



**MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS**

**Análisis de Disponibilidad de Aguas Subterráneas
en las Cuencas del Salar de Punta Negra e Imilac.**

**IT DARH N° 302
SDT N° 398**

**Santiago, de agosto 2017.
VZP-0203-2413**



CONTENIDO

1	ANTECEDENTES	3
2	OBJETIVOS	3
3	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.	4
4	CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA	5
4.1	CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA.....	5
4.2	DELIMITACIÓN DE LA CUENCA.....	7
4.3	VARIABLES HIDROMETEOROLÓGICAS	8
4.3.1	<i>Precipitación</i>	8
4.3.2	<i>Temperatura</i>	8
4.3.3	<i>Evaporación</i>	9
4.4	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA.....	11
4.5	CARACTERIZACIÓN GEOFÍSICA.....	13
4.6	CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA.	15
4.6.1	<i>Geometría del acuífero</i>	15
4.6.2	<i>Piezometría</i>	15
5	MODELO HIDROGEOLÓGICO	18
5.1	MODELO CONCEPTUAL.	18
5.2	MODELO NUMÉRICO.....	21
5.2.1	<i>Calibración</i>	22
5.2.2	<i>Validación</i>	22
5.2.3	<i>Simulaciones</i>	22
5.2.4	<i>Resultados</i>	23
5.2.5	<i>Conclusiones del estudio</i>	29
6	DELIMITACIÓN DEL SECTOR ACUÍFERO.	31
7	DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS	32
7.1	OFERTA DE RECURSOS HÍDRICOS PARA EL OTORGAMIENTO DE DERECHOS DEFINITIVOS.	32
7.2	DEMANDA COMPROMETIDA DE RECURSOS HÍDRICOS.	32
7.3	SITUACIÓN DE DISPONIBILIDAD PARA DERECHOS DEFINITIVOS.....	33
8	CONCLUSIONES	37
9	ANEXO N°1	39
10	ANEXO N°2	41

1 ANTECEDENTES

En abril del año 2017, finalizó el estudio SIT N°411 de abril de 2017, denominado "*Diagnóstico de Aguas Subterráneas en acuíferos de la II y IV región*", realizado por Suez Medioambiente Chile S.A. para el Departamento de Administración de Recursos Hídricos de la Dirección General de Aguas, cuyo objeto principal fue mejorar el conocimiento del recurso hídrico disponible de las cuencas del Salar de Punta Negra y Salar de Imilac en la región de Antofagasta, y las cuencas del río Turbio y río Claro en la región de Coquimbo.

Dicho estudio para los acuíferos ubicados en la Región de Antofagasta, consideró la generación, análisis y sistematización informática de carácter meteorológico, hidrológico, geológico, hidrogeológico, balance hídrico, modelación conceptual y simulaciones de escenarios en los sectores acuíferos de aprovechamiento común en cuestión, para que esto sirviera como herramienta de apoyo a la gestión para las tareas de la Dirección General de Aguas

Los objetivos se concretaron en determinar la disponibilidad de aguas subterráneas susceptibles de explotar a nivel de sector hidrogeológico de aprovechamiento común, realizando un análisis detallado de la realidad de los acuíferos existentes para conocer la cantidad de agua disponible y el volumen de explotación sustentable.

2 OBJETIVOS

El objetivo general del presente informe es dar a conocer los alcances del estudio SIT N°411 de abril de 2017 denominado "*Diagnóstico de Aguas Subterráneas en acuíferos de la II y IV región*" del Departamento de Administración de Recursos Hídricos de la Dirección General de Aguas.

El objetivo específico es analizar la situación de los derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en la cuenca del Salar de Punta Negra y la cuenca del Salar de Imilac, junto con delimitar el sector acuífero asociado y determinar la disponibilidad de recursos hídricos subterráneos para el otorgamiento derechos de aprovechamiento

3 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.

Las cuencas del Salar de Punta Negra e Imilac, se ubica en la región de Antofagasta, comuna y provincia de Antofagasta, en una depresión tectónica entre la cordillera de Domeyko y la Cordillera de los Andes, al sur del Salar de Atacama. Su cuenca, se caracteriza por grandes variaciones morfológicas, climatológicas y geológicas. El imponente volcán Llullaillaco, que cierra la cuenca al este, culmina a 6.800 metros de altura, es decir, 4.000 metros más arriba que el salar. (DGA-UCN-IRD, Enero 1999).

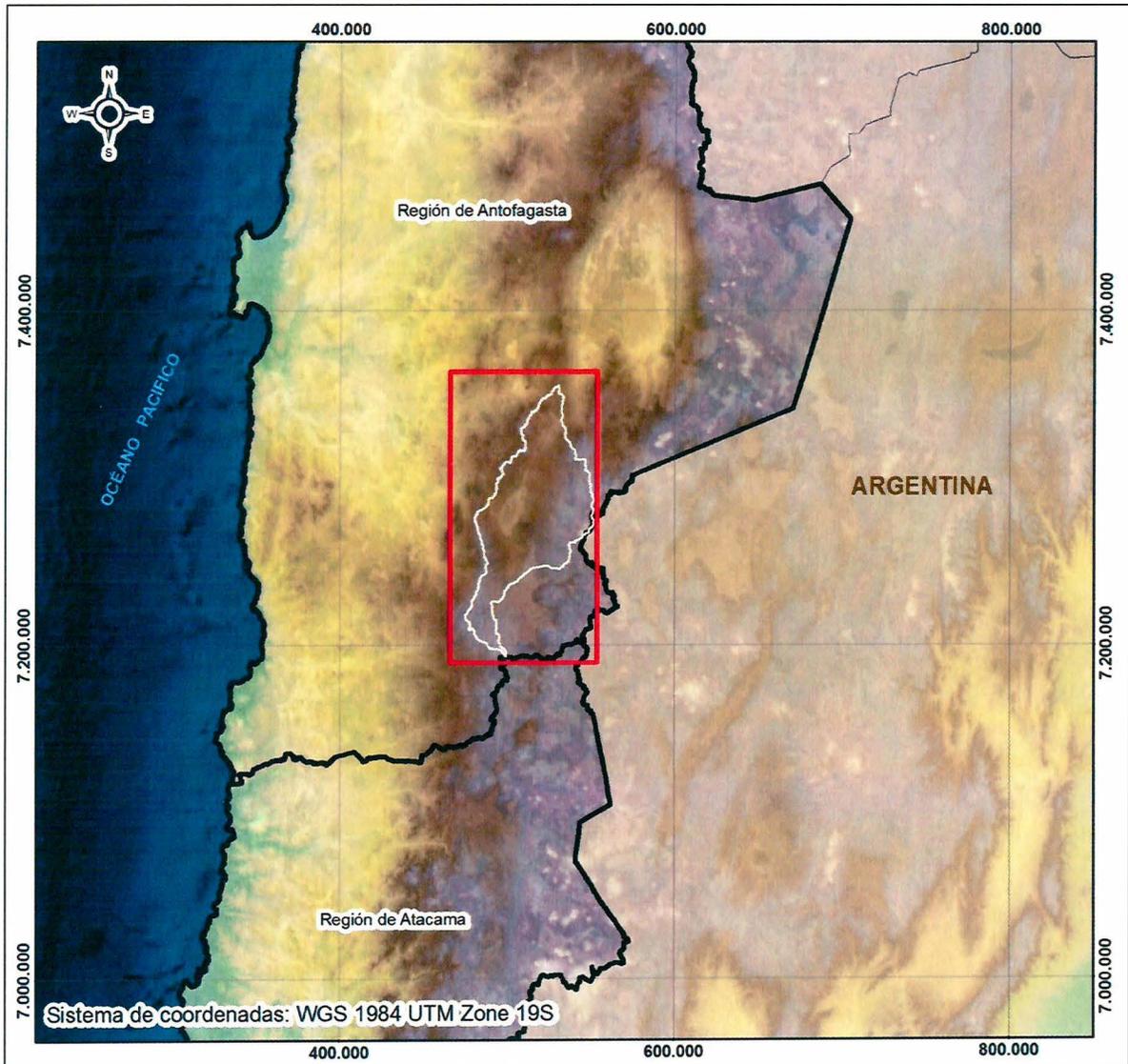


Figura 3.1.1. Localización de las cuencas del Salar de Punta Negra e Imilac, en la región de Antofagasta.

4 CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

4.1 Caracterización Geomorfológica

La región de Antofagasta está ubicada en la región septentrional de las pampas desérticas y cordilleras pre-altiplánicas. Esta Región presenta rasgos macro-estructurales semejantes a los de sus regiones vecinas de Tarapacá y de Atacama, compuestas por diversas unidades morfoestructurales producto de fenómenos modeladores del relieve que han tenido lugar desde el Paleógeno, siendo la de mayor relevancia el Altiplano chileno (DICTUC, 2009).

Esta macrounidad del relieve, presenta una variedad de unidades morfotectónicas, producto de cambios fisiográficos tanto en sentido norte sur como este oeste. Las rupturas separan niveles que corresponden a unidades micro-regionales, como las que se mencionan a continuación.

1. Farellón costero
2. Planicie litoral
3. Cordillera de la Costa y sus depresiones internas
4. Desierto de Atacama
5. Pediplanos y sistemas de glacis o pediment
6. Precordillera de Domeyko
7. La gran fosa de los salares prealtiplánicos
8. Cordones prealtiplánicos meridionales
9. Depresión salares cautivos pre-altiplánicos
10. Altiplano chileno

En particular, el Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común del Salar de Punta Negra e Imilac se emplaza en la cuenca salar de Punta Negra, constituyendo una cuenca endorreica perteneciente a la definición como Cuencas Endorreicas-Salar de Atacama-Vertiente Pacífico realizada por de la Dirección General de Aguas. Este sector se localiza en una depresión tectónica entre la Cordillera Domeyko y la Cordillera de los Andes, al sur del salar de Atacama. Su cuenca se caracteriza por grandes variaciones morfológicas, climatológicas y geológicas, dónde el imponente volcán Lullailaico, que cierra la cuenca al este, culmina a casi 6800 msnm, es decir 4000 m más alto que el salar.

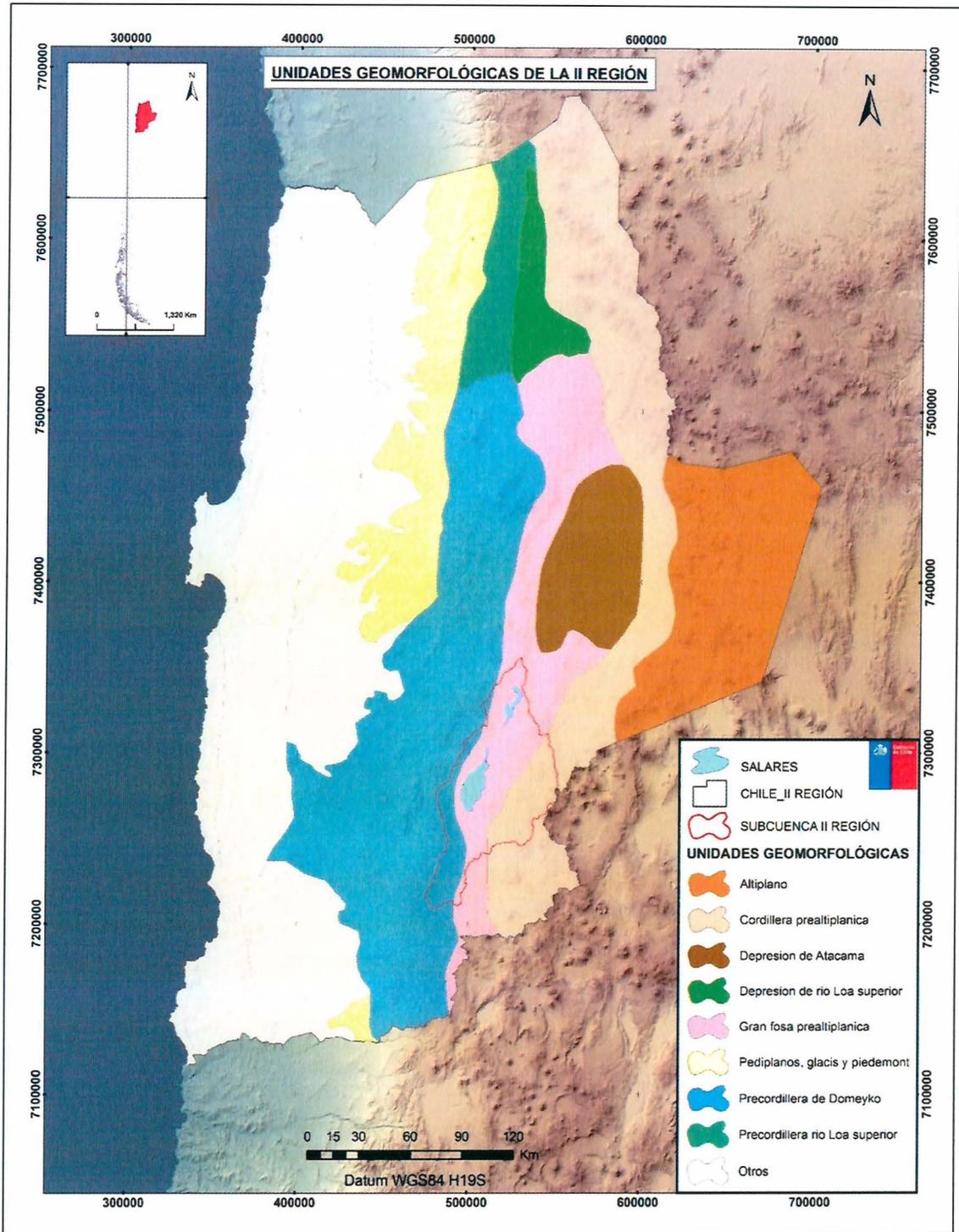


Figura 4.1.1. Principales Unidades Geomorfológicas definidas en la región de Antofagasta.

