.3. “*Sobre el Cargo N°4 (Plan de Contingencias para el Sistema Peine no reúne las mismas características de los demás sistemas ambientales, por lo que no permite garantizar la mantención de las condiciones de funcionamiento natural del sistema), en el Apéndice se expresa que "El efecto de las extracciones de agua industrial de SQM en el área del Sistema de Peine es despreciable,*

*inferior a 1 mm, como se ve en la Figura 3.13, resultante de simulación con el modelo numérico. La mayor influencia es la de descenso del nivel de salmuera en el borde del núcleo y en la zona marginal. Para cuantificarlo, con el modelo numérico de simulación se compara el hidrograma de niveles piezométricos en 19 puntos del área con registros históricos, según figura en el Anexo 1, con el resultado de suprimir las acciones mineras sobre la salmuera y las extracciones de agua industrial. Los efectos son milimétricos, imperceptibles en la parte más alejada del salar, y en resto sólo son debidas a las acciones sobre la salmuera, crecientes desde menos de 1 cm hasta un máximo de 12 cm en el interior del propio núcleo, aunque en general quedan por debajo de 8 cm" (sección 6 del Apéndice, pág. 49, énfasis agregado).*

*Como se ha indicado previamente, no es posible validar las conclusiones que emanan del uso de la Cuarta Actualización del Modelo Numérico desarrollada por el titular".*

### **Respuesta**

Se reitera lo expresado como respuesta a las observaciones 1.1 y 1.2, indicando que en esta presentación se abordan las observaciones formuladas por la Dirección Regional de la Dirección General de Aguas en el Ord. N° 764/2017, esperando que estas respuestas permitan aclarar las dudas y observaciones que surgen del examen del instrumento. Cabe insistir en que la utilización de la cuarta actualización del modelo, como antecedente disponible, por parte del consultor Sr. Custudio, en ningún caso ha pretendido dar por validado por parte de la autoridad dicha actualización, ni menos aún obtener dicha validación en este proceso sancionatorio. La opinión experta del Sr. Custodio representa un antecedente de soporte, que ratifica o complementa las conclusiones a las cuales se arriba a través del análisis de las variables de seguimiento, en conformidad a lo establecido por la RCA 226/2006.

2. "Respecto del Anexo 4.1: 'Definición de umbrales de activación de Fase I y Fase II en sistema Peine', donde el titular expone una metodología para definir umbrales de activación Fase I y Fase II en los pozos 1028, L10-11 y L10-4 (indicadores de estado) a partir de los umbrales autorizados al titular Rockwood Lithium en el pozo PN-08A del Plan de Alerta Temprana Sector de Alerta Núcleo (RCA N°21/2016 que aprobó el EIA "Modificaciones y Mejoramientos del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama")":

2.1. "Para obtener los umbrales Fase II, el titular sumó el valor umbral del pozo PN-08A para el año 2031 (Tabla 4-4 del Anexo 3 de la Adenda 5 del EIA antes citado) con las diferencias de nivel entre dicho pozo y los indicadores de estado en abril de 2015, obteniéndose un umbral constante en cada indicador (sección 2.2.1 del Anexo, pág. 8). Cabe destacar que los umbrales definidos por Rockwood Lithium en la Tabla 4-4 van disminuyendo anualmente, esto en coherencia con los resultados del modelo numérico desarrollado por dicho titular. Así, se observa que la propuesta de SQM implica controlar la evolución de los indicadores de estado, en el periodo de extracción del proyecto, a partir de un único valor correspondiente al menor umbral de cota de ese periodo, lo que se constituye en un criterio menos restrictivo que permite descensos mayores hasta el año 2030. En

*contraste, si se usaran los umbrales anuales de la Tabla 4-4, el descenso que año a año debiera ocurrir para activar dichos umbrales es menor, configurándose como un escenario más conservador. Entendiendo que la metodología del Anexo se basa en el uso de los umbrales del titular Rockwood Lithium, se recomienda solicitar al titular SQM Salar S.A. que reformule sus cálculos de manera de que los umbrales aplicables en los pozos 1028, L10-11 y L10-4 también sigan una variación anual, específicamente entre el año en curso y el término de la vida útil de la RCA N°226/2006. Se estima que lo anterior es necesario para que la propuesta del titular sea compatible con los supuestos y consideraciones técnicas que provienen de la RCA N°21/2016”.*

### **Respuesta**

En concordancias con las observaciones que, en su oportunidad, había formulado la Superintendencia del Medio Ambiente, mi representada propuso en el PdC refundido de 17 de octubre pasado integrar a la operación umbrales de disminución de niveles freáticos que permiten la adopción de medidas de control.

Como primer requisito, la propuesta se ajustó a las características del plan de contingencias establecidas por el Considerando 11.1 de la RCA 226/2006. Ello implica que los umbrales propuestos deben garantizar la mantención de las condiciones de funcionamiento natural del sistema, como ocurre en los planes de contingencias de los demás sistemas objeto de protección, a través de la identificación de indicadores de estado que, formando parte del PSAH del Sistema Peine, estén ubicados fuera de los objetos de protección, en dirección a la fuente del potencial efecto. En tal sentido, los indicadores permiten identificar anomalías tempranamente y adoptar medidas previo a que el efecto observado pueda significar una afectación al sistema objeto de protección.

Asimismo, los umbrales propuestos consideran dos fases de activación y medidas similares al resto de los sistemas, teniendo presente que, por su ubicación geográfica, el Sistema Peine es susceptible de ser receptor de un impacto desde el bombeo de salmuera desde el núcleo, por tanto, la medida prevista para Fase II corresponde a la reducción del caudal de extracción de salmuera correspondiente al último escalón de incremento autorizado. Todo lo expresado es perfectamente coherente con el Considerando 11.1.

No obstante, la definición del valor de los respectivos umbrales constituye un aspecto sometido a la decisión del órgano de calificación, en cuanto expresa un descenso máximo permitido y, en tal sentido, un nivel de protección dado para el respectivo sistema.

Teniendo claro que la evaluación de un programa de cumplimiento no constituye una instancia para evaluar o validar este tipo de umbrales, se ha optado por aplicar los niveles de activación contemplados por el Plan de Alerta Temprana establecido para este sistema en el Considerando 10.18

de la RCA 21/2016, que califica ambientalmente el proyecto “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama”, de manera de aprovechar la disponibilidad de umbrales previamente validados por la autoridad ambiental competente para el mismo sistema.

En tal sentido, considerando la proximidad de los puntos de monitoreo de SQM Salar S.A. y del titular de la RCA 21/2016, y observado el comportamiento equivalente de los datos de nivel en el sector, se procedió a trasladar el valor umbral autorizado a los indicadores de estado definidos para estos efectos, según se detalla en Anexo 4.1 del PdC refundido.

Ello permite contar con umbrales de niveles freáticos para la adopción de medidas -previamente validados por la autoridad ambiental-, para tres pozos que forman parte del PSAH para el Sistema Peine, sometiendo la aplicación de dichos umbrales a las reglas establecidas en el Considerando 11.1 de la RCA 226/2006.

La utilización de los umbrales de la RCA 21/2016 es cuestión del todo diversa a pretender aplicar en forma íntegra el Plan de Alerta Temprana que establece dicha resolución de calificación ambiental. Como explicamos en nuestra presentación de 18 de abril de 2017, el Plan de Alerta Temprana presenta errores conceptuales relevantes en su diseño, por lo que su aplicación está lejos de anticipar situaciones de desviaciones relevantes en el comportamiento de las variables medidas. En efecto, aplicar los denominados “*umbrales anuales*” implica someter la observación del impacto de la operación del proyecto a un “*mero pronóstico de descenso*” que es funcional al aumento de la extracción y se desacopla de la mantención de las condiciones de funcionamiento natural del respectivo sistema objeto de protección. En efecto, el Considerando 10 de la RCA 21/2016 indica que los umbrales que define “*corresponden a descensos del nivel freático de la salmuera, anuales*”, esto es, descensos por causa de la actividad del respectivo proyecto.

En lugar de ello, la RCA 226/2006 -instrumento que mi representada se encuentra obligada a cumplir y la Superintendencia a hacer cumplir-, considera la definición de umbrales permanentes, sólo sometidos a variación estadística en función del Considerando 15.4 y asociados a su condición de funcionamiento natural y a las oscilaciones de su variación estacional natural. En su definición, a diferencia de lo que ocurre con la RCA 21/2016, no se utilizó el modelo numérico con el objeto de simular el escenario con proyecto, sino que se tomaron en consideración los valores mínimos observados y los requerimientos hídricos de los sistemas objeto de protección. Estos umbrales representan un valor mínimo a partir del cual se considera que existe una desviación respecto del nulo efecto pronosticado en los objetos de protección. No existen, por tanto, “umbrales anuales” en la RCA 226/2006 y pretender su aplicación importaría un incumplimiento flagrante de la misma, así como un

desconocimiento de las bases conceptuales sobre las cuales se calificó el proyecto “Cambios y Mejoras de la Operación Minera en el Salar de Atacama”, de titularidad de mi representada.

En definitiva, a diferencia de lo sostenido por la Dirección General de Aguas, estimamos que la aplicación de umbrales de disminución de niveles freáticos que permiten la adopción de medidas de control debe ser compatible con los supuestos y consideraciones técnicas que provienen de la RCA 226/2006, y no aquellas asociadas a la RCA 21/2016. Se reitera que únicamente se ha propuesto considerar los valores umbrales de esta última RCA, no aplicar en forma íntegra su plan de alerta temprana, bajo las condiciones y fundamentos expresados previamente.

*2.2. “Para obtener los umbrales Fase I, el titular también propone un valor constante equivalente a la suma entre el umbral de la Fase II y dos veces la desviación estándar total obtenida para cada indicador de estado, la que fue computada como “dos veces la suma de la desviación del ajuste de traslado ( $\sigma_1$ ) de los datos de nivel del pozo 1024 al 1028 (Figura 4) y la desviación de los registros de nivel ( $\sigma_2$ ) para cada uno de los indicadores de estado. Para el cálculo de la desviación de los registros de nivel, se eliminó la tendencia de los datos a partir del método de las diferencias” (sección 2.2.2 del Anexo, pág. 10). De manera análoga a lo señalado en el punto 2.1, se recomienda solicitar que se reformulen los cálculos de manera de que los umbrales aplicables en los pozos 1028, L10-11 y L10-4 también sigan una variación anual, específicamente entre el año en curso y el término de la vida útil de la RCA N°226/2006”.*

### **Respuesta**

Se reitera la respuesta expresada para el punto 2.1, en cuanto la observación dice igualmente relación con la aplicación de umbrales anuales, lo cual infringe la RCA 226/2006.

*3. “Respecto del Apéndice 4.1: ‘Análisis de la variación de niveles en pozos del monitoreo del sistema Peine’, documento que concluye que en los pozos 1028, L10-11 y L10-4 no se han registrado niveles bajo los umbrales Fase I y Fase II propuestos en el Anexo 4.1, el pronunciamiento de este Departamento está supeditado a lo observado en el numeral 2 de este documento”.*

### **Respuesta**

Se solicita tener presente la respuesta para el punto 2.1, en cuanto la observación se remite a la propuesta de reformular la definición de umbrales de activación para el Sistema Peine, aplicando umbrales anuales, lo cual infringe la RCA 226/2006.

Se reafirma que, considerando los umbrales propuestos en el Anexo 4.1, bajo el fundamento ya expresado antes, no se han registrado valores bajo los umbrales de activación.

*4. “Respecto del Anexo 6.11 del Apéndice 6.1: 'Análisis de series temporales del nivel freático en los pozos L2-7 y L4-3 durante periodo septiembre 2007 - diciembre 2016', este Departamento no presenta observaciones sobre la construcción de la función sintética desarrollada por el titular para completar los registros de nivel faltantes en los pozos L2-7 (febrero y abril de 2008) y L4-3 (julio de 2008).*

*Ahora bien, se observa que el titular utiliza en su Anexo ciertas consideraciones -ajenas a la construcción de la referida función sintética- que provienen del Informe N°20 del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico (PSAH), por ejemplo, la inclusión del pozo L2-7 como punto de activación del Plan de Contingencia para el sector de Zona de Vegetación Brea-Atriplex, Sistema Vegetación Borde Este, y la modificación del descenso de activación para la Fase II del pozo L4-3. Al respecto, se debe señalar que a la fecha este Servicio no se ha pronunciado sobre el citado Informe, y que cuando DGA analice en profundidad este reporte se formularán las observaciones que sean pertinentes. Con todo, y para efectos del Programa de Cumplimiento en curso, se recomienda solicitar al titular que acompañe un Reporte Técnico que justifique fundadamente las modificaciones comentadas”.*

### **Respuesta**

Considerando que en este procedimiento se ha formulado un cargo por infracción de lo dispuesto en el artículo 35 letra b) de la Ley Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente, atendidas las modificaciones introducidas a los planes de contingencia de la RCA 226/2006, una vez notificada la Res. Ex. N° 1/Rol F-041-2016, mi representada procedió a ajustar su operación a los términos aprobados ambientalmente, lo que se reflejó precisamente en el Informe N° 20 del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico.

En este orden de ideas, es posible comprobar que la consideración del pozo L2-7 como punto de activación del Plan de Contingencia para el sector de Zona de Vegetación Brea-Atriplex no constituye una “modificación” que requiera contar con una justificación técnica para su validación, sino que la aplicación de un indicador de estado expresamente contemplado en el Considerando 11.4.1 de la RCA 226/2006. Lo mismo ocurre con el descenso de activación para la Fase II del pozo L4-3, materia regulada por el Considerando 11.4.2 de la RCA.

Es a estas reglas a las que mi representada se debe ajustar, independiente de la existencia de un fundamento técnico para los ajustes, como lo reconoce la Dirección General de Aguas, dando cumplimiento estricto a la RCA. Como lo señala dicho organismo y según se afirmará a continuación, los valores contemplados en la calificación ambiental del proyecto implican la imposición de

estándares más estrictos para el seguimiento, sin perjuicio que ello no impone una situación sustancialmente diversa del punto de vista del estado de las variables objeto de seguimiento. Conforme a lo anterior, se verifica que se mantienen las condiciones de funcionamiento natural de los sistemas objeto de protección.

5. “Respecto del Apéndice 6.1: ‘Informe: Análisis de Activación Fase II Plan de Contingencias RCA 226/2006’”:

*5.1. “Para el Sistema Soncor, se consideran los umbrales de activación en unidades de m.s.n.m. reportados en el Informe N°20 del PSAH, tanto en DATUM WGS 84 como en PSAD 56. Estos valores son superiores a los umbrales reportados previamente por el titular, en particular, a los valores reportados en el Informe N°18 del PSAH, que corresponde al último Informe respecto del cual este Servicio se ha pronunciado. Si bien los nuevos umbrales reportados corresponden a valores mayores en cota, lo que se traduce a contar con un límite ambientalmente más restrictivo, se reitera que cuando DGA analice en profundidad el referido reporte se formularán las observaciones que sean pertinentes. Para efectos del Programa de Cumplimiento en curso, se recomienda solicitar al titular que acompañe un Reporte Técnico que justifique fundadamente la modificación comentada”.*

**Respuesta**

Como fue expresado en el PdC ingresado el 30 de enero de 2017, como en la versión refundida de 17 de octubre de 2017, la corrección del hecho infraccional N° 6 de la Res. Ex. N° 1/Rol F-041-2016 implica aplicar, desde la notificación de la formulación de cargos, los planes de contingencia de la RCA 226/2006 sin considerar las modificaciones que no habían sido autorizadas. En la medida que el cargo formulado se ha tipificado en los términos del artículo 35 letra b) de la Ley Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente, corresponde, en primer término, terminar con la aplicación de los ajustes implementados en los sistemas de activación de los planes de contingencia, de manera de dar aplicación estricta a los indicadores de estado y umbrales establecidos en el Considerando 11 de la RCA 226/2006. Lo anterior es lo que corresponde de conformidad al artículo 24 de la Ley 19.300, independiente del mérito técnico de los ajustes, todo lo cual oportuna y debidamente reportado en los informes semestrales del PSAH.

No obsta a lo anterior la mantención de los pozos incorporados en el Informe PSAH N° 1 (L7-14, L4-17, L9-2, L2-25, L2-26 y L3-15) como indicadores complementarios o de referencia. Considerando los fundamentos técnicos que, en su oportunidad, llevaron a su incorporación (no autorizada) en los planes de contingencia, se estima que los mismos aportan información relevante como indicadores del estado de los sistemas objeto de protección. Estos pozos no se encuentran en Fase II, como se da cuenta en el Apéndice 6.1.

Es importante considerar, en este punto, que el Plan de Contingencias es una herramienta de gestión vinculada al Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico, que se funda en la medición del nivel del acuífero en una red de piezómetros que actúa como indicadores de alerta temprana que definen la adopción de medidas oportunas. Los indicadores de estado corresponden a la denominada “*infraestructura de contingencia*” (Considerando 8.1.1 de la RCA 226/2006), los que existen y han existido durante toda la operación del Proyecto. Estos niveles han sido registrados y reportados periódicamente en los informes del PSAH, sin excepción.

En este contexto, la modificación no autorizada que se cuestiona en el cargo N° 6 de la Res. Ex. N° 1/Rol F-041-2016, ha implicado alterar la regla de adopción de medidas de contingencias (el sistema de activación), pero no invalida los datos válidamente registrados en cumplimiento de Considerando 10 de la misma autorización de funcionamiento, esto es, el seguimiento ambiental, que han sido reportado periódicamente, siendo trazable.

Por lo mismo, contando con la base de datos históricos de seguimiento ambiental hidrogeológico, y considerando que los planes de contingencia constituyen una regla de adopción de medidas (“*sistema de activación*”), donde el umbral de activación representa un descenso máximo permitido dado cierto punto de referencia, resulta posible utilizar la información de seguimiento, previa verificación de su integridad y consistencia, para reconstruir la aplicación de los planes de contingencia conforme a la RCA, de modo de verificar si se ha generado el riesgo de ocurrencia de efectos potencialmente detrimentales en los sistemas a proteger (activación de Fase II, en los términos de la RCA 226/2006).

Por lo anterior, no sólo corresponde, sino que es perfectamente posible, la aplicación de los indicadores y umbrales establecidos en la RCA 226/2006, tal como lo expresó el Informe N° 20.

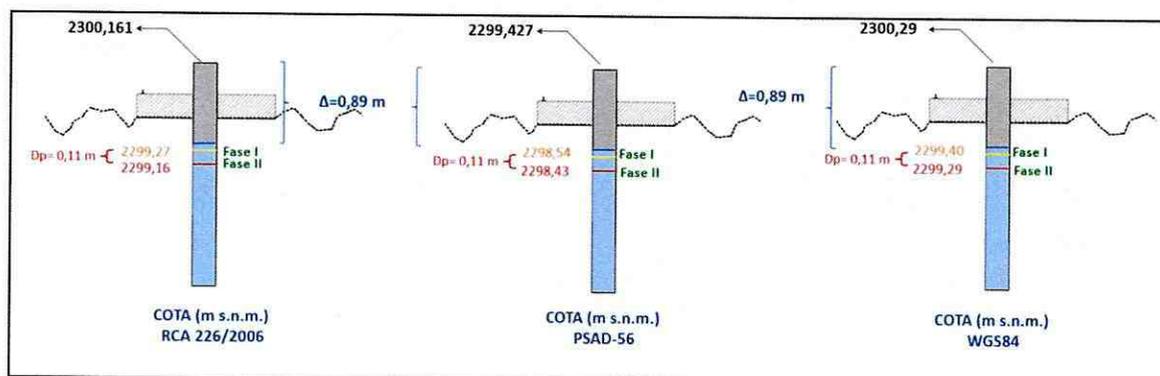
Sin perjuicio de lo expresado, es posible referirse a los antecedentes técnicos asociados a la aplicación de los planes de contingencia en los términos calificados ambientalmente.

En el Anexo 6 del del PdC Refundido, se presenta un análisis de la concurrencia o no concurrencia de efectos, como consecuencia del hecho infraccional N°6 de la formulación de cargos, con ocasión de las modificaciones realizadas por SQM a lo establecido en la RCA 226/2006 respecto de los planes de contingencia, que pudiesen haber significado la activación de Fase II de los mismos.

Por otro lado, de acuerdo a lo presentado en el Anexo 6.1.1 de PdC ingresado el 30 de enero de 2017, la modificación “*corresponde a una actualización de las cotas a partir de la aplicación del levantamiento topográfico de detalle, el cual contempla dos sistemas de referencia (PSAD 56 y WGS 84)*”. Para un mejor entendimiento, en mismo anexo 6.1.1 se incluye una figura en la cual es posible observar “*que los umbrales de activación se mantienen constantes y no son alterados por los cambios*

en las cotas de los puntos de referencia. En específico, se indica que el umbral de activación de Fase I corresponde a un descenso de 0,89 m. medido desde el punto de referencia y en el caso de Fase II, el umbral se activa con una diferencia de 0,11 m por debajo de Fase I.”

**Figura 1 Ejemplo Pozo L1-5 (Sistema Soncor)**



Fuente: Anexo 6.1.1 Programa de Cumplimiento Salar de Atacama

Respecto de los valores de cotas de activación de Fase (umbrales de activación Fase I y II) señalados en el Apéndice 6.1 (y referidos al Informe N°20 del PSAH), estos corresponden a valores reportados a la autoridad, incluidos en los informes N° 1, tal como se presenta en la Tabla N°10 del Apéndice 6.1 del PdC refundido, en la cual se verifica que la fuente de la información corresponde al Informe N°1 del PSAH.

**Tabla 1. Umbrales de activación Fase II Sistema Soncor PSAD56 y WGS84**

Umbrales de Activación WGS84							
Pozo	Tipo	Fase	Fuente	Cod Cálculo	Unidad	Aux1	Valor
L1-5	Sistema Soncor	II	Informe PSAH 20	II.1	MSNM	L1-5II	2.299,29
L1-G4 REGLILLA	Sistema Soncor	II	Informe PSAH 20	II.1	MSNM	L1-G4 REGLILLAI	2.299,30
L1-4	Sistema Soncor	II	Informe PSAH 20	II.1	MSNM	L1-4II	2.299,72
L7-4	Sistema Soncor	II	Informe PSAH 20	II.1	MSNM	L7-4II	2.302,18

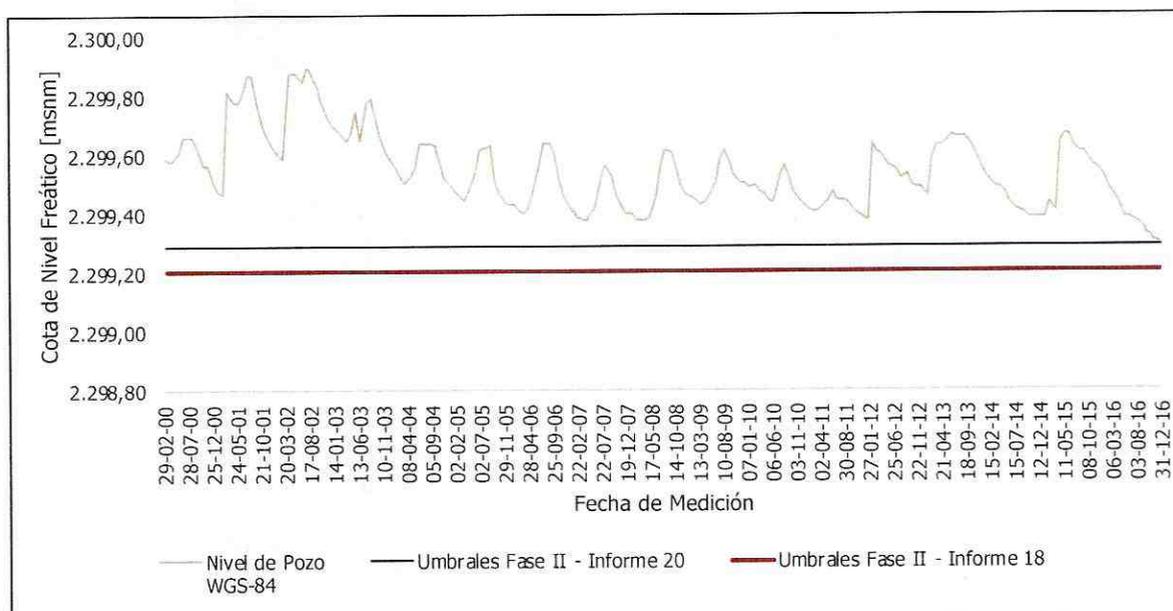
  

Umbrales de Activación PSAD56							
Pozo	Tipo	Fase	Fuente	Cod Cálculo	Unidad	Aux1	Valor
L1-5	Sistema Soncor	II	Informe PSAH 1	II.1	MSNM	L1-5II	2.298,43
L1-G4 REGLILLA	Sistema Soncor	II	Informe PSAH 1	II.1	MSNM	L1-G4 REGLILLAI	2.298,43
L1-4	Sistema Soncor	II	Informe PSAH 1	II.1	MSNM	L1-4II	2.298,86
L7-4	Sistema Soncor	II	Informe PSAH 1	II.1	MSNM	L7-4II	2.301,33

Fuente: Apéndice 6.1 PdC Refundido del Salar de Atacama

Finalmente, de acuerdo a lo presentado en las conclusiones del Apéndice 6.1 del PdC refundido, el análisis de información permite establecer que, durante el seguimiento ambiental del proyecto, no existirían activaciones de Fase II para ninguno de los pozos definidos como indicadores en los Planes de Contingencia. A mayor abundamiento, es posible afirmar que, al hacer un análisis comparativo entre los umbrales presentados en el Informe N°18 del PSAH y lo señalado como incluidos en el Informe N°20 del PSAH, no existe activación de la Fase II. Lo anterior, debido a que “*los nuevos umbrales reportados corresponden a valores mayores en cota, lo que se traduce a contar con un límite ambientalmente más restrictivo*”. En la siguiente figura se puede apreciar la relación existente entre los umbrales presentados en los Informes N°18 y N°20 del PSAH.

**Figura 2. Comparación de umbrales definidos en Informes N°18 y 20 del PSAH de Salar de Atacama**



Fuente: Elaborado en base a información presentada en Apéndice 6.1 – Planilla de cálculo del PdC refundido del Salar de Atacama.

5.2. “*Para el Sistema Vegetación Borde Este, Zona de Vegetación Hidromorfa, se considera 0,38 metros como descenso máximo para activar la Fase II, valor reportado en el Informe N°20 del PSAH. Este valor es superior al descenso máximo informado previamente por el titular, a saber, 0,33 metros, valor que fue reportado en el Informe N°18 del PSAH. En este caso, la modificación implica contar con una cota inferior de la napa, lo que se traduce a un límite ambientalmente menos restrictivo. Para efectos del Programa de Cumplimiento en curso, se recomienda solicitar al titular que acompañe un Reporte Técnico que justifique fundadamente la modificación comentada*”.

### **Respuesta**

Se reitera la respuesta indicada en el punto 5.1, en cuanto a la preminencia de la RCA 226/2006 en la operación del proyecto, a cuyas reglas mi representada debe dar cumplimiento estricto.

En tal sentido, cabe hacer presente que el Considerando 11.4.1 de la RCA 226/2006, en específico, Tabla 23, considera el umbral de 0,38 metros como descenso máximo permitido para la zona de vegetación hidromorfa, considerando que el monitoreo se inició en el mes de mayo de 2007. Así quedó expresamente contemplado en la RCA del proyecto.

Es oportuno hacer presente que, conforme al análisis que se contiene en los Apéndices 6.1 y 6.2, es posible confirmar que, ya sea con los valores reportados en el Informe N° 18, como con aquellos mencionados en el Informe N° 20, así como en todo el seguimiento de la operación del proyecto, no se ha activado la Fase II de los planes de contingencia.

*5.3. "Para el Sistema Vegetación Borde Este, Zona de Alerta Temprana, se consideran los descensos máximos reportados en el Informe N°20 del PSAH. Estos valores difieren de los descensos máximos informados previamente por el titular en el Informe N°18 del PSAH. Para efectos del Programa de Cumplimiento en curso, se recomienda solicitar al titular que acompañe un Reporte Técnico que se refiera en detalle a la modificación comentada".*

### **Respuesta**

Se reitera la respuesta indicada en el punto 5.1, en cuanto a que corresponde la aplicación de los planes de contingencia en los términos indicados por la RCA 226/2006, conforme a lo expresado en el Informe N° 20 del PSAH.

*5.4. "Para el mismo Sistema Vegetación Borde Este, Zona de Alerta Temprana, se considera necesario que el titular atienda la Observación No2 del Oficio Ord. DGA II Región N°542/2016 (adjunto N°2), transcrita a continuación":*

*"Se reitera la solicitud realizada a través de los oficios ORD. N° 287/2014 y 617/2015 de la Dirección General de Aguas Región de Antofagasta, respecto a la presentación de las simulaciones que dieron origen al establecimiento de umbrales para los pozos denominados de Alerta Temprana que forman parte del Plan de Contingencias para el sistema Borde-Este, considerando su posición definitiva, a saber, pozo L7-13 (UTM PSAD56 Norte: 7.422.831,99 metros y Este: 594.300,66 metros), pozo L2-26 (UTM PSAD56 Norte: el último Informe respondido formalmente por DGA es el N018, por medio del Oficio Ord. DGA II Región N°542/2016 (adjunto No2). De acuerdo a la plataforma SMA-OS, los*

*Informes N°19 y N°20 se encuentran en análisis de admisibilidad. 7.415.294,76 metros y Este: 593.970,98 metros), pozo L3-15 (UTM PSAD56 Norte: 7.410.040,56 metros y Este: 595.106,75 metros), pozo L4-3 (UTM PSAD56 Norte: 7.406.641,42 metros y Este: 596.297,5 metros), L9-1 (UTM PSAD56 Norte: 7.397.058,35 metros y Este: 595.046,64 metros). Así mismo, se solicita nuevamente, entregar todos los antecedentes técnicos necesarios que aclaren si las actualizaciones históricas efectuadas a los modelos numéricos han tenido alguna incidencia en la definición de los umbrales de los pozos antes individualizados, toda vez que esta información no ha sido incluida en los informes analizados, por lo que se requiere, sea presentada en el próximo PSAH a reportar ante la SMA".*

### **Respuesta**

Se reitera la respuesta indicada en el punto 5.1, en cuanto a que corresponde la aplicación de los planes de contingencia en los términos indicados por la RCA 226/2006, conforme a lo expresado en el Informe N° 20 del PSAH.

Es relevante tener presente que, conforme al Considerando 15.4 de la RCA 226/2006, la revisión periódica de los valores de activación se realiza en función de la información histórica recopilada de seguimiento ambiental (promedio, desviación estándar, descensos máximos), de manera que los planes de contingencia quedan sujetos a modificación por parte de la autoridad, en función de los nuevos antecedentes que se hayan generado.

La actualización del modelo numérico no conlleva la revisión de los valores de activación de los planes de contingencia. En efecto, la RCA contempla en su Considerando 10.2.1 el requerimiento de actualización permanente del modelo numérico, incorporando la información recopilada en el seguimiento ambiental (series actualizadas del nivel de los acuíferos, de las variables meteorológicas (precipitación y evaporación), de las recargas y de los bombeos de salmuera y de agua dulce). La actualización del modelo no constituye una instancia para revisar o ajustar las variables de seguimiento, sino que para comparar los valores predichos con los observados.

La vinculación entre los sistemas de activación de los planes de contingencia y la revisión del modelo numérico se produce en un escenario de Fase II, donde se contempla dicha revisión *“de manera de representar las anomalías detectadas”* y *“para calcular la modificación de la extracción de agua dulce que permita el funcionamiento del sistema bajo condiciones naturales”* (Considerandos 11.2.3.3, 11.3.3.2, 11.4.3), escenario que no se ha dado hasta la fecha, según se confirma del examen efectuado y que consta en los Apéndices 6.1 y 6.2 del PdC refundido.

5.5. *“Particularmente respecto de las modificaciones precisadas en los numerales 5.2 y 5.3, se observa que éstas buscarían ajustarse a las consideraciones originales de la RCA N°226/2006. Al*

*respecto, se informa que, por medio del Oficio Ord. DGA II Región N°210/2014 (adjunto No3), este Servicio validó técnicamente algunos de los ajustes realizados por el titular en el transcurso del seguimiento ambiental del proyecto, los que explican algunas de las discrepancias de umbrales y pozos de activación entre la RCA y los Informes del PSAH. En particular, se validaron los ajustes por los refinamientos topográficos ejecutados por el titular en el Sistema Soncor, las correcciones en los umbrales del Sistema Borde Este, Zona de Vegetación Hidromorfa y las modificaciones a los puntos de control que gatillan la activación del PC en el mismo Sistema Borde-Este. En consecuencia, si en esta etapa el titular postula a modificar nuevamente umbrales y pozos de activación para ajustarlos a la RCA, se deberán entregar en el mencionado Reporte Técnico todos los antecedentes pertinentes para validar las nuevas modificaciones".*

### **Respuesta**

Se reitera la respuesta indicada en el punto 5.1, en cuanto a que corresponde la aplicación de los planes de contingencia en los términos indicados por la RCA 226/2006, conforme a lo expresado en el Informe N° 20 del PSAH.

Se estima oportuno hacer presente que, a diferencia de la modificación no autorizada de los indicadores de estado y umbrales de los planes de contingencia, el levantamiento de una topografía de detalle constituye una exigencia del Considerando 10.2.1 de la RCA 226/2006, a la cual se dio debido y oportuno cumplimiento, según fuera reportado en Informe N° 1 del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico.

*5.6. "En función de las respuestas a las observaciones anteriores, las que este Departamento recomienda sean abordadas en el referido Reporte Técnico, se considera necesario que el titular re-evalúe el análisis de activación de la Fase II de los Planes de Contingencias de la RCA NO226/2006."*

### **Respuesta**

Se reitera la respuesta indicada en el punto 5.1, en cuanto a que corresponde la aplicación de los planes de contingencia en los términos indicados por la RCA 226/2006, conforme a lo expresado en el Informe N° 20 del PSAH.

En conformidad a lo expresado, corresponde el análisis del comportamiento de los niveles de los pozos y reglillas singularizados como indicadores de estado en el marco de los planes de contingencia de la RCA 226/2006, tal como se ha acreditado en la presentación del PdC refundido de 17 de octubre de 2017. En tal sentido, y como se verifica en los Apéndices 6.1 y 6.2, considerando los indicadores y umbrales establecidos en la RCA 226/2006 y reportados en el Informe PSAH N° 20, con la

corrección topográfica exigida por el Considerando 10.2.1, hasta la fecha no se ha activado la Fase II de los planes de contingencia de Soncor, Aguas de Quelana, Vegetación Borde Este, ni se han alcanzado los umbrales propuestos como Fase II para el Sistema Peine (Anexo 4.1 del PdC refundido).

Sin perjuicio de lo expresado, el análisis de activación de Fase II contenido en el Apéndice 6.1 abarca no solo los valores reportados en el Informe N° 20, sino también para todos y cada uno de los umbrales que han sido reportados históricamente en el marco del seguimiento ambiental del proyecto, de manera de garantizar que, en ningún momento y bajo ningún sistema de referencia, se han alcanzado los umbrales previstos para Fase II.

*6. "Respecto del Apéndice 6.2: 'Informe sobre Validación de los datos utilizados por Montblanc Consulting para Medición de Pozos Asociados a los Sistemas a proteger contemplados en los Planes de Contingencias (PC) y su contrastación con similares datos de medición informados periódicamente por SQM Salar S.A. a la Superintendencia del Medio Ambiente', el documento concluye que un 1,25% de los registros utilizados en el Apéndice 6.1 posee diferencias mayores a 0,5 centímetros que no tendrían un comportamiento explicable. Al respecto, se considera necesario solicitar al titular que se refiera en extenso a este resultado, entregando los antecedentes para justificar las diferencias detectadas".*

### **Respuesta**

En la Tabla I se presentan los 17 registros con diferencias mayores a 0,5 centímetros. Las explicaciones sobre estas diferencias se exponen a continuación:

- Pozo L1-3: Para los 7 valores distintos de este pozo, la diferencia se produce por el redondeo de la última cifra, utilizando una cota de referencia igual 2326,87, en vez de 2326,867. Por ejemplo, para la medición de terreno de 7,474 m del 20-02-2013 ocurren los dos siguientes casos:
  - i) Utilizando un valor de la cota de punto de referencia igual a 2326, 87 se obtiene un nivel de agua subterránea de 2319,40 msnm, igual al reportado en el Informe 13 del PSAH.
  - ii) En cambio, utilizando un valor de la cota de referencia de 2326,867 msnm se obtiene un nivel de agua subterránea igual 2319,39 msnm, idéntico al valor presentado por el informe del Apéndice 6.1 del PdC refundido.
- Reglilla L1-G4: Para los 3 registros asociados a este punto, se reportaron los valores del L1-4 (Pozo), en lugar de los valores de la Reglilla L1-G4. La distancia entre la Reglilla L1-G4 y el Pozo L1-G4 es de 84 centímetros. Las coordenadas para ambos puntos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 2 Coordenadas L1-G4 Pozo y L1G4 Reglilla

POZO	DATUM WGS-84		DISTANCIA (m)
	UTM NORTE (m)	UTM ESTE (m)	
L1-G4 Pozo	7.414.816,62	585210,67	0,84
L1-G4 Reglilla	7.414.816,88	585.209,91	

Fuente: Elaboración propia

- Los valores discordantes dentro de los pozos L2-27, L3-16, L3-3, L4-12 y L5-10 corresponden a simples errores de tipeo. El resumen de las diferencias se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3 Diferencias de valores

Pozo	Fecha	Nivel Reportado Informes PSAH (msnm)	Nivel Acuífero Montblanc Valor Correcto (msnm)	DATUM
L2-27	20-12-15	2311,00	2310,97	WGS-84
L3-15	20-05-14	2314,70	2314,71	PSAD-56
L3-3	20-10-15	2311,98	2310,98	WGS-84
L4-12	14-08-14	2298,96	2298,95	PSAD-56
L5-10	16-10-15	2300,24	2300,14	WGS-84
L5-10	25-11-15	2300,20	2300,11	WGS-84
L5-10	17-12-15	2300,20	2300,09	WGS-84

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Tabla 4, que se presenta a continuación con los valores rectificadas conforme a las explicaciones precedentes, se observa que en ningún momento para los valores presentados en los Informes del PSAH se han sobrepasado los umbrales de Fase II.

Tabla 4 Valores rectificandos

N° Pozo	Fecha	Nivel Reportado Informes PSAH (msnm)	Fuente	DATUM	Punto de referencia Reportado Informe PSAH (msnm)	Valor Montblanc (m)	Nivel Acuífero Montblanc (msnm)	Dif.	Cota Fase 2 (msnm)	Distancia a Fase II (m)
1 L1-3	20-02-13	2319,40	Inf. 13	PSAD-56	2326,867	7,474	2319,393	-0,007	2318,56	0,84
2 L1-3	20-05-13	2319,41	Inf. 13	PSAD-56	2326,867	7,463	2319,404	-0,006	2318,56	0,85
3 L1-3	20-07-13	2319,41	Inf. 14	PSAD-56	2326,867	7,465	2319,402	-0,008	2318,56	0,85
4 L1-3	20-08-13	2319,39	Inf. 14	PSAD-56	2326,867	7,485	2319,382	-0,008	2318,56	0,83
5 L1-3	20-11-13	2319,37	Inf. 14	PSAD-56	2326,867	7,504	2319,363	-0,007	2318,56	0,81
6 L1-3	20-06-14	2319,33	Inf. 15	PSAD-56	2326,867	7,545	2319,322	-0,008	2318,56	0,77
7 L1-3	20-09-14	2319,32	Inf. 16	PSAD-56	2326,867	7,555	2319,312	-0,008	2318,56	0,76
8 L1-G4	20-01-14	2298,69	Inf. 15	PSAD-56	2299,300	0,628	2298,67	-0,018	2298,43	0,26
9 L1-G4	20-07-14	2298,57	Inf. 16	PSAD-56	2299,300	0,738	2298,56	-0,008	2298,43	0,14
10 L1-G4	20-11-14	2298,53	Inf. 16	PSAD-56	2299,300	0,778	2298,52	-0,008	2298,43	0,10
11 L2-27	20-12-15	2311,00	Inf. 18	WGS-84	2312,887	1,921	2310,97	-0,034	2310,38	0,62
12 L3-15	20-05-14	2314,70	Inf. 15	PSAD-56	2319,175	4,465	2314,71	0,010	2314,46	0,24
13 L3-3	20-10-15	2311,98	Inf. 18	WGS-84	2314,614	3,630	2310,98	-0,996	2310,20	1,78
14 L4-12	14-08-14	2298,96	Inf. 16	PSAD-56	2300,032	1,087	2298,95	-0,015	2298,69	0,27
15 L5-10	16-10-15	2300,24	Inf. 18	WGS-84	2301,595	1,457	2300,14	-0,102	2299,94	0,30
16 L5-10	25-11-15	2300,20	Inf. 18	WGS-84	2301,595	1,488	2300,11	-0,093	2299,94	0,26
17 L5-10	17-12-15	2300,20	Inf. 18	WGS-84	2301,595	1,508	2300,09	-0,113	2299,94	0,26

Fuente: Elaboración propia

**b. RESPUESTAS A LAS OBSERVACIONES FORMULADAS MEDIANTE OF. ORD. DGA II N° 764/2017, DE LA DIRECCIÓN REGIONAL DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS**

**1. Observaciones Generales**

*1.1 "Acerca de las unidades hidrogeológicas, el Informe del modelo conceptual y sus Anexos no permiten a este Servicio arribar a una adecuada comprensión de las geometrías y las propiedades hidráulicas asignadas a las unidades y subunidades hidrogeológicas que se establecen. Así también, el informe incluye un cambio en la conceptualización asumida para el salar, reemplazando el efecto de una barrera de baja permeabilidad en el entorno del núcleo, por subunidades hidrogeológicas en la zona marginal y una interfaz salina que se genera por la interacción del acuífero de agua dulce y las salmueras del núcleo del salar. Se solicita al titular acompañar la información técnica pertinente para respaldar la conceptualización de las unidades hidrogeológicas y para justificar debidamente la existencia y dinámica de la interfaz salina."*

**Respuesta**

Referente a las geometrías y las propiedades hidráulicas asignadas a las Unidades Hidrogeológicas, en el Capítulo 5.4.4 Unidades y Parámetros Hidrogeológicos, página 102 del Informe del Modelo Conceptual, se describen éstas con detalles. Además, en la Tabla 5.9 se recogen las características litológicas y los parámetros hidráulicos relevantes para el modelo numérico.

Tabla 5.9 Definición de las Unidades Hidrogeológicas y Parámetros Hidráulicos. (Fuente: Elaboración propia)

Unidades	Núcleo		Zona Marginal		Zona Aluvial	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Unidad A	Halita	K (1-1000) S (0.05 – 0.1)	Niveles limo-arcillosos y sales	K (1-10) S (0.05 – 0.35)	Depósitos aluviales: gravas con matriz de arcillas y limos	K (10 – 100) S (0.1 - 0.35)
Unidad AB	Limos y arcillas plásticas	K (0.1-1) S (1e-5)	Niveles de arena limos - arcillas e intercalaciones de niveles evaporitas	K (0.1-1) S (1e-5)	Depósitos aluviales: gravas con matriz de arena y limos	K (0.1-20) S (1e-5)
Unidad B	Halita pura y halita con sedimentos (arcillas, limos, arenas)	K (0.1-10) S (1e-5)	Halita	K (1-10) S (1e-5)	Arenas y limos	K (1-20) S (1e-5)

(1) Litología, (2) Parámetros Hidráulicos (K (m/día), S)

Referente a la existencia y dinámica de la interfaz salina, se presentan a continuación los fundamentos técnicos, para luego revisar su aplicabilidad al Salar de Atacama.

#### a) Fundamentos

El contacto entre dos fluidos miscibles, pero de diferente densidad, se caracteriza por una zona de mezcla, también llamada zona de interfaz. Es el resultado del equilibrio dinámico del movimiento de agua dulce y salada (Custodio y Bruggeman, 1987; Custodio y Llamas, 1976; Dentz et al., 2006), donde la relación entre las concentraciones de ambos fluidos corresponde a una relación estequiométrica. Ambos fluidos se mezclan por dispersión hidrodinámica (Abarca et al., 2007; Souza y Voss, 1987). En algunos casos, se considera que una interfaz abrupta simplifica el problema (Strack, 1976). Este enfoque asume la inmiscibilidad de los fluidos y descuida la mezcla entre ellos (Pool y Carrera, 2011).

En los salares, donde los contrastes de densidad son mucho mayores que en los acuíferos costeros, se desarrolla una zona de mezcla como resultado de un equilibrio físico entre la recarga y el agua evaporada, pero su posición y geometría son más difíciles de predecir. Esto se debe a que en los salares la salmuera se genera *in situ* como resultado de la evaporación (Acosta y Custodio, 2008), y la recarga y la evaporación están fuertemente sujetas a las oscilaciones climáticas (Tyler et al., 2006).

La extracción de salmuera también puede afectar la dinámica de la zona de mezcla en períodos cortos de tiempo, de forma similar a la extracción de agua dulce en los acuíferos costeros (Oude-Essink, 2001). La evaporación ocurre tanto en el núcleo como en la zona marginal, independientemente de si se trata de una superficie de agua libre (lagunas marginales) o un nivel freático poco profundo.

Es necesario conocer en detalle las características de la zona de mezcla cuando se manejan los recursos mineros y los ecosistemas asociados de alto valor ecológico (Abarca y Prabhakar Clement, 2009). La mejor herramienta de gestión es un modelo numérico (Gorelick, 1983), que se puede construir teniendo en cuenta los efectos de la densidad variable. Estos modelos son costosos de llevar a cabo en casos bidimensionales (2D) y muy difíciles en los casos tridimensionales (3D) a escala regional (Oude-Essink y Boekelman, 1996). Sin embargo, los modelos a escala regional 3D son necesarios para la gestión de cualquier sistema hidrogeológico. En el caso de los sistemas costeros, este problema se resuelve de dos maneras: (1) despreciando los efectos de la densidad variable y asumiendo algunas simplificaciones, o (2) convirtiendo las presiones de las aguas marinas y de densidad variable en presiones equivalentes de agua dulce (Custodio y Bruggeman, 1987; Lu y otros, 2015; Maas y Emke, 1989; van Dam, 1977). Esta solución, a pesar de ser solo una aproximación a la situación real (Post et al., 2007), es la elegida para modelar muchos sistemas costeros. Sin embargo, hasta la fecha, no hay evidencia de que se haya propuesto una metodología similar para el estudio y manejo de salares. Además, las simplificaciones que se asumen frecuentemente en los acuíferos costeros, como despreciar las variaciones de densidad cuando la advección es dominante sobre la convección (Iribar et al., 1997; Pool et al., 2015; Vázquez-Suñé et al., 2006), no son asumibles en los salares.

#### b) Aplicación al Salar de Atacama

Para solucionar esta cuestión en el Salar de Atacama (NE de Chile) se han tenido en cuenta diversos aspectos. La superficie piezométrica regional muestra un flujo concéntrico que se extiende desde las áreas más altas hasta el depocentro de la cuenca. Los gradientes hidráulicos son muy pequeños debido, entre otros factores, a una baja recarga por los controles climáticos hiperáridos, especialmente en el núcleo y las zonas marginales donde estos gradientes son casi nulos (Salas et al., 2010). En la Zona Marginal, el agua subterránea alcanza la superficie terrestre mediante el desarrollo de una zona de interfaz agua dulce y salmuera, como resultado del contraste de densidad.

La dinámica de flujo descrita para las lagunas y humedales relacionados con la zona de mezcla es la consecuencia directa de las variaciones de densidad. Si se desprecia la dependencia de la densidad del flujo, la zona de descarga prevista es el núcleo; las líneas de flujo tienen su origen en las zonas

altas montañosas y terminan en el núcleo, a diferencia de la situación real en la que las trayectorias de flujo terminan en la Zona Marginal. Esto ocurriría porque si los datos del nivel hidráulico se analizan directamente, el área con mínimo piezométrico se sitúa en las áreas centro-este y centro-noreste, similar a lo obtenido en trabajos previos (Salas et al., 2010). Una solución factible para poder modelar este efecto sería aplicar una metodología de corrección de densidad similar a la aplicada a los acuíferos costeros (Luszczynski, 1961), transformando los niveles de agua salada a niveles equivalentes de agua dulce.

A diferencia de los acuíferos costeros, en el caso de los salares, el foco de interés, el mayor número de puntos de observación y pozos de bombeo disponibles se encuentran en el núcleo y la zona de mezcla, pero no en la zona de agua dulce (área de recarga). Por esta razón, es mucho más útil desarrollar una solución que permita una corrección de los niveles de agua en la dirección opuesta; es decir, transformar los niveles de agua dulce en niveles equivalentes de salmuera.

En el caso del Salar de Atacama existen restricciones estrictas de los planes de contingencia (RCA N° 226/2006) para la extracción de salmuera establecidos por las autoridades ambientales para preservar el estado original de los ecosistemas lagunares y de las zonas marginales. Estas medidas imponen umbrales para el descenso del nivel piezométrico en ciertas áreas del núcleo y la zona marginal, que deben ser monitoreadas e informadas regularmente en los planes de seguimiento ambiental. Por lo tanto, es mucho más apropiado no aplicar la corrección de densidad en esta área, sino en la zona relativa de agua dulce (zona marginal aluvial y externa), a fin de reducir la incertidumbre. En este caso, las lagunas y zonas marginales coincidirían con las zonas de mínimos piezométricos.

Hasta la fecha se han realizado algunos trabajos y modelos numéricos tridimensionales que tratan de diversas maneras este problema. Por ejemplo, Muñoz-Pardo y Ortiz-Astete (2004) realizaron un modelo numérico 3D del núcleo y la zona marginal del Salar despreciando los efectos de densidad, aunque reconocieron un rango de densidades entre 0.99 y 1.22 kg/L. También Ortiz et al. (2014) muestran un mapa piezométrico del sistema lagunar Soncor sin tener en cuenta los efectos de densidad. Salas et al. (2010) es el único trabajo en el que se han tenido en cuenta los efectos de la densidad, pero solo realizan el mapa piezométrico en la zona marginal, por lo que no dan una respuesta hidráulica regional. La metodología seguida para la corrección no se especifica, ni las líneas de trayectoria del flujo parecen describir el comportamiento típico de una zona de mezcla de agua dulce y salmuera, dejando la mínima cantidad de agua en el núcleo, en lo que parece una corrección ligeramente infravalorada.

En la presente actualización, se ha propuesto una metodología basada en la corrección de los niveles de agua dulce a niveles de salmuera equivalente, que requiere una caracterización detallada de la zona de mezcla, como se explica a continuación. Esta metodología asume que el acoplamiento de flujo y transporte de sales ocurre solo a través de las condiciones de contorno o ajustando los niveles hidráulicos corregidos, mientras se desprecian los efectos de las variaciones de densidad dentro del dominio modelado. La metodología utilizada se ha dividido en tres pasos: (1) recolección, validación e interpretación de datos hidroquímicos, (2) identificación y mapeo tridimensional de la zona de mezcla y, (3) aplicación de una corrección de los niveles de agua dulce y mezcla a niveles equivalentes de salmuera.

- El primer paso consistió en recopilar la mayor cantidad de datos posible para caracterizar la zona de mezcla en detalle. Se usaron más de trescientos puntos de observación disponibles con una larga historia de datos de nivel, fisicoquímicos e hidroquímicos. Además, es necesario conocer la profundidad del pozo, la sección abierta o ranurada y su estado, y la hidroestratigrafía más cercana para conocer el origen y el significado de cada muestra de agua. De lo contrario, una muestra de agua no tiene valor y no es posible aplicar ningún tipo de corrección o interpretación, como se explica a continuación. Todos estos datos son necesarios para abordar los dos pasos finales.
- El segundo paso consistió en la identificación, caracterización y mapeo 3D de la zona de mezcla de agua dulce y salmuera.
- El tercer paso consistió en la aplicación de una corrección de densidad variable que permite incorporar una buena aproximación del comportamiento hidráulico de la zona de mezcla, pero a bajo costo computacional.

En relación a la conceptualización de la Barrera Hidráulica, corresponde indicar lo siguiente:

Tanto en los trabajos de RWL (SGA, 2015), como en la 2ª y 3ª actualizaciones *del Modelo de Flujo de Agua Subterránea en el Salar de Atacama según RCA N° 226/2006*, se realizó la modelización numérica tridimensional, pero debido a la imposibilidad de obtener una solución numérica que explique los gradientes hidráulicos y las líneas de flujo de descarga regional en las lagunas en la zona de mezcla (sin efectos de densidad y corrección de densidad), se agregaron zonas baja permeabilidad con la idea de simular una barrera hidráulica, representando la zona de mezcla donde la presencia de precipitados y materiales finos pudiera justificar la existencia de una barrera. Esta barrera bloquea las líneas de flujo, que se dirigen hacia el núcleo salado y las obliga a ascender. Esta solución no permite el flujo en la zona de mezcla. Por esta razón, en esta nueva actualización del modelo se ha optado por descartar esta opción ya que el objetivo principal del modelado regional del Salar es evaluar los

efectos del bombeo o los cambios climáticos en el sistema hidrogeológico, y principalmente en la zona Marginal (zona de mezcla), donde se encuentran los procesos y desarrollo de ecosistemas más sensibles.

*1.2 "Acerca de los archivos reportados en la carpeta digital Modelo Conceptual de la revisión efectuada a los archivos Excel "Balance.xlsx", "Evaporación.xlsx" y "Recarga.xlsx" (...). En consecuencia, se solicita complementar las planillas Excel y generar un documento Anexo que permita explicar los resultados informados en cada planilla de cálculo, antecedentes que resultan fundamentales para sustentar y entender cabalmente el nuevo balance hídrico propuesto por el titular"*

### **Respuesta**

Para efectos de abordar la solicitud, se explica a continuación el funcionamiento y estructura de los archivos "Anexo 01 Recarga.xlsx", "Anexo 02 Evaporación.xlsx" y "Anexo 03 Balance.xlsx", de acuerdo con lo solicitado en la observación 1.2 del Ord. 764 realizada la DGA. Así, para cada archivo se explica el contenido de sus pestañas. Esto, sin desmedro de los nuevos comentarios incluidos directamente en las planillas Excel en cuestión.

#### **Archivo "Recarga.xlsx"**

1. Hoja CALCULOS
  - 1.1. Se añaden las series de lluvia diarias (mm/d): datos medidos (columna en negro) y datos rellenados (columna en rojo)
  - 1.2. Se agrupan los episodios (columna P)
  - 1.3. Se realiza un sumatorio de lluvia por estación y por episodio (de la columna Q a la AC)
  - 1.4. Se selecciona del sumatorio anterior correspondiente a cada episodio agrupado y se le asigna una fecha de inicio (de la columna AE a la AQ)
  - 1.5. Se descuentan 5 mm por episodio y por estación (de la columna AS a la BE)
2. Hoja lluvia diaria-episodios
  - 2.1. Se copia de la Hoja CALCULOS de la columna AS a la BE (punto 1.5) y se le añade la columna inicial de fecha (columna B de la Hoja CALCULOS)
3. Hoja episodios
  - 3.1. Se muestran los datos filtrados de la hoja "lluvia diaria-episodios". Corresponden a las filas con los sumatorios de los episodios incluyendo la fecha de inicio del episodio.
4. Hoja EPISODIOS a GIS
  - 4.1. Se transpone los datos de la Hoja anterior
  - 4.2. Se añaden los datos de localización de las estaciones meteorológicas (Coordenadas)
  - 4.3. Se utilizan los datos de esta tabla para realizar los pasos indicados en el cuadro de texto verde.
5. Hoja FT raster

- 5.1. Excel extraído del proceso explicado en el recuadro verde de la Hoja EPISODIOS a GIS, en el que se generan una serie de funciones con las que se ha calculado el valor de las funciones temporales para cada polígono de zona de recarga.
6. Hoja Sheet1
  - 6.1. Planilla provisional para transponer la tabla presentada en Hoja FT raster.
7. Hoja FT raster TOT
  - 7.1. Se presenta de nuevo la tabla transpuesta en la Hoja FT raster, en la que se indican los diferentes eventos en cada una de las zonas de recarga propuestas en el modelo.
8. Hoja FT
  - 8.1. Se vuelven a intercalar los datos de los episodios de lluvia (ahora asignados a zonas de recarga concretas del modelo) entre todo el tiempo simulados para el modelo (1986-2015).
9. Hoja FT%10
  - 9.1. Se presenta la información de la tabla presentada en la Hoja anterior "FT", en sumatorio cada 10 días (Sumatorio de datos del día 1 al 10 para cada zona de recarga). Esto es debido a que el modelo realiza pasos de tiempo cada 10 días (1 paso de tiempo = 10 días), por lo que los episodios de recarga de la cuenca se representan de la misma manera.
10. Sheet2
  - 10.1. Se realiza un cambio de conversión en las unidades de los datos (de mm/d a mm/año) presentados en la Hoja anterior "FT%10", por tal de introducir al modelo los valores de recarga en valor unitario para cada zona.

#### Archivo "Evaporación.xlsx"

1. Hojas A12 EVS; A10 EVS; A9 EVS; A7 EVS; A3 EVS
  - 1.1. En cada una de las pestañas se presentan los datos de variación de profundidad y evaporación para cada una de las áreas (extraídos de Matraz). Se representan 3 líneas de tendencia sobre estos datos, de manera que obtenemos una curva máxima, media y mínima (Negra, azul y verde). A partir de estas, se calculan valores de evaporación a diferentes profundidades estándar. Todas estas parten de un valor predeterminado (6mm) establecido para la ecuación de Phillips (este término queda descrito en el informe).
2. Hoja TODAS EVS
  - 2.1. Se presenta una tabla con la recolección de datos de todas las áreas. Se calcula además las 3 líneas de tendencia para los datos totales.
3. Hoja Calculos FT\_EV
  - 3.1. Se presentan los datos iniciales de evaporación correspondientes a la estación KCI (Columnas A y B).
  - 3.2. Por otro lado, se calcula una función anual de evaporación (Columnas I-M) a partir de los cálculos realizados en las hojas anteriores (valores mínimo, medio y máximo) y la variación de profundidades de nivel (en este caso se realiza para el área A3 como ejemplo). Esta función normalizada sirve para observar la relación entre profundidad y evaporación.
4. Hoja FT\_EV
  - 4.1. Se presenta un ejemplo de la función anual calculada en la hoja Calculos FT\_EV, extendida para todos los tiempos del modelo. Esta extensión se realiza a partir de una interpolación lineal de los datos entre valores calculados anteriormente (datos mensuales a día 15). Además, se muestra el ejemplo de aplicación de esta función creada, para calcular la función de una zona determinada a partir de su valor promedio de evaporación.

#### Archivo "Balance.xlsx"

1. Hoja Areas\_km2\_subcuencas

- 1.1. Se muestran dos tablas resumen donde se indican las dimensiones de las subcuencas propuestas como áreas de Recarga- Evaporación y subcuencas aportantes. Incluyen modificaciones en las áreas finales.
  2. Áreas lagunas modelo
    - 2.1. Se muestra una tabla donde se indica las dimensiones de las lagunas a partir de la proyección de imagen en GIS.
  3. Hoja Datos estadísticos
- 3.1. Se presentan datos de precipitación para cada zona y subcuenca del modelo. Estos valores de extraen del cálculo realizado con la herramienta ArcGIS Stadistical, a partir de las áreas y los mapas de isoyetas creados con los datos de precipitación.
4. Precipitación Total Zona modelo
  - 4.1. Se muestran los datos de precipitación por áreas y sistemas lagunares en mm/a y l/s.
5. Aforos Modelo
  - 5.1. Se presentan principalmente datos de caudal promedio e infiltración para el área del modelo a partir de las Quebrada y aportes al Salar. Datos extraídos del apartado recarga del informe de la 4ª actualización.
6. Cuencas externas
  - 6.1. Se muestran dos tablas donde se representan las recargas laterales y directas de las subcuencas adjuntas a la zona modelada. Se realizan los cálculos necesarios para representar las entradas y salidas teniendo en cuenta los datos de precipitación total en las áreas, y los parámetros de detención y escorrentía.
7. Zona Modelo Numérico
  - 7.1. Se representa progresivamente el cálculo para el balance final del modelo.
  - 7.2. Se muestra una primera tabla (G:U) en la que se calculan los datos de recarga y evaporación a partir de la precipitación en cada zona y la tasa de evaporación correspondiente.
  - 7.3. Se muestra una tabla resumen (AC:AG) de los datos calculados en la tabla anterior más los correspondientes a las cuencas exteriores (extraídos de la hoja Cuencas exteriores), por tal de obtener unos valores totales del Sector de estudio.
- 7.4. Se muestra una tabla resumen sumatorio (AO:AY) con el balance general para el área de estudio modelada (incluyendo las recargas y evaporaciones de las cuencas adyacentes). En esta se representan los valores mostrados en la Figura de Balance en cajas del informe 4ª Actualización. En esta tabla se consideran además los flujos subterráneos entre las diferentes zonas como recarga lateral.
- 7.5. Se presenta una tabla resumen final (AP24:AS29) en la que se muestran los valores finales de entradas y salidas en el modelo en comparación con los valores calibrados.