4.2 Delimitación de la cuenca

A partir de un modelo digital de elevaciones (DEM) con un tamaño de pixel de 30 m perteneciente a la región de Antofagasta, obtenido desde el servicio ASTER GDEM del METI y la NASA, se han aplicado diferentes tratamientos matemáticos para la obtención de la red de drenaje principal de toda la región.

La depuración del Modelo Digital de Elevación permite determinar el número de celdas aguas arriba vertientes sobre cada una de las celdas inmediatamente aguas abajo. Este análisis genera la diferenciación de celdas de acumulación con las cuales se caracteriza la red de drenaje de la cuenca de estudio

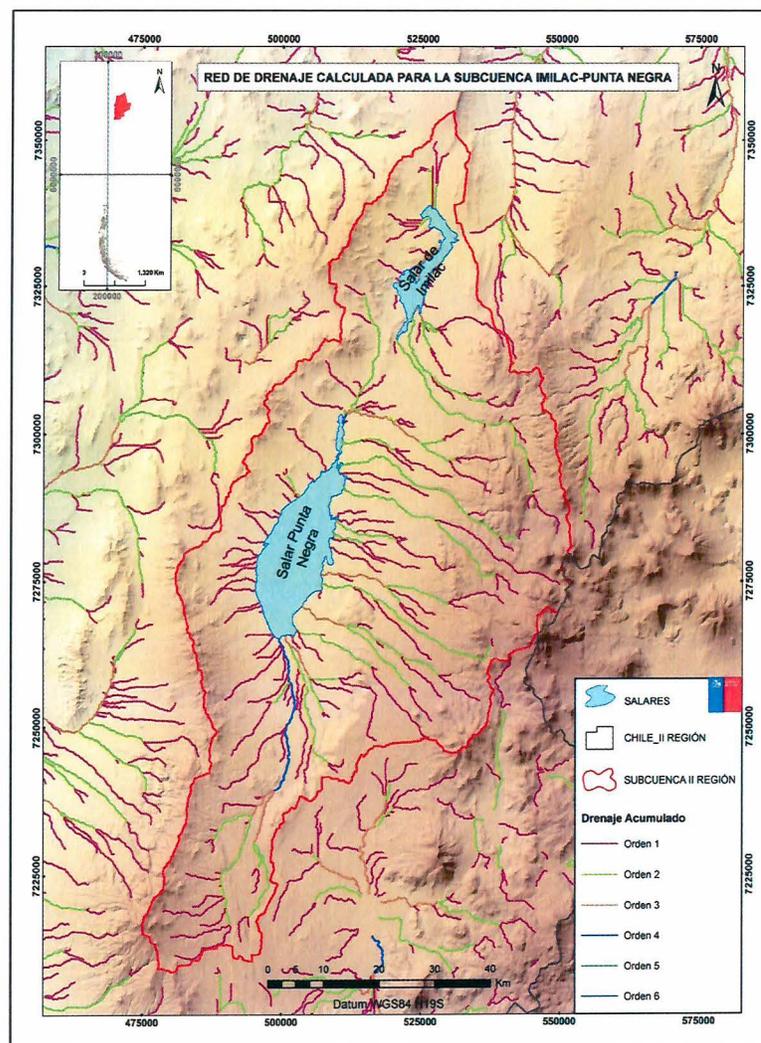


Figura 4.2.1. Red de drenaje generada a partir del DEM de la Cuenca del salar de Punta Negra e Imilac.

4.3 Variables Hidrometeorológicas

Las estaciones meteorológicas de las cuales se han obtenido los datos, se han seleccionado en función de características geográficas y de la cantidad y calidad de datos disponibles. Todas las estaciones utilizadas se encuentran dentro de la cuenca del Salar de Atacama

Es importante destacar que en la cuenca del salar de Punta Negra e Imilac no existen datos sobre estaciones fluviométricas, ni tampoco existen cauces permanentes, por lo que el análisis de caudales no se ha realizado.

4.3.1 Precipitación

La zona de estudio cuenta con muy pocos datos públicos de variables hidrometeorológicas en el interior de la cuenca. Únicamente la estación de Imilac se encuentra en su interior, esta cuenta con un registro temporal muy corto (5 años), por lo que fue descartada para ser utilizada en el análisis de precipitaciones

Por lo tanto, para realizar el análisis de precipitaciones, se han seleccionado los datos disponibles de las estaciones más cercanas a la cuenca, que se encuentran dentro del mismo rango altitudinal y que cuentan con un registro de precipitación mensual suficientemente extenso y actualizado para ser utilizado en el análisis de precipitaciones, estas estaciones son Socaire, Talabre, Peine y Camar, todas ellas se encuentran al norte de la zona de estudio, en la vecina cuenca del Salar de Atacama.

La distribución de precipitaciones sobre la cuenca se realizó mediante la aplicación del gradiente altitudinal de precipitaciones al modelo digital del terreno, generando líneas isoyetas y polígonos de precipitación a través de los cuales se determinó una precipitación total para el área de estudio de 350 hm³, equivalente a 11.098 Litros por segundo.

La distribución espacial de precipitaciones muestra que las mayores precipitaciones se producen en las zonas altas sobre los depósitos de origen volcánico de la cordillera de los Andes, mientras que, en las zonas de menor altitud, las precipitaciones son muy bajas, alcanzándose valores mínimos de en torno a 40 - 50 mm/año en el área del salar de Punta Negra.

4.3.2 Temperatura

Al igual que en caso de las precipitaciones, la zona de estudio cuenta con muy pocos datos públicos de temperaturas. Inicialmente se evaluaron los registros de 7 estaciones, de las cuales únicamente se utilizaron 3 de ellas para hacer el análisis de temperaturas

Las estaciones fueron seleccionadas en base a los periodos de registro de datos disponibles y a su ubicación geográfica

Con respecto a su ubicación geográfica, las 3 estaciones utilizadas para el análisis se encuentran fuera de la cuenca objeto de estudio, la más cercana a la cuenca es la estación de 'Monturaqui', la cual se encuentra en la pampa de Socompa, en la vecina cuenca del salar de Atacama. Las otras dos estaciones (Peine y Socaire) se encuentran más alejadas en dirección norte y también dentro de la cuenca del salar de Atacama.

Al comparar la temperatura media anual con la altitud de las estaciones muestra que la temperatura media anual disminuye con la altura, en un gradiente de $-0,81^{\circ}\text{C}$ por cada 100 m de altitud, esto hace que las mayores temperaturas se encuentren en el área del salar de Punta Negra (En torno a 12°C) y las menores temperaturas en las cimas de las montañas de la cordillera de los Andes, con mínimos de -13°C en la cima del volcán Lullillaillaco.

Con respecto a la variación temporal, las temperaturas muestran un comportamiento bastante similar a las precipitaciones, con máximos en los meses de verano (diciembre - febrero) y mínimos en invierno (junio - agosto).

4.3.3 Evaporación

En la cuenca del salar de Imilac y salar de Punta Negra se estima que la evaporación se produce mayormente desde superficies libres (lagunas) y aguas subterráneas (nivel freático). Si bien existen en las zonas altas de la cuenca algunos bofedales, según el presente estudio, se considera que por su reducido tamaño no tendrían efecto en el cálculo total de la evaporación

La evaporación tanto desde lámina libre como desde agua subterránea depende principalmente de las condiciones meteorológicas tales como radiación solar, temperatura, humedad relativa y ventilación. Estos factores, combinados con la salinidad del agua y la profundidad del nivel freático en el caso de la evaporación desde aguas subterráneas, condicionan la tasa de evaporación.

Se entiende como evaporación desde lámina libre, toda evaporación que se produce desde lagunas o cuerpos de agua expuestos de forma directa a la radiación solar

La evaporación desde lámina libre se calcula a partir de multiplicar la evaporación potencial (EP) por el coeficiente de reducción por salinidad (K_s) y por la superficie de lámina libre, es decir por el área de cada laguna.

El caudal que evapora desde la superficie de las lagunas fue estimado de acuerdo a la metodología empleada por Mardones (Mardones, 1998) y por DICTUC (DICTUC, 2004) mediante la siguiente ecuación:

$$E_L = EP \cdot k_s \cdot A_L$$

Donde,

E_L : evaporación desde lámina libre [L^3/T]

EP : evaporación potencial [L/T]

k_s : coeficiente de reducción por salinidad [1]

A_L : área de la superficie en lámina libre [L^2]

La estimación de evaporación desde lámina libre de los cuerpos de agua tanto del salar de Punta Negra como del salar de Imilac, pueden variar durante el año debido a las variaciones en la superficie de las lagunas. No obstante, estas variaciones, según el presente estudio, no tendrían un efecto muy significativo sobre el resultado total de evaporación, ya que la principal salida por evaporación se da desde agua subterránea (aprox. un 90% del total evaporado). En la zona de estudio, se evaporaría desde lamina libre, un total de 21,22 litros por segundo.

La evaporación que se produce en cuencas endorreicas se da principalmente desde los cuerpos de agua subterránea. Este tipo de cuencas al presentar en su zona más deprimida un salar donde el nivel freático generalmente se encuentra a poca profundidad, presentan áreas muy extensas con altas tasas de evaporación

La evaporación desde el agua subterránea se calcula a partir de dos elementos. Por un lado, las curvas de evaporación versus profundidad del nivel freático (N.F.) y, por otro, la distribución espacial de profundidad del nivel freático en el área de interés.

De este modo, la evaporación desde el agua subterránea se calculará como el producto de ambos elementos, como se expresa a continuación

:

$$E_N = E(z) \cdot A(z)$$

Donde,

E_N : evaporación desde napa [L^3/T]

$E(z)$: evaporación en función de la profundidad del nivel freático [L/T]

$A(z)$: área del nivel freático a profundidad z [L^2]

Las curvas de evaporación versus profundidad del suelo se han construido a partir de las mediciones realizadas con el lisímetro. Los lisímetros miden la evaporación que se produce a partir del descenso que registra el transductor de presión. Asumiendo que el descenso se produce por igual tanto en el tanque de carga como en el tanque de ensayo, el descenso producido será 1 por la porosidad del tanque de ensayo. El descenso depende directamente de las condiciones atmosféricas y de la profundidad del nivel

freático y nos entregará un valor de tasa de evaporación que variará según ambas condiciones.

En la zona de estudio se evaporaría desde el nivel freático un total de 214,9 litros por segundo de los cuales 209,5 litros por segundo corresponderían al salar de Punta Negra y 5,4 litros por segundo al salar de Imilac.

El total evaporado en las cuencas del salar de Punta Negra y salar de Imilac resultado de la suma de la evaporación desde lámina libre y desde aguas subterráneas. La tasa de evaporación total calculada para la zona de estudio sería de 236 litros por segundo.

4.4 Caracterización Geológica.

La cuenca de estudio (Salar de Punta Negra e Imilac) se compone de dos salares de similares características desde el punto de vista de la génesis y, por tanto, también desde el punto de vista geológico, no obstante, conforman geometrías y espesores acuíferos distintos.

Ambos salares, ubicados en una depresión de origen tectónico entre la cordillera Andina y la cordillera de Domeyko, se formaron a partir de los continuos procesos de evaporación que tienen lugar en la zona más deprimida de la cuenca. Dicha cuenca está controlada por fallas normales de dirección preferencial N-S, con componentes secundarios SE-NO. Alrededor del salar de Punta Negra se generó una planicie casi horizontal de estratos de arcilla y arenas irregularmente depositadas.

En el sector norte del salar afloran rocas paleozoicas volcanoclásticas y depósitos coluviales y aluviales antiguos, intercalados con afloramientos graníticos terciarios.

La zona del salar propiamente tal, se encuentra rellena de sedimentos terciarios y cuaternarios incluyendo los depósitos de sulfatos y cloruros de su interior, que se espacializan como sedimentos muy finos mezclados con capas salinas, que en general sin material grueso excepto algunas lenguas de conglomerados con materiales clásticos gruesos. Al este de la cuenca, existen rocas efusivas y al oeste sedimentos, rocas ígneas y volcánicas pre-terciarias

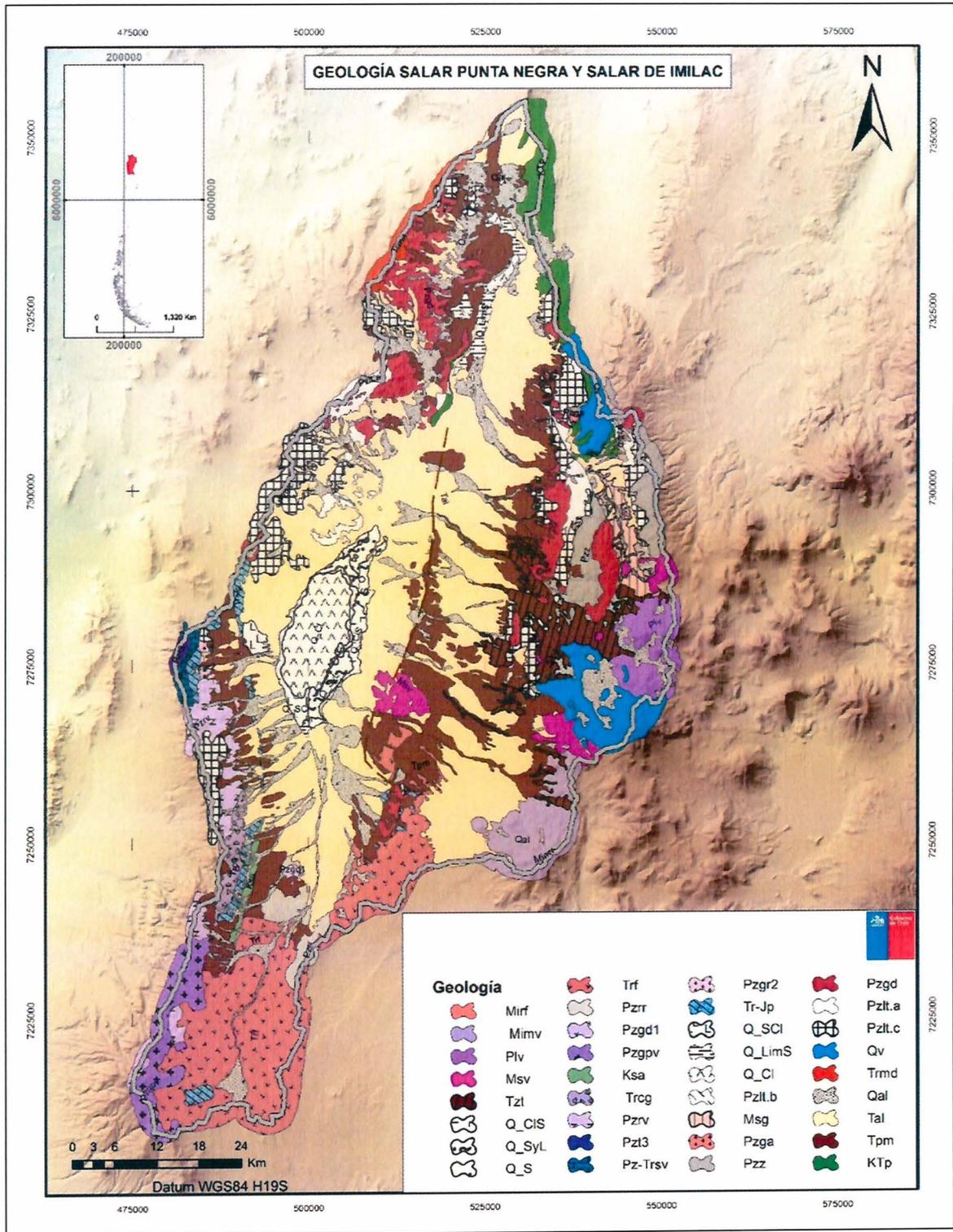


Figura 4.4.1. Geología del Salar de Punta Negra y Salar de Imilac. Fuente: modificado de Gardeweg et al., 1994.

4.5 Caracterización Geofísica.

En la cuenca del salar de Punta Negra se realizaron un total de 7 perfiles TEM, 3 perfiles NanoTEM y un perfil gravimétrico sumando un total de 35 puntos TEM y 46 puntos de gravimetría. En la cuenca del salar de Imilac fueron 5 perfiles TEM, 1 perfiles NanoTEM y un perfil gravimétrico sumando un total de 22 puntos TEM y 14 puntos de gravimetría.

El método de transiente electromagnético (TEM) se utilizó con el objetivo de definir la superficie freática, la geometría de la cuña salina (NanoTEM) y el contacto entre los depósitos aluviales y el método de gravimetría para definir la geometría del basamento.

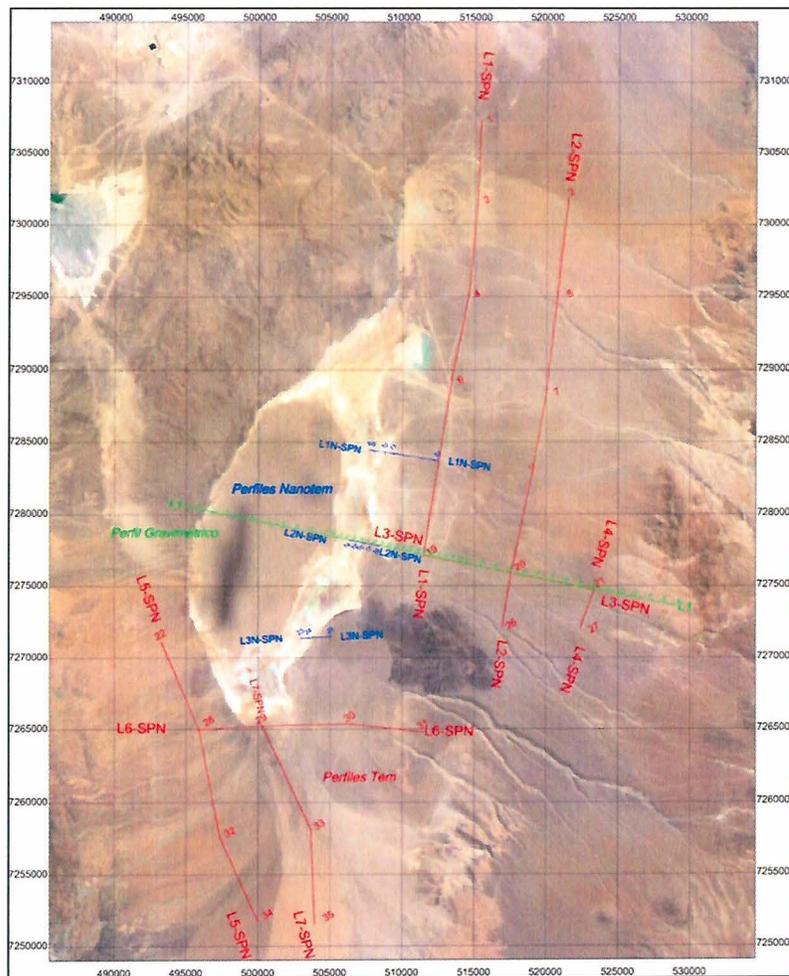


Figura 4.5.1. Ubicación de los perfiles realizados en la cuenca del salar de Punta Negra.

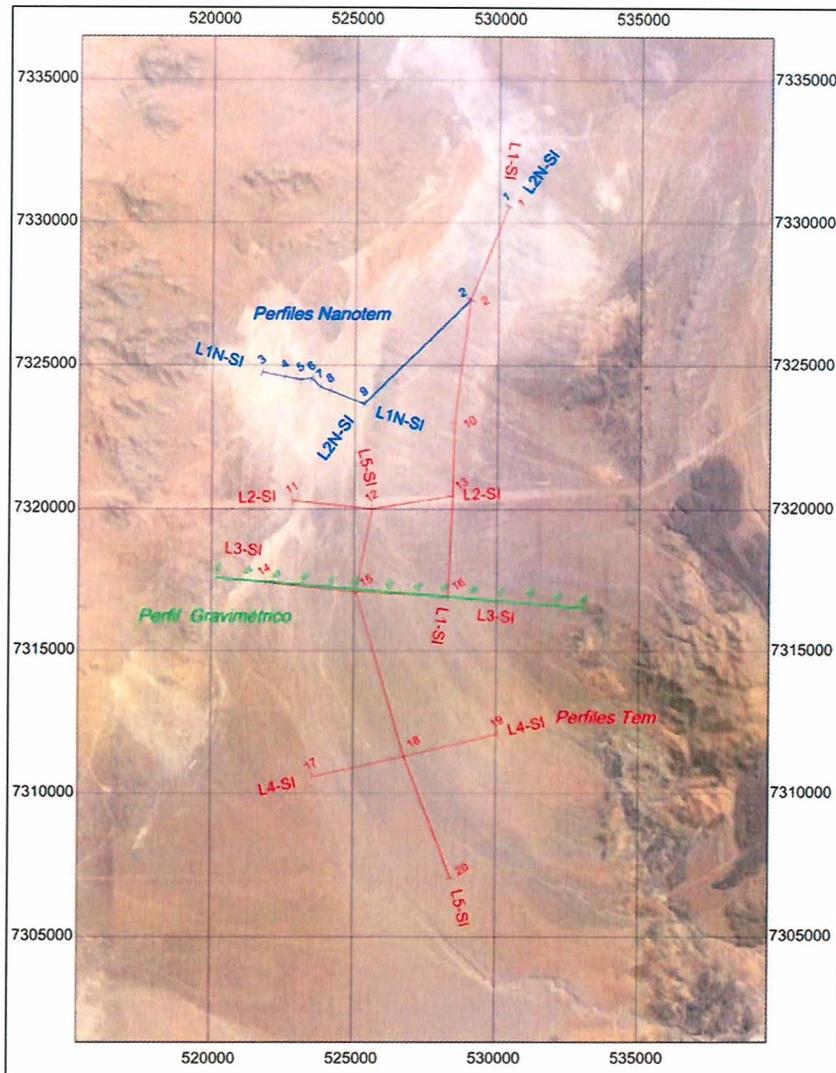


Figura 4.5.2 Ubicación de los perfiles realizados en el salar de Imilac.

Los dos perfiles gravimétricos se realizaron con el objetivo de conocer la geometría del basamento. A partir de los perfiles se ha determinado que, para la cuenca del salar de Punta Negra, el espesor de relleno sedimentario en su parte central es de unos 1.000 m. Por su parte en el salar de Imilac, la profundidad observada en la sección seleccionada fue de 400 m.

Los perfiles TEM se utilizaron para conocer la profundidad del nivel freático en diferentes puntos y de esta forma poder generar un mapa piezométrico el cual se describe en la siguiente sección. En los perfiles no se pudo reconocer el basamento, éste se encuentra a mucha profundidad y la señal emitida con el método TEM se pierde antes de llegar al basamento.