## **2. Observaciones específicas**

### **2.1 Precipitación**

*2.1.1 "En el apartado 5.2.2.1 del Informe Modelo Hidrogeológico Conceptual, se hace referencia al Anexo V-2C: "Tratamiento de los datos meteorológicos" (...) no resulta posible para este Servicio entender cabalmente el procedimiento seguido para completar las series de datos de precipitación en las distintas estaciones (...) no se encuentra una descripción pormenorizada de los datos utilizados*

*y la metodología seguida para generar las líneas de isoyetas (...) se solicita complementar el citado anexo atendiendo las observaciones del Servicio".*

### **Respuesta**

Respecto al procedimiento seguido para el relleno de las series de datos de precipitación de las distintas estaciones, en el Anexo V-2E: Tratamiento de datos Meteorológicos, concretamente en la página 94 de este Anexo, encontramos el Capítulo de "Metodología para el relleno de series", dónde se explica con detalle cuál ha sido el procedimiento.

A continuación, en relación a la descripción pormenorizada de los datos utilizados, en el informe de la Cuarta Actualización, en el Capítulo 5.2.2.1. Precipitación (página 69), se menciona las estaciones meteorológicas en las que se ha basado el análisis, el rango de fechas de los datos existentes y la frecuencia de la medida del dato. Además, en el Anexo V-2E: Tratamiento de datos Meteorológicos, se describe con más detalle los datos brutos disponibles por año y estación, la correlación entre estaciones (necesaria para el relleno de los datos), y las tablas de las series completadas de los datos por estación.

Referente a la metodología para la elaboración de las líneas de isoyetas, tanto para la media como para las isoyetas para cada episodio de precipitación, en el período de 1978 – 2015, el procedimiento ha sido el siguiente:

1. Agrupar las precipitaciones por episodios
2. Para cada episodio se interpolan los datos de las estaciones mediante el método de mínima curvatura.
3. Si hay valores  $<0$ , se les asigna 0  $\rightarrow$  se obtiene el Ráster de distribución de isoyetas para cada episodio en el período de 1978 – 2015, en toda la Cuenca.

*2.1.2 "De los resultados en cuanto a precipitación media, en el Anexo V-4H se menciona la similitud entre las isoyetas obtenidas por el titular con las de DGA (1987). Sin embargo, de una comparación visual entre la Figura XXXVII (DGA, 1987) y la Figura XXXVIII (SQM, 2015), se evidencia que en la versión del titular la precipitación es mayor en el núcleo y se minimiza en las cotas superiores, con lo cual los resultados no resultan comparables con los datos de la DGA. De lo anteriormente expuesto, se solicita al titular aclarar técnicamente las dudas y presentar los datos históricos de lluvia en formato Excel".*

### **Respuesta**

Respecto a las figuras mencionadas, y que se replican a continuación, se evidencia una gran similitud entre ambas, la mayor disponibilidad de información a esta fecha permite una mayor discretización de las líneas de isoyetas que se presentan, sin embargo, a escala regional existe coherencia entre ambas figuras. En ambos casos, la precipitación es menor en la zona del Núcleo (entre 5 – 25 mm), y aumenta hacia las cotas superiores.

En lo que respecta a los datos históricos de lluvia, se encuentran en el archivo digital del Modelo Conceptual de “Recarga.xlsx”.

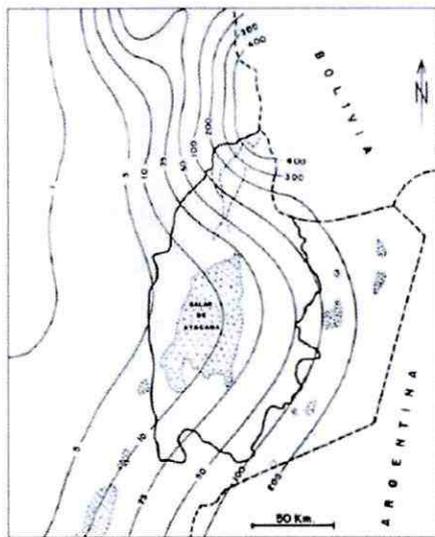


Figura XXXVII Mapa de isoyetas para la precipitación promedio (Fuente: DGA, 1987).



Figura XXXVIII. Mapa de isoyetas para la precipitación promedio (1978-2015) (Fuente: Elaboración propia)

## 2.2 Evaporación

2.2.1 "Respecto del Anexo V-4I: "Evaporación", el titular concluye que la evaporación total en el área de estudio considerada (Figura XLIII) se cuantificó en 16.024 l/s. En cuanto a la metodología

*utilizada, se concluye que el uso de ecuaciones del tipo exponencial resulta muy sensible a la profundidad del nivel freático, esto especialmente para zonas con profundidades del nivel freático entre 0 y 0,5 m. Consistentemente, se verificó en la Figura XLIV que todo el núcleo y parte importante del resto del área de estudio presenta niveles freáticos someros dentro del rango 0 a 0,5 m de profundidad (...) este servicio releva importantes incertidumbres sobre la metodología y resultados obtenidos, formulándose las siguientes observaciones".*

### **Respuesta**

Efectivamente, las funciones que definen la evaporación en función de la profundidad del nivel freático son del tipo exponencial (Phillip), razón por la cual el resultado es altamente sensible a la profundidad. por otro lado, los valores de nivel que se presentan han sido reportados por terceros, quienes dan cuenta que en el periodo pre-explotación los niveles se encontraban muy someros y a partir de lo cual los resultados obtenidos difieren sustantivamente de otras estimaciones.

*2.2.2 "En el título "I Cuantificación de la evaporación" (página 8 del Anexo V-4I), el titular señala haber utilizado "medidas de evaporación en lisímetros de la red de control existente y de otros estudios puntuales" (...). Al respecto, se solicita: (1) Informar detalladamente las condiciones de instalación y medición utilizadas para la generación de datos de evaporación de lisímetros instalados por SQM, y (2) informar la ubicación de los lisímetros del titular, toda vez que la Figura XLII corresponde a las zonas y puntos de medición del proyecto de RWL".*

### **Respuesta**

Referente al punto (1), a continuación, se detallan las condiciones de instalación y medición utilizadas para la generación de datos de evaporación mediante los lisímetros instalados por SQM:

- El diseño, método constructivo y funcionamiento del lisímetro está basado en diferentes trabajos relacionados con la estimación de recarga y el balance hídrico en el suelo, realizados tanto en Chile como en el extranjero. Así, el lisímetro representa una herramienta ampliamente utilizada, validada y confiable para la estimación de la recarga y la evaporación.
- Entre los lisímetros se distinguen dos tipos, los monolíticos y los re-construidos. El primer tipo fue el que se implementó en el trabajo desarrollado por SQM. Éste contiene una muestra inalterada del suelo, representando por este motivo mejor las condiciones naturales del terreno. El lisímetro re-construido se obtiene mediante la réplica manual de los diferentes horizontes edáficos en su interior (Howell *et al.*, 1991).

- El diseño de los lisímetros utilizados en este trabajo considera tuberías de PVC hidráulico de 400 mm de diámetro, cortados en tramos de 0,7 y 1,2 m de largo, para armar los respectivos tanques de carga (agua) y de ensayo (suelo) (**Figura 3**). Las conexiones y tapas, así como la línea que une ambos depósitos fueron construidas en taller especializado (ARTIPLAST).
- Dado que los estanques están conectados, es posible registrar la carga hidráulica que ocurre en el interior de ambos. Lo anterior presupone que la única vía de escape o salida del agua sea a través de la muestra de suelo por evaporación. Este formato de implementación y registro de niveles se conoce como lisímetro de carga variable.
- Las tapas superiores del tanque de agua incluyen agujeros para insertar dos tubos, que permiten su llenado y la colocación del transductor de presión. La tapa inferior del tanque que contiene la muestra inalterada de suelo incluye una rejilla, que permite separar la muestra de suelo de una capa de engravillado. A esta rejilla se agrega una membrana geotextil permeable que impide el paso de finos. El engravillado y la membrana geotextil permiten un traspaso de agua entre tanques evitando disturbación en la estructura inferior del suelo debido al flujo.
- Las conexiones entre tubos de PVC se realizan mediante tuberías flexibles y *fittings* herméticos asegurando una mayor durabilidad. Una llave de paso controla el flujo entre tanques habilitada en superficie a través de una línea de aire. La excavación realizada durante la instalación de los equipos es cubierta con tierra.
- El agua que se utiliza en el estanque de carga es propia del sector donde se ubica el lisímetro y del lugar donde se capturó la muestra de suelo inalterada. El uso de un agua distinta podría generar dilución de sales que se encuentran en la matriz de suelo o reacciones químicas que modifiquen la estructura del mismo.
- Para un correcto balance que incluya las entradas por precipitación al volumen de control y las variaciones de nivel dentro del lisímetro que ésta produce, al lado del lisímetro, en la superficie se instaló una estación meteorológica compacta.
- El nivel que se observa en el estanque de carga (agua) corresponde con el nivel en el estanque de ensayo (suelo). Dichos niveles son medidos a través de un transductor de presión ubicado en el estanque de carga. Tanto los datos de estos niveles como los de precipitaciones se guardan en el datalogger instalado en la estación meteorológica compacta. Los datos almacenados son recogidos o descargados por personal habilitado de SQM cada dos meses.

- La ubicación e identificación de los lisímetros está relacionada con las áreas de mayor evaporación identificadas por Mardones (1986).
- Cabe señalar que el diseño constructivo de los lisímetros implementados por SQM es equivalente al de los lisímetros implementados por el Departamento de Estudios y Planificación de la Dirección General de Aguas, a través del proyecto “Análisis de los Mecanismos de Evaporación y Evaluación de los Recursos Hídricos del Salar de Atacama”, desarrollado por ICASS LTDA, S.I.T. N°357, diciembre 2014.

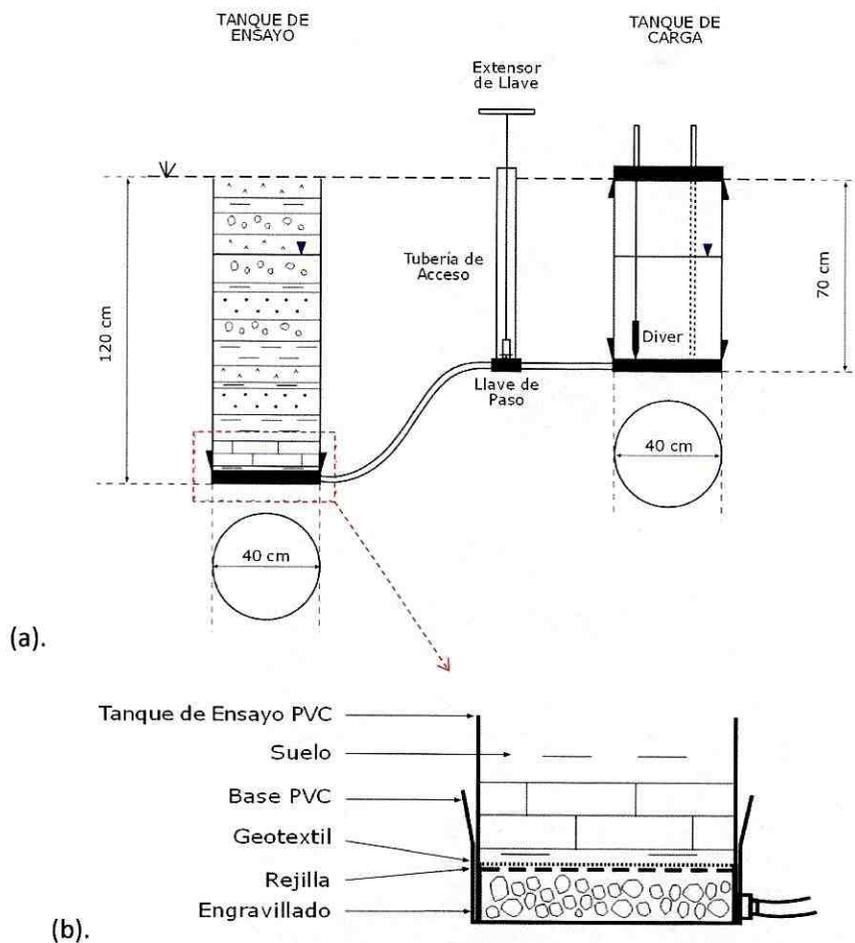


Figura 3 (a). Diseño constructivo de lisímetro instalado.  
 (b). Detalle de tapa de fondo de estanque de ensayo (muestra de suelo).



Figura 4 Fotografía de lisímetro instalado por SQM en Salar de Atacama.

Lisímetro SQM	Coordenada UTM Datum PSAD56	
	Norte (m)	Este (m)
LZA10-1	7373784,68	578874,95
LZA7-1	7394436,44	591883,24
LZA7-2	7389065,82	594075,17
LZA3-1	7403939,30	591105,61
LZA3-2	7408849,47	590833,01
LZA12-2	7395280,40	593406,55
LZA12-3	7451878,30	589360,87
LZA12-1	7418034,51	592207,92
LZA3-3	7416630,68	590824,89
LZA9-1	7380826,37	584498,69

Tabla 5 Coordenadas de ubicación de lisímetros instalados por SQM en Salar de Atacama.

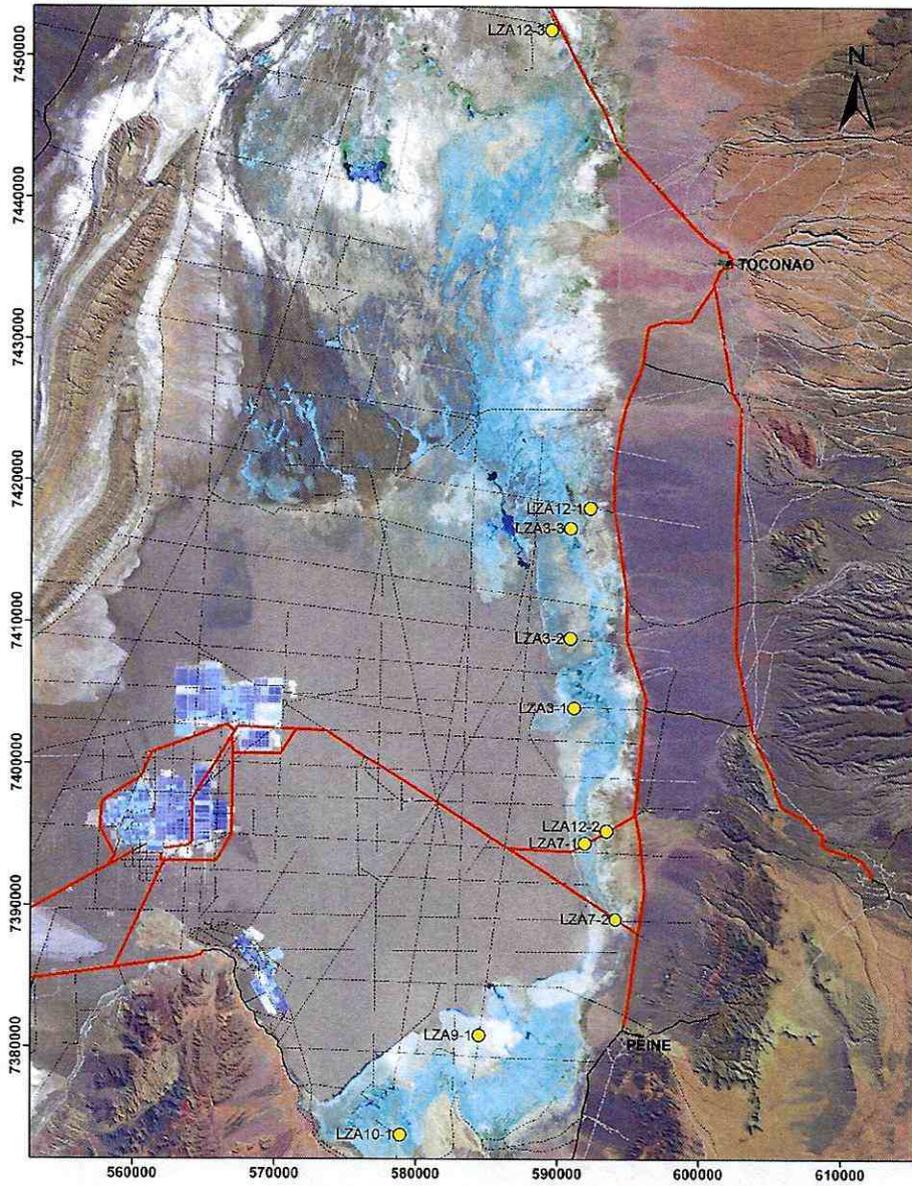


Figura 5 Ubicación de los lisímetros de SQM instalados en Salar de Atacama.

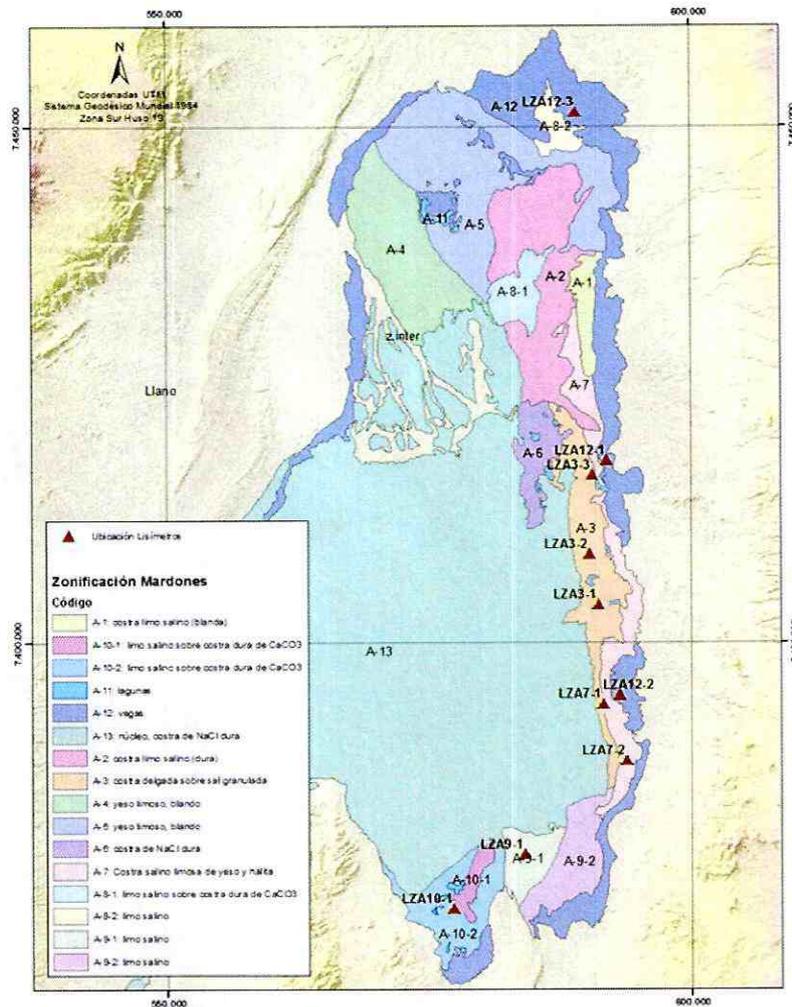


Figura 6 Zonas de evaporación identificadas por Mardones y ubicación de los lisímetros de SQM instalados en Salar de Atacama.

2.2.3 En el marco de la evaluación del proyecto de RWL, se generaron datos y se desarrollaron curvas de evaporación en el núcleo que se diferencian para las condiciones de invierno y verano. A la luz de la revisión efectuada por este Servicio, estos antecedentes no habrían sido considerados por el titular para su actualización del modelo hidrogeológico. Así, se solicita: (1) aclarar el motivo técnico que llevó al descarte de estos antecedentes, y (2) justificar conceptualmente el rango en que la evaporación podría variar (tanto espacial como temporalmente) y el rango a considerar en el contexto del modelo conceptual.

### **Respuesta**

Dado que la evaporación es una variable relevante para el balance hídrico, se hizo una revisión y análisis de toda la información disponible. Referente a los antecedentes existentes de otros titulares,

tal y como se expone en el Anexo V-4I, en términos generales se considera que *“otros datos recopilados por las diferentes entidades no se han considerado debido a su poca fiabilidad o dispersión”*, además *“se considera que son valores aún no lo suficientemente maduros como para aceptarse completamente y, requieren, por tanto, de estudios adicionales”*.

En efecto, por ejemplo, se revisó y analizó, la información de tasas de evaporación que presentó Rockwood Litio Limitada en el EIA del proyecto "Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama". Las funciones que se presentan no siguen un comportamiento exponencial, y aparecen puntos unidos por rectas, entonces no se ajustan al patrón de las curvas de Philips, producto de lo cual no fueron consideradas.

Cabe reiterar lo señalado en el Anexo V-4I: Evaporación, concretamente en el capítulo de “Resultados Cuantificación Evaporación”, se realiza una comparación técnica entre distintos autores (Mardones 1986, RWL 1997, SQM 2014 - 2015 y CSIC 2016). Se comparan áreas (Tabla V), profundidad del nivel freático usado en cada estudio (Tabla VI), tasas de evaporación (Tabla VII) y valores finales de evaporación (Tabla VIII). Se concluye que *“en general, hasta la fecha, los estudios correspondientes al término evaporativo toman como base de referencia los estudios correspondientes a Mardones, L. (1986), sin modificar en exceso las metodologías empleadas y los diferentes criterios de cálculo. De esta manera, se acepta actualmente que la evaporación para el Salar se cuantifica entre 5.000 y 6.000 L/s. Estudios posteriores han tomado como referencia este valor, sin embargo, desde el punto de vista del estudio llevado a cabo en la elaboración del trabajo presentado, se considera que son valores aún no lo suficientemente maduros como para aceptarse completamente y, requieren, por tanto, de estudios adicionales”*. El cálculo de las tasas de evaporación en el EIA de RWL (SGA, 2015) se realiza a partir de la obtención de las curvas tipo Phillip, pero se considera que con los puntos de referencia usados no son suficientes para el ajuste de las curvas, y por tanto no se justifica lo que resulta de ese análisis. Por lo que, tal y como se expone en la página 88 de este Anexo, se han usado los datos obtenidos de los lisímetros de SQM porque, *“estos datos se han obtenido en condiciones experimentales conocidas y controladas. Otros datos recopilados por las diferentes entidades no se han considerado debido a su poca fiabilidad o dispersión. A efectos prácticos, únicamente los datos proporcionados por SQM permiten establecer una clara tendencia matemática ajustándose de manera precisa a una ecuación de tipo exponencial.”*

2.2.4 Se solicita reportar los datos de evaporación históricos que dispone, incluyendo los datos de los diez lisímetros instalados el año 2015 con los que actualmente monitorea la evaporación en la zona marginal. Los datos deben ser reportados en formato digital y editable (Excel), haciendo referencia al punto de monitoreo, su ubicación (coordenadas UTM) y la fecha del registro.

## **Respuesta**

Referente a los datos de evaporación históricos de que se dispone, se encuentran todos reportados en el archivo digital "Evaporacion.xlsx", en la carpeta del Modelo Conceptual, concretamente en la pestaña de "TODOS EVS". En este archivo se encuentra el punto de monitoreo y la fecha de registro. Referente a su ubicación, en el numeral 2.2.2 de este documento se reportan las coordenadas y el mapa de ubicación para los lisímetros.

*2.2.5 La metodología considera despreciable el efecto de la evapotranspiración (...) es opinión DGA que se debe adoptar en el modelo el criterio más conservador, que supone que la vegetación si consume recurso hídrico. En consecuencia, se solicita al titular incorporar la variable evapotranspiración en el balance hídrico de la cuenca del Salar de Atacama, que, si bien puede ocurrir en un porcentaje menor del área de estudio, corresponde precisamente a zonas vegetadas cuya relevancia ambiental requiere ser considerada en el modelo conceptual. Al respecto, cabe señalar que en EIA de Rockwood Litio, la evapotranspiración fue considerada en el cálculo del balance hídrico, ello para distintos sectores de la cuenca del Salar de Atacama (...). Así, se solicita la revisión de esos antecedentes en los expedientes públicos correspondientes.*

## **Respuesta**

El cálculo de la Evapotranspiración (ETP) es fundamental para la cuantificación del balance hídrico de una determinada zona donde existe una cubierta vegetal relevante. En ese caso se amerita un tratamiento adecuado, sin embargo, en el contexto de escala regional del estudio del Salar de Atacama, dado el tamaño de la cuenca y su ubicación en una zona de desierto extremo, donde la superficie vegetal es despreciable, la ETP se encuentra implícita en el análisis de la Evaporación y no se realiza una mayor distinción al respecto. Los métodos convencionales de cálculo de la evapotranspiración se definen explícitamente considerando una cubierta vegetal continua y funcional, lo cual no es el caso que nos ocupa.

Por otro lado, las características especiales de la vegetación natural que se encuentra asociada a las zonas donde existe abundancia del recurso hídrico, requiere de estudios especiales a partir de los cuales poder establecer su estado fisiológico y por ejemplo los coeficientes de cultivo correspondientes que nos permitan una estimación adecuada de este fenómeno. Esta información no existe y, por lo tanto, cualquier esfuerzo que se realice en esta línea lleva asociado un grado de error, respecto del cual no es posible establecer una dimensión, lo que puede inducir incertidumbre en el resultado del balance hídrico.

De acuerdo a lo señalado, en el presente trabajo se optó por desestimar la diferencia que existe entre la Evaporación y la Evapotranspiración en aquellas zonas donde existe abundancia evidente de

recursos hídricos y cobertura vegetal, bajo el supuesto que el error asociado en este cálculo es menor que aquel asociado al cálculo de la Evapotranspiración sin contar con la información adecuada y que el área donde ocurre este fenómeno es despreciable respecto de la escala regional del trabajo desarrollado y el contexto regional de zona árida extrema.

Referente a los antecedentes del EIA de RWL, una de las condiciones de aplicación de los métodos de cálculo de la ETP convencionales (tipo, Penman, Thornwaite, Blaney Cridle, etc.) es que, en el área de estudio, toda la infiltración está disponible para ser evapotranspirada. No está claro cómo se calcula el factor de ocupación determinado mediante la observación de imágenes satelitales. No se indica la resolución final de dichas imágenes (se comenta que se han obtenido de Google Earth), ni se explica la metodología seguida para determinar, para cada tipo de vegetación, qué porcentaje del área del pixel estaba realmente cubierta por vegetación. Dadas estas circunstancias y por la poca representatividad de área vegetada respecto al total de área descubierta, se ha creído conveniente no incorporar el cálculo de la ETP por considerar que es un cálculo de difícil justificación y muy poca representatividad en el total de Evaporación calculado.

*2.2.6 Respecto de los datos de evaporación que incluye en el anexo digital, éstos corresponden a datos que describen 5 zonas de las 19 definidas (...); luego en el Anexo V-4I se presentan funciones de evaporación para 4 zonas. Se solicita complementar la información de evaporación para las demás zonas y justificar técnicamente la relación y supuestos aplicados para extrapolar las funciones de evaporación a zonas sin mediciones.*

### **Respuesta**

A modo de corrección y con la finalidad de aclarar el entendimiento de la observación, en el Anexo V-4I se presentan funciones de evaporación para 5 zonas, en vez de las 4 mencionadas en la solicitud efectuada por la autoridad. En particular, éstas se refieren a las zonas A3, A7, A9, A10 y A12, áreas en las que se disponía de información de lisímetros (el lector queda referido a las páginas 89 a 91 del anexo citado).

Dado que el número de zonas con datos no cubría el total del área de estudio, se utilizó el promedio general obtenido de las zonas conocidas. Así, se estima el promedio como representativo en condiciones de incerteza estadística. Las curvas promedio siguieron la ecuación exponencial propuesta por Phillip, asegurando consistencia entre todas las zonas. Los parámetros que definen a estas curvas se detallan en la Tabla 6.

<b>Ev = a · exp(b·z)</b>				
<b>Ev =Evaporación (mm/d)</b>				
<b>z = Prof. NF. (m)</b>				
	<b>VARIABLE</b>	<b>MEDIA</b>	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>
Zona A3	a	6	2	6.6
	b	-9	-13	-4.5
Zona A7	a	6	2	6.6
	b	-6	-12	-4.2
Zona A9	a	6	2	6.6
	b	-4	-5	-2.5
Zona A12	a	6	2	6.6
	b	-5	-5.5	-4
Zonas Total	a	6	2	6.6
	b	-6	-16	-3.2

Tabla 6. Parámetros de definición de curvas de evaporación para diferentes zonas

Mayor información al respecto puede encontrarse en el Anexo V-4I.

2.2.7 En cuanto a la temporalidad de los datos de evaporación del Anexo digital, cabe señalar que 78 de los 84 reportados corresponden a datos de mediciones efectuadas en los meses de abril a junio, lo cual se entiende caracterizan al período de invierno (...) debiendo profundizar el conocimiento de la componente ambiental y/o utilizar la demás información levantada por otros titulares en la Cuenca o bien justificar su descarte.

### **Respuesta**

Concordamos en que es necesario integrar toda la información disponible y considerar al menos un periodo anual. Sin embargo, a partir de los datos obtenidos desde los lisímetros instalados por SQM es posible identificar funciones exponenciales envolventes para los máximos y mínimos registrados durante el periodo que se indica. Tales curvas exponenciales se han asociado a los períodos de verano e invierno, estimando así el comportamiento anual.

Los datos correspondientes al periodo abril-junio se consideran suficientes para el trabajo desarrollado. Dichos datos pueden ser considerados conservadores. De lo contrario, y sin asumir las curvas de verano que se han explicado, la estimación de la descarga media anual por evaporación podría ser aún mayor a lo que se ha señalado.

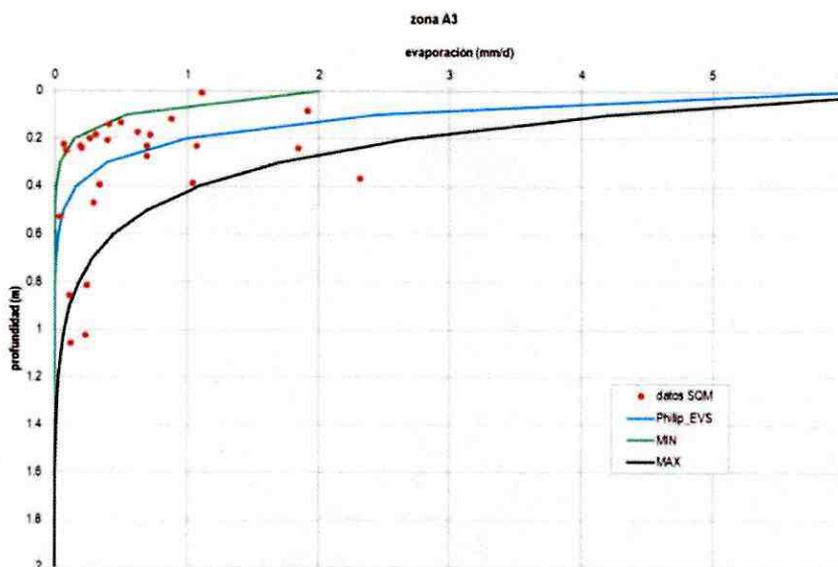
Por otro lado, en revisión de los antecedentes de otros titulares, hemos considerado y analizado sus datos. El análisis de esta información revela una dispersión tal que no permite llegar a conclusiones fiables.