También se observó en los tres perfiles NanoTEM ubicados en el margen del salar de Punta Negra la geometría de la cuña salina pudiendo distinguir el acuífero de agua dulce del acuífero de salmuera o agua salada, separados por la interfaz salina. En algunos de los perfiles se observó como el nivel freático descendía hacia el este causado por el cono de depresión producido por el campo de pozos central

4.6 Caracterización Hidrogeológica.

4.6.1 Geometría del acuífero

Para la obtención de la geometría en profundidad, se han analizado en conjunto los datos obtenidos en la campaña geofísica, las columnas litológicas recopiladas, así como la información geológica de superficie, integrándola en el software Hydro Geoanalyst para su mejor procesado e interpretación, elaborando perfiles hidrogeológicos, que con un posterior procesado de interpolación, se ha podido obtener la geometría tridimensional del relleno sedimentario, definido como el acuífero.

Para ello se han trazado un total de 28 perfiles en la cuenca del Salar de Punta Negra e Imilac, que mediante un proceso iterativo de interpretación entre unos perfiles y otros, se ha ido dando coherencia e infiriendo la posición del basamento, que, por falta de información, ha tenido que ser supuesta en muchos casos, siempre bajo criterio geológico y correlativo entre distintos perfiles.

Asimismo, aunque con cierta incertidumbre, el mencionado proceso ha permitido la obtención de la geometría tridimensional del acuífero, la cual, en líneas generales, pone de manifiesto la existencia de dos sectores acuíferos, uno el correspondiente con la cuenca del salar de Punta Negra, y otro con la cuenca del salar de Imilac, no aislados sino dependientes en función de la posición del nivel freático, pudiendo estar desconectados si la napa desciende por determinado nivel.

4.6.2 Piezometría

El flujo subterráneo en la cuenca del salar de Punta Negra se desplaza principalmente de Este a Oeste. Dentro del acuífero aluvial se distinguen dos sectores claramente diferenciados. Según el informe de GAC-MEL existe una falla normal con orientación NNE-SSW que divide el acuífero aluvial ubicado al este del salar en dos unidades. Según la piezometría elaborado a partir de los perfiles geofísicos, se observa un salto significativo en la piezometría coincidiendo con la falla. Este hecho corroboraría la existencia de dos bloques separados por la falla.

La piezometría al este de la falla presenta una morfología continua, representativa de un régimen natural. Por el contrario, al oeste de la falla, debido a la intensa explotación, la

piezometría está condicionada por la presencia de los campos de pozos. Existen dos campos de pozos, sector norte y sector centro, el primero con una caudal de extracción mayor genera un cono de depresión más pronunciado que el campo de pozos del sector central.

El campo de pozos del sector norte, se encuentra al norte del salar de Punta Negra, en una zona deprimida, cerca del límite con la cuenca del salar de Imilac. Su ubicación estratégica hace que el cono de depresión fruto del bombeo no altere el funcionamiento de los sectores de vegas VCL2 y VCL3. No obstante, si el cono de depresión se continuase expandiendo, con el tiempo podría interferir en la cuenca del salar de Imilac. No se conoce con exactitud si existe una continuidad del acuífero hacia la cuenca del salar de Imilac, pero dada la geología observada en superficie es esperable que ambos acuíferos estén conectados.

El campo de pozos del sector central, no genera un cono tan pronunciado debido a su menor explotación. Una explotación descontrolada podría afectar los sectores de lagunas VCL2 y VCL3 alterando el ecosistema. Este hecho ya se produjo antes del año 2.000 y por este motivo Minera Escondida Ltda. inyecta un caudal determinado para mantener siempre las vegas en condiciones óptimas para el desarrollo de la fauna y flora autóctona del sector. La recarga artificial producida para mantener las vegas, se ve reflejado en la existencia de domos en la piezometría ubicados cerca del margen del salar.

En el sector sur de la cuenca, al no haber pozos de bombeo, la piezometría muestra un régimen natural con un flujo convergente con orientación S-N. Se estima que este sector puede disponer de reservas abundantes de agua debido a las dimensiones de la cuenca aportante.

Entre el sector centro y sur, afloran materiales volcánicos los cuales se desconoce que interacción tiene con el acuífero aluvial. Al oeste de esta formación se encuentra el sector VCL3, punto en el cual aflora agua subterránea la cual podría estar asociada a la formación volcánica.

Al oeste del salar se encuentra la cordillera de Domeyko, ésta presenta depósitos aluviales que podrían albergar agua. Teniendo en cuenta la escasa precipitación que se produce en el sector, no se esperan aportes subterráneos de las dimensiones del sector este. Este hecho también se ve reflejado en la formación de la costra salina en el margen oeste del salar donde el ancho es muy inferior al del margen este. La piezometría en esta zona se ha extrapolado siguiendo un criterio geomorfológico al no tener puntos medidos de profundidad del nivel freático.

La cuenca del salar de Imilac se alimenta principalmente de la quebrada Guanaqueros situada al SE. Este hecho provoca que el flujo subterráneo preferencial en la cuenca sea de SE a NO. El acuífero también se propaga hacia el N por el lado este del salar aportando agua al salar central. En el salar central el agua subterránea se desplaza en sentido S-N hasta la zona más deprimida del salar ubicada al norte.

El salar ubicado al SO presenta una piezometría concéntrica con su parte más deprimida en el centro del salar. Según las vertientes observadas en terreno, el salar recibe aportes tanto de la cordillera de Domeyko como del salar central. No se ha podido extrapolar la

piezometría hacia el oeste del salar por falta de puntos de medición de nivel no obstante se interpreta que los depósitos aluviales del margen oeste contienen agua y que estos son los causantes de la formación de una vertiente en este punto.

Se desconoce la piezometría en el sector del salar ubicado al NO, pero se interpreta que los aportes principales deben venir del NO.

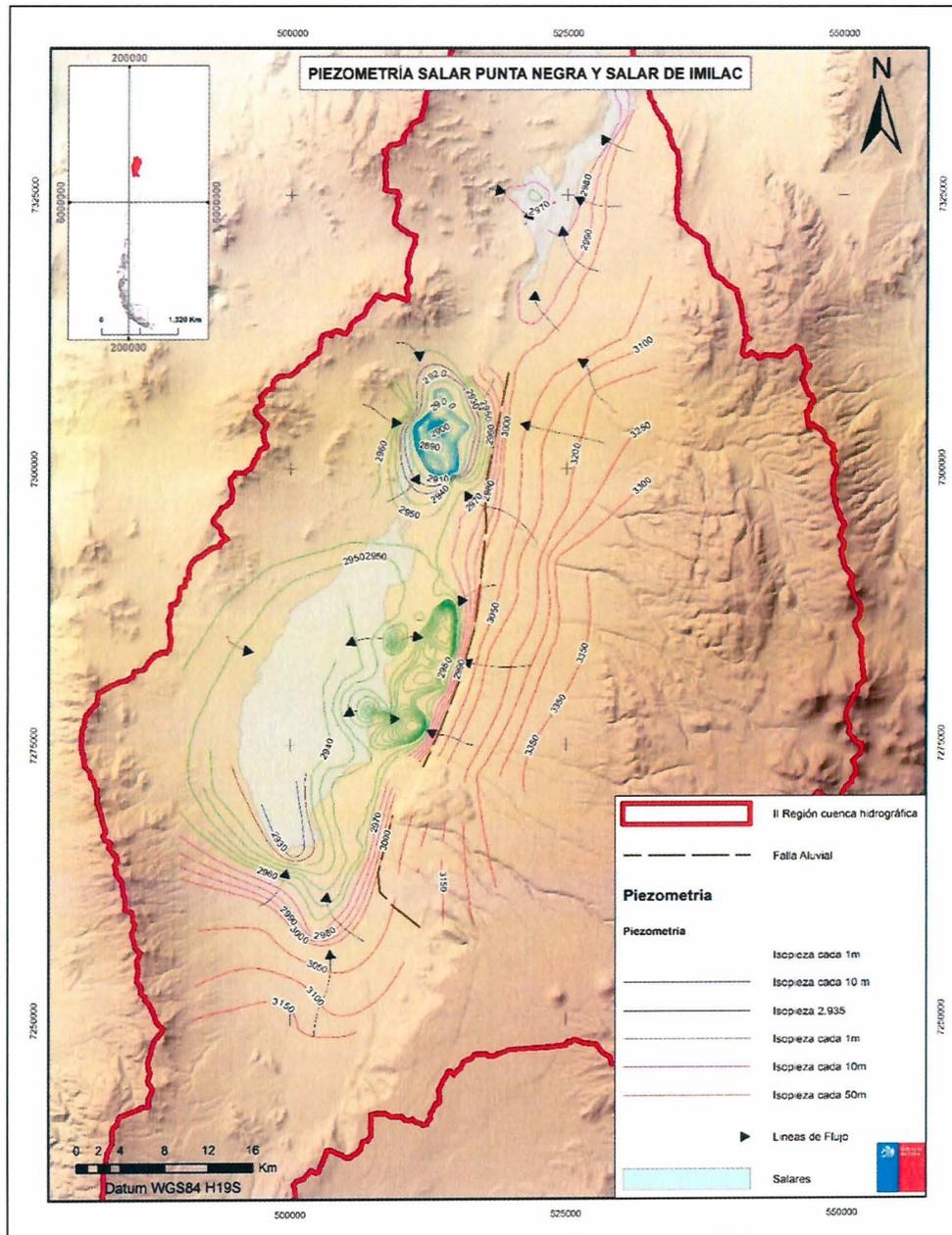


Figura 4.6.2.1. Isopiezias y dirección de flujo en el Salar de Punta Negra y Salar de Imilac en diciembre de 2015 sobre mapa hidrogeológico.

5 MODELO HIDROGEOLÓGICO

5.1 Modelo conceptual.

En la zona de estudio se observa una divisoria de aguas superficiales entre la cuenca del salar de Imilac y el salar de Punta Negra, sin embargo, con los datos de los que se dispone actualmente no se puede asegurar que subterráneamente exista discontinuidad entre los acuíferos aluviales de ambas cuencas, por lo que se ha decidido considerar estos acuíferos como un único Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común, el cual incluye el acuífero detrítico y los acuíferos salinos que se encuentran dentro de la cuenca. Para efectos de modelación se excluyen las formaciones que rodean el acuífero aluvial, las cuales, en su mayor parte se han considerado como basamento impermeable, y si bien es cierto que en algunos casos pueden comportarse como acuífero fisurado, estos son de baja permeabilidad.

El funcionamiento conceptual de la cuenca salar Imilac y salar de Punta Negra tiene un comportamiento típico de una cuenca endorreica. La recarga de los acuíferos formados por los depósitos aluviales colindantes al salar, se produce por percolación directa de las precipitaciones ocurrientes en la misma cuenca, así como por la infiltración a lo largo de su recorrido de cursos superficiales eventuales, así como por la infiltración proveniente del derretimiento de precipitación sólida en las zonas altas de la cordillera de los Andes

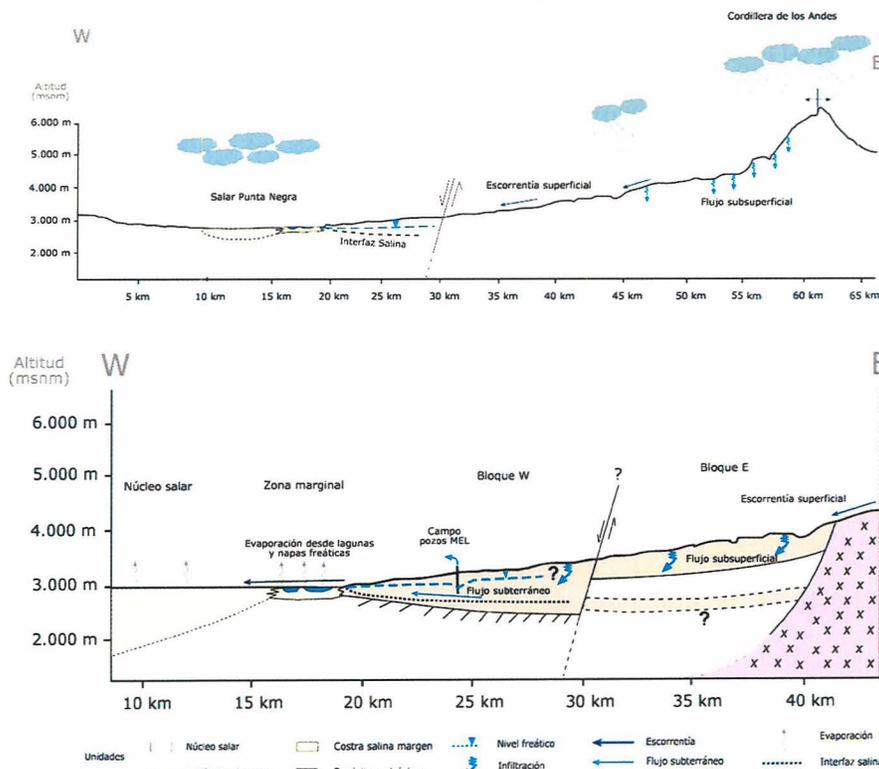


Figura 5.1.2.1 Esquema conceptual del funcionamiento del salar de Punta Negra con el ciclo del agua desde la precipitación en la cordillera de los Andes hasta su evaporación al aproximarse al salar.

En el caso del núcleo del salar, su alimentación proviene principalmente desde el acuífero aluvial del margen este, aunque también recibe en menor medida de otros acuíferos aledaños como de precipitación directa sobre el salar.

El agua del acuífero aluvial, fluye de mayor a menor altura piezométrica hasta llegar al margen del salar donde entra en contacto con el acuífero salino. La zona de contacto entre ambas masas de agua se conoce como interfaz salina. En este punto, el agua dulce por diferencia de densidad, en algunos puntos asciende a la superficie formando una serie de lagunas de gran importancia ecológica



Figura 5.1.2.2. Modelo conceptual del funcionamiento del margen de un salar

Las aguas de la zona marginal del salar están sujetas a una fuerte evaporación, tanto las de carácter superficial como las de carácter subterráneo (napas más próximas a la superficie). La evaporación y evapotranspiración, además de ser la única salida natural reconocida del sistema al tratarse de una cuenca endorreica, producen un importante cambio en la química de las aguas definiendo la vía evolutiva futura.

Los depósitos aluviales tienen una continuidad N-S extendiéndose a lo largo de las dos cuencas formando un único acuífero con una divisoria de aguas subterránea entre ambas cuencas. Si bien la presencia de una divisoria de aguas podría interpretarse como la división entre dos acuíferos, dada la intensa explotación del recurso hídrico que se da en la zona, la alteración de la piezometría en la cuenca del salar de Punta Negra, con el tiempo podría interferir en la cuenca del salar de Imilac.

El acuífero aluvial (detrítico) del salar de Punta Negra tiene un espesor en su parte central de aproximadamente 1.000 m y está formado por dos unidades, un bloque E y un bloque W divididos por una falla con orientación

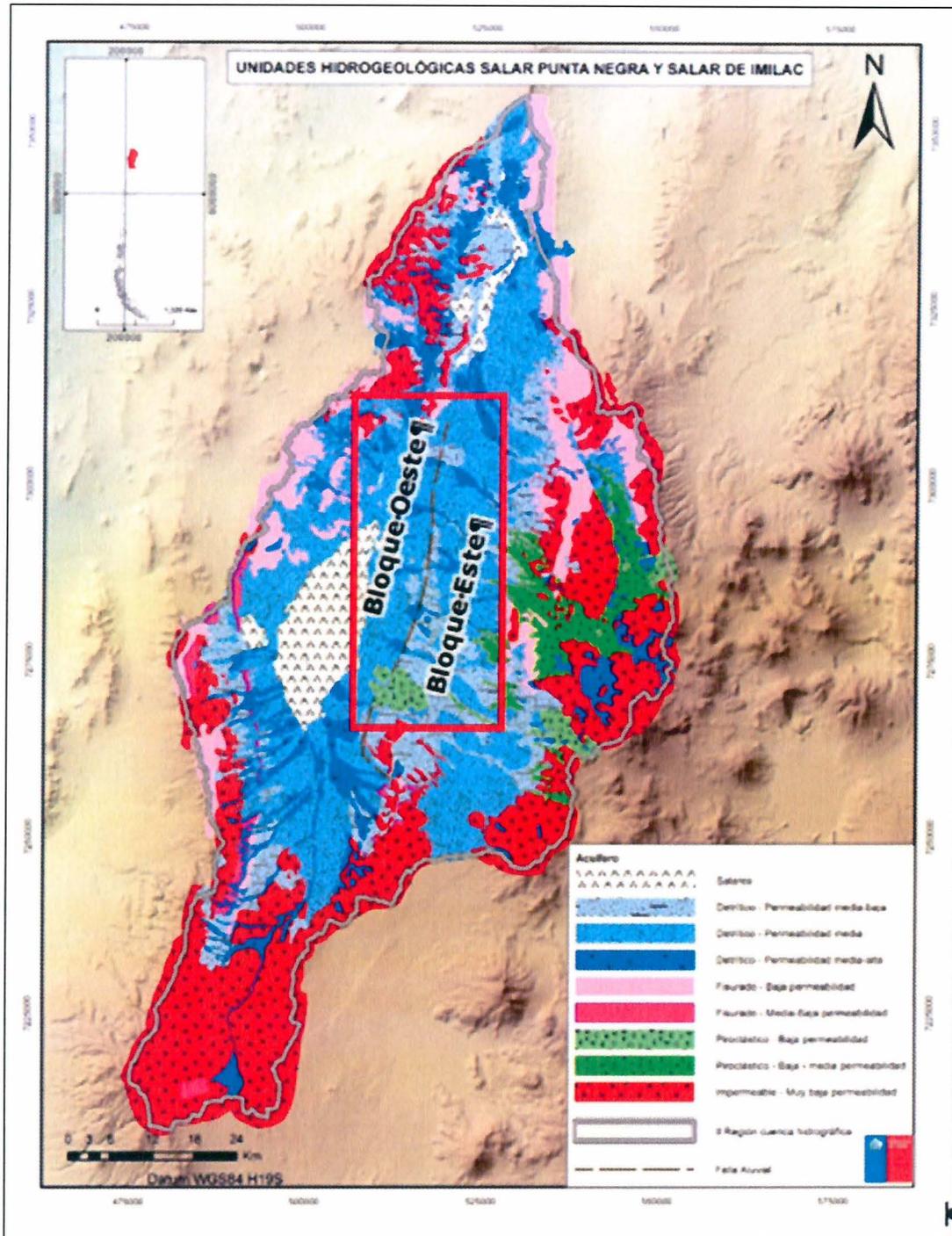


Figura 5.1.2.3. Detalle del acuífero aluvial del salar de Punta Negra.

5.2 Modelo Numérico

El modelo numérico ha sido alimentado y calibrado en régimen transiente, la información utilizada para su construcción ha sido la generada durante el presente trabajo, tal como geofísica, campaña de catastro y piezometría, ensayos de bombeo, análisis de estudios previos, etc

El modelo se ha realizado considerando una única capa acuífera, formada por el volumen entre el basamento y la superficie topográfica, determinada mediante la extrapolación entre los perfiles geológicos trazados en apartados anteriores. Estos perfiles se definieron en base a los perfiles geofísicos y a las columnas litológicas de sondajes.

El mallado del modelo se ha realizado tratando de obtener el menor tamaño posible de celdas, de forma que el modelo tenga el mayor nivel de detalle posible, para que los elementos incorporados (captaciones) no se solapen unas con otras y puedan ser analizadas de forma independiente.

Asimismo, el modelo consta de 499 columnas y 241 filas, con tamaño de celdas de 220x220 metros y orientación norte-sur. La zona modelada ocupa una superficie de 53x110 km.

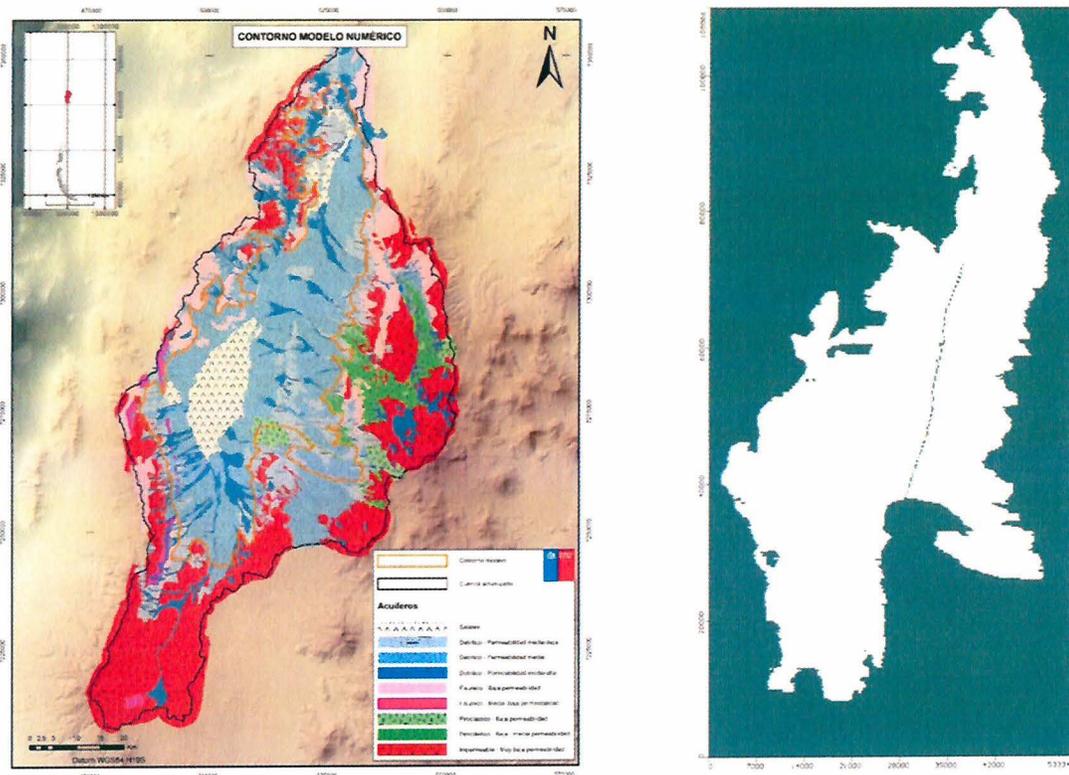


Figura 5.2.1. Mallado y celdas activas del modelo. Acuífero cuencas salar Punta Negra y salar Imilac.

La definición de celdas activas e inactivas ha sido basada en la delimitación de acuífero realizada en la caracterización hidrogeológica. En la Figura izquierda se muestra la geometría del modelo sobre el mapa hidrogeológico y en la derecha la geometría introducida en el modelo con las celdas activas en blanco y las inactivas en verde.

5.2.1 Calibración

La calibración del modelo se ha realizado principalmente de forma manual, zonificando los parámetros hidráulicos e incorporando valores de forma iterativa hasta obtener un error cuadrático medio (RMS) en régimen transiente del 1,46 % para todo el periodo simulado, lo cual se considera una buena calibración para este tipo de modelos.

Asimismo, el error medio absoluto (MAE) es de 4,23 m, lo que supone un 0,72 % de la diferencia máxima de niveles observados en la zona (590,1 m), y la "Guía para el Uso de Modelos de Aguas Subterráneas en el SEIA", establece como criterio de aceptación para la calibración del modelo que el error medio absoluto sea igual o menor al 5% a la diferencia de niveles mencionada.

5.2.2 Validación

Debido a que los datos disponibles para la construcción del modelo son muy escasos (dos periodos de 3 años cada uno, separados por un vacío de 5 años), se decidió emplear todo el registro conocido para la calibración del modelo, ya que con un solo periodo para calibrar no se podría observar el comportamiento general del acuífero.

Ahora bien, en términos de validación del modelo, puesto que existen 5 años sin datos, el hecho de que la piezometría calculada coincida con la última parte del primer periodo y con la primera del segundo periodo, se considera que el modelo reproduce el comportamiento del acuífero, no siendo por tanto imprescindible una validación del mismo. No obstante, esto no exime de que en caso de conseguir los datos de explotación y piezometría del periodo faltante, estos sean incorporados al modelo para verificar la calibración realizada en el mismo.

5.2.3 Simulaciones

Partiendo de la calibración del modelo, se han simulado 4 escenarios futuros, consistentes en lo siguiente:

Escenario 1: totalidad de derechos otorgados. En este escenario se incorporan los caudales de bombeo otorgados.

Escenario 2: totalidad de derechos otorgados y en trámite. En este escenario se incluyen tanto los derechos otorgados como los que se encuentran en trámite.