A modo de ejemplo, revisando la información de tasas de evaporación que presentó RWL en su EIA se encontró que las funciones presentadas no seguían un comportamiento exponencial, apareciendo puntos unidos por rectas. De esta manera no se ajustan al patrón de las curvas de Philips, por lo que no fueron consideradas. Información adicional al respecto se puede encontrar en el Anexo V-4I.

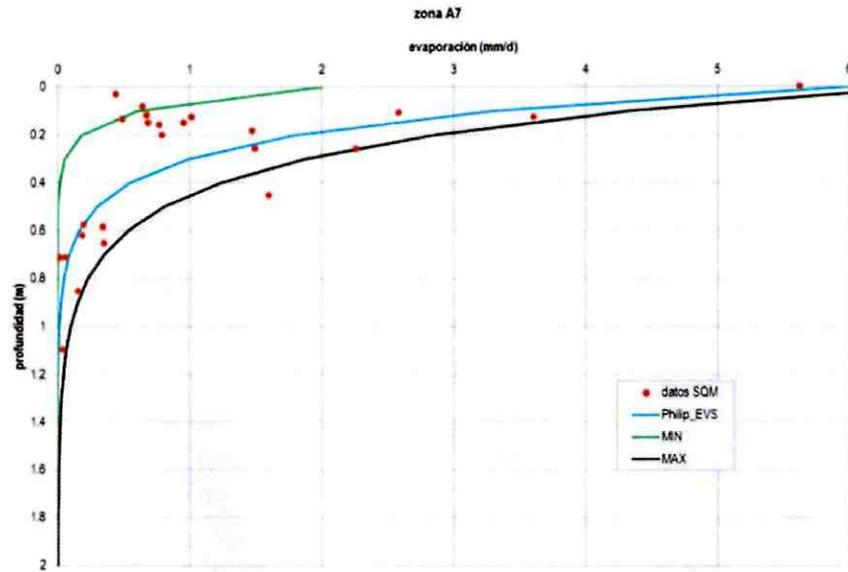
*2.2.8 Así también, recogiendo las conclusiones del titular que destacan la sensibilidad matemática de las funciones utilizadas para estimar la evaporación (...) se solicita recalcular la evaporación en la cuenca en base a datos de invierno de las 4 zonas de evaporación resumidas en el Anexo V-4I, justificar debidamente la representatividad de los resultados para la toda la cuenca del Salar de Atacama y para temporadas diferentes al invierno y proponer un posible rango en que la magnitud por área podría variar dentro del modelo conceptual y el balance hídrico que se propone.*

### **Respuesta**

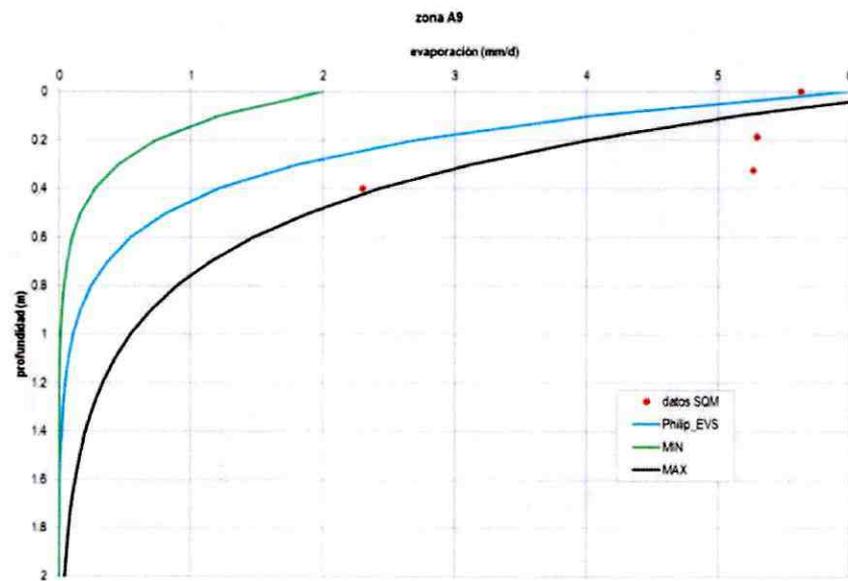
La respuesta a esta solicitud se encuentra íntimamente ligada a las respuestas incluidas para las observaciones 2.3.3. y 2.7.2, por lo que deben entenderse de manera complementaria. Dicho esto, a continuación, evaluamos escenarios tanto de invierno como de verano, los que están contenidos en los límites de las curvas de evaporación en función de la profundidad (Figura 7, a-f):



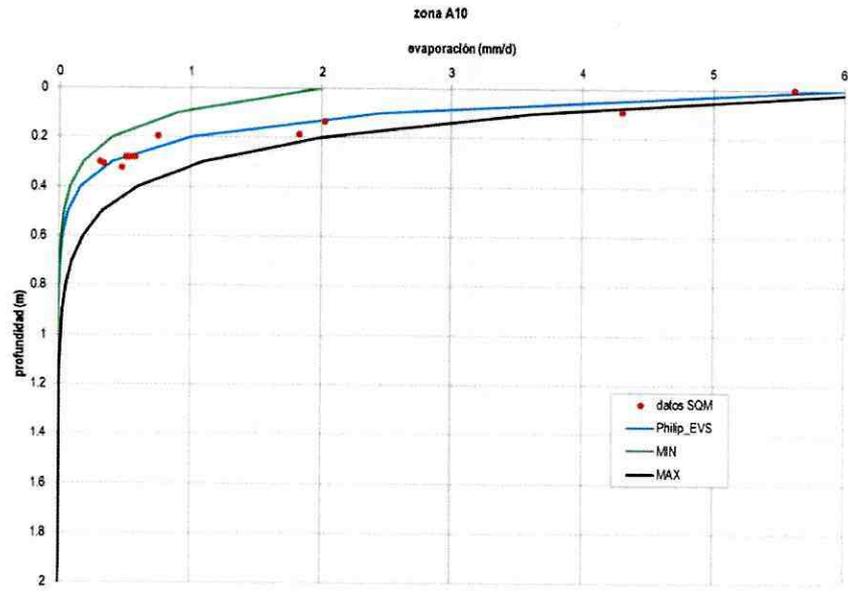
(a)



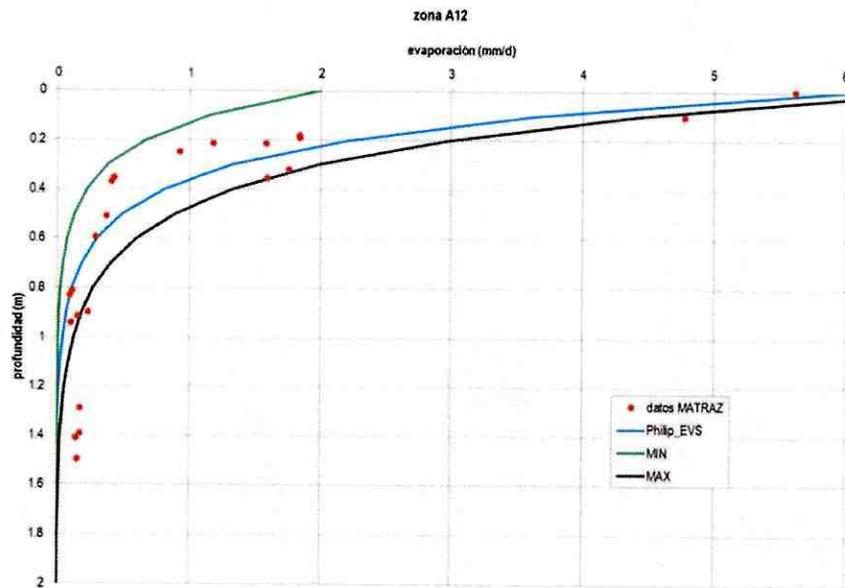
(b)



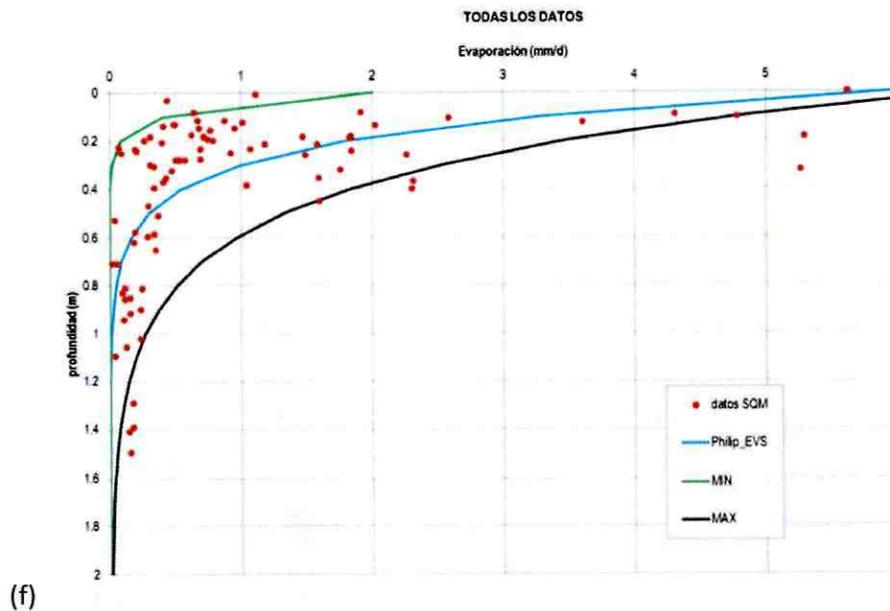
(c)



(d)



(e)



**Figura 7.** Curvas de evaporación en función de la profundidad de la napa para las zonas A3, A7, A9, A10, A12 y promedio para todos los datos. Cada una además incluye el comportamiento de la evaporación para temporadas de invierno y verano.

Así se puede entender la dinámica de la evaporación para distintas temporadas. A modo comparativo, la tasa de evaporación en la superficie se ha considerado fluctuante entre 2 a 6.6 mm/d. También se puede comparar las diferencias de evaporación en el suelo para las dos temporadas.

Nótese que las curvas presentadas están definidas para diferentes zonas, mostrando de paso la variación espacial de la evaporación (zonas A3, A7, A9, A10 y A12). Más detalles pueden encontrarse en el Anexo V-4I, en donde se expone la metodología de cálculo para la evaporación, incorporándose valoraciones de verano e invierno.

*2.2.9 En cuanto a la necesidad de ejecutar nuevos estudios en el contexto de nuevas actualizaciones del modelo, se solicita detallar los términos de referencia para atender las recomendaciones del titular para mejorar el conocimiento del Salar.*

### **Respuesta**

Se recomienda realizar una revisión y caracterización general en todo el salar de la evaporación desde el nivel freático. Para llevarlo a cabo, se debería realizar un estudio que contemplara los siguientes aspectos:

1. Cartografía geomorfológica de detalle.
2. Cartografía de detalle de los tipos de suelo.
3. Cartografía de las comunidades vegetales.
4. Definición de zonas con características comunes (nueva zonificación) definidas a partir de las cartografías previas.
5. Instalación de estaciones de medida de evaporación del suelo (lisímetros, domos, etc.), ubicados de forma coherente y representativa de las zonas definidas con las cartografías previas, con mediciones en continuo. Instalación de estaciones en cada una de las zonas definidas.
6. Instalación de piezómetros con medida continua de nivel en cada estación.
7. Mediciones por un período mínimo de un año.
8. Estudio de la evaporación anual por zonas.

### **2.3 Estimación de la recarga**

*2.3.1. En el Anexo V-4H hace referencia a un apartado 6.3.2 que contendría los resultados obtenidos para la precipitación (mm/año), precipitación total (l/s) y recarga directa (l/s). Sin embargo, el apartado antes citado no fue presentado en el Informe del Modelo Conceptual ni en sus Anexos (...). Se solicita su inclusión y debida presentación de memorias de cálculo que sustenten los resultados obtenidos.*

#### **Respuesta**

Respecto el apartado 6.3.2 que se dice mencionar en el Anexo V-4H, efectivamente no se encuentra en la documentación entregada y se trata por lo tanto de un error de escritura, se hace referencia al conjunto del Anexo V-4H. La información solicitada se encuentra en la Tabla I del citado Anexo (página 76), en la que se muestra para cada estación meteorológica el valor promedio de precipitación de la serie 1978 a 2015, la precipitación (mm) que sí produce recarga (PP-Detención) y su porcentaje. Además, esta información se complementa en el apartado 5.4.5. Recarga (página 108), del Informe de la Cuarta Actualización. Los resultados detallados del cálculo se encuentran en el archivo digital de "Recarga.xlsx" de la carpeta del Modelo Conceptual, cuya forma de análisis fue descrita en detalle en la respuesta a consulta 1.2.

2.3.2 Con respecto a la recarga, ésta es considerada homogénea en toda la cuenca y el Descuento se aplicó sobre las precipitaciones totales mensuales y no sobre cada evento de lluvia. Sobre la homogeneidad de las condiciones climáticas que condicionan la recarga, es importante destacar que el titular menciona la diferencia espacial en la magnitud de la recarga, aumentando especialmente en las partes altas de las subcuencas. Se solicita justificar técnicamente el criterio de aplicar homogéneamente la magnitud del descuento (5 mm por evento de lluvia o un porcentaje de precipitaciones).

### **Respuesta**

La aplicación del descuento sobre las precipitaciones mensuales en vez de sobre las diarias se fundamenta en que las lluvias más importantes se concentran en eventos de varios días seguidos y en unos meses al año. De esta manera, la detención aplicada a los datos mensuales no es equivalente al descuento por episodios, lo que explica en parte la diferencia entre los resultados obtenidos y los reportados por terceros. Mayor información al respecto está disponible en el Anexo V-4H.

Respecto a la observación realizada en este numeral sobre el descuento, éste se ha aplicado homogéneamente, existiendo una diferencia espacial en la magnitud de la recarga. Esta recarga aumenta en las partes altas de las subcuencas; para este trabajo la metodología seguida se basa en los informes DICTUC (2004) y Geohidrología (2009, 2013, 2014), tal y como se menciona en el Anexo V-4H (página 74) y en el Informe de la Cuarta Actualización (página 114).

2.3.3. En el apartado 5.4.5.2 "Evaluación de la recarga" el titular informa que la recarga directa por lluvia alcanza los 16.274 l/s en la Cuenca del Salar de Atacama (...). Visto los antecedentes presentados, este Servicio no detectó el sustento técnico que respalda los porcentajes de detención de lluvia aplicado (...). Así también, en el Anexo V-4H se indica que para el cálculo de la recarga directa se asumió que en cada evento de lluvia se descontaron 5 mm por concepto de retención en la superficie del terreno (...). Se solicita justificar técnicamente los criterios o valores adoptados para el cálculo de la recarga en cada zona de la cuenca, así como también la metodología aplicada en el análisis por eventos de precipitación.

### **Respuesta**

Tal y como se expone en el punto 5.4.5.2 Evaluación de la recarga, la recarga directa (REC<sub>D</sub>) por infiltración de lluvia en el terreno se ha evaluado restando a la precipitación total de cada zona una fracción de la lluvia que no llegara a infiltrar y producir recarga, denominado *detención*. Se estima que en cada evento de precipitación aproximadamente 5 mm son retenidos en la superficie del terreno,

no se infiltran y son devueltos a la atmosfera por evaporación o su acumulación puede producir escorrentía superficial (DICTUC, 2004; Geohidrología, 2009, 2013, 2014). Estos 5 mm de detención se han descontado de cada episodio de lluvia.

Referente a la Tabla I, página 76, Anexo V-4H, el % de Recarga Directa que se encuentra en la última columna (RECD (%)), se obtiene a partir de las dos columnas previas de la misma tabla, de la siguiente manera:

$$RECD (\%) = \frac{Recarga\ Directa\ (RECD)_{(PP-5mm\ por\ episodio\ de\ lluvia)}}{PP_{Promedio\ (1978-2015)}\ (mm)} \cdot 100$$

Por lo tanto, este % de RECD por estación, representa la proporción de lluvia que efectivamente se recarga en el terreno. Se ha obtenido un rango de RECD que oscila entre el 4 y el 85% (ver Tabla I, página 76, Anexo V-4H).

Referente a los porcentajes de 25, 35 y 85% de las Tablas 5.12 y 5.13 del Informe de la Cuarta Actualización, se han obtenido de la siguiente manera:

1. Se ha calculado el valor de detención para cada episodio de lluvia por estación meteorológica, restando los 5 mm por episodio. De este ejercicio obtenemos la cantidad de lluvia que recarga por episodio y por estación.
2. Se calcula el % de detención por estación, a partir de la comparación entre la lluvia total y el valor obtenido en el punto 1. De este ejercicio obtenemos el % de detención por estación meteorológica.
3. Se ha dividido la Cuenca del Salar en 5 zonas que comparten características similares de precipitación. Estas son: Cuencas Alto Andinas, Zona Aluvial, Zona Marginal, Zona Núcleo y Cuencas Occidentales. Para cada una de ellas, se le ha asociado las estaciones meteorológicas que le corresponden.
4. Se ha promediado el valor de detención obtenido en el punto 2, obteniendo un valor de detención por Zona, que corresponde al valor se refleja en la Tablas 5.12 y 5.13 del Informe de la Cuarta Actualización (columna "Detención (%)").

*2.3.4 Respecto de la recarga en la cuenca altoandina Monturaqui, que fue estimada por el titular en 3.507 l/s, cabe señalar que esta cifra dista notablemente de lo calculado por DGA, Minera Escondida Limitada (MEL), Rockwood Litio (RWL) y NX-1 de Peine, que informan una recarga media anual menor. (...) Se solicita informar detalladamente los supuestos aplicados y sus respectivos sustentos*

*técnicos que le permitieron estimar una recarga casi 400% mayor para la misma cuenca de Monturaqui. (...)*

### **Respuesta**

El Área de la Subcuenca de Monturaqui considerada para el cálculo de la recarga (3.337 Km<sup>2</sup>) es considerablemente mayor que la que consideran otros estudios previos (por ejemplo, se usa un área de 2.557 Km<sup>2</sup> en el caso del EIA de RWL, o un área de 2.915 Km<sup>2</sup>, en el caso de la DGA 2010), por lo tanto, el valor de la recarga es considerablemente mayor.

El cálculo de la recarga y sus respectivos sustentos técnicos para esta subcuenca, ha sido realizado con la misma metodología que para el resto de subcuencas, tal y como se describe en el Anexo V-4H Cálculo de la Recarga, concretamente en el apartado de Metodología de Cálculo, de la página 74.

Los resultados obtenidos sobre la recarga general en la cuenca del Salar de Atacama son de unas 3 veces superiores a los realizados por otros autores (Aprox. de 5000 a 15000 L/s). Teniendo en cuenta esta consideración y aplicándola a la Subcuenca de Monturaqui, y además agregando la diferencia entre el área considerada, se podrían explicar dichas discrepancias.

## **2.4 Caudales superficiales**

*2.4.1 En la Tabla 5.3 del Informe del Modelo Conceptual, se presentaron los resultados sistematizados de caudales medios mensuales y medios anuales en cada una de las 15 estaciones de aforo de la cuenca. Respecto al Anexo V-2F, donde se presenta la metodología para el proceso de relleno de series de caudales, este Servicio tiene las siguientes observaciones:*

*2.4.1.1 En general, no se hace referencia a análisis de los errores en los resultados obtenidos de los caudales estimados. Así, se solicita precisar aquello según corresponda.*

### **Respuesta**

Para analizar el error de los resultados obtenidos, se comparó el caudal superficial total de varios estudios hidrológicos en la cuenca. De la comparación se observó una diferencia de 13% respecto al estudio más reciente, llamado “Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico sector sur del Salar de Atacama (SGA-RWL, 2015)”, aprobado por la autoridad el año 2015. Las diferencias con éste y los otros estudios se analiza en la siguiente tabla. Se añadió una última columna llamada observaciones para comentar sobre el método de relleno de caudales utilizado por cada autor en los informes.

Informe de referencia	Ríos y quebradas incluidas en el estudio	Caudal superficial total (L/s)	Observaciones
1- Estudio de impacto ambiental, proyecto "Modificaciones y mejoramiento del sistema de pozas de evaporación solar en el Salar de Atacama" – Anexo 1 Estudio Hidrogeológico y modelo numérico sector sur del Salar de Atacama. SGA-RWL. Año 2015.	<p>El total no se presentó, por lo que se calcula a través de la suma directa de los valores presentados en las Tablas 6-9 y 6-10 de siguientes ríos, canales y quebradas:</p> <p>Río San Pedro en Cuchabrachi, Río Vilama en Vilama, Canal Aguas Blancas, Canal Cuno en Socaire, Canal Tilomonte, Vertiente Peine en Peine, Quebrada Camar Vertiente 1, Quebrada Camar Vertiente 2, Quebrada Talabre en Tumbre, Quebrada de Jerez en Toconao, Zapar, Pocer y Soncor.</p>	1467	El autor no realizó comentarios sobre el relleno del registro fluviométrico antes de calcular caudales medios para cada río, canal o quebrada.
2- Análisis de la oferta hídrica del Salar de Atacama SDT N°339. Año 2013.	<p>En el cuadro 2-1 de la página 3 se especifican los siguientes ríos y quebradas:</p> <p>San Pedro, Vilama, Zapar, Honar, Pocer, Aguas Blancas, Soncor, Camar, Socaire, Peine, Tulan.</p>	1744	<p>No se especifica qué estaciones fluviométricas se utilizaron para calcular los valores en ríos y quebradas.</p> <p>No se especifica qué método de relleno utilizó antes de calcular los valores medios.</p>
3- Análisis de los mecanismos de evaporación y evaluación de los recursos hídricos del Salar de Atacama. DGA. SIT 357, año 2014. Página 73.	<p>La Tabla 6-3 de la página 73 especifica los siguientes ríos y Quebradas:</p> <p>San Pedro, Vilama, Zapar, Honar, Pocer, Aguas Blancas, Soncor, Camar, Socaire, Peine, Tulan.</p>	1744	El valor es citado de la referencia anterior.
4- Balance Hídrico Nacional. Segunda Región. DGA. Año 1986.	<p>El valor total de caudal superficial no se presentó, ni tampoco se separó la componente superficial de la subterránea. Para obtener el caudal medio superficial se calculó la suma de los cauces superficiales de la Tabla 5-4 de la página 97.</p> <p>San Pedro, Vilama, Aguas Blancas.</p>	1280	El autor no menciona más cauces superficiales, y agrupa el resto de cuencas en una sola, no permitiendo diferenciar la componente superficial de la subterránea.
5- Anexo 5-2, SQM Cuarta Actualización modelo numérico (Valor a comparar con estudios anteriores).	<p>Se calcula la suma de los siguientes ríos, canales y quebradas de las tablas del Anexo 5-2:</p> <p>San Pedro en Cuchabrachi, Canal Vilama en Vilama, Canal Aguas Blancas, Canal Cuno en Socaire, Canal Tilomonte ante Represa, Canal Tulan en Tilomonte, Vertiente Peine en Peine, Quebrada Camar Vertiente 1,</p>	1275	<p>Antes de calcular los valores medios de cauces y quebradas, se rellenaron los valores utilizando la correlación con estaciones vecinas.</p> <p>Los valores de correlación en algunos casos son</p>

Informe de referencia	Ríos y quebradas incluidas en el estudio	Caudal superficial total (L/s)	Observaciones
	<p>Quebrada Camar Vertiente 2, Quebrada Talabre en Tumbre y Quebrada de Jerez.</p> <p>Para evitar duplicidad, no se consideró el registro de río Vilama en Vilama ni los aforos de SQM en Quebrada Aguas Blancas, ya que se consideraron las mediciones de la DGA Canal Vilama en Vilama y Canal Aguas Blancas.</p>		<p>buenos, pero en otros son significativamente bajos. Estas bajas correlaciones se deben a que las tormentas ocurren de manera localizada, disminuyendo la correlación entre estaciones.</p> <p>No se consideraron quebradas que no presentan aforos de la DGA ni SQM.</p>

De la tabla anterior, se concluye que:

- Los estudios, no consideran necesariamente los mismos ríos y quebradas;
- Algunos estudios no mencionan si se rellenó o no el registro antes de calcular los caudales medios;
- Algunos estudios no especifican la fuente de información ya que solamente mencionan el río o la quebrada, y no la estación fluviométrica;
- Algunos estudios generan incertidumbre respecto al área aportante si no señalan un aforo o estación fluviométrica.

Sin embargo, a pesar de todas las diferencias aquí señaladas, al comparar con el estudio más reciente (cuya principal deficiencia es no mencionar de qué manera se obtuvieron los caudales medios de las estaciones fluviométrica), se obtiene una diferencia del 13% del caudal superficial total (SGA, 2015). Respecto al Balance hídrico de la DGA, la diferencia obtenida es menor al 1%. Las diferencias observadas se consideran razonables para la variable ambiental bajo análisis.

*2.4.1.2 Respecto al Método 2 Correlación de estaciones con “Río San Pedro en Cuchabrachi”, se indica la escasa disponibilidad de datos diarios, aun así, se eliminan tres eventos aludiendo que éstos alteran notoriamente los resultados (...). Así, se solicita aclarar y/o corregir según corresponda.*

### **Respuesta**

En primera instancia, se debe mencionar que las quebradas que aportan al modelo numérico según la Figura 6.15 del informe de la Cuarta Actualización del Modelo Numérico, corresponden a (ver figura adjunta):

- Quebrada Aguas Blancas (representado por Canal Aguas Blancas)
- Quebrada Talabre (representado por Quebrada Talabre en Tumbre)
- Quebrada Camar (representado por Quebrada Camar Vertiente 1 + Vertiente 2)
- Quebrada Socaire (representado por Cuno en Socaire)
- Quebrada Peine (representado por Vertiente Peine en Peine)
- Quebrada Tilomonte (representado por Canal Tilomonte antes Represa)

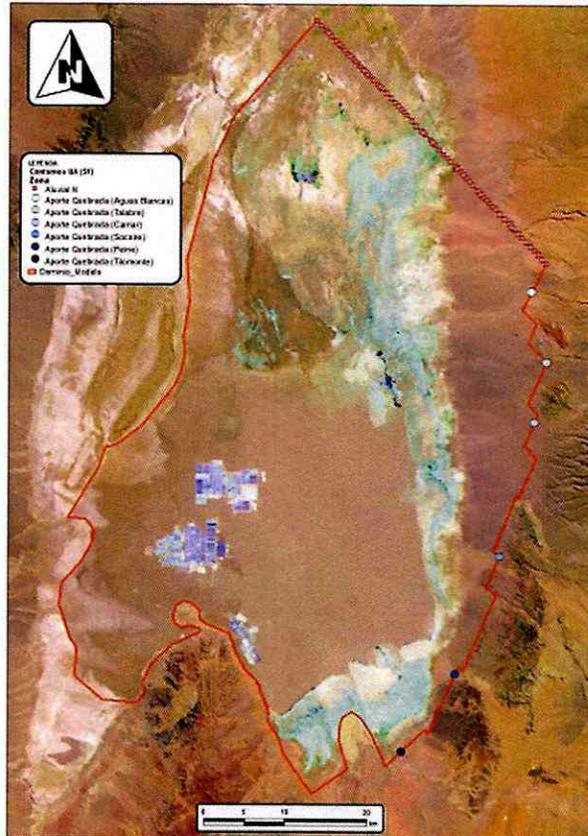


Figura 6.15 Contornos en los que se ha implementado la condición de pozo para simular la recarga lateral y profunda y los aportes por quebrada (UA-slice 1) (Fuente: Elaboración propia)

En este contexto, el relleno de los registros de aforos que realiza SQM en la Quebrada Aguas Blancas corresponde a un trabajo complementario y no se ve reflejado en los resultados ya que los puntos de aforo Quebrada Aguas Blancas Este, Quebrada Aguas Blancas Oeste y Quebrada Aguas Blancas

Tranque, no fueron utilizados en el modelo numérico. Sin embargo, la eliminación de los datos se hizo porque no se podía confirmar su veracidad. De igual manera, la siguiente tabla muestra que los rellenados subestiman entre un 1.7% y 15.5% a los datos aforados.

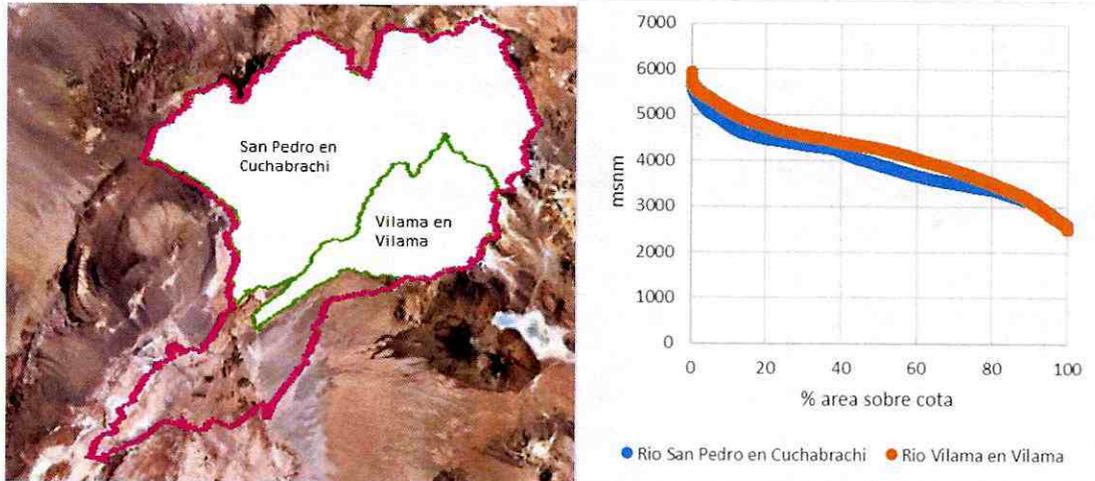
Q medio (L/s)	Quebrada Aguas Blanca Este	Quebrada Aguas Blancas Oeste	Quebrada Aguas Blancas Tranque
Aforos	193	166	55
Rellenados	189	163	47
Diferencias (%)	-2.2%	-1.7%	-15.5%

*2.4.1.3 En cuanto al Método 3 Transposición de Caudales, éste se aplicó en la estación de referencia “San Pedro en Cuchabrachi” para rellenar la estadística de la estación “Río Vilama en Vilama”. Al respecto, no se justifica la idoneidad de aplicar este método entre ambas estaciones (...). Así, se solicita aclarar y/o corregir según corresponda.}*

**Respuesta:**

Al igual que el punto anterior, cabe señalar que no se utilizó el registro de la estación reconstruida Río Vilama en Vilama como dato de entrada al modelo numérico de la Cuarta Actualización, sin embargo, se validará la utilización del método en esta zona utilizando la figura adjunta.