Escenario 3: sustentabilidad hídrica. Este escenario pretende definir el volumen de explotación sustentable en el acuífero sin que afecte al acuífero teniendo en cuenta los siguientes criterios:

No afección a la demanda.

No afección a las captaciones.

No afección al sistema superficial.

No afección al estado cuantitativo del acuífero.

Escenario 4: sustentabilidad hídrica, según explotación actual. En este escenario se pretende verificar si el volumen de explotación e inyección actual es sustentable a largo plazo (50 años).

Escenario 5: sustentabilidad hídrica, variando la explotación actual. Este último escenario pretende definir el volumen de explotación sustentable en el acuífero sin que afecte al acuífero teniendo en cuenta las captaciones que actualmente explotan (atendiendo al catastro realizado), así como la operación de inyección que se realiza, modificando, de forma homogénea, el caudal de explotación hasta encontrar el régimen de explotación sustentable.

5.2.4 Resultados

5.2.4.1 Escenario N°1. Totalidad de los derechos otorgados.

El primer escenario simulado consiste en mantener todas las condiciones simuladas para la situación actual (recarga, evaporación, etc.), pero cambiando los pozos de explotación actuales por aquellos con derechos constituidos, e incluyendo los caudales de bombeo otorgados, lo que supone un caudal de 1.565,8 L/s

La simulación se ha realizado para un periodo de 50 años, tomando como punto de partida la situación simulada actual, es decir, los niveles calculados en el modelo para la fecha 31 de diciembre de 2015, incorporándolos al modelo como condición inicial (initial heads)

La entrada en el sistema se produce desde la recarga directa por infiltración de la precipitación. No se ha incluido la recarga artificial que realiza Minera Escondida ya que

el escenario se ha simulado incorporando únicamente las extracciones con el objetivo de ver los posibles efectos sobre la piezometría.

Los resultados del balance muestran como el caudal otorgado no es sustentable en el tiempo e incluso, dada la distribución de los pozos, algunos de ellos se secan (28 captaciones) y no son capaces de extraer el caudal total otorgado. Por este motivo no ha sido posible simular un caudal constante de 1.565,8 L/s durante el periodo seleccionado (50 años).

Tampoco las vertientes serían sustentables en el tiempo. El descenso de los niveles reduciría los aportes haciendo que éstas desaparecieran. Como resultado del bombeo, el almacenamiento se reduce del orden de 766 L/s de media, equivalente a 24,1 hm³/a, lo que, teniendo en cuenta un volumen almacenado de 72.062 hm³, esta variación supondría, en 50 años, un 1,67 % del volumen total almacenado.

Por otro lado, la evaporación, dada la disminución de las reservas hídricas y el consecuente descenso de los niveles, disminuye considerablemente. Si bien, aunque la evaporación tiende a descender en el tiempo por la depresión del nivel freático en el salar, el descenso real será más progresivo que el calculado por el modelo. La falta de información en el área de estudio no permite calcular con tanta exactitud la evolución de los niveles en el salar, produciendo un descenso de los niveles que reduce en exceso la tasa de evaporación

Por tanto, se considera inviable desde el punto de vista ambiental la explotación del 100% de los derechos otorgados en el acuífero, debido a los siguientes motivos:

- Se produce un descenso muy acusado en los campos de pozos (llegando incluso a los 20 metros de descenso al año, lo que supone un 10% del espesor saturado al año). Sin embargo, en otras partes del acuífero el descenso es menor (menos de 1 metro al año).
- Las vertientes dejan de emanar generando el secado de las lagunas.
- Se produce afección entre captaciones, dejando zonas secas (28 captaciones).
- Se produce un déficit anual de 766 L/s, equivalente en 50 años a un 1,67 % respecto al volumen almacenado.

5.2.4.2 Escenario N°2. Totalidad de los derechos otorgados y derechos en trámite.

El presente escenario no varía significativamente respecto del anterior. La entrada en el sistema se produce desde la recarga directa por infiltración de la precipitación no se ha incluido la recarga artificial que realiza Minera Escondida ya que el escenario se ha simulado incorporando únicamente las extracciones con el objetivo de ver los posibles efectos sobre la piezometría.

Los resultados del balance son similares al escenario anterior con un caudal no sustentable en el tiempo. Tampoco es posible la extracción del total de los derechos

otorgados y en trámite debido al secado de algunos pozos (30 captaciones). Con las vertientes sucedería lo mismo, no siendo sustentables en el tiempo. Como resultado del bombeo, el almacenamiento se reduce del orden de 783 L/s de media, equivalente a 24,6 hm³/a, lo que supone un 1,71% del volumen almacenado.

5.2.4.3 Escenario N°3. Sustentabilidad Hídrica.

Este escenario pretende definir el volumen de explotación sustentable en el acuífero sin que afecte al acuífero teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- No afección a la demanda.
- No afección a las captaciones.
- No afección al sistema superficial.
- No afección al estado cuantitativo del acuífero.

Se considera afectada la demanda cuando no se atiende en un 5% o más la demanda impuesta, es decir, no se ve afectado en más de un 5% el caudal incorporado en el modelo.

Por otro lado, se consideran que hay afección a captaciones cuando se perjudican en un 5% o más al número de captaciones existentes.

La afección al sistema superficial en este caso ha sido valorada como la afección a la surgencia de las vertientes hacia las lagunas, es decir, se ha considerado afectado en este sentido cuando las vertientes dejan de emanar.

Por último, el criterio del estado cuantitativo se verificaría con el equilibrio del acuífero en términos de piezometría y, por tanto, balance, considerando a éste afectado cuando se observen descensos generalizados en el acuífero.

El proceso seguido para este escenario ha sido incorporar las captaciones con derechos otorgados en el acuífero, reproduciendo las condiciones de recarga y evaporación simuladas para la situación actual, extrapoliéndolas para un periodo de 50 años, y, de forma iterativa, se ha ido cambiando el volumen de explotación total hasta que se cumplieran los 4 criterios de sustentabilidad mencionados anteriormente.

En este sentido, los volúmenes de explotación simulados han sido el 50%, 12,5%, 10% y 4% del total otorgado, a los efectos de observar cual se ajusta mejor al caudal de explotación sustentable.

La simulación se ha realizado en todos los casos para un periodo de 50 años, tomando como punto de partida la situación simulada actual, es decir, los niveles calculados en el modelo para la fecha 31 de diciembre de 2015, incorporándolos al modelo como condición inicial (initial heads).

- Escenario 3.1: Sustentabilidad hídrica con volumen de explotación del 50% de derechos otorgados.

En este caso se ha realizado la simulación suponiendo un 50% del caudal otorgado (782,82 L/s), no cumpliendo los criterios de sustentabilidad hídrica por los siguientes motivos:

- o No atender la demanda impuesta en un 27,16% (caudal explotado medio en el periodo simulado igual a 570,31 L/s).
 - o Afectar a las surgencias naturales de agua (vertientes).
 - o Existir una tendencia descendente general en el acuífero (variación de almacenamiento medio de -385,06 L/s, equivalente a un 0,95% del volumen almacenado).
 - o Afectar a un 30% de las captaciones (24 captaciones se secan).
- Escenario 3.2: Sustentabilidad hídrica con volumen de explotación del 12,5% de derechos otorgados

En este caso se ha realizado la simulación suponiendo un 12,5% del caudal otorgado (195,73 L/s), no cumpliendo los criterios de sustentabilidad hídrica por los siguientes motivos:

- o No atender la demanda impuesta en un 9,11% (caudal explotado medio en el periodo simulado igual a 177,89 L/s).
 - o Afectar a las surgencias naturales de agua (vertientes).
 - o Afectar a un 7,50% de las captaciones. 6 captaciones se secan.
- Escenario 3.3: Sustentabilidad hídrica con volumen de explotación del 10% de derechos otorgados

Posteriormente, la simulación se ha llevado a cabo suponiendo un 10% del caudal otorgado (156,58 L/s), no cumpliendo los criterios de sustentabilidad hídrica por los siguientes motivos:

- o No atender la demanda impuesta en un 7,72% (caudal explotado medio en el periodo simulado igual a 144,50 L/s).
- o Afectar a las surgencias naturales de agua (vertientes).
- o Afectar a un 7,50% de las captaciones. 6 captaciones se secan en algún momento de la simulación (ver tabla siguiente).

- Escenario 3.4: Sustentabilidad hídrica con volumen de explotación del 4% de derechos otorgados

En este caso se ha realizado la simulación suponiendo un 4% del caudal otorgado (62,6 L/s), no cumpliendo los criterios de sustentabilidad hídrica por los siguientes motivos:

- o Afectar a las surgencias naturales de agua (vertientes)

En este caso si se cumplirían los otros criterios, ya que, de forma concreta, se da lo siguiente:

- o Afección a la demanda es del 3,25% (60,60 l/s abastecidos frente a 62,6 l/s demandados)
- o Afección a captaciones es de tan solo un 2,50%, ya que se ven afectadas 2 captaciones frente a 80 incorporadas.
- o No se observan descensos piezométricos generalizados en el acuífero.

Como resultado de este escenario, se ha observado que la recarga por precipitación promedio obtenida del modelo es de 191,77 litros por segundo y el caudal máximo admisible conservando un nivel de explotación sustentables es de 62,6 L/s equivalente al 4% de los derechos totales otorgados, aunque no se cumpla el criterio de no afección a las vertientes, ya que éstas se encuentran actualmente afectadas, siendo necesaria la recarga artificial para que continúen funcionando.

Tras las simulaciones realizadas en el escenario de sustentabilidad hídrica utilizando las captaciones con derechos otorgados, tanto en ubicación geográfica como en caudal de explotación, se ha obtenido que se requiere de una disminución global de la explotación muy grande, debiendo explotar menos del 4% del volumen otorgado (62 L/s). No obstante, esto es debido a que el régimen de explotación (caudal constante en el tiempo), así como la distribución geográfica, generan afección entre captaciones de forma que no se cumplen los criterios de sustentabilidad hídrica aquí expuestos.

5.2.4.4 Escenario N°4. Sustentabilidad Hídrica con explotación actual.

En vista de que los escenarios realizados utilizando los derechos otorgados no cumplían con los requisitos para ser sustentables. Se optó por simular dos escenarios adicionales utilizando la distribución de pozos que actualmente opera Minera Escondida.

Asimismo, se parte de la base de que la vertiente VCL-2 se encuentra afectada, y se debe inyectar unos 7,0 L/s para mantenerla activa.

En este caso se ha realizado la simulación suponiendo una explotación del 100% de las captaciones actuales, según el régimen actual, pero reproduciendo las mismas series de

bombeo durante 50 años (315 L/s de media anual). En este supuesto, no se cumplirían los criterios de sustentabilidad hídrica por los siguientes motivos:

- Afectar a las surgencias naturales de agua (vertientes); provocando que se sequen, aunque MEL mantenga los caudales de inyección actuales.
- Generar un descenso piezométrico las zonas de bombeo de 1 metro/año aproximadamente. Este cálculo se realizó tomando descenso global de las zonas de bombeo y dividiendo por el número de años.
- Variación de almacenamiento negativa, media de 117,69 L/s anual, que supone, para el periodo simulado, una reducción del 0,29% del volumen total embalsado.

Se incluye a continuación el listado de captaciones, con los datos de ubicación y explotación, facilitados por parte de MEL e incluidos al modelo como "situación actual".

5.2.4.5 Escenario N°5. Sustentabilidad Hídrica, variando la explotación actual.

Este último escenario define el volumen de explotación sustentable en el acuífero sin que afecte al acuífero teniendo en cuenta las captaciones que actualmente explotan (atendiendo al catastro realizado), así como la operación de inyección que se realiza, modificando, de forma homogénea, el caudal de explotación hasta encontrar el régimen de explotación sustentable, iterando sucesivamente el caudal de explotación total hasta que se cumplan todos los criterios de sustentabilidad hídrica.

Asimismo, se parte de la base de que la vertiente VCL-2 se encuentra afectada, y se debe inyectar unos 7,0 L/s para mantenerla activa.

En este caso, tras las iteraciones realizadas, se ha llegado a la conclusión de que el volumen de explotación del 60% respecto al actual (190 L/s), cumple todos los criterios de sustentabilidad hídrica, ya que:

- Se atiende el 100% de la demanda impuesta.
- No hay afección entre captaciones.
- Las vertientes no se verían afectadas.
- No se producen descensos generalizados en el acuífero, de hecho, la variación de almacenamiento resulta ligeramente positiva (6,7 L/s), suponiendo un incremento del 0,02% del volumen embalsado actualmente.

El balance obtenido para este escenario, es decir, para la situación actual aplicando una reducción tal que el caudal de explotación sea igual al 60% del existente y manteniendo el caudal de inyección al 100%, muestra una variación de almacenamiento cercana a cero. Las oscilaciones observadas se deben a las series de recarga y explotación las cuales varían en el tiempo. Con un caudal aproximado de 190 L/s con la distribución actual de pozos, la explotación sería sustentable al cumplirse las condiciones anteriormente mencionadas.

5.2.5 Conclusiones del estudio

1. Existe una divisoria de aguas superficiales entre las cuencas de Imilac y Punta Negra, sin embargo, tanto la geología en superficie como los perfiles geofísicos muestran que existe continuidad hidrogeológica en el acuífero aluvial entre las cuencas de Imilac y Punta Negra.
2. El espesor del acuífero aluvial en su punto máximo es del orden de 1.000 m en la cuenca del salar de Punta Negra y de aproximadamente 400 m en la cuenca del salar de Imilac.
3. La evaporación en ambas cuencas se produce desde cuerpos de agua (Lagunas) y desde napas, siendo esta última más del 90% del total.
4. La falla que atraviesa el salar en dirección N-S divide el acuífero en dos bloques, haciendo por tanto que el efecto del bombeo sea mucho más acusado en el bloque Oeste que en bloque Este, generando un efecto de amortiguamiento del bombeo.
5. Todas las metodologías empleadas para calcular la variación de almacenamiento indican que ésta es negativa. Por lo que, la explotación en la cuenca va a provocar un agotamiento paulatino de las reservas de agua en el acuífero, siempre que se mantenga el régimen actual de entradas y salidas.
6. Según los resultados obtenidos en escenario 3.4 (sustentabilidad hídrica en condiciones generales), del modelo del Salar de Punta Negra e Imilac, se concluye que la recarga por precipitación promedio obtenida del modelo es de 191,77 litros por segundo y el caudal de explotación sustentable en condiciones generales (donde se reduce el caudal de explotación por igual a todas las captaciones que están explotando el acuífero en la actualidad) es de unos 62,6 L/s.
7. Según los resultados obtenidos en escenario 5 (sustentabilidad hídrica modificando la variable espacial y volumen de explotación de las captaciones) del modelo del Salar de Punta Negra e Imilac, se concluye que el caudal de explotación sustentable a las condiciones indicadas, es de 190,0 L/s.

8. En base a los resultados de los escenarios de sustentabilidad hídrica (escenario 3.4 y escenario 5), no es viable mantener el caudal de explotación otorgado (unos 1.565 L/s de media anual), y en ningún caso, autorizar aquellos pendientes en trámite.

7 DISPONIBILIDAD DE RECURSOS HÍDRICOS

7.1 Oferta de Recursos Hídricos para el otorgamiento de derechos definitivos.

Para constituir derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en un sector acuífero, la Dirección General de Aguas establece la disponibilidad del recurso hídrico subterráneo (Volumen Sustentable), como aquel volumen que permite un equilibrio de largo plazo del sistema, otorgando respaldo físico a los derechos de aprovechamiento constituidos de aguas subterráneas, no generando afección a derechos de terceros (tanto superficiales como subterráneos), y no produciendo impactos no deseados a la fuente y al medio ambiente.

Para establecer la oferta de recurso hídrico en el sector hidrogeológico de aprovechamiento común denominado Salar de Punta Negra e Imilac, se consideró la simulación de sustentabilidad hídrica con un volumen de explotación del 4% de los derechos otorgados, escenario de simulación 3.4., realizada en el modelo numérico desarrollado en el estudio S.I.T. N°411 de abril de 2017, denominado "Diagnóstico de aguas subterráneas en Acuíferos de la II y IV región" del Departamento de Administración de Recursos Hídricos de la Dirección General de Aguas, en el cual se obtuvo, una recarga media anual por precipitación de 191,77 litros por segundo y una oferta de recursos hídricos sustentables de 62,6 litros por segundo, equivalente a un volumen anual de 49.380.330 metros cúbicos por año.

7.2 Demanda comprometida de recursos hídricos.

La demanda comprometida del sector acuífero corresponden a todos los derechos otorgados, las solicitudes tramitadas conforme al artículo 2º Transitorio del Código de Aguas de 1981, las solicitudes tramitadas en virtud del artículo 4º Transitorio de la Ley 20.017 que modificó el Código de Aguas, que corresponden a aquellas presentadas por pequeños productores agrícolas y campesinos que se encuentran definidos en el artículo 13 de la Ley N° 18.910 y también aquellas solicitudes pendientes tramitadas de acuerdo a este mismo artículo 4º transitorio, las solicitudes tramitadas en virtud del artículo 3º Transitorio de la Ley 20.017 que modificó el Código de Aguas, y las solicitudes tramitadas por el artículo 6º transitorio de la Ley 20.017 que modificó el Código de

Aguas.

En la siguiente tabla presenta la demanda comprometida al 16 de agosto de 2017, en el Anexo N°2, se adjuntan el listado correspondiente.

Tabla N°7.2.1. Muestra la demanda comprometida de recursos hídricos subterráneos.

Demanda de agua subterránea comprometida		
Sector acuífero	[l/s]	[m³/año]
Salar de Punta Negra e Imilac	1.565,8	49.380.330

7.3 Situación de disponibilidad para derechos definitivos

Del análisis de la oferta de recurso hídrico y la demanda comprometida, en la Tabla N°7.3.1., y gráficamente en la Figura N°7.2.1., se tiene que en el sector hidrogeológico de aprovechamiento común denominado Salar de Punta Negra e Imilac, la demanda comprometida al 16 de agosto de 2017, supera con creces la oferta de recursos hídricos.

Figura N°7.2.1.: Muestra la recarga por precipitación, oferta sustentable y derechos otorgados

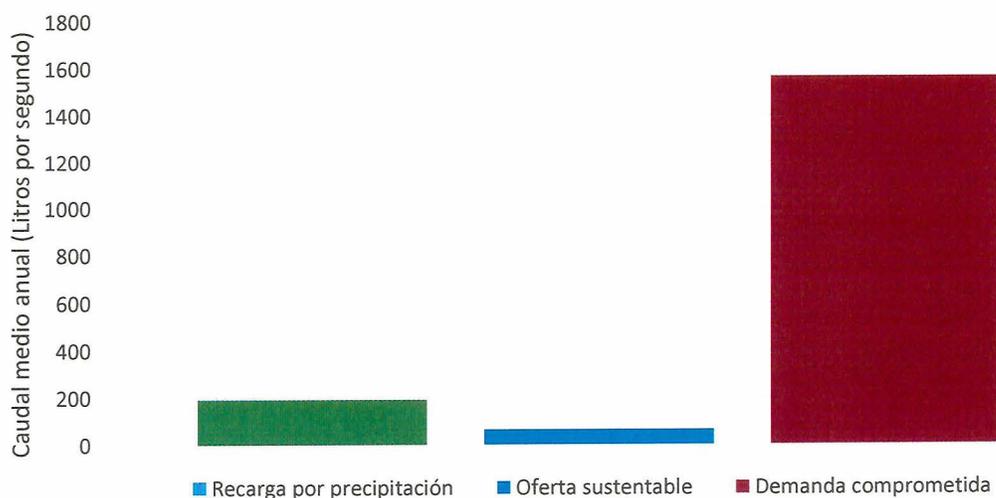


Tabla N°7.3.1. Muestra la oferta de recursos hídricos v/s demanda comprometida.

Sector acuífero	Volumen sustentable (m³/año)	Demanda comprometida (m³/año)
Salar de Punta Negra e Imilac	1.974.154	49.380.330

En este sentido podemos concluir que en el sector acuífero ya individualizado en el párrafo precedente, se estima que existe riesgo de grave disminución de los niveles de dicho acuífero con el consiguiente perjuicio de derechos de terceros ya establecidos en él, por cuanto la demanda comprometida supera con creces a la oferta sustentable definida para la zona, no existiendo entonces disponibilidad de recurso hídrico subterráneos para otorgar nuevos derechos de aprovechamiento en calidad de definitivos.

Una vez que se haya otorgado la totalidad de este volumen sustentable en calidad de derechos de aprovechamiento de aguas definitivos, la Dirección General de Aguas podrá declararlo como área de restricción y otorgar derechos provisionales, sólo si se estima prudente, analizando aspectos tales como los niveles de explotación del acuífero, niveles de aguas subterráneas, etc.

A fin de evaluar el volumen de aguas subterráneas en calidad de provisionales en el sector acuífero analizado en el presente informe, y de acuerdo al procedimiento establecido en el Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos de la Dirección General de Aguas, modificado por la Resolución DGA (Exenta) N°2.455 de 10 de agosto de 2011, en el que se indica que los derechos provisionales factibles de otorgar, quedarán determinados utilizando otro sector hidrogeológico como patrón o referencia, cuyas características sean comparables, que no existan antecedentes que indiquen afección a derechos de terceros o que la sustentabilidad del acuífero esté comprometida. El sector patrón se definirá en función de las características hidrogeológicas, régimen hídrico, características morfológicas, ubicación geográfica e interrelación con fuentes superficiales, y la relación existente entre el volumen sustentable y la demanda comprometida.

Sin embargo, en un sector acuífero que presente características particulares que no permiten establecer un sector a utilizar como patrón o referencia, se podrán otorgar derechos provisionales en magnitud equivalente a su volumen sustentable, esto, sobre la base que se implementará un monitoreo efectivo del acuífero, y que pueden ser dejados sin efecto en caso de detectarse afección a derechos de terceros.

En lo que respecta al sector acuífero denominado Salar de Punta Negra e Imilac, sus características hidrogeológicas, régimen hídrico, morfología, ubicación geográfica e interrelación con fuentes superficiales, y la relación existente entre el volumen sustentable y la demanda comprometida, se concluye que el sector hidrogeológico de aprovechamiento común aquí analizado, presenta características particulares que no permiten establecer un sector a utilizar como patrón.

Así, para el sector acuífero en cuestión, y en virtud de sus características particulares, no existe un sector hidrológico de aprovechamiento común patrón con el cual asociarlo, estimando los derechos provisionales en una magnitud equivalente al volumen sustentable de dicho sector (Factor = 2)

Luego, en la Tabla 7.3.2 se presenta el volumen total factible de otorgar como derechos de aprovechamiento de agua subterránea para este sector acuífero.

Tabla 7.3.2. Muestra el volumen total factible de otorgar como derechos definitivos y provisionales.

Sector acuífero	Volumen sustentable (m³/año)	Factor	Disponibilidad total (definitivos + provisionales) (m³/año)
Salar de Punta Negra e Imilac	1.974.154	2	38.948.307

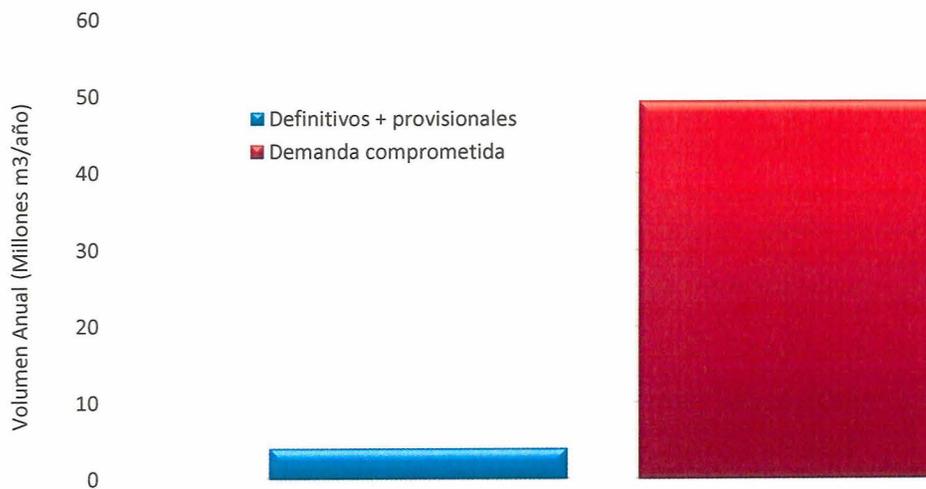
El volumen posible de otorgar como derechos provisionales, corresponde al volumen determinado como disponibilidad total, definida como el volumen sustentable más una magnitud equivalente, menos la demanda comprometida a la fecha en el sector.