Respecto a la ubicación, ambas cuencas están en la parte norte de la cuenca del Salar de Atacama y son colindantes entre sí. Además, ambas se encuentran íntegramente en el sector A1 de la delimitación de la DGA. Respecto a los fenómenos pluviométricos, no hay estaciones de largo registro en la cuenca de Vilama en Vilama para poder hacer una comparación con la cuenca de San Pedro en Cuchabrachi, sin embargo, ambas zonas presentan una fuerte influencia de la precipitación con la altura. Al comparar las curvas hipsométricas, se tiene que la cuenca Vilama en Vilama tiene una cota media más elevada que San Pedro en Cuchabrachi, por ende, asumiendo un gradiente pluviométrico similar en ambas cuencas, Vilama en Vilama, debería ser levemente más productiva en términos de caudal por unidad de área que San Pedro en Cuchabrachi. Por lo tanto, a falta de aforos y de estaciones fluviométricas que midan el régimen de la cuenca Vilama en Vilama, se considera válido el uso de la transposición. Sin embargo, como se mencionó inicialmente, no se utilizó esta estación como entrada al modelo numérico.



2.4.1.4 Acerca del Método 4 Utilizar los propios caudales medios mensuales, se muestra la correlación entre los datos de las estaciones de referencia y las completadas, verificándose que en la mayoría de los casos las magnitudes de coeficientes de determinación ( $R^2$ ) distan notoriamente de ser aceptables (se detectó que 19 de los 28 casos graficados, el  $R^2$  resulta menor a 0.1). Así, se solicita aclarar y/o corregir según corresponda.

### **Respuesta**

Para dar respuesta a esta observación, se compararon los valores medios de las quebradas que fueron incluidas en el modelo numérico de la Cuarta Actualización, con el registro presentado por RWL Adenda 5 (SGA, 2015), estudio que, según respuesta al numeral 2.4.1.1, es el único que señala la existencia de estaciones fluviométricas:

<b>Quebrada</b>	<b>Caudal de Anexo 5-2 SQM 4º Actualización.</b>	<b>Caudal obtenido RWL, Adenda 5 (SGA, 2015)</b>	<b>Diferencia</b>
Canal Aguas Blancas	90.5 (Tabla XXX)	102	-11%
Quebrada Talabre en Tumbre	12.6 (tabla XXXV)	12	5%
Quebrada Camar Vertiente 1 + Vertiente 2	17.4 (tabla XXXVII + XXXVIII)	18	-3%
Canal Cuno en Socaire	147.2 (Tabla XXXI)	158	-6.8%
Vertiente Peine en Peine	7.4 (Tabla XXXVI)	7.5	-1%

Canal Tulan en Tilomonte	43.5 (Tabla XXXIII)	No se calcula	
--------------------------	---------------------	---------------	--

De acuerdo a lo anterior, si bien los coeficientes de correlación son bajos, los resultados obtenidos son similares a los valores señalados por RWL en su Adenda 5, con diferencias entre un 1% y 11%, consideradas razonables para este tipo de análisis y variable ambiental. Dadas las diferencias observadas, si se utilizasen los valores medios de caudal aceptados por la autoridad para RWL, se generarían diferencias menores o nulas en los resultados del modelo numérico de la cuarta actualización.

## 2.5 Niveles freáticos

*2.5.1 Respecto del Anexo V-4B "Variación de Niveles", el titular indica que por efectos antrópicos "Los principales focos de bombeo se localizan en el SOP, MOP y en la explotación de Rockwood Lithium. A estos tres núcleos de bombeo situados en la mitad occidental del núcleo se añaden las extracciones de uso industrial en el aluvial del Noroeste y Este del Salar". En atención a la cita anterior, es importante señalar que el documento no presenta un análisis de los niveles medidos en el tiempo, lo cual tampoco se incluye en los anexos V-4C (Distribución de Niveles) o en el Anexo V-4D (Distribución de la profundidad de nivel). En consecuencia, se solicita al titular incorporar el análisis indicado.*

La evolución del sistema hidrogeológico durante el periodo pre-explotación (1986-1994) muestra un fuerte control natural del equilibrio establecido entre los eventos de precipitación y la descarga producida por la evaporación. Los efectos de la recarga pueden separarse en dos partes. Por un lado, la recarga producida en las zonas montañosas presenta efectos a muy largo plazo y quedan muy amortiguados a escala regional. Por otro lado, los efectos producidos por la recarga directa sí muestran una clara influencia en la evolución de los niveles piezométricos del núcleo y zona marginal del Salar de Atacama. Así mismo, la evaporación producida en la zona marginal y en el núcleo del Salar constituye la principal fuente de salida del dominio. Durante todo este periodo en los ámbitos mencionados se observa el efecto cíclico de evaporación uniforme y sin una tendencia a aumentar o disminuir en la zona marginal y con una ligera tendencia descendente, en el núcleo, probablemente debido a que los episodios principales de recarga tienen una recurrencia decenal (no anual).

Durante el periodo operacional (1994 – 2015) se observan los efectos de las explotaciones de salmuera y agua industrial llevadas a cabo por las empresas SQM y RWL desde el año 1994 hasta finales del año 2015. Los efectos de dichas extracciones en el modelo resultan en una evolución piezométrica de los conos de bombeo ajustada a los datos de nivel disponibles y localizados en las principales zonas de bombeo del sector SW del Salar. De las medidas de nivel piezométrico

observadas en la red de monitorización entre los años 2009 y 2015 se desprende una tendencia general decreciente de niveles en todos los puntos de observación con una variación máxima de nivel de 0.5 m. Desde julio del 2009 se aprecian 4 periodos con tasas de decaimiento lineales de niveles diferentes: (1) De noviembre de 2009 a febrero de 2012 los niveles piezométricos cayeron a una tasa de 0,3 mm/día lo que produjo una caída de nivel promedio en todos los puntos de 24 cm. (2) De abril de 2012 a febrero de 2013 se produce un segundo episodio de decaimiento con una tasa muy similar (ligeramente menor) que en el episodio anterior, en concreto de 0,2 mm/día produciendo un descenso acumulado de 21 cm. Un tercer episodio (3) se produce durante casi dos años entre marzo de 2013 a enero de 2015. En esta ocasión la tasa de descenso de niveles es de 0.8 mm/día produciendo un descenso promedio de 47 cm. Por último, (4) el cuarto episodio de decaimiento se produjo entre marzo de 2015 y al menos agosto de 2016, fecha hasta donde llegan las medidas utilizadas, donde la tasa de decaimiento fue la más alta de 1 mm/día. Los episodios de decaimiento descritos se encuentran separados por 3 eventos de recuperación súbita de 12, 29 y 38 cm en abril 2012, febrero 2013 y marzo 2015 respectivamente.

La tendencia descendente de los niveles durante este periodo se justifica en parte, por el incremento de los caudales de explotación de salmueras. Al analizar la piezometría de las áreas de extracción de salmuera en el núcleo, se observan descensos máximos cercanos a los 10 metros, circunscritos al entorno inmediato de las zonas productivas, en el sector suroccidental del núcleo.

*2.5.2 Respecto el Anexo V-4D: 'Distribución de la profundidad de nivel', el titular presenta gráficas con los siguientes rangos de niveles freáticos (...). Acerca del último rango (>2m), éste resulta de una amplitud que no permite identificar cambios entre las distintas gráficas presentadas (...). Dado lo relevante de estos antecedentes, se solicita complementar la información reportada en las gráficas mediante una descripción de la distribución de la profundidad de los niveles, considerar modificar las gráficas aumentando la discretización del último rango (>2m).*

### **Respuesta**

Cabe señalar que el principal objetivo del análisis presentado en el anexo consultado corresponde a determinar las profundidades del acuífero en la extensión del dominio modelado, de tal forma de contar con los antecedentes para estimar la evaporación desde el sistema. Así, en el Anexo V-4D se establece: "La profundidad con respecto a la superficie del terreno a la que se encuentra la superficie freática es de suma importancia en el cálculo de la evaporación. Al igual que con la salinidad, la cercanía de la lámina de agua a la superficie topográfica controlará el proceso de evaporación bajo

unas condiciones de insolación determinadas. De esta manera se define una profundidad de extinción, que es aquella a la que la evaporación ya no surge efecto. En base a datos bibliográficos, para el salar, esta profundidad corresponde a 2 metros en las zonas marginales y aproximadamente 0,6 metros en el núcleo (este valor varía en función del autor) como se detalla en el Capítulo de “Evaporación”. Por lo tanto, y en base a los objetivos de dichas figuras, no se considera necesario dar una mayor discretización para los valores  $>2$  m.

*2.5.3 Respecto el Anexo V-4E: ‘Corrección de niveles por densidad’, se tienen las siguientes observaciones:*

*2.5.3.1 En la Figura XXII se representa una relación entre la conductividad eléctrica (CE; mS/cm) y la densidad (kg/l). Se solicita presentar copia de los informes de laboratorio que certifiquen los análisis de densidad y la medición de conductividad eléctrica, junto con informar la metodología y equipos utilizados para estas mediciones.*

### **Respuesta**

Para poder realizar la corrección por densidad variable de los niveles piezométricos se necesita disponer de la densidad de todos los puntos a corregir. Sin embargo, no existe registro de densidad en todos los puntos de los que existient datos de nivel, por ese motivo es de gran utilidad conocer en detalle la correlación existente entre los valores de conductividad eléctrica y de densidad. De esta forma, mediante la transformación de los datos de conductividad eléctrica a densidad, el número de puntos que pueden corregirse se incrementa notablemente. Dicha correlación queda representada en la Figura 8, correspondiente al informe de la CUARTA ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO DEL SALAR DE ATACAMA.

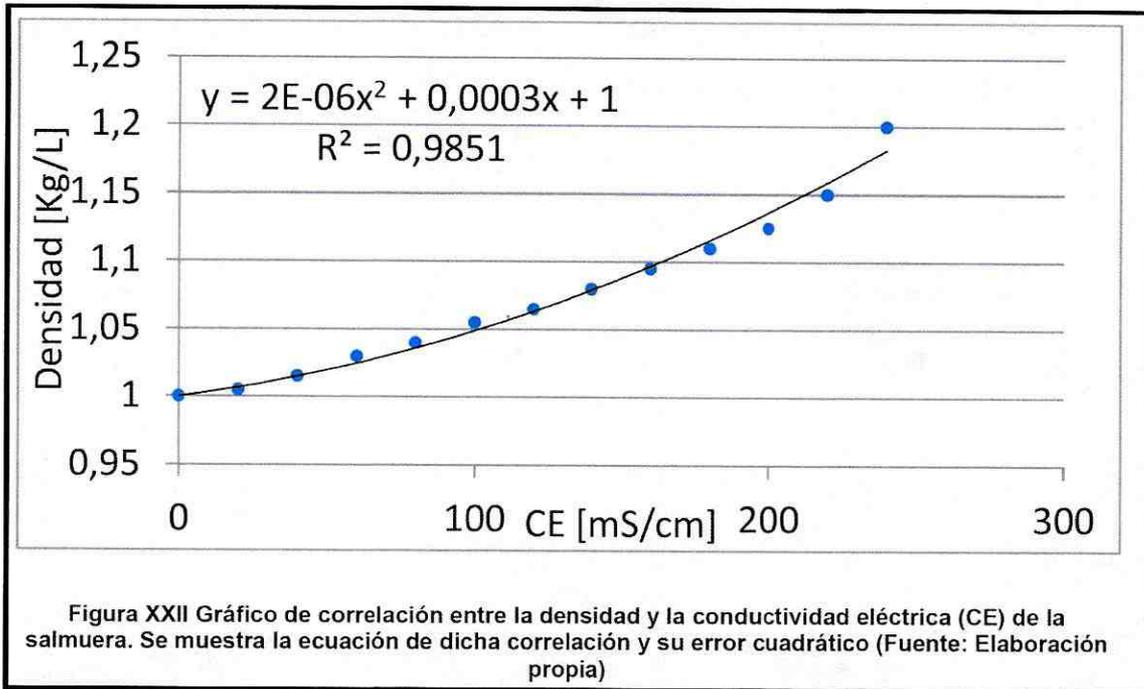


Figura 8. Figura XXII de la CUARTA ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO DEL SALAR DE ATACAMA. (IDAEA-CSIC)-SQM. ANEXOS SECCIÓN V, CAPÍTULO 5.4: HIDROGEOLOGÍA, Página 48

Para el cálculo de la relación entre Conductividad Eléctrica (CE) y Densidad correspondiente al informe de la CUARTA ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO DEL SALAR DE ATACAMA, se utilizó la regresión entre los datos de CE y Densidad a partir de los datos del informe de RWL (Figura 9)

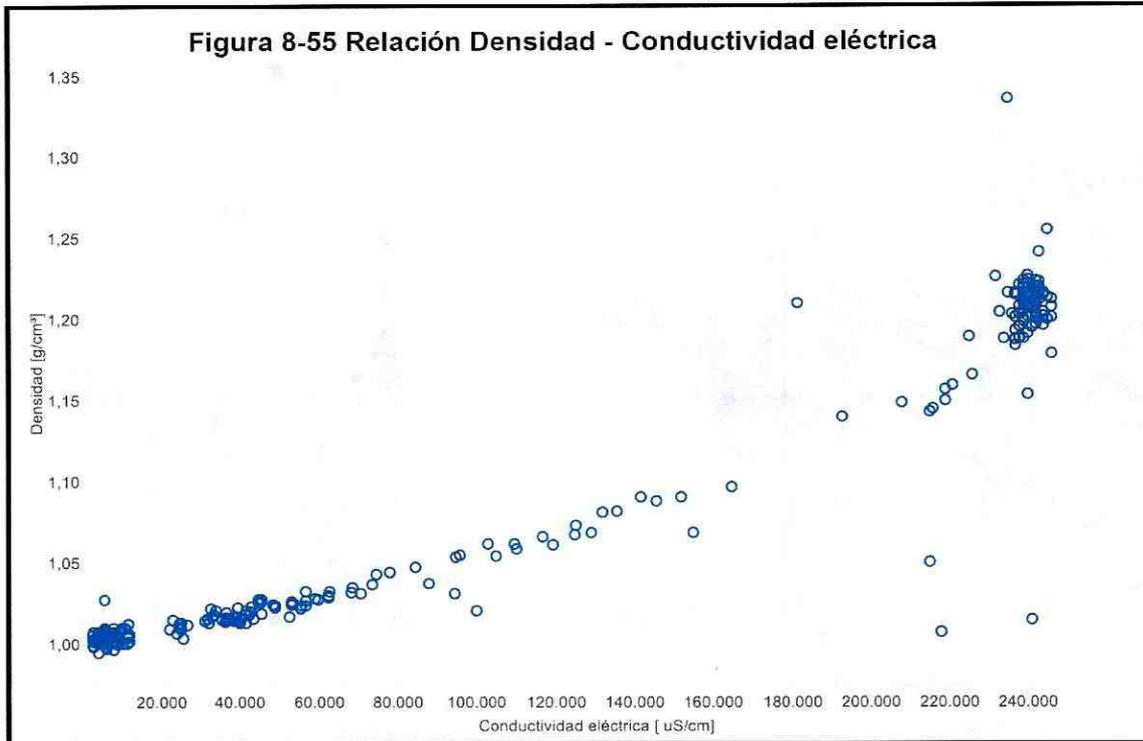


Figura 9. Figura 8-55 del ANEXO 1. ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO Y MODELO NUMÉRICO SECTOR SUR DEL SALAR DE ATACAMA (SGA-RWL), Capítulo 8: Hidrogeología y Modelo Conceptual. Página 319

Como no se dispuso de los datos originales se definieron una serie de puntos (color rojo) sobre los datos de RWL (Figura 10)

Se calculó la regresión a partir de los puntos rojos y se obtuvo una curva (línea negra) que ajusta muy bien todos los datos, tanto los interpolados (color rojo) como los originales del gráfico de RWL (azules). Figura 10.

La expresión obtenida fue:  $y = 2E-06x^2 + 0,0003x + 1$ , que fue la usada en las correcciones del informe de la CUARTA ACTUALIZACIÓN DEL MODELO HIDROGEOLÓGICO DEL SALAR DE ATACAMA (Figura 8).

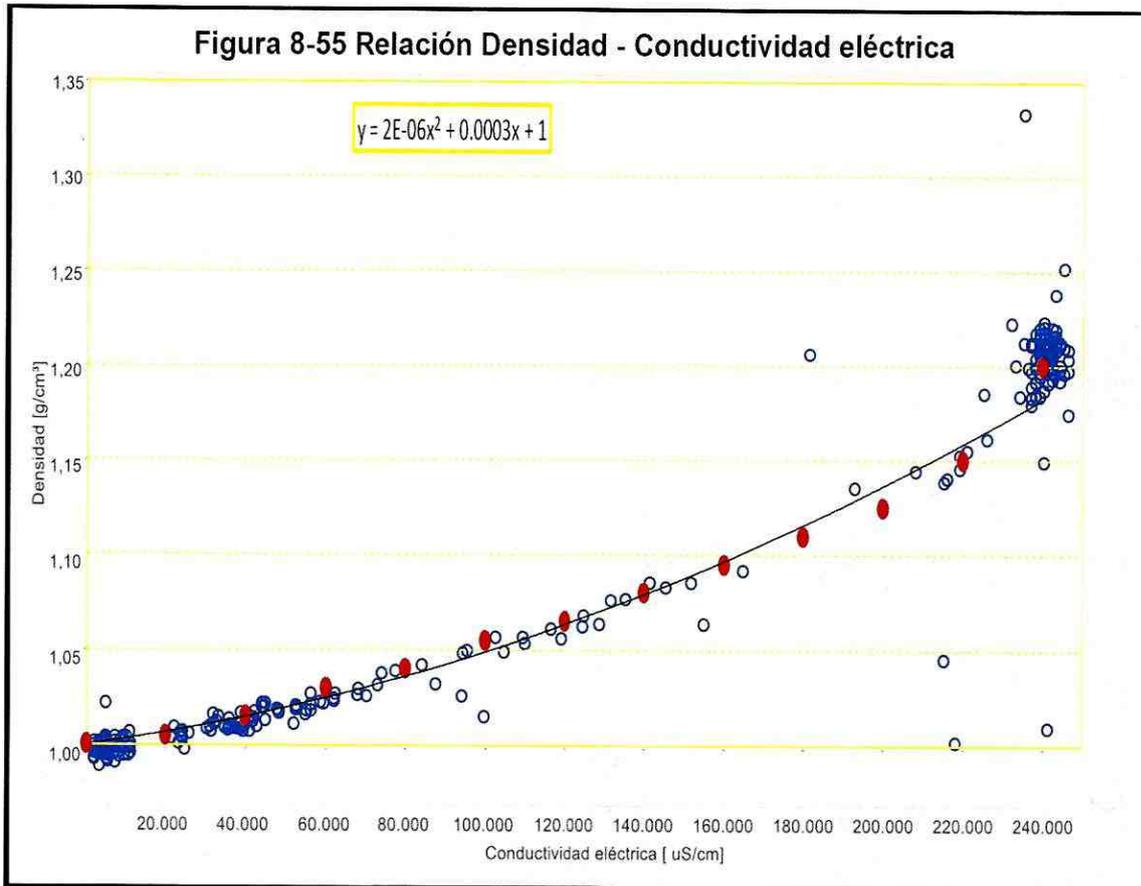


Figura 10. Interpolación de puntos representativas sobre los datos existentes.

Pese a que los datos utilizados son los mismos, la regresión obtenida por RWL solo considero el rango entre 0 a 160000 uS/cm; obteniendo una regresión lineal de  $y = 5,38E-7x + 0,998$ . (Figura 11).

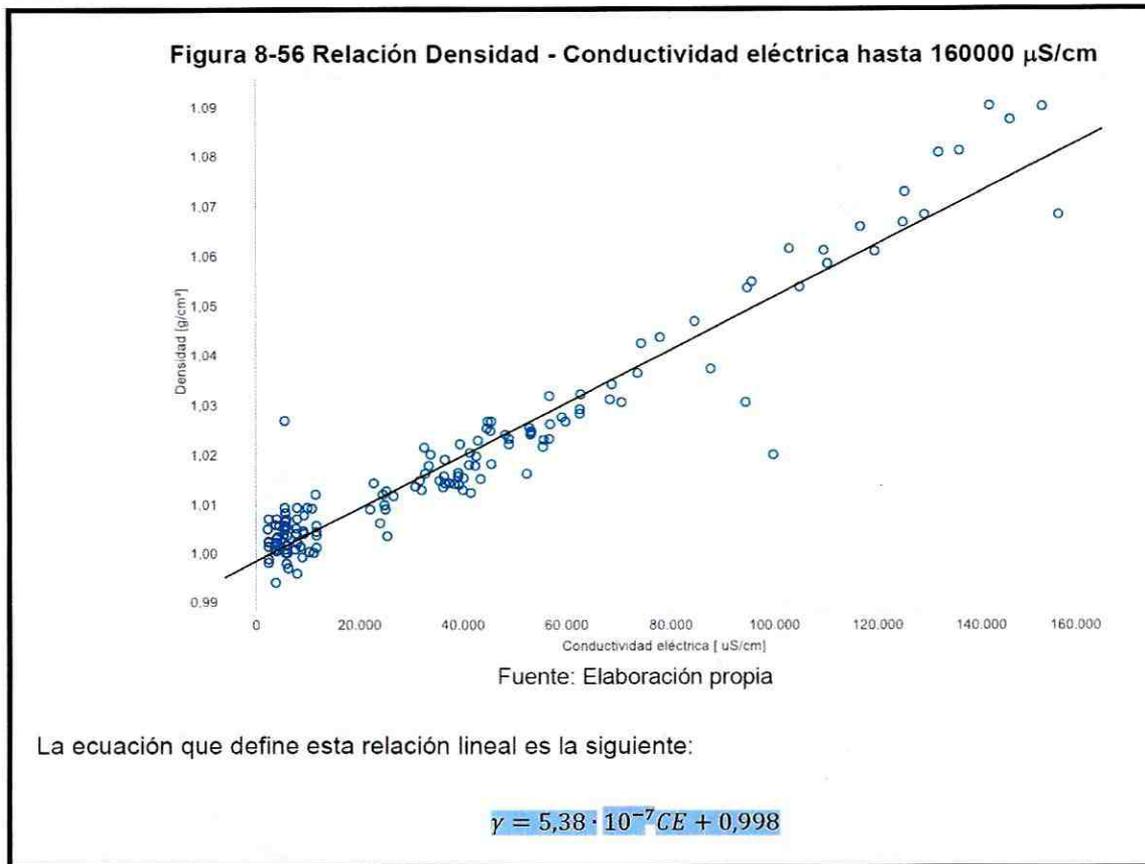


Figura 11. Figura 8-56 del ANEXO 1. ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO Y MODELO NUMÉRICO SECTOR SUR DEL SALAR DE ATACAMA (SGA-RWL), Capítulo 8: Hidrogeología y Modelo Conceptual. Página 320.

2.5.3.2 En algunos pozos se dispone de perfiles de conductividad eléctrica (CE) que se utilizan para relacionar dichos datos con la densidad del agua. Al respecto, se solicita: (1) informar en qué pozos se dispone de datos de conductividad eléctrica, (2) indicar con cuántas mediciones se cuenta, y (3) reportar los datos de CE versus profundidad, identificando en los perfiles los espesores de las columnas de agua salobre y dulce que fueron modificadas a partir del cambio de densidades.

### **Respuesta**

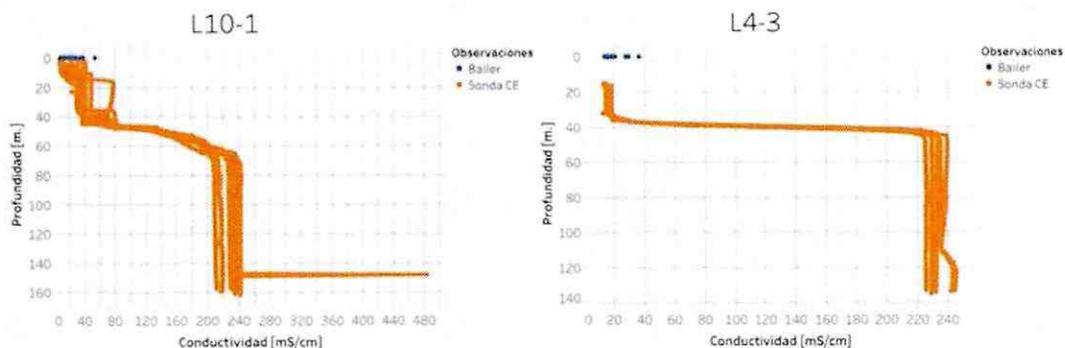
La información solicitada se encuentra dentro de los informes del Plan de Seguimiento Ambiental Hidrogeológico, presentados semestralmente a la Superintendencia de Medio Ambiente. Específicamente el apartado sobre el “Sistema Cuña Salina”, presenta los perfiles de conductividad eléctrica en profundidad para los pozos Cuña 1, Cuña 2, Cuña 3, Cuña 5, Cuña 4, L4-3, Cuña 7, L10-1 y Cuña 6.

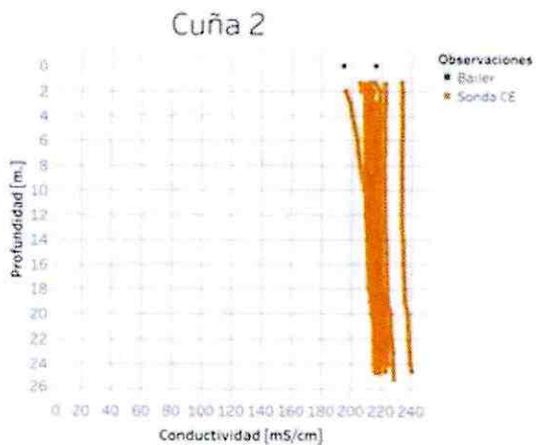
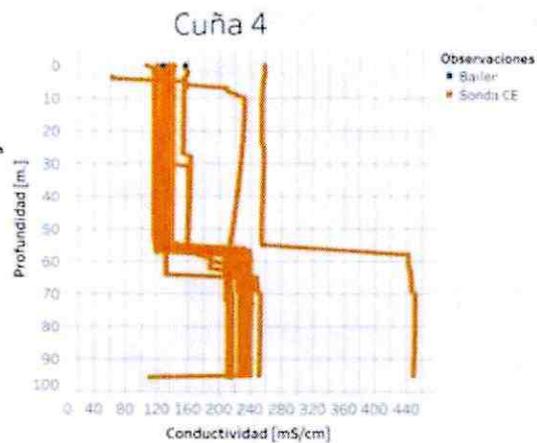
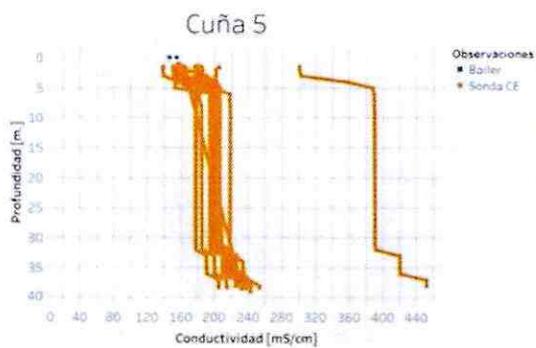
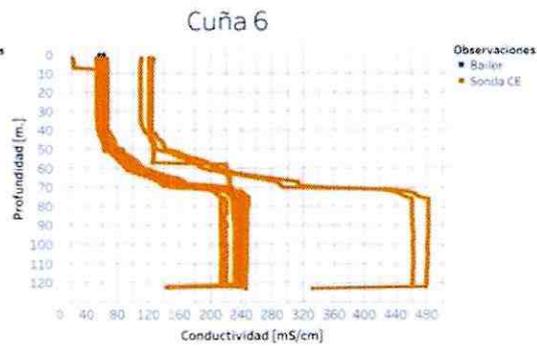
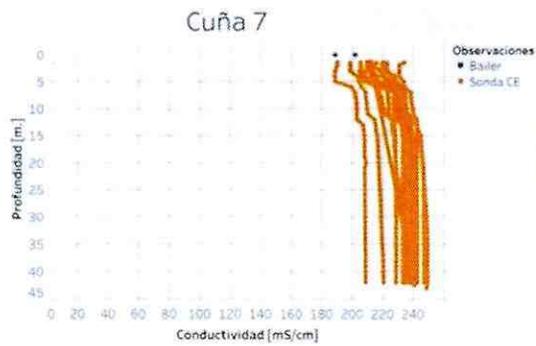
2.5.3.3 El citado Anexo informa que algunas muestras habrían sido tomadas de forma puntual utilizando un muestreador de polietileno desechable, lo que corresponde a una mezcla de agua presente en el piezómetro. Se solicita presentar los protocolos de muestreo, y justificar la idoneidad de utilizar un muestreador integrado desechable para los fines establecidos por el titular y no un muestreador puntual o discreto.

### **Respuesta**

Referente a los protocolos de muestreo, estos se adjuntan en el Anexo 04 Procedimiento Muestreo PSA, Anexo 05 Procedimiento de Trabajo y Muestreo SGS, Anexo 06 Metodología Conductividad SGS y Anexo 07 Metodología Densidad SGS.

Referente a la idoneidad de utilizar un muestreador de polietileno, cabe destacar que muchos de los puntos muestreados (12 de 26 pozos) están habilitados en todo su espesor, o en gran parte (entre 27.5 y 86 metros), (6 de 26 pozos). Todos estos puntos, por sus características de construcción, mezclan aguas de distintas unidades acuíferas. El empleo de un muestreador integrado desechable produce una mezcla del agua somera presente en el punto, pero esta agua ya corresponde a una mezcla de los acuíferos que intercepta. En algunos puntos se observa estratificación según densidad, situándose el agua de mayor densidad en profundidad, por lo que el hecho de emplear un muestreador puntual no difiere en gran medida del empleo de uno integrado, a no ser que se desee obtener muestras a profundidades concretas. Las muestras tomadas en los pozos con Cuña pueden servir para demostrar que los valores obtenidos por el muestreo con el muestreador desechable resultan comparables a los medidos por la sonda de CE en los niveles someros del perfil, pudiéndose validar el muestreo con el muestreador desechable, tal y como se observa en las siguientes figuras.





2.5.3.4 Al efectuar la corrección por densidad, el titular señala que “Se ha de matizar que en el caso de los puntos de control en los que existe zona de agua “dulce” debido a la superficialidad de la interfaz, entonces la corrección se realiza tomando el valor de densidad medido.”. Al respecto, se solicita informar en qué puntos se aplicó este criterio y presentar las planillas Excel correspondientes con los cálculos.

## **Respuesta**

El Modelo Regional es un modelo de densidad constante, por lo que, para poder comparar niveles piezométricos en sistemas hidrogeológicos con distintas densidades, todos los potenciales hidráulicos deben definirse para una misma densidad de referencia, que en el caso del presente estudio será la densidad de la salmuera en el núcleo (1,23 g/cm<sup>3</sup>). La metodología usada para esta corrección por densidad variable es explicada en el Anexo V-4E del informe.

Se adjunta el archivo digital de “Anexo 08 Corrección por Densidad.xlsx” con la planilla Excel que contiene:

- Puntos de control
- Cálculos efectuados para corrección por densidad

*2.5.4 De acuerdo con la Figura XXVIII, el efecto de la marea (...) en el pozo L-7 alcanza una variación del nivel freático igual a +1,7mm (...) con una amplitud de 2,9mm. La Figura XXXV muestra el piezómetro MSW-245 con un cambio máximo de -4 cm (...) y una amplitud de 7 cm. Para los otros dos pozos o piezómetros que el titular indica que existen, no se presentan datos de variación por efecto de la marea. De lo anterior, este Servicio concluye que podría existir una diferencia espacial en el efecto de la marea sobre el nivel freático en la zona del Salar de Atacama, asunto que no es analizado en el Informe del Modelo Conceptual ni en sus Anexo, y que debe ser subsanado. Así también, se solicita justificar si la transformación a niveles equivalentes de agua salada resulta ser un procedimiento suficiente para una adecuada predicción de los efectos del proyecto y la sinergia con terceros, sobre los objetos de protección ambiental.*

## **Respuesta**

Dada las pequeñas dimensiones del Salar, el efecto de la marea es homogéneo en toda su área, por lo tanto, las variaciones mareales no producen ningún efecto diferencial en niveles ni en gradientes y es homogénea en todos los pozos. Dado que se trata de un efecto mecánico, no tiene ninguna influencia sobre los niveles equivalentes de agua dulce, ni sobre los objetos de protección ambiental, más allá de la pequeña variación milimétrica del nivel.

*2.5.5 Se verifica que las variaciones de nivel freático ocurren en dos sentidos (ascienden y descienden respecto una condición media) y que los efectos sobre los gradientes y flujos subterráneos no han sido analizados en el Informe. Este comportamiento oscilante genera incertidumbre acerca de la importancia del efecto de la marea sobre los gradientes, el flujo pasante y una eventual activación*

*de los umbrales establecidos para el PSAH. En este sentido, se solicita al titular complementar el análisis expuesto en el Informe del Modelo Conceptual y, en caso de ser relevante, analizar un escenario en el modelo numérico.*

### **Respuesta**

El efecto de la marea se distingue solo a grandes escalas regionales. Dadas las dimensiones de la cuenca del Salar de Atacama, el efecto de la marea es homogéneo en toda su área, por lo tanto, las variaciones mareales no producen ningún efecto diferencial en niveles ni en gradientes y es homogénea para todos los pozos que existen en la cuenca.

Puesto que se trata de un efecto mecánico, resultado del efecto de la fuerza gravitacional, no tiene ninguna influencia sobre los niveles equivalentes de salmuera (niveles freáticos de agua salobre a salada corregidos para hacerlos comparables producto del cambio de densidad), ni sobre los objetos de protección ambiental, más allá de la pequeña variación milimétrica del nivel.

La marea presenta ciclos de oscilación diaria, mensual, anual y aún mayores, de dimensiones casi imperceptibles a milimétricas. Por ello, salvo identificar su existencia, no tiene efecto sobre los resultados del modelo conceptual o el numérico, no constituyendo una incertidumbre sobre los gradientes y el flujo pasante. Tampoco puede incidir en la definición de los valores umbrales, sin embargo, sí puede significar la activación del plan de contingencia al verificarse dichos valores.

Los pasos de tiempo definidos en el método iterativo de cálculo del modelo numérico (cada 10 días), no permiten reproducir el efecto mareal, ya que los cambios por este efecto tienen una variabilidad horaria. Su dimensión – submilimétrica a milimétrica - resulta muy difícil de distinguir. Por otro lado, dado que se trata de un modelo numérico de escala regional, la sensibilidad de los resultados que se obtienen no permite un análisis de este fenómeno.

Finalmente cabe señalar que, no obstante el modelo numérico puede usarse como herramienta predictiva de acuerdo a lo establecido en la RCA N° 226/2006, escapa del objetivo planificado para esta herramienta el realizar ejercicios de simulación de distintos escenarios. Más bien el objetivo apunta a comparar los valores predichos con los observados de acuerdo a los antecedentes, supuestos e hipótesis planteados en la evaluación original.

*2.5.6 Se solicita reportar los datos medidos de niveles en formato digital Excel y presentar un análisis de éstos que sustenten razonablemente la hipótesis de incertidumbre en cuanto a la idoneidad con la cual se definieron los umbrales del PSAH que actualmente le aplica al proyecto.*

### **Respuesta**

Del análisis de la información histórica y de la observación de los sistemas bajo protección ambiental, resulta plausible hipotizar que ciertas limitaciones en la oscilación de los niveles “umbrales” parecen demasiado restrictivas. De hecho, algunos umbrales fueron definidos como el mínimo histórico registrado en el periodo pre operacional, pero resulta evidente que ciertos ciclos naturales se manifiestan en periodo de tiempos mayores “plurianuales” (décadas), que pueden no estar adecuadamente descritos por los registros históricos. Por ejemplo, los registros de precipitación muestran que existe ciclicidad de 10 años en las precipitaciones intensas. Por otra parte, el conocimiento adquirido durante la operación del proyecto puede permitir utilizar herramientas más objetivas que el mínimo histórico para asegurar condiciones de funcionamiento natural de los sistemas a proteger. Así a la luz del conocimiento actual, los indicadores no reflejan las condiciones límites del funcionamiento natural siendo así extremadamente conservadores.

*2.5.7 La Figura XXXVI señala dónde se sitúan los puntos de seguimiento de nivel con transductores, sin embargo, en la Figura se hace mención a puntos “por instalar” y puntos “ya instalados”, lo cual defiere de los efectivamente mostrado gráficamente. Respecto de lo anterior, se solicita informar la totalidad de puntos de monitoreo actualmente implementados.*

### **Respuesta**

Se adjunta en el Anexo 09 Red Monitoreo Pozos Marea, un mapa con la ubicación de la totalidad de puntos de seguimiento de nivel actualmente implementados con transductores para analizar el efecto de las mareas. Estos son la totalidad de los pozos existentes con transductores para este análisis, no se prevé una ampliación de esta red.

*2.5.8 Respecto al archivo Excel ‘Niveles PSAH’, se incluyen 1041 datos medidos en seis pozos del PSAH; los pozos reportados son los siguientes: 1001, 1024, 1027, 1027, 1028, 1906 y 2018. Al respecto, el Informe del Modelo Conceptual no presenta un análisis de los datos de estos pozos, ni explica de qué forma fueron utilizados en el marco de la actualización del modelo conceptual. Por lo anterior, se solicita atender debidamente estos aspectos y justificar la relevancia que llevó a seleccionar estos pozos por sobre o complementariamente con otros que se establecen en el PSAH que se define en la RCA N°226/2006.*

## **Respuesta**

Respecto a la consulta planteada, es posible señalar que en el archivo “Niveles PSAH”, se reportan todos los datos. La configuración de la planilla hace que no se pueda usar la herramienta de filtrado para poder visualizar la lista completa de pozos, si no se eliminan las filas en blanco. En conclusión, para el análisis se utilizaron todos los datos sin ningún tipo de exclusión.

## **2.6 Parámetros hidráulicos y unidades hidrogeológicas**

*2.6.1 Respecto del contenido del Anexo V-4G, el titular incluyo los resultados de pruebas de bombeo de EDRA (1999), SGA (2015) y una tabla resumen con los resultados de 7 ensayos de bombeo efectuados en pozos de agua industrial (SQM, sin fecha). Al respecto, se solicita reportar las mediciones efectuadas (descensos y recuperaciones de niveles en archivos Excel) y describir detalladamente el procedimiento seguido en los ensayos hidráulicos y sus interpretaciones. Esta información es relevante para efecto de sustentar los parámetros hidráulicos asignados a unidades y subunidades hidrogeológicas definidas y que posteriormente son utilizadas en el modelo numérico.*

## **Respuesta**

En la elaboración del trabajo correspondiente a la “Cuarta Actualización del Modelo Hidrogeológico del Salar de Atacama”, se recopiló importante información técnica de diversos estudios geológicos, hidrológicos, hidrogeológicos, entre otros, realizados tanto por terceros, como por SQM, en la cuenca de Salar de Atacama.

El Anexo V-4G corresponde a un resumen de la recopilación bibliográfica de antecedentes correspondientes a “Parámetros Hidráulicos”. Los valores que se presentan en este Anexo se encuentran reportados, por ejemplo, en los siguientes documentos:

- SGA. (2015). *Estudio Hidrogeológico y Modelo Numérico Sector Sur del Salar de Atacama (Anexo 1). Para Estudio de Impacto Ambiental Proyecto Modificaciones del Sistema de Pozos de Evaporación solar en el Salar de Atacama de Rockwood Lithium*. Santiago, Chile.
- EDRA. (1999). *Evaluación hidrogeológica acuífero sector Norte Salar de Atacama. Informe para RioChilex*.

A partir de estos informes se obtuvieron los resultados reportados. Lamentablemente, dichos informes no entregan información detallada sobre sus procedimientos de ensayos hidráulicos y pruebas de bombeo.

Por otro lado, respecto de la “tabla resumen con los resultados de 7 ensayos de bombeo efectuados en pozos de agua industrial (SQM, sin fecha)”, los ensayos de bombeo fueron desarrollados tanto por terceros como por SQM, según se indica a continuación:

Pozo Aguada-2:

En este pozo, existen derechos de aprovechamiento otorgados por un caudal de 60 l/s, en favor de FISCO Ejército del Chile, de acuerdo a los antecedentes contenidos en el expediente administrativo ND-0202-2727 (M-2-64). Los antecedentes técnicos que sustentan la constitución de este derecho de aprovechamiento por parte de la DGA y los parámetros hidráulicos reportados, fueron desarrollados en el ámbito del proyecto CORFO-DGA CHI-535 y se presentan en el trabajo de Dalannais (1979). A partir de estos antecedentes se reconstruyó un registro de prueba de bombeo.

Pozos Allana-Nuevo (Allana-2), Camar-2 y Mullay-Nuevo (Mullay-1):

En estos tres pozos, existen derechos de aprovechamiento otorgados en favor de SQM Salar S.A., de acuerdo a los antecedentes contenidos en el expediente administrativo ND-0202-2670 (D-II-299/86). Los antecedentes técnicos que sustentan la constitución de estos derechos de aprovechamiento y los parámetros hidráulicos allí indicados, fueron desarrollados en el ámbito del proyecto CORFO-DGA CHI-535 y se presentan en el trabajo de Dalannais (1979). A partir de estos antecedentes se reconstruyó un registro de prueba de bombeo.

Pozos Toconao-3, Toconao-4 y Toconao-5:

Estos tres pozos fueron construidos por SQM Salar S.A. el año 2013, al amparo de una autorización para explorar aguas subterráneas según el expediente administrativo NE-0202-5240, autorizada por la DGA mediante Resolución DGA N° 746 del 26/12/2012, a partir de lo cual se solicitó derechos de aprovechamiento de aguas, de acuerdo a los antecedentes que se encuentran contenidos en los expedientes administrativos: ND-0202-5082 (Toconao-3), ND-0202-5084 (Toconao-4) y ND-0202-5083 (Toconao-5).

Para el análisis de los pozos antiguos (Aguada, Mullay, Allana y Camar), la reconstitución de los registros de los ensayos de bombeo se realizó a partir de los datos presentados en el trabajo de Dalannais (1979). Para el análisis de los pozos Toconao-3, 4 y 5, dado que se trata de pozos construidos recientemente (2013) los ensayos de bombeo fueron realizados por SQM y la información se encuentra disponible en planillas Excel que se adjuntan con la respuesta ("Anexo 10 Datos PB Pozos Al Rpta Obs DGA SMA.xlsx").

Los pozos se ubican y se encuentran habilitados sobre la unidad superior del acuífero aluvial del borde este del Salar de Atacama, que corresponden a un acuífero libre, de un espesor saturado que puede alcanzar los 160 m, conformado fundamentalmente por gravas y arenas con menor proporción de finos.

Los resultados de la reinterpretación indican que la transmisividad estimada para la zona está en el rango 600 – 8700 m<sup>2</sup>/d (Tabla 3-5 y Figura 3-21). En términos generales los resultados son coherentes con el tipo de litología y espesores presentes.

Por su parte, los valores de coeficiente de almacenamiento obtenidos ( $\leq 4,5E-3$ ) son muy menores a los esperados para este tipo de relleno. Dado lo anterior se definió la utilización de valores reportados en la literatura según el tipo de relleno, lo que entrega valores del coeficiente de almacenamiento entre 0,10 y 0,35 para este tipo de sedimentos (Smith y Wheatcraft, 1993; Custodio y Llamas, 2001).

Se adjunta archivo Excel, con los datos de las pruebas de bombeo tanto reconstruidas como registrados directamente, para cada pozo. Se adjunta, además, los archivos pdf correspondientes a los informes de pruebas de bombeo de los pozos Toconao-3, 4 y 5 (Anexo 11, Anexo 12 y Anexo 13, respectivamente).

*2.6.2 En el Anexo V-4A: 'Tratamiento de datos hidrogeológicos' se señala que "Se han introducido datos hidrogeológicos y hidrogeoquímicos que abarcan el intervalo temporal comprendido entre los años 1986 y 2016. Las tres fuentes principales de información son SQM, RWL y compañía Minera RíoChilex. SQM constituye la principal fuente de información de la que se dispone. Incluye datos de geolocalización y habilitación de los distintos puntos de control, así como datos hidrogeológicos (niveles, etc.) fisicoquímicos e hidrogeoquímicos". Al respecto, los antecedentes hidrogeológicos propios no fueron incluidos con un nivel de detalle tal que permita sustentar las tablas resúmenes de los parámetros hidráulicos que dispone el titular. Al respecto, se solicita (1) incluir en el Informe una explicación pormenorizada de la metodología de integración de datos en las distintas unidades hidrogeológicas, y (2) explicar cómo se abordó la interpolación de parámetros mediante Spatial Analyst tools de ArcGIS, esto último indicando también si la herramienta utilizada es idónea o no para su uso en los fines perseguidos.*

### **Respuesta**

Referente al punto (1), en el apartado 5.4.4 Unidades y Parámetros Hidrogeológicos, páginas 102 a 107, Anexo V-4G Parámetros Hidráulicos, se explica en detalle el origen, la metodología y la integración de datos.

Referente al punto (2), a partir del análisis geológico realizado sobre las distintas unidades (Capítulo 5.1 Geología del Informe de la Cuarta Actualización y Anexo V), se obtuvieron los mapas de isobatas

de las distintas Unidades consideradas. Se digitalizaron y para su tratamiento y representación se utilizó la herramienta Spatial Analyst tools de ArcGIS. Esta extensión proporciona una amplia variedad de recursos importantes dedicados al análisis y modelado espacial. Con ella se puede crear, consultar, trazar mapas y analizar datos de rásteres basados en celdas; llevar a cabo un análisis integrado del ráster/vector; obtener información nueva de los datos existentes; consultar la información a través de varias capas de datos; así como integrar completamente los datos de rásteres basados en celdas con fuentes de datos vectoriales tradicionales, por lo que se considera que efectivamente representa una herramienta idónea para el tratamiento de datos que se ha llevado a cabo.

*2.6.3 En el Informe del Modelo Conceptual se definen 3 grandes Unidades Hidrogeológicas (UH), A, AB y B. Respecto de sus descripciones, el Informe no presenta detalle de éstas en cuanto a profundidad y criterios aplicados para dividir las subunidades hidrogeológicas por sectores "núcleo", "marginal" y "aluvial". Por consiguiente, se solicita complementar la descripción de las UH en el modelo conceptual.*

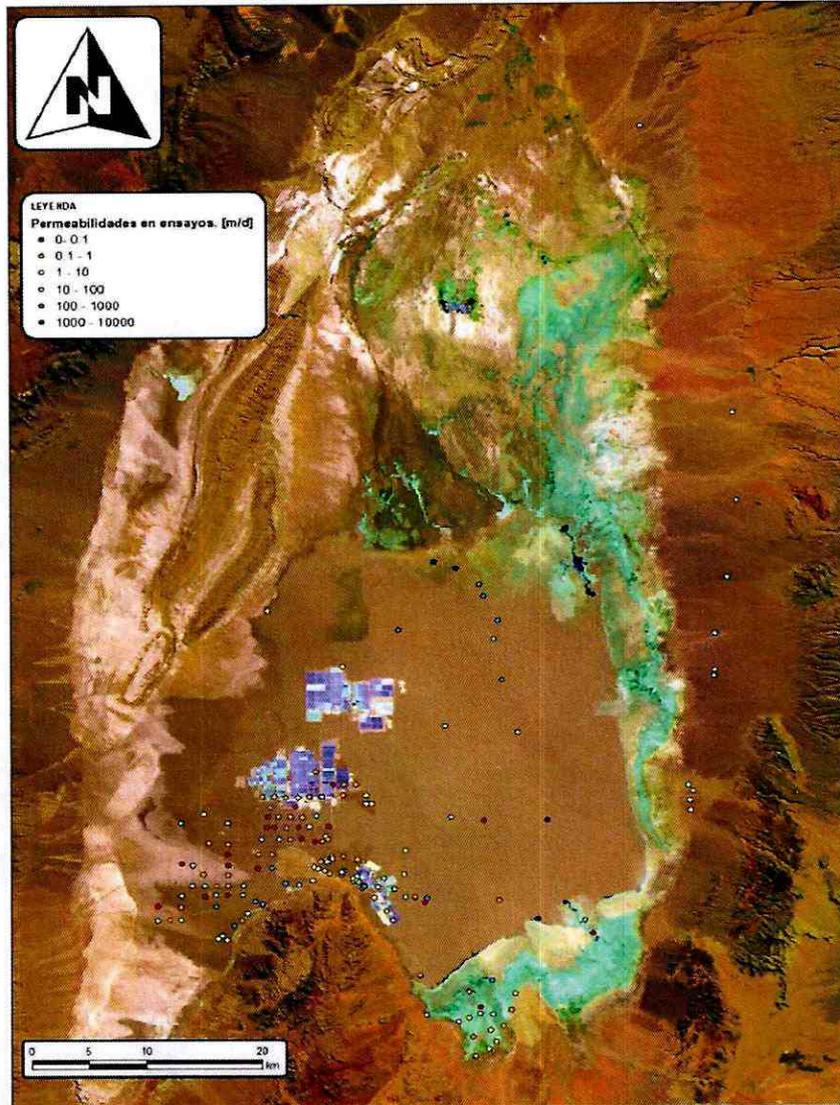
#### **Respuesta**

En el apartado 5.4.4 Unidades y Parámetros Hidrogeológicos, páginas 102 a 107, se presenta la descripción solicitada de la UH, que incluye los espesores de éstas (Figuras de 5.38 a 5.40). Además, en el capítulo 5.1. Geología, se encuentran descritas la geometría (Figura 5.8), la estratigrafía, la cartografía estructural (Figura 5.9), integración geofísica, profundidades (Figura 5.10) de las Unidades, y cómo toda esta información se integra en la definición de las Unidades Hidrogeológicas.

*2.6.4 En la Tabla 5.9 'Definición de la Unidades Hidrogeológicas y Parámetros Hidráulicas', se indica que la permeabilidad de la Unidad A, sector núcleo, se encuentra en el rango 1 a 1000 m/d. Al respecto, en el Informe y en su Anexo V-4G no se encontraron antecedentes técnicos que sustentan una permeabilidad de 1000 m/d (ensayos hidráulicos), por lo cual se solicita corregir el rango definido para esta UH en el modelo conceptual.*

#### **Respuesta**

Los antecedentes en los que se basa el uso de una conductividad de 1000 m/d son los datos obtenidos de ensayos de bombeo de SQM. En la siguiente figura (Figura 12) se pueden observar los pozos con permeabilidades mayores a 1000 m/d.



**Figura 12.** Distribución espacial de conductividad hidráulica ( $K$  (m/día)) en unidad A de la zona de estudio obtenida a partir de ensayos hidráulicos. (Fuente: Elaboración Propia)

Adicionalmente, durante el proceso de revisión de antecedentes se observó que en el EIA de RWL (SGA 2015) se reportaron puntos en el Núcleo con permeabilidades superiores a los 1000 m/d (Figura 13). Un detalle en extenso del valor de estas conductividades está presente en las Tablas 7 (a)-(f), columna 4.

Figura 8-9 Valores puntuales de conductividad hidráulica bajo 50 m

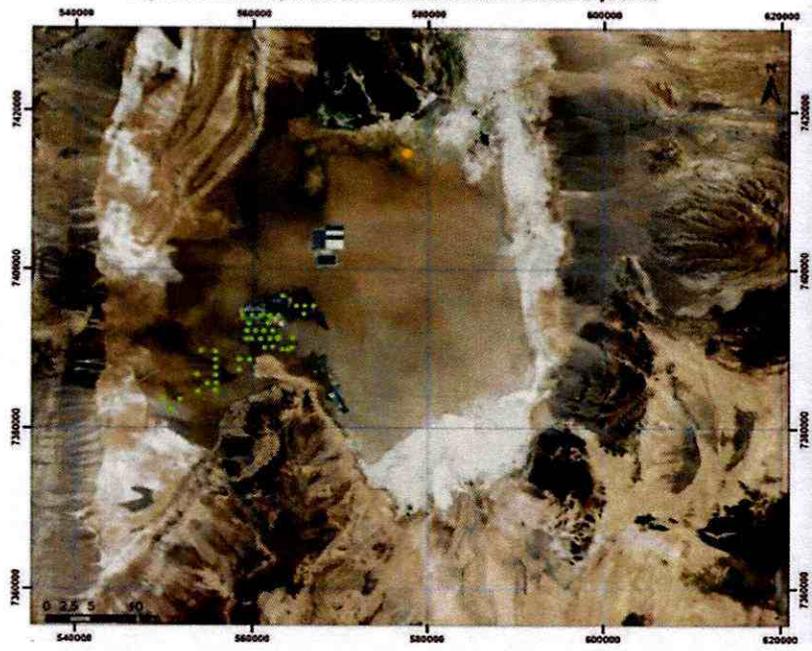


Figura 8-8 Valores puntuales de conductividad hidráulica sobre 50 m

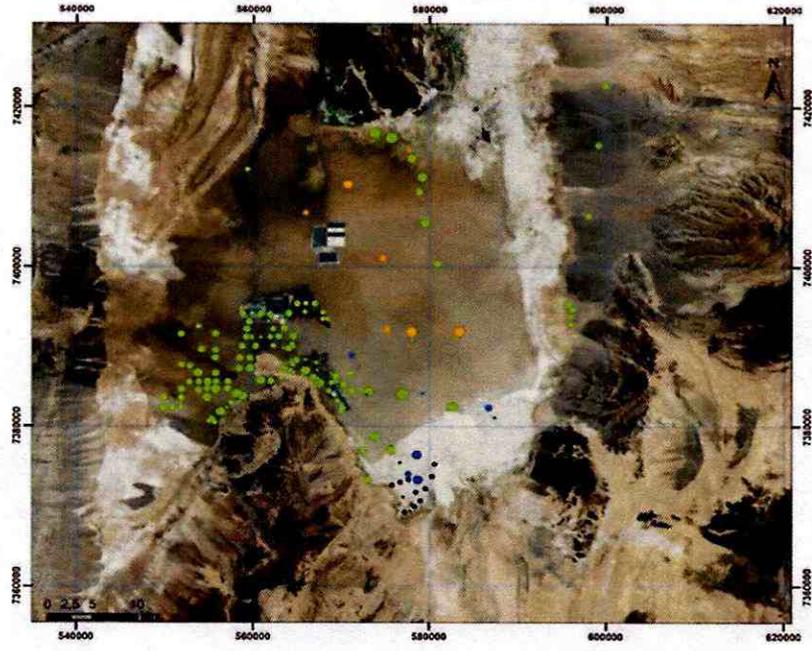


Figura 13 Puntos con valores de conductividad hidráulica de EIA de RWL en zona de interés (Fuente: SGA, 2015).

NUMERICO SECTOR SUR DEL SALAR DE ATACAMA

Tabla 4-1 Parámetros Hidráulicos

Nombre	Este	Nome	K (m <sup>3</sup> /día)	S	Tipo Prueba	Profundidad Prueba	Fuente
Aguada 2	599.842	7.431.115	4,76 x 10 <sup>1</sup>	5,81 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	Dalannais 1979
Alana 1	599.138	7.415.249	1,60 x 10 <sup>1</sup>		P bombeo	< 50 m	Dalannais 1979
Camara 2	599.048	7.409.957	1,79 x 10 <sup>1</sup>	1,60 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	Dalannais 1979
Mullay 1	599.918	7.422.647	2,56 x 10 <sup>1</sup>	8,07 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	Dalannais 1979
Socaire 5	597.952	7.405.823	1,69 x 10 <sup>1</sup>	8,65 x 10 <sup>-4</sup>	P bombeo	< 50 m	Dalannais 1979
Zarzo 1	591.796	7.455.722	5,30 x 10 <sup>1</sup>	5,00 x 10 <sup>-4</sup>	P bombeo	< 50 m	Dalannais 1979
1-G	559.316	7.412.125	6,82 x 10 <sup>0</sup>	6,90 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA NX-1 Adenda 3
K-13,5	578.877	7.409.408	4,32 x 10 <sup>1</sup>	6,00 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA Rockwood 2009
K-15	579.208	7.411.194	1,12 x 10 <sup>0</sup>	5,50 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA Rockwood 2009
K-17,5	577.951	7.413.509	4,75 x 10 <sup>0</sup>	1,90 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA Rockwood 2009
K-20	575.636	7.416.155	2,59 x 10 <sup>0</sup>	1,20 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA Rockwood 2009
K-21,5	573.718	7.416.816	2,42 x 10 <sup>0</sup>	6,40 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA Rockwood 2009
K-4,5	590.928	7.400.412	6,59 x 10 <sup>1</sup>	4,00 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA Rockwood 2009
K-9,5	579.539	7.405.505	1,12 x 10 <sup>0</sup>	2,00 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA Rockwood 2009
1001	575.189	7.392.248	1,17 x 10 <sup>1</sup>		Packer	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
2013	574.881	7.401.050	1,15 x 10 <sup>1</sup>		Packer	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
2018	575.014	7.391.596	3,95 x 10 <sup>0</sup>		Packer	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
2021	577.628	7.414.642	4,91 x 10 <sup>0</sup>		Packer	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
2027	565.866	7.406.777	1,14 x 10 <sup>0</sup>		Packer	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
2028	570.638	7.410.289	1,29 x 10 <sup>0</sup>		Packer	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
2037	583.460	7.391.947	1,34 x 10 <sup>0</sup>		Packer	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
E-251P	566.323	7.393.537	5,43 x 10 <sup>0</sup>	3,50 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
E-253P	567.815	7.393.530	2,58 x 10 <sup>0</sup>	2,10 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
E-283P	551.783	7.383.619	2,35 x 10 <sup>1</sup>	3,20 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
E-286P	551.820	7.384.679	1,44 x 10 <sup>1</sup>	6,60 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
E-287P	553.811	7.384.596	1,01 x 10 <sup>1</sup>	3,50 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
E-290P	552.764	7.385.623	2,88 x 10 <sup>1</sup>	4,10 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
E-291P	553.840	7.385.661	5,62 x 10 <sup>1</sup>	2,09 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
E-292P	554.854	7.385.623	1,70 x 10 <sup>0</sup>	7,20 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
E-293P	555.837	7.385.646	1,94 x 10 <sup>1</sup>	8,15 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
E-294	555.824	7.386.693	2,58 x 10 <sup>1</sup>	3,49 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
E-295P	551.828	7.387.814	1,69 x 10 <sup>1</sup>	6,19 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
E-302P	554.148	7.389.748	4,03 x 10 <sup>1</sup>	3,50 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
E-309P	550.794	7.382.350	2,59 x 10 <sup>1</sup>	7,00 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
E-311P	551.789	7.382.338	7,20 x 10 <sup>0</sup>	1,00 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
E-314P	560.866	7.391.247	6,00 x 10 <sup>-2</sup>	5,54 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
E-315P	561.675	7.393.266	4,00 x 10 <sup>-2</sup>	2,69 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
E-316P	561.925	7.391.277	6,44 x 10 <sup>0</sup>	3,14 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
E-318P	562.246	7.392.257	1,67 x 10 <sup>0</sup>	4,54 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
E-327P	567.815	7.394.363	4,67 x 10 <sup>0</sup>	8,00 x 10 <sup>-3</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
E-330P	563.436	7.396.637		5,66 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
E-334P	556.763	7.390.126	1,96 x 10 <sup>1</sup>	4,80 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SGM Adenda 2
E-335P	560.274	7.390.146	1,39 x 10 <sup>1</sup>	1,80 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SGM Adenda 2

(a)

Tabla 4-2 Parámetros Hidráulicos (2)

Nombre	Este	Norte	K (m <sup>2</sup> /día)	S	Tipo Prueba	Profundidad Prueba	Fuente
E-337P	562.229	7.390.205	6.44 x 10 <sup>0</sup>	2.80 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-338P	563.362	7.389.899	2.10 x 10 <sup>-1</sup>	3.17 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-339P	559.272	7.391.284	4.04 x 10 <sup>-1</sup>	8.30 x 10 <sup>-3</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-340P	558.817	7.394.237	3.60 x 10 <sup>-1</sup>	1.40 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-345P	563.998	7.389.876	3.19 x 10 <sup>-1</sup>	1.40 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-349P	564.464	7.390.101	9.68 x 10 <sup>0</sup>	8.90 x 10 <sup>-3</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-350P	559.840	7.391.268	4.82 x 10 <sup>0</sup>	2.07 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-351P	562.905	7.391.350	2.68 x 10 <sup>-1</sup>	5.00 x 10 <sup>-3</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-353P	559.309	7.392.280	1.34 x 10 <sup>-1</sup>	7.08 x 10 <sup>-3</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-357P	559.545	7.393.192	1.29 x 10 <sup>-1</sup>	3.07 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-359P	559.890	7.394.237	6.51 x 10 <sup>0</sup>	1.37 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-360P	560.856	7.394.197	4.24 x 10 <sup>-1</sup>	2.44 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-361P	561.916	7.394.137	1.04 x 10 <sup>-1</sup>	5.83 x 10 <sup>-3</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-363P	563.995	7.394.247	3.31 x 10 <sup>-1</sup>	1.37 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-365P	565.805	7.394.402	4.43 x 10 <sup>0</sup>	3.13 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-369P	564.940	7.395.385	1.73 x 10 <sup>-1</sup>	3.03 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-370P	565.916	7.395.397	4.45 x 10 <sup>0</sup>	1.81 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-371P	566.915	7.395.387	2.24 x 10 <sup>-1</sup>	9.20 x 10 <sup>-3</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-376P	564.544	7.391.352	2.18 x 10 <sup>-1</sup>	1.30 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-385P	563.526	7.392.380	6.23 x 10 <sup>-1</sup>	9.70 x 10 <sup>-3</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-390P	555.779	7.388.649	8.06 x 10 <sup>-1</sup>	2.12 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-412P	553.717	7.388.766	1.58 x 10 <sup>-2</sup>	2.00 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-422P	549.801	7.382.324	7.92 x 10 <sup>-1</sup>	3.40 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-426P	555.795	7.389.657	1.87 x 10 <sup>-1</sup>	7.40 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-433P	551.770	7.391.660	2.88 x 10 <sup>-1</sup>	4.00 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-435P	555.786	7.391.679	2.30 x 10 <sup>-1</sup>	1.10 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-443P	558.492	7.388.649	2.59 x 10 <sup>-1</sup>	6.50 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-446P	554.765	7.384.772	2.45 x 10 <sup>-1</sup>	1.41 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-447P	557.168	7.385.650	3.89 x 10 <sup>-1</sup>	1.00 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-449P	553.783	7.392.567	8.80 x 10 <sup>0</sup>	5.50 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-453P	555.782	7.384.740	1.71 x 10 <sup>-2</sup>	5.30 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-454P	557.148	7.384.744	6.21 x 10 <sup>-1</sup>	2.34 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-456P	554.765	7.383.659	1.24 x 10 <sup>-2</sup>	1.81 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-459P	556.438	7.387.333	1.30 x 10 <sup>-1</sup>	2.20 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-460P	559.666	7.387.377	1.11 x 10 <sup>-2</sup>	9.10 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-461P	559.657	7.388.656	1.15 x 10 <sup>-1</sup>	4.00 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-463P	552.812	7.387.616	1.87 x 10 <sup>-1</sup>	6.50 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-465P	549.816	7.383.640	4.46 x 10 <sup>-1</sup>	2.20 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
Flamenco	598.039	7.406.382	1.43 x 10 <sup>-1</sup>	6.00 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
S-5	595.838	7.393.819	6.40 x 10 <sup>0</sup>		P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
S-6	595.696	7.395.237	2.50 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
SP-1	596.106	7.394.666	9.00 x 10 <sup>0</sup>		P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
SP-4	595.892	7.392.648	7.50 x 10 <sup>0</sup>		P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2

(b)

Tabla 4-3 Parámetros Hidráulicos (3)

Nombre	Este	Norte	K (m <sup>2</sup> /día)	S	Tipo Prueba	Profundidad Prueba	Fuente
P-2	578.453	7.338.714	1,00 x 10 <sup>-1</sup>	3,15 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	EIA SQM Adenda 2
POZO-B	560.819	7.366.660	3,90 x 10 <sup>-2</sup>		P bombeo	< 50 m	GCF 2001
POZO-H	558.374	7.361.826	1,56 x 10 <sup>-2</sup>		P bombeo	< 50 m	GCF 2001
POZO-J	566.012	7.360.604	3,20 x 10 <sup>-2</sup>	3,50 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	GCF 2001
POZO-PN	566.900	7.367.078	1,38 x 10 <sup>-2</sup>		P bombeo	< 50 m	GCF 2001
ALTERN-6	564.360	7.368.173	1,47 x 10 <sup>-2</sup>		P bombeo	< 50 m	ACA 1999
ALTERN-8	564.836	7.368.463	2,51 x 10 <sup>-2</sup>		P bombeo	< 50 m	ACA 1999
CL-37	566.693	7.366.693	8,64 x 10 <sup>-1</sup>	1,00 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	< 50 m	ACA 1999
POZO-E8	558.188	7.384.138	2,47 x 10 <sup>-2</sup>	1,85 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	< 50 m	ACA 1999
EXP-1	567.143	7.367.997	8,38 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	< 50 m	ACA 1999
EXP-2	566.861	7.368.442	6,62 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	< 50 m	ACA 1999
EXP-3	563.842	7.368.019	8,38 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	< 50 m	ACA 1999
EXP-4	564.431	7.367.832	2,51 x 10 <sup>-2</sup>		P bombeo	< 50 m	ACA 1999
EXP-5	564.900	7.368.289	1,56 x 10 <sup>-2</sup>		P bombeo	< 50 m	ACA 1999
CL-1	573.043	7.384.394	6,65 x 10 <sup>-2</sup>		P bombeo	< 50 m	AC 1996
CL-16	563.331	7.367.466	6,63 x 10 <sup>-2</sup>		P bombeo	< 50 m	AC 1996
CL-20	564.263	7.367.066	3,46 x 10 <sup>-2</sup>		P bombeo	< 50 m	AC 1996
CL-22	567.007	7.366.675	3,54 x 10 <sup>-2</sup>		P bombeo	< 50 m	AC 1996
CL-23	571.159	7.384.550	7,60 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	< 50 m	AC 1996
CL-24	570.066	7.362.266	6,31 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	< 50 m	AC 1996
CL-25	570.215	7.365.308	4,06 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	< 50 m	AC 1996
CL-26	564.419	7.367.956	2,94 x 10 <sup>-2</sup>		P bombeo	< 50 m	AC 1996
CL-27	567.043	7.368.162	8,47 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	< 50 m	AC 1996
CL-28	568.639	7.364.505	2,59 x 10 <sup>-2</sup>		P bombeo	< 50 m	AC 1996
CL-29	566.613	7.363.212	7,43 x 10 <sup>-2</sup>		P bombeo	< 50 m	AC 1996
H-1	564.350	7.360.400	6,48 x 10 <sup>-2</sup>		P bombeo	< 50 m	AC 1996
TRENCH	569.310	7.366.317	1,04 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	< 50 m	AC 1996
CL-11	566.728	7.366.065	8,36 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	< 50 m	Kunasz 1979
CL-12	566.856	7.366.218	1,25 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	< 50 m	Kunasz 1979
CL-13	567.451	7.365.392	1,15 x 10 <sup>-2</sup>		P bombeo	< 50 m	Kunasz 1979
CL-14	563.624	7.367.299	2,42 x 10 <sup>-2</sup>		P bombeo	< 50 m	Kunasz 1979
CL-16	567.648	7.365.680	1,03 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	< 50 m	Kunasz 1979
CL-17	565.739	7.366.919	8,46 x 10 <sup>-2</sup>		P bombeo	< 50 m	Kunasz 1979
CL-18	565.732	7.366.970	9,42 x 10 <sup>-2</sup>		P bombeo	< 50 m	Kunasz 1979
CL-19	564.593	7.366.813	6,69 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	< 50 m	Kunasz 1979
TPZ-10	576.704	7.372.928	2,98 x 10 <sup>-2</sup>		Slug test	< 50 m	McCartney 2001
TPZ-11A	580.624	7.375.210	1,01 x 10 <sup>-1</sup>		Slug test	< 50 m	McCartney 2001
TPZ-11B	580.624	7.375.209	6,62 x 10 <sup>-1</sup>		Slug test	< 50 m	McCartney 2001
TPZ-11C	580.623	7.375.210	1,25 x 10 <sup>-2</sup>		Slug test	< 50 m	McCartney 2001
TPZ-12	579.020	7.370.664	2,13 x 10 <sup>-2</sup>		Slug test	< 50 m	McCartney 2001
TPZ-13C	576.674	7.375.391	3,13 x 10 <sup>-1</sup>		Slug test	< 50 m	McCartney 2001
TPZ-1A	580.347	7.373.651	6,26 x 10 <sup>-1</sup>		Slug test	< 50 m	McCartney 2001
TPZ-1C	580.346	7.373.650	1,13 x 10 <sup>-2</sup>		Slug test	< 50 m	McCartney 2001

(c)

Tabla 4-4 Parámetros Hidráulicos (4)

Nombre	Este	Norte	K (m <sup>2</sup> /día)	S (-)	Tipo		Fuente
					Prueba	Profundidad	
TPZ-1B	580.347	7.373.651	2,75 x 10 <sup>-1</sup>		Slug test	< 50 m	McCartney 2001
TPZ-2A	577.200	7.369.287	7,08 x 10 <sup>0</sup>		Slug test	< 50 m	McCartney 2001
TPZ-2C	577.201	7.369.287	3,46 x 10 <sup>-1</sup>		Slug test	< 50 m	McCartney 2001
TPZ-4	578.381	7.369.933	1,30 x 10 <sup>0</sup>		Slug test	< 50 m	McCartney 2001
TPZ-5A	579.612	7.372.161	1,06 x 10 <sup>0</sup>		Slug test	< 50 m	McCartney 2001
TPZ-5B	579.611	7.372.160	2,05 x 10 <sup>-1</sup>		Slug test	< 50 m	McCartney 2001
TPZ-6	578.505	7.371.715	3,29 x 10 <sup>0</sup>		Slug test	< 50 m	McCartney 2001
TPZ-7A	577.631	7.373.282	3,66 x 10 <sup>-1</sup>		Slug test	< 50 m	McCartney 2001
TPZ-7B	577.631	7.373.281	3,35 x 10 <sup>0</sup>		Slug test	< 50 m	McCartney 2001
TPZ-8	577.015	7.371.104	5,14 x 10 <sup>-1</sup>		Slug test	< 50 m	McCartney 2001
TPZ-9A	576.789	7.372.571	9,16 x 10 <sup>-3</sup>		Slug test	< 50 m	McCartney 2001
TPZ-9B	576.788	7.372.571	2,98 x 10 <sup>-1</sup>		Slug test	< 50 m	McCartney 2001
TPZ-9C	576.789	7.372.571	1,92 x 10 <sup>0</sup>		Slug test	< 50 m	McCartney 2001
TPZ-13A	576.674	7.375.391	3,35 x 10 <sup>-1</sup>		Slug test	< 50 m	McCartney 2001
TPZ-13B	576.674	7.375.391	3,21 x 10 <sup>-1</sup>		Slug test	< 50 m	McCartney 2001
CAO-1.1	555.336	7.360.891	1,91 x 10 <sup>-1</sup>	1,55 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	Quintadrill 2014
CAO-1.2	555.350	7.360.878	4,52 x 10 <sup>-1</sup>	2,49 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	< 50 m	Quintadrill 2014
CAO-2	557.041	7.362.300	4,07 x 10 <sup>-1</sup>	1,48 x 10 <sup>-3</sup>	P bombeo	< 50 m	Quintadrill 2014
CAO-3.1	558.624	7.363.828	1,91 x 10 <sup>-1</sup>	5,28 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	Quintadrill 2014
CAO-3.2	558.606	7.363.839	1,88 x 10 <sup>-2</sup>	9,60 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	Quintadrill 2014
CAO-4.1	567.116	7.365.996	4,09 x 10 <sup>-1</sup>	1,52 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	< 50 m	Quintadrill 2014
CAO-4.2	567.121	7.366.011	1,07 x 10 <sup>-1</sup>	4,19 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	Quintadrill 2014
CAO-5	566.863	7.366.201	3,02 x 10 <sup>-1</sup>	1,47 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	Quintadrill 2014
CAO-6	568.807	7.365.550	4,23 x 10 <sup>-1</sup>	5,26 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	Quintadrill 2014
CAO-7	566.635	7.366.322	7,13 x 10 <sup>-1</sup>	3,73 x 10 <sup>-3</sup>	P bombeo	< 50 m	Quintadrill 2014
CAO-8	562.024	7.365.733	3,86 x 10 <sup>-1</sup>	2,58 x 10 <sup>-3</sup>	P bombeo	< 50 m	Quintadrill 2014
CLO-58	563.139	7.368.160	3,65 x 10 <sup>-1</sup>	4,00 x 10 <sup>-3</sup>	P bombeo	< 50 m	Quintadrill 2014
CLO-59	555.720	7.360.455	4,57 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	< 50 m	Quintadrill 2014
CLO-60	557.530	7.362.959	5,96 x 10 <sup>-1</sup>	2,03 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	< 50 m	Quintadrill 2014
CLO-61	571.040	7.366.741	3,36 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	< 50 m	Quintadrill 2014
CLO-53.1	572.026	7.364.518	2,16 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	< 50 m	Quintadrill 2014
CLO-53.2	572.021	7.364.526	2,16 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	< 50 m	Quintadrill 2014
Tucúcaro	572.970	7.373.199	1,56 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	> 50 m	AC 1995
E-283P	561.783	7.363.619	7,49 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-293P	555.637	7.365.646	7,00 x 10 <sup>-1</sup>	3,20 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-296P	561.628	7.367.814	4,00 x 10 <sup>-3</sup>	2,60 x 10 <sup>-3</sup>	P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-314P	560.666	7.391.247	9,40 x 10 <sup>-1</sup>	5,19 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-315P	561.675	7.393.286	1,00 x 10 <sup>-1</sup>	1,95 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-316P	561.925	7.391.277	1,00 x 10 <sup>-1</sup>	6,76 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-318P	562.246	7.392.257	1,60 x 10 <sup>-1</sup>	3,12 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-330P	563.436	7.396.637	1,40 x 10 <sup>-1</sup>	2,41 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-336P	561.268	7.390.123	2,00 x 10 <sup>-1</sup>	9,60 x 10 <sup>-3</sup>	P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-337P	562.229	7.390.205	6,00 x 10 <sup>-2</sup>	5,58 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2

(d)

Tabla 4-5 Parámetros Hidráulicos (5)

Nombre	Este	Norte	K (m <sup>3</sup> /día)	S (-)	Tipo Prueba	Profundidad Prueba	Fuente
E-338P	563.362	7.399.899	2,00 x 10 <sup>-2</sup>	1,01 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-339P	559.272	7.391.284	2,00 x 10 <sup>-2</sup>	4,90 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-340P	556.817	7.394.237	2,10 x 10 <sup>-1</sup>	2,04 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-348P	563.998	7.399.876	1,70 x 10 <sup>-1</sup>	2,04 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-349P	564.464	7.390.101	3,50 x 10 <sup>-1</sup>	4,07 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-350P	559.840	7.391.268	1,00 x 10 <sup>-2</sup>	1,56 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-361P	562.906	7.391.350	5,18 x 10 <sup>0</sup>	1,06 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-363P	559.309	7.392.280	8,00 x 10 <sup>-2</sup>	6,20 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-364P	560.243	7.392.290	1,10 x 10 <sup>-1</sup>	1,00 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-365P	561.216	7.392.277	9,80 x 10 <sup>-1</sup>	6,59 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-367P	559.546	7.393.192	1,10 x 10 <sup>-1</sup>	8,34 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-369P	559.890	7.394.237	8,00 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-360P	560.856	7.394.197	1,60 x 10 <sup>-1</sup>	7,78 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-361P	561.816	7.394.137	3,32 x 10 <sup>0</sup>		P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-362P	562.816	7.394.207	3,00 x 10 <sup>-1</sup>	1,75 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-365P	565.806	7.394.402	3,90 x 10 <sup>-1</sup>	7,56 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-369P	564.946	7.395.385	6,00 x 10 <sup>-2</sup>	2,44 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-370P	565.816	7.395.397	7,20 x 10 <sup>-1</sup>	1,37 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-371P	566.816	7.395.387	2,60 x 10 <sup>-1</sup>	4,06 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-378P	564.544	7.391.352	5,00 x 10 <sup>-2</sup>	3,19 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-390P	555.779	7.388.649	9,60 x 10 <sup>-2</sup>		P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-426P	555.796	7.389.657	1,38 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-302P	564.148	7.389.748	3,80 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-461P	559.657	7.388.658	1,13 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-443P	558.492	7.388.649	2,02 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-459P	556.438	7.387.333	6,70 x 10 <sup>-2</sup>		P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-298P	555.820	7.387.646	5,10 x 10 <sup>-2</sup>		P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-412P	563.717	7.386.766	1,77 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-294P	555.812	7.386.659	1,68 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-292P	554.854	7.385.623	3,79 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-465P	549.816	7.383.640	2,10 x 10 <sup>-2</sup>		P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-287P	553.811	7.384.595	2,80 x 10 <sup>-2</sup>		P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-453P	555.782	7.384.740	3,00 x 10 <sup>-2</sup>		P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
E-309P	550.794	7.382.350	3,10 x 10 <sup>-1</sup>		P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
2018	578.014	7.391.896	3,18 x 10 <sup>-2</sup>		P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2
2021	577.828	7.414.842	1,11 x 10 <sup>0</sup>		P bombeo	> 50 m	EIA SQM Adenda 2

(e)

Tabla 4-6 Parámetros Hidráulicos (6)

Nombre	Este	Norte	K (m <sup>2</sup> /día)	S (-)	Tipo Prueba	Profundidad Prueba	Fuente
CL-8	572.422	7370975.1	4.53 x 10 <sup>2</sup>	4.61 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	< 50 m	SGA
CL-21	587.689	7.365.565	7.93 x 10 <sup>2</sup>	6.94 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	SGA
PN-05	576.891	7.364.048	1.89 x 10 <sup>5</sup>	2.09 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	< 50 m	SGA
PN-08	582.638	7.362.424	7.28 x 10 <sup>3</sup>	1.37 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	< 50 m	SGA
PN-14	573.767	7.378.720	5.55 x 10 <sup>4</sup>	5.30 x 10 <sup>-2</sup>	P bombeo	< 50 m	SGA
PN-16	575.656	7.377.001	1.25 x 10 <sup>4</sup>	2.10 x 10 <sup>-1</sup>	P bombeo	< 50 m	SGA
P-01	572.834	7.364.032	4.81 x 10 <sup>-2</sup>		Lefranc	< 50 m	SGA
P-02	572.433	7.376.877	3.05 x 10 <sup>-1</sup>		Lefranc	< 50 m	SGA
P-03	579.260	7.364.212	1.85 x 10 <sup>-1</sup>		Lefranc	< 50 m	SGA
P-04	571.158	7.369.005	1.25 x 10 <sup>0</sup>		Lefranc	< 50 m	SGA
MP-01A	578.647	7.376.429	2.02 x 10 <sup>2</sup>		Lefranc	< 50 m	SGA
MP-02A	578.744	7.373.236	7.18 x 10 <sup>1</sup>		Lefranc	< 50 m	SGA
MP-03A	577.651	7.373.947	1.98 x 10 <sup>1</sup>		Lefranc	< 50 m	SGA
MP-03B	577.653	7.373.947	1.18 x 10 <sup>1</sup>		Lefranc	< 50 m	SGA
MPS-AA	587.361	7.361.053	3.02 x 10 <sup>-1</sup>		Lefranc	< 50 m	SGA
MPS-AB	587.360	7.361.056	9.87 x 10 <sup>-4</sup>		Lefranc	< 50 m	SGA
MPS-CA	586.725	7.362.313	3.17 x 10 <sup>1</sup>		Lefranc	< 50 m	SGA

(f)

Tabla 7 Parámetros hidráulicos provenientes del EIA de RWL en la zona interés (Fuente: SGA, 2015).

Mayor información relevante puede encontrarse en el apartado 5.4.4, Unidades y Parámetros Hidráulicos, del informe y en el Anexo V-4G.

2.6.5 De manera análoga a lo antes indicado, en la Figura 5.37 'Distribución espacial de conductividad hidráulica (k (m/día)) en unidad A de la zona de estudio obtenida a partir de ensayos hidráulicos' se hace referencia a ensayos cuya permeabilidad hidráulica alcanza magnitudes hasta 10000 m/d, sin embargo, no se encontraron los respaldos que sustentan dichas magnitudes. Tampoco se identificó el uso de una permeabilidad igual o cercana a 10000 m/d en la Tabla 5.9, por lo cual se deben corregir los rangos de magnitudes de permeabilidad hidráulica utilizados en el Modelo Conceptual y posteriormente aplicados en la etapa de calibración del Modelo Numérico.

### Respuesta

De manera de aclarar este punto, inicialmente se estableció un rango de 1000 a 10000 m/d para la representación de los valores superiores K a 1000 m/d. Notar que esto no necesariamente implica que en la zona exista una permeabilidad de 10000 m/d, sino que es más bien el rango que se considera. Dicho esto, en la Figura 12 incluida para la respuesta a la observación 2.6.4 se observan pozos con permeabilidades mayores a 1000 m/d, datos obtenidos de ensayos de bombeo de SQM. Además, en la Figura 13 y en las Tablas 7 (a)-(f) obtenidas de la revisión de antecedentes del EIA aprobado de

RWL (SGA 2015), se observan puntos en el Núcleo con permeabilidades superiores a 1000 m/d. Para entender el límite superior que se consideró (es decir 10000 m/s), se tomó en cuenta la existencia de algunos pozos en el núcleo con valores superiores a 10000 m/d (Tabla 7 (f) en respuesta a observación 2.6.4, original de SGA 2015).

Mayor información relevante puede encontrarse en el apartado 5.4.4 del informe y en el Anexo V-4G.

*2.6.6 Los puntos reportados con magnitudes de permeabilidad hidráulica que se muestran en la Figura 5.37 no resultan consistentes con los asumidos conceptualmente y asignados posteriormente a las unidades hidrogeológicas de la Tabla 6.4 del Informe del Modelo Numérico. A modo de ejemplo, se verificó que las UH's KA12a y KA12c se definieron con los valores iniciales de permeabilidad en el rango 1 a 1000 m/d, sin embargo, en la Figura 5.37 se presentan datos de permeabilidades en el rango 1000-10000 m/d para la unidad KA12a y en el rango 10-100 m/d para la unidad KA12c. De igual modo, para las UH's KA1, KA2, KA3 y KA4 no se presentan antecedentes de magnitudes de parámetros hidráulicos que sustenten los rangos asignados conceptualmente. Por lo anterior, se solicita incluir en el Informe del Modelo Conceptual todos los antecedentes que respalden la descripción de las unidades hidrogeológicas, justificando técnicamente los rangos de permeabilidad considerandos (horizontal y verticalmente) que posteriormente son utilizados en la calibración del modelo numérico. Se solicita que esta información sea reportada para las unidades y subunidades hidrogeológicas A, AB y B.*

### **Respuesta**

De la Figura 5.37, se observa que la gran mayoría de los puntos del Núcleo, muestran rangos de permeabilidad de entre 1 a 1000 m/d. En la tabla 5.9, se definen los rangos asociados a cada Unidad Hidrogeológica. En este caso, para la Unidad A, se ha tomado un rango entre 1 y 1000 m/d. En las Unidades AB y B, la metodología es la misma, y se asignan los rangos correspondientes, que son de 0,1 a 1 m/d y de 0,1 a 10 m/d, respectivamente.

Estos rangos son los que se han considerado para el Modelo Numérico, tal y como se define en la tabla 6.4 del Informe de la Cuarta Actualización.

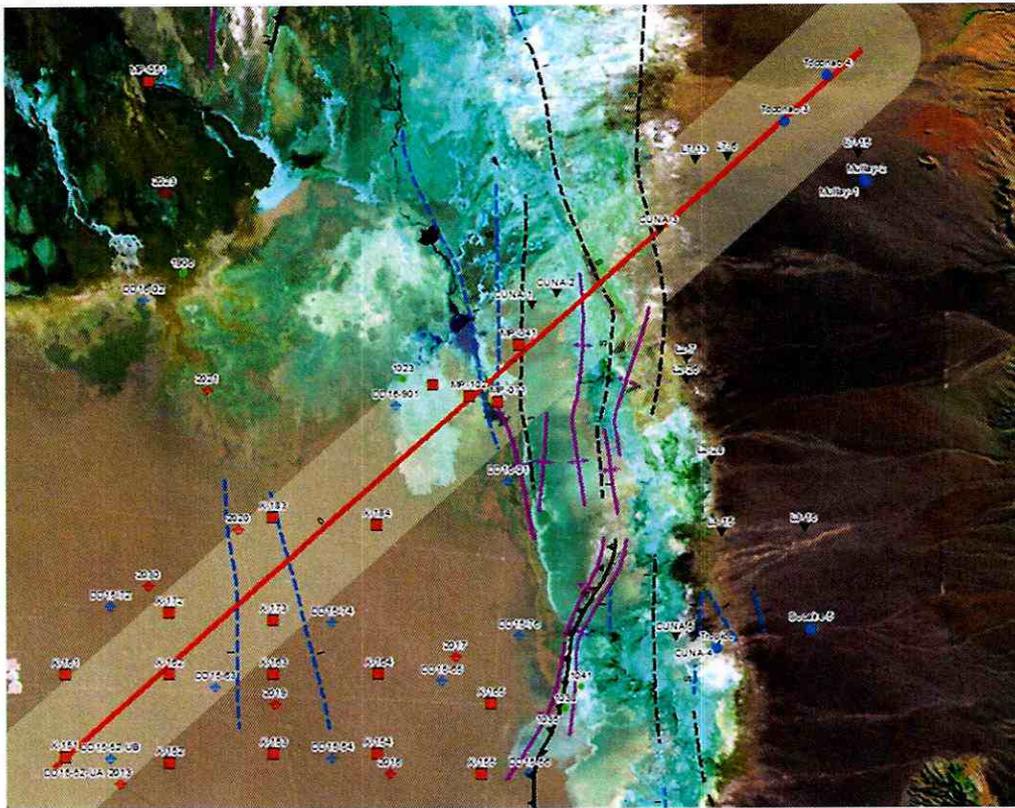
Para la realización de estos rangos se han recopilado tanto datos de SQM, como datos de RWL, y se han definido dichos rangos acordes con los datos reales.

*2.6.7 En cuanto a la zonificación aplicada a las unidades y subunidades hidrogeológicas, éstas no se encuentran definidas ni justificadas en el marco del Informe del Modelo Conceptual, siendo presentadas sólo en el contexto del Modelo Numérico (Figuras 6.23, 6.24 y 6.25), no presentándose los elementos técnicos que sustenten la delimitación y sus propiedades hidráulicas asignadas (ver Tablas 6.4). A modo de ejemplo, se revisó la relación entre las estructuras de fallas reportadas para*

*el núcleo del salar y su entorno (Figura 5.4), no resultando posible evidenciar un efecto ya sea en la división de las subunidades hidrogeológicas o de sus espesores, las cuales son presentadas visualmente en el contexto del modelo numérico (Figuras 6.23, 6.24 y 6.25). Por lo anterior, se solicita justificar en detalle la zonificación aplicada y la geometría finalmente establecida para las unidades y subunidades hidrogeológicas A, AB, y B, ello en coherencia con el apartado de Geología y sus respectivos Anexos.*

### **Respuesta**

Esta zonificación obedece a la discretización Geológica entre Núcleo, Zona Marginal, Zona Aluvial, y Sector Norte, tal y como se describe en el Capítulo 5.1 Geología. Por ejemplo, en la Figura 14 se aprecia esa discretización para la Unidad A, en las Zonas Marginales y en la zona Aluvial.



← Núcleo Moderno      Zona Marginal Moderna      Zona Aluvial Moderna →

36 Km / 25x Exageración Vertical

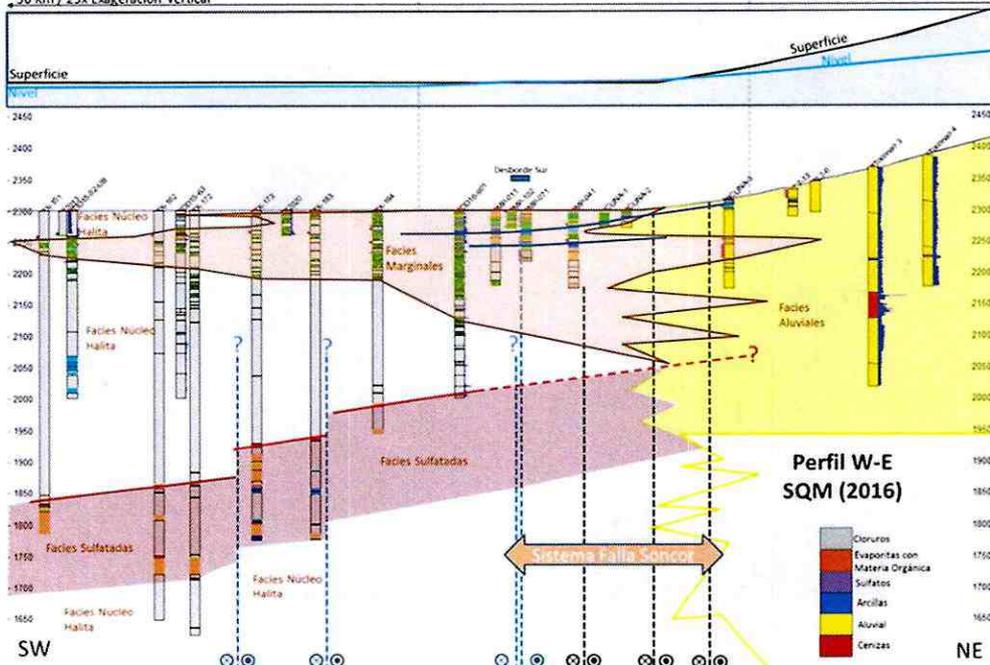


Figura 14 Perfil SW-NE que muestra la transición de facies evaporíticas en el núcleo, a facies marginales y aluviales distales. Soncor (Fuente: SQM, 2016)

En el Núcleo, se ha tenido en consideración algunas de las estructuras presentes definidas en la Figura 15. Además, la distribución de parámetros hidráulicos de las pruebas de bombeo realizadas en el Núcleo (ver Figura 12 contenida en respuesta a observación 2.6.4), permiten definir algunos subdominios dentro del propio Núcleo.

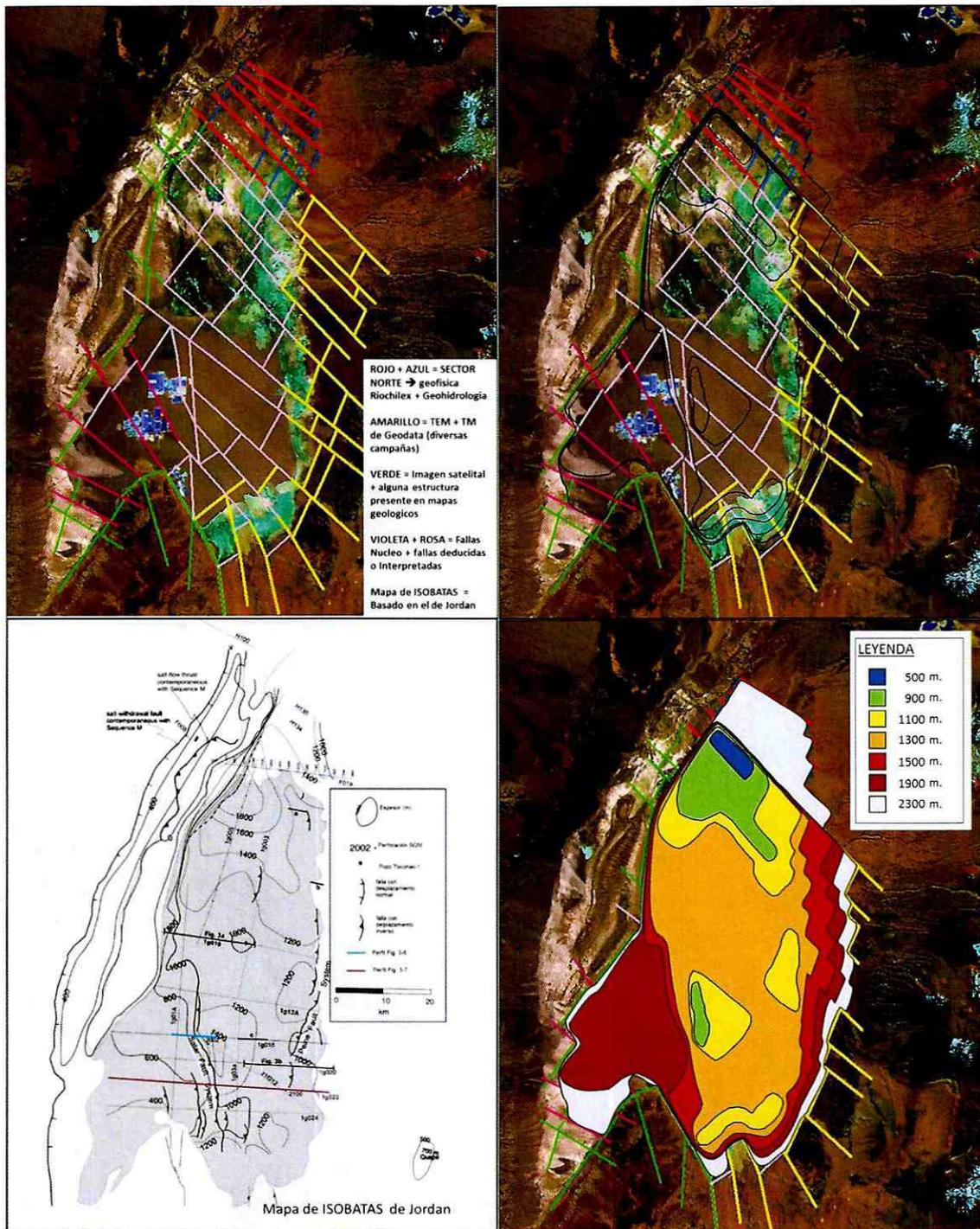


Figura 15. Cartografía estructural general y mapas de isobatas definidos a partir de la interpretación de las líneas sísmicas de Jordan et al. (2007). En la figura superior izquierda se detalla la leyenda de colores que indica el origen de la información a partir de la cual se han deducido (Fuente: Elaboración propia)

## 2.1 Balance hídrico

2.7.1 En el apartado '5.5 Balance Hidrogeológico' se hace referencia al Anexo V-5A, el cual incluye un breve resumen de los principales antecedentes de balance hídrico existentes a la fecha, los cuales fueron considerados por el titular en su cuarta actualización del modelo conceptual y numérico. Al respecto, se solicita incluir un listado con las referencias bibliográficas utilizadas, toda vez que no fue posible para este Servicio vincular todas las citas incluidas en el texto. Así también, se solicita incluir en el Anexo un análisis crítico de la información recabada, ello al a luz de los antecedentes que el propio titular dispone y el conocimiento alcanzado en base a nuevos estudios realizados o reinterpretaciones de los existentes. Resulta muy relevante que se informe claramente qué antecedentes, supuestos, etc., han sido mantenidos y cuáles han sido modificados para la presente actualización del modelo, ello también en comparación a la tercera actualización del modelo conceptual y numérico presentado por el titular en el marco del cumplimiento del Considerando 10.2.1 de la RCA N°226/2006.

### **Respuesta**

Todas las referencias usadas en el Informe, y en los Anexos, se encuentran reportadas en el Capítulo 10. Bibliografía, páginas de 239 a 249, del Informe de la Cuarta Actualización. No es objeto este informe realizar un análisis crítico de cada una de la información recabada, aunque en el Capítulo 2.1 Antecedentes, y más específicamente en el Anexo V-5A, se realiza parte de este análisis.

2.7.2 En el contexto del Anexo V-5A, se solicita justificar el supuesto de asumir nulo el error del balance hídrico. Así también, en la Tabla 5-16 del Informe Modelo Conceptual, se verifican diferencias entre los flujos de entrada (16.247 l/s) y salida (15.936 l/s), lo cual no es explicado en el informe. Finalmente, resulta recomendable que en la conceptualización se reflejen posibles rangos de variación de las magnitudes estimadas de los flujos de entradas y salidas.

### **Respuesta**

Si bien el término de error no se ha escrito en las ecuaciones de balance hídrico para régimen estacionario presentadas en el informe (página 121 en adelante), sí se ha mantenido de manera implícita. Esto con la finalidad de enfocarse en el desarrollo de los términos de entradas y salidas. De esta manera, y dado que en régimen estacionario el almacenamiento es cero, el error en el balance viene a ser la diferencia entre los flujos de entrada y salida:

$$\text{Error} = 16.247 \text{ l/s} - 15.936 \text{ l/s} = 311 \text{ l/s} = 1,9 \% \text{ del flujo de entrada}$$

Este balance se analiza también en la página 125 del Informe.

Respecto a los rangos de variación del error, analizar la variación de las fuentes de mayor incertidumbre en el cálculo. En este sentido las precipitaciones, niveles de pozos y caudales no son

calculados sino observados, por lo que no estarían sujetas a una variación por sensibilidad del método de cálculo.

Mayor información está también disponible en el Anexo V-5A.

*2.7.3 Considerando una condición natural del salar, el titular presenta en la Figura 5.16 el Balance Hidrogeológico promedio para la Cuenca del Salar de Atacama en régimen estacionario de pre-explotación, el cual asume, entre otras cosas, que el volumen almacenado tiene una variación nula. Respecto de la condición con intervención antrópica, es decir, en la condición de interés que debe ser analizada en la cuarta actualización del modelo, el titular no incluye en el Informe del Modelo Conceptual los supuestos incorporados para la construcción de un balance hídrico. Así, se solicita al titular: (1) presentar un apartado de balance hídrico en el escenario actualizado con explotación. Como insumos para este trabajo, el titular debe acompañar, en formato de planilla digital editable, los caudales históricos de salmuera extraídos y reinyectados (por pozo), los caudales históricos de salmuera y de extracción de agua dulce (por pozo) y la ubicación georreferenciada de los pozos de bombeo y de reinyección de salmuera, (2) respecto de la variación del volumen almacenado, sustentar los supuestos en base a datos medidos desde la aprobación del proyecto u otros antecedentes que disponga el titular, y (3) informar y acotar justificadamente el rango del error atribuible al balance hídrico en la situación con explotación.*

### **Respuesta**

Tal y como se explica en el apartado 5.5 Balance Hídrico del informe de la Cuarta Actualización del Modelo Numérico, página 125 del informe, “el cálculo del balance se realiza en condiciones de régimen estacionario para un estado de pre-explotación en el Salar. Este balance representa el funcionamiento natural del Salar y de las subcuencas aportantes”.

El Balance en régimen transitorio (que tiene en cuenta las extracciones de salmuera y agua dulce) se debe calcular con la herramienta del modelo numérico. La Tabla 6.19, de la página 212 del informe de la Cuarta Actualización, y que se replica a continuación, encontramos el resultado del balance de masa por año, entre el periodo de 1986 a 2030, donde se consideran las extracciones. Entre las páginas 213 y 214, se describen detalladamente los términos del balance.

A modo resumen, se muestra en la Tabla 6.20 (página 215), el resultado del balance de masa para los distintos periodos modelados.

Tabla 6.19 Resultado del balance de masa de la simulación entre 01-01-86 a 31-12-2030. (REC\_LL: recarga por superficie; REC\_LAT: recarga lateral; REC\_QUEB: Recarga aportes de quebradas; REC\_SONC: Recarga en Soncor; EV: Evaporación; EXTR: extracción neta; ΔS: salida o entrada por almacenamiento) (Fuente: Elaboración propia)

Cifras en L/s	REC_LL	REC_LAT	REC_QUEB	REC_SONC	EV	EXTR	ENTRADAS	SALIDAS	ΔS
1986	2560	12865	303	238	14892	27	15966	14919	-1047
1987	3103	12829	302	249	14939	27	16483	14966	-1517
1988	44	13185	310	293	15168	41	13833	15208	1376
1989	981	13150	309	287	15107	46	14727	15153	426
1990	462	12865	303	296	14573	58	13925	14632	706
1991	754	13150	309	293	15012	55	14506	15067	561
1992	74	12865	303	301	14508	49	13543	14557	1014
1993	118	13185	310	317	14958	51	13931	15009	1078
1994	169	12829	302	311	14389	69	13612	14458	846
1995	862	13185	308	324	15217	334	14680	15551	871
1996	638	12829	300	314	14587	387	14081	14974	893
1997	2354	13185	308	291	14903	630	16139	15533	-606
1998	165	12950	303	311	14558	676	13728	15234	1505
1999	823	13065	306	311	14490	774	14504	15264	760
2000	1242	12829	301	281	14414	721	14653	15135	482
2001	3082	13185	312	270	14668	734	16849	15402	-1447
2002	3904	12829	301	273	14645	810	17307	15456	-1852
2003	1246	13185	311	296	14575	779	15038	15354	316
2004	79	13017	307	302	14395	721	13705	15117	1411
2005	408	12998	306	310	14244	825	14022	15069	1048
2006	139	13125	308	330	14742	835	13902	15577	1676
2007	68	12991	307	321	14138	911	13688	15048	1360
2008	146	13049	309	321	14218	1033	13824	15251	1427
2009	6	12948	304	333	13947	1069	13590	15015	1425
2010	9	13067	308	333	13818	1575	13717	15394	1677
2011	734	13029	307	321	14059	1758	14392	15817	1426
2012	2729	13045	308	295	14140	1607	16378	15747	-631
2013	2302	12910	304	295	13894	1855	15811	15749	-62
2014	14	13100	310	305	13834	1801	13728	15635	1907
2015	2914	12994	308	269	13597	1807	16485	15405	-1080
2016	46	13047	308	300	13635	2141	13701	15776	2075
2017	1069	12897	303	315	13481	2284	14584	15765	1182
2018	865	13118	309	304	13517	2374	14596	15892	1296
2019	427	12890	300	294	14374	2545	13911	16919	3008
2020	77	13130	309	312	13850	2605	13828	16455	2627
2021	137	13024	306	313	13649	2578	13780	16227	2447
2022	207	12991	306	316	13545	2569	13820	16114	2295
2023	892	13024	306	311	13611	2578	14533	16189	1657
2024	707	13010	306	311	13537	2572	14334	16109	1774
2025	2525	12920	304	273	13576	2549	16022	16125	103
2026	124	13081	308	308	13636	2632	13821	16268	2447
2027	980	12928	304	303	13432	2650	14515	16082	1568
2028	934	13136	309	313	13665	2708	14692	16374	1682
2029	3570	12904	304	263	13603	2643	17042	16247	-795
2030	4132	13110	308	268	14190	2704	17818	16894	-924

Tabla 6.20. Resultado del balance de masa medio (L/s) según el modelo conceptual previo y los diversos periodos modelados (Fuente: Elaboración propia)

	ENTRADAS	SALIDAS	ΔS
Modelo conceptual	16247	15936	+/-311
Modelo estacionario	14353	14353	0
Periodo 1986-1994	14503	14885	-382
Periodo 1986-2015	14692	15223	-531
Periodo 1986-2030	14705	15558	-853

Referente a la solicitud de acompañar en formato digital los caudales históricos de salmuera y de extracción de agua dulce, esto ya se encuentra en el archivo “Input Extracciones y Reinyecciones.xlsx”, en la carpeta de archivos digitales del Modelo Numérico, ya que los datos de extracción se han usado como input para el Modelo Numérico en condiciones de régimen transitorio.

*2.7.4 Con respecto a las áreas de las unidades de análisis consideradas para el balance hídrico, a partir de la revisión del Informe y sus Anexos no resulta evidente para este Servicio confirmar si la delimitación utilizada en la Figura 5.41 y siguientes, coincide con la considerada en estudios previos de la DGA o de otros titulares, al igual que los ajustes efectuados en el balance hídrico a partir de la re-delimitación efectuada de las áreas para ajustarse a los límites del modelo numérico. Por lo anterior, se solicita: (1) explicar en detalle los ajustes implementados a las áreas de estudio y sus efectos sobre los balances hídricos en cada área, y (2) presentar un análisis comparativo con los estudios utilizados como referencia (construir Tabla con las distintas delimitaciones y sus superficies en km<sup>2</sup>), incluyendo en dicha comparación el informe de la tercera actualización del modelo numérico del titular, y aportando los elementos técnicos necesarios que sustentan los cambios implementados en la presente actualización.*

### **Respuesta**

Respecto a la solicitud del punto (1) consideramos primeramente destacar que, si bien la recarga de cada sector se ve modificada al variar su extensión, estas modificaciones no alteran el balance global de la cuenca. Dicho esto, en la Figura 16 se muestra un esquema de la metodología para la definición de las áreas de las unidades de análisis consideradas para el balance hídrico.

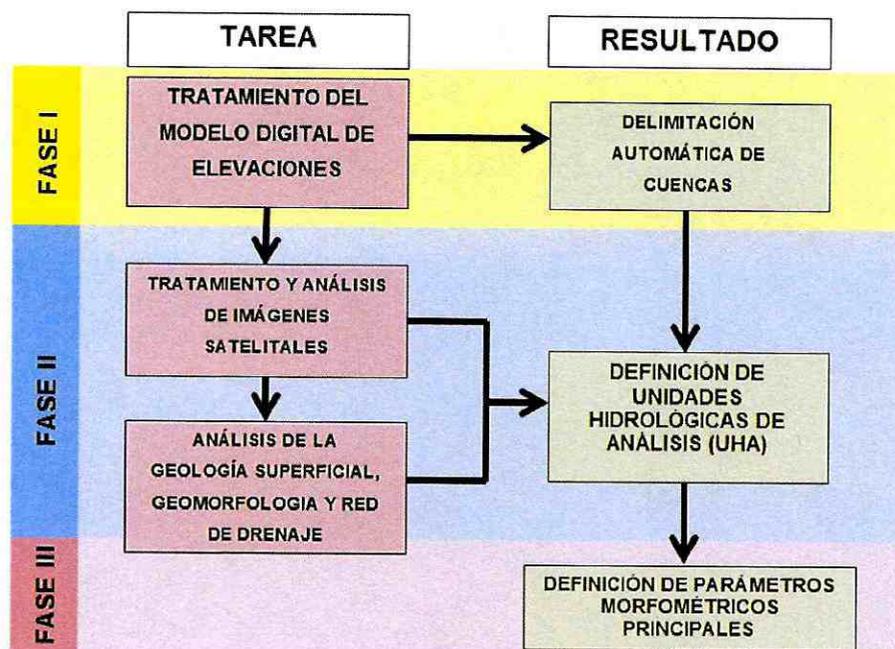


Figura 16. Metodología aplicada para la definición de las Unidades Hidrológicas de Análisis (UHA) de la Cuenca del Salar de Atacama (Fuente: Elaboración propia).

La Fase I trató sobre el tratamiento del Modelo Digital de Elevaciones (DEM). En ella se definieron automáticamente las cuencas según la topografía del lugar utilizando el software ArcGIS, herramienta ArcHydroTool. El DEM utilizado fue SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), desarrollado por la NASA, el USGS y la NGA, agencias de los EE.UU., existiendo también otras bases de datos (por ejemplo, el ASTER GDEM, desarrollado por Japón con apoyo de la NASA).

En la Fase II se verificaron y corrigieron manualmente los resultados de la Fase I utilizando para ello imágenes satelitales. Esto dado que existen zonas en las que el DEM no pudo reproducir completamente. Considerando entonces que los DEM pueden provenir de diferente origen, y además existe un proceso de mejoramiento manual, puede entenderse diferencias en la definición de cuencas entre diferentes estudios. El área total que se estimó para la cuenca es de 16.998 km<sup>2</sup>, que comparada con los 17.257 km<sup>2</sup>, según el “Análisis de la Oferta Hídrica del Salar de Atacama (DGA, 2013)” significa una reducción de sólo un 1.5% (258,6 km<sup>2</sup>) respecto a la delimitación oficial.

En la fase III se definieron los parámetros morfométricos principales para cada una de las unidades hidrológicas según los resultados de las fases anteriores.

Referente al punto (2), la comparación solicitada la incluimos en las Figuras 17, 18, 19 y 20 (ver abajo). En tales Figuras se muestran las diferencias en la delimitación definida en el marco de este estudio y de la oficial generada por la Dirección General de Aguas.

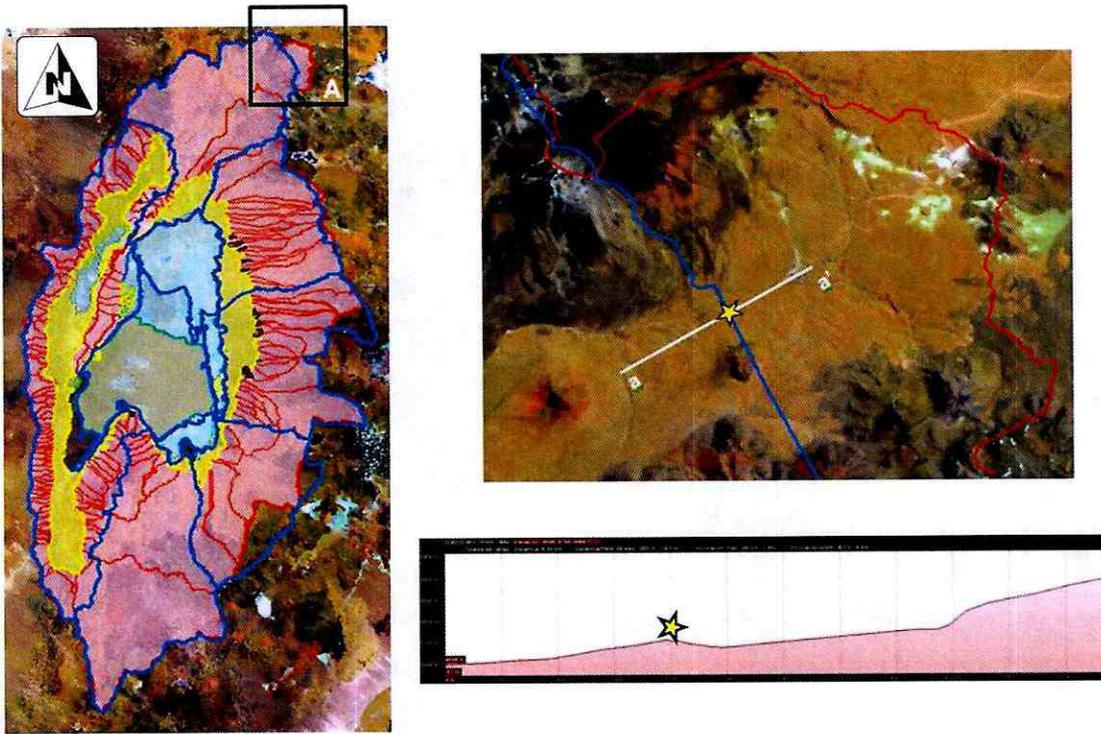


Figura 17. Diferencias entre la delimitación definida (línea roja) y la oficial de la DGA (línea azul), Zona A (Fuente: elaboración propia).

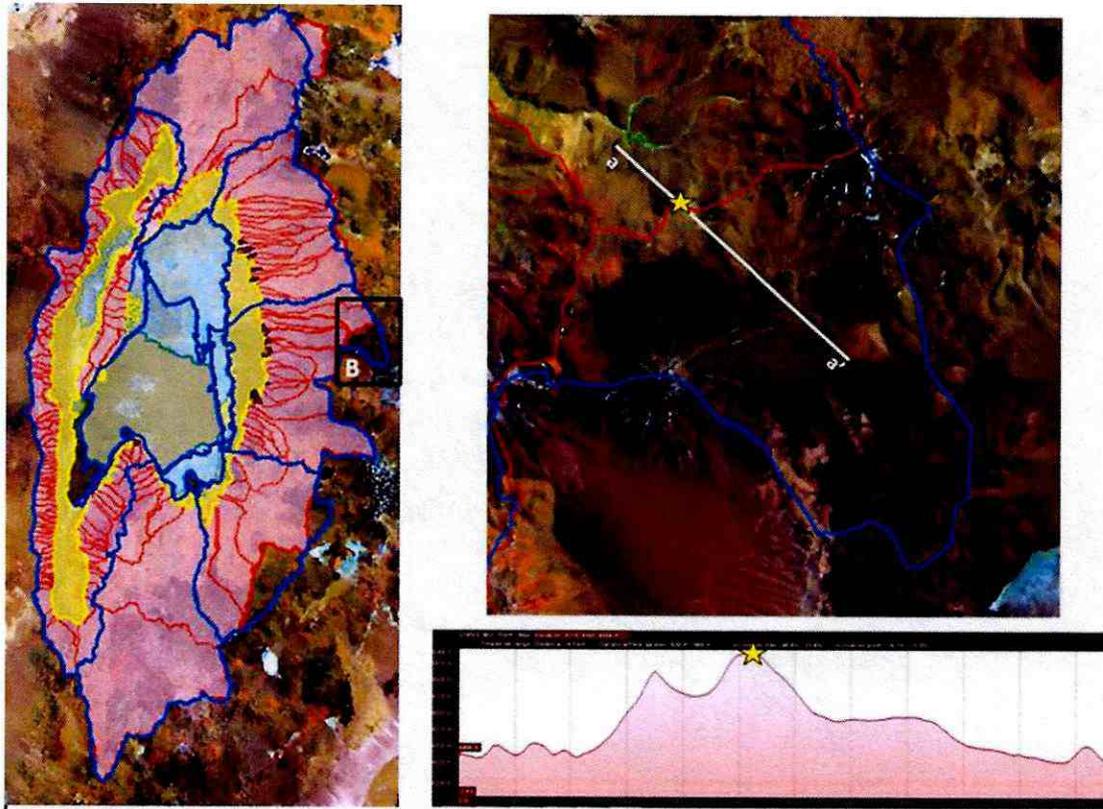


Figura 18. Diferencias entre la delimitación definida (línea roja) y la oficial de la DGA (línea azul), Zona B (Fuente: elaboración propia).

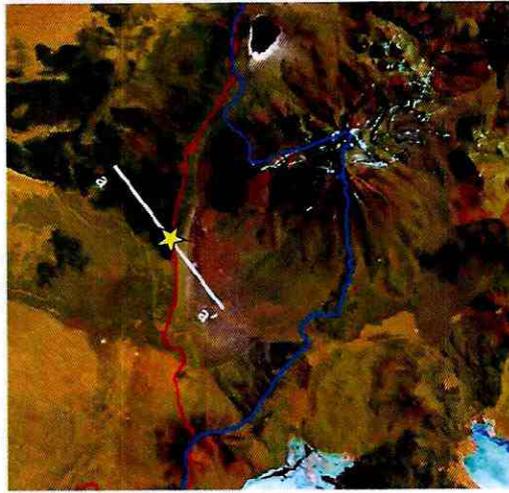
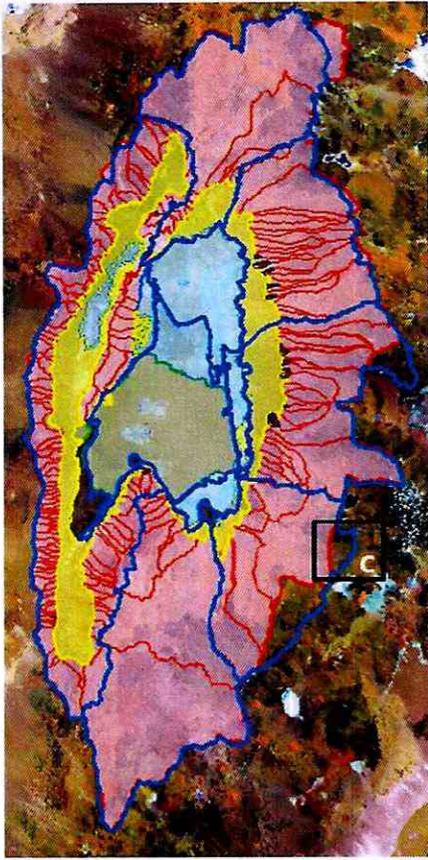


Figura 19. Diferencias entre la delimitación definida (línea roja) y la oficial de la DGA (línea azul), Zona C (Fuente: elaboración propia).

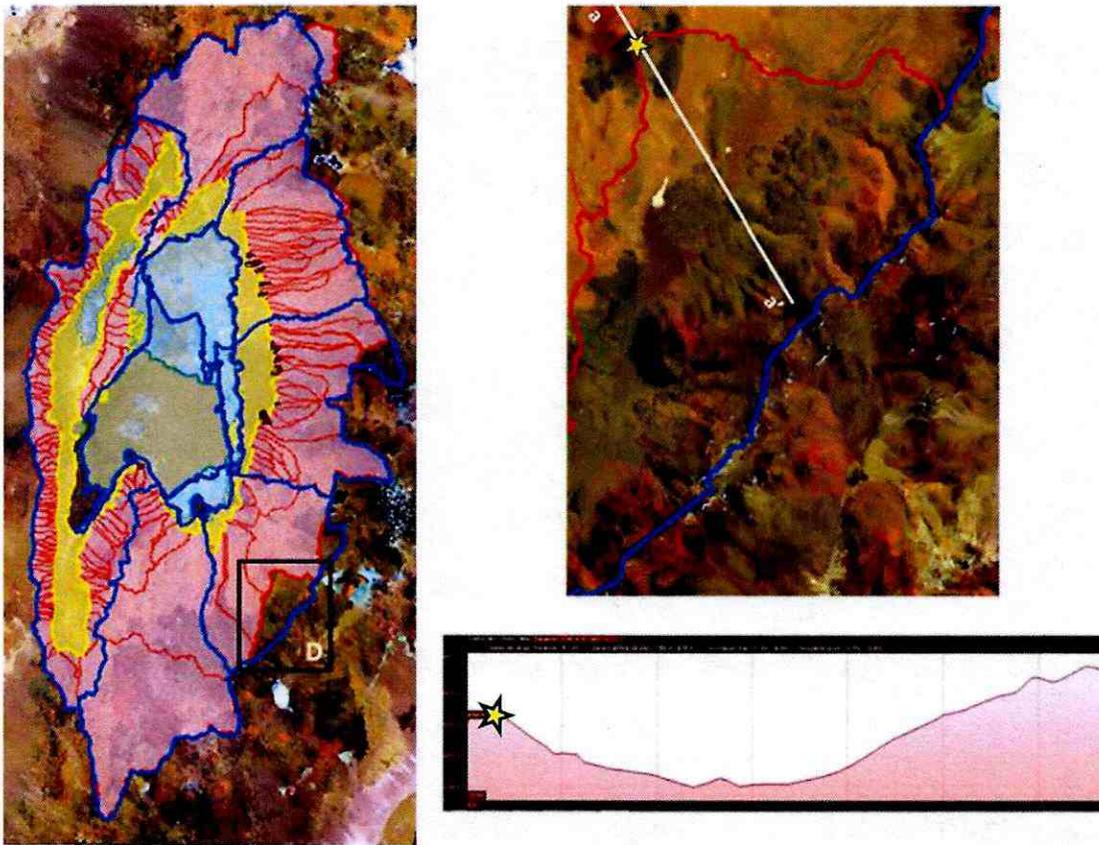


Figura 20. Diferencias entre la delimitación definida (línea roja) y la oficial de la DGA (línea azul), Zona D (Fuente: elaboración propia).

Mayor información referente al punto (1) puede encontrarse en el Anexo V-2A, mientras que para el punto (2) se sugiere el Anexo V-2B. Las figuras aquí incluidas también están disponibles en el Anexo V-2B, Figuras III a VI.

### III. INFORMACIÓN TÉCNICA DE RESPALDO QUE SE ACOMPAÑA

#### 1) Respuesta al Ord. N° 116/2017

1. Base de datos histórica -en formato de planilla Excel- de las cotas de aguas subterránea en m.s.n.m. y de las profundidades de la napa en metros de los pozos de monitoreo L3-2 y L3-16,

así como para los demás pozos que componen el plan de seguimiento actualizado hasta diciembre de 2016.

2. Carta GS 255/2016, de 18 de octubre de 2016.

**2) Respuesta al Ord. N° 764/2017**

1. Anexo 01 Recarga.xlsx (archivo)
2. Anexo 02 Evaporación.xlsx (archivo)
3. Anexo 03 Balance.xlsx (archivo)
4. Anexo 04 Procedimiento Muestreo PSA
5. Anexo 05 Procedimiento de Trabajo y Muestreo SGS
6. Anexo 06 Metodología Conductividad SGS
7. Anexo 07 Metodología Densidad SGS
8. Anexo 08 Corrección por Densidad.xlsx (archivo)
9. Anexo 09 Red Monitoreo Pozos Marea
10. Anexo 10 Datos PB Pozos Al Rpta Obs DGA SMA.xlsx (archivo)
11. Anexo 11 Informe de pruebas de bombeo del pozo Toconao-3
12. Anexo 12 Informe de pruebas de bombeo del pozo Toconao-4
13. Anexo 13 Informe de pruebas de bombeo del pozo Toconao-5

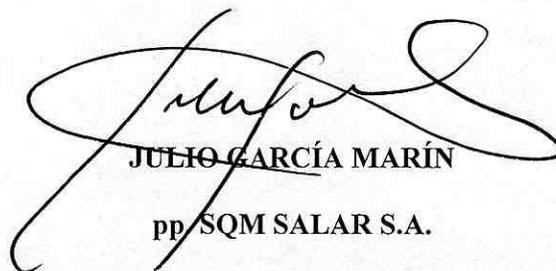
\* \* \* \* \*

**POR TANTO**, en conformidad a las respuestas entregadas a las observaciones formuladas por la Dirección General de Aguas en Of. Ord. N° 116/2017, y por la Dirección Regional de la Dirección General de Aguas en Of. Ord. DGA II N° 764/2017, y a la información técnica de respaldo que se acompaña en este acto,

**SOLICITO A UD.** tener por cumplido lo requerido mediante Res. Ex. N° 16/Rol F-041-2016, y con su mérito, emitir pronunciamiento respecto de la propuesta de programa de cumplimiento refundido que fuera ingresada con fecha 17 de octubre de 2017, sea aprobando el programa por cumplir con los requisitos y criterios de aprobación, o bien, formulando observaciones a su respecto.

Desde ya, manifestamos nuestra completa disposición a aclarar o complementar cualquier aspecto de esta presentación y/o de los antecedentes anexos.

Sin otro particular, saluda atentamente a usted,



**JULIO GARCÍA MARÍN**  
pp/ SQM SALAR S.A.