Considerando la demanda total comprometida en el sector acuífero (Tabla 7.3.1) y la oferta de derechos definitivos y provisionales (Tabla 7.3.2), los volúmenes máximos posibles de otorgar en calidad de derechos provisionales se establecen en la siguiente Tabla:

Tabla 7.3.3. Muestra el volumen máximo a otorgar en calidad de derechos provisionales.

Sector acuífero	Disponibilidad total (definitivos + provisionales) (m ³ /año)	Demanda comprometida (m ³ /año)	Derechos provisionales a otorgar (m ³ /año)
Salar de Punta Negra e Imilac	3.948.307	49.380.330	0

Figura 7.3.1. Muestra la disponibilidad total (provisionales + definitivos) v/s Demanda Comprometida.



En consecuencia, se verifica que no es posible otorgar derechos en calidad de provisionales, dado el nivel de explotación que tiene el acuífero.

A su turno, el Decreto Supremo N°203 del 20 de mayo de 2013, que aprueba el Reglamento sobre Normas de Exploración y Explotación de Aguas Subterráneas, artículo 35 indica que *“La Dirección General de Aguas podrá declarar zona de prohibición para nuevas explotaciones, en conformidad con lo dispuesto en el artículo 63 del Código de Aguas, cuando se hayan constituido derechos de aprovechamiento de aguas que comprometen toda la disponibilidad determinada por la Dirección General de Aguas para la constitución de derechos de aprovechamiento tanto definitivos como provisionales”*.

En definitiva, como en el sector hidrogeológico de aprovechamiento común Salar de Punta Negra e Imilac, ya se han constituido derechos de aprovechamiento de aguas que comprometen con creces toda la disponibilidad para la constitución de derechos de aprovechamiento tanto definitivos como provisionales, determinada por este Servicio tal como previamente se indicó, es posible aplicar la facultad establecida en el artículo 63 del Código de Aguas, y declarar como zona de prohibición para nuevas explotaciones de aguas subterráneas al sector hidrogeológico de aprovechamiento común Salar de Punta Negra e Imilac.

8 CONCLUSIONES

El presente informe analiza la disponibilidad de los recursos hídricos subterráneos en el sector hidrogeológico de aprovechamiento común denominado Salar de Punta Negra e Imilac.

Para este estudio, se desarrolló un modelo numérico de flujo de aguas subterráneas por Suez Medioambiente Chile S.A. para la Dirección General de Aguas, construido en entorno Visual MODFLOW, cuyo motor de cálculo es de código libre (MODFLOW), el cual es un software de reconocido prestigio en la comunidad hidrogeológica internacional, para lo cual se ha incorporado y analizado una gran cantidad de información actualizada hasta el año 2016, lo que permite una representación con un gran nivel de detalle del funcionamiento hidrogeológico del sector acuífero denominado Salar de Punta Negra e Imilac, por lo tanto, es posible considerarla como una herramienta de apoyo para la gestión y administración de los recursos hídricos de la citada cuenca.



Los escenarios simulados se elaboraron bajo supuestos y consideración que la Dirección General de Aguas en general ha adoptado en evaluaciones anteriores y la metodología para la evaluación de sus resultados se ha realizado bajo los criterios de sustentabilidad de la Dirección General de Aguas para modelos tipo MODFLOW.

En este sentido, la simulación correspondiente al Escenario 3.4 denominada "*simulación de sustentabilidad hídrica con un volumen de explotación del 4% de los derechos otorgados*", es representativa para que sus resultados sean considerados como caudales de extracción de máxima sustentabilidad y con ellos establecer decisiones para la administración de los recursos hídricos subterráneos en el sector hidrogeológico de aprovechamiento común denominado Salar de Punta Negra e Imilac, cuyo caudal máximo admisible conservando un nivel de explotación sustentables es de 62,6 litros por segundo

De este estudio, y conforme a la demanda comprometida a la fecha, se estima que existe riesgo de grave disminución de dicho acuífero con el consiguiente perjuicio de derechos de terceros ya establecidos en él, por lo cual corresponde proceder de acuerdo lo estipulado en el artículo 63 del Código de Aguas.

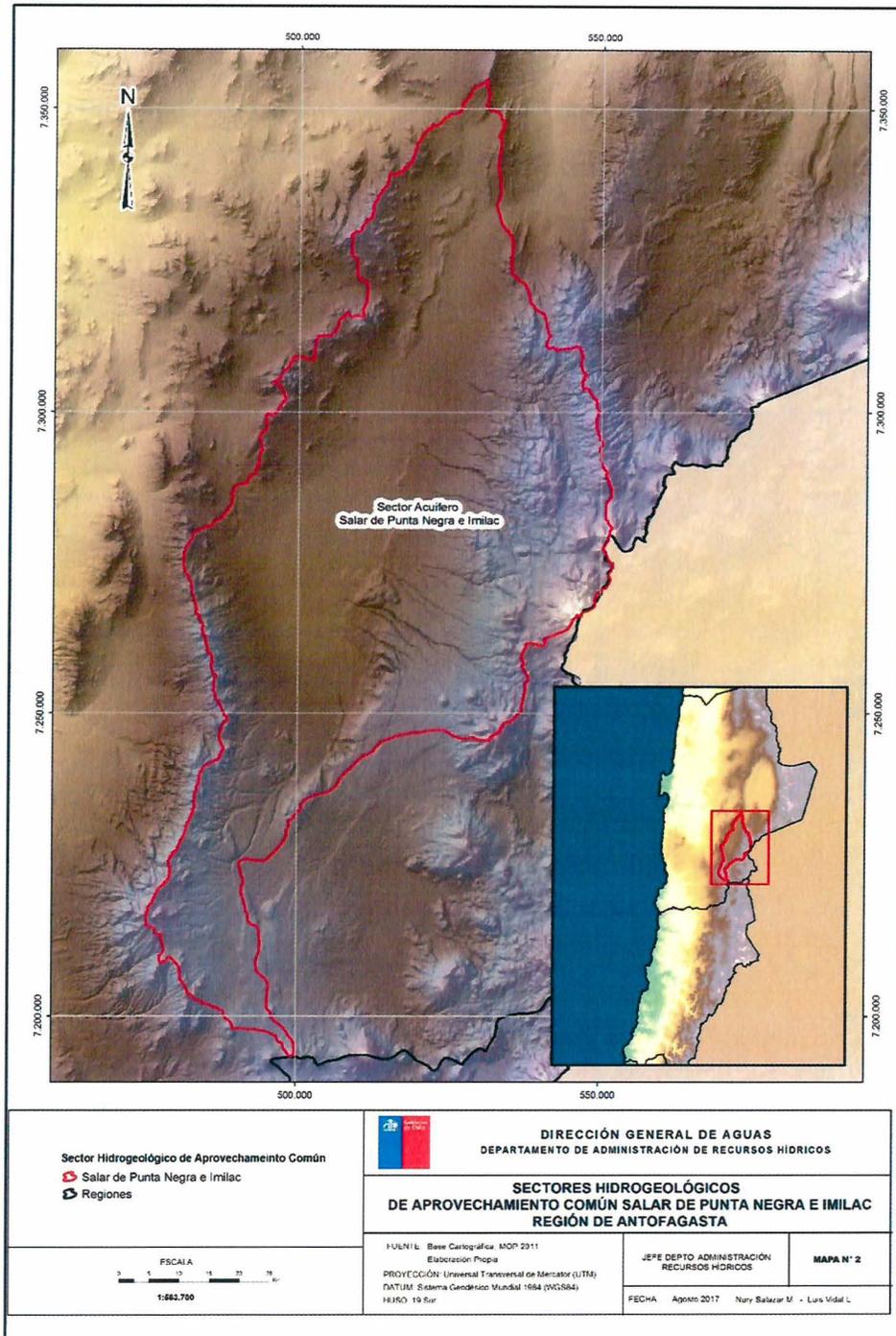
En el sector hidrogeológico de aprovechamiento común denominado Salar de Punta Negra e Imilac, a la fecha se han constituido derechos de aprovechamiento de aguas que comprometen toda la disponibilidad determinada por este Servicio para la constitución de derechos de aprovechamiento tanto definitivos como provisionales, por lo cual en virtud del artículo 35 del Decreto Supremo N°203 del 20 de mayo de 2013, procede declarar zona de prohibición el sector hidrogeológico de aprovechamiento común de Salar de Punta Negra e Imilac, dicho sector queda definido geográficamente en el mapa N°1.




Luis Vidal López
Depto. Adm. Recursos Hídricos
Dirección General de Aguas

9 ANEXO N°1

MAPA DE SECTORIZACIÓN



10 ANEXO N°2

DEMANDA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS SECTOR HIDROGEOLÓGICO DE APROVECHAMIENTO COMÚN SALAR DE PUNTA NEGRA E IMILAC

SECTOR HIDROGEOLÓGICO DE APROVECHAMIENTO COMÚN SALAR DE PUNTA NEGRA E IMILAC										
Código Expediente	Peticionario	Fecha de Ingreso	Coordenada UTM WGS84 Este	Coordenada UTM WGS84 Norte	Situación Actual	N° Res.	Fecha Res.	Caudal Otorgado-Solicitado (Lts/s)	Volumen total anual Otorgado-Solicitado	Volumen acumulado (m³/año)
UA-0203-806146	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	-	7.267.653	505.794	A	31	01-10-22	17,50	551.880	551.880
UA-0203-1	MINERA UTAH DE CHILE INC.	18-04-84	7.284.356	512.817	A	169	03-05-85	36,00	1.135.296	1.687.176
UA-0203-1	MINERA UTAH DE CHILE INC.	18-04-84	7.307.280	513.818	A	169	03-05-85	16,00	504.576	2.191.752
UA-0203-1	MINERA UTAH DE CHILE INC.	18-04-84	7.301.688	511.641	A	169	03-05-85	25,00	788.400	2.980.152
UA-0203-1	MINERA UTAH DE CHILE INC.	18-04-84	7.294.940	514.579	A	169	03-05-85	24,00	756.864	3.737.016
UA-0203-1	MINERA UTAH DE CHILE INC.	18-04-84	7.257.788	501.871	A	169	03-05-85	16,00	504.576	4.241.592
UA-0203-1	MINERA UTAH DE CHILE INC.	18-04-84	7.298.713	514.308	A	169	03-05-85	13,00	409.968	4.651.560
UA-0203-1	MINERA UTAH DE CHILE INC.	18-04-84	7.283.898	512.588	A	169	03-05-85	12,00	378.432	5.029.992
UA-0203-1	MINERA UTAH DE CHILE INC.	18-04-84	7.271.824	518.486	A	169	03-05-85	5,00	157.680	5.187.672
UA-0203-1	MINERA UTAH DE CHILE INC.	18-04-84	7.333.150	528.425	A	169	03-05-85	22,00	693.792	5.881.464
UA-0203-1	MINERA UTAH DE CHILE INC.	18-04-84	7.291.138	524.263	A	169	03-05-85	1,00	31.536	5.913.000
UA-0203-1	MINERA UTAH DE CHILE INC.	18-04-84	7.284.333	512.806	A	169	03-05-85	26,00	819.936	6.732.936
UA-0203-1	MINERA UTAH DE CHILE INC.	18-04-84	7.262.741	500.359	A	169	03-05-85	33,00	1.040.688	7.773.624
UA-0203-1	MINERA UTAH DE CHILE INC.	18-04-84	7.294.881	514.599	A	169	03-05-85	15,00	473.040	8.246.664
UA-0203-1	MINERA UTAH DE CHILE INC.	18-04-84	7.307.288	513.794	A	169	03-05-85	20,00	630.720	8.877.384
UA-0203-1	MINERA UTAH DE CHILE INC.	18-04-84	7.301.677	511.624	A	169	03-05-85	25,00	788.400	9.665.784
UA-0203-1	MINERA UTAH DE CHILE INC.	18-04-84	7.278.753	512.082	A	169	03-05-85	2,00	63.072	9.728.856
UA-0203-1	MINERA UTAH DE CHILE INC.	18-04-84	7.267.987	504.673	A	169	03-05-85	9,00	283.824	10.012.680
UA-0203-1	MINERA UTAH DE CHILE INC.	18-04-84	7.323.835	522.789	A	169	03-05-85	1,00	31.536	10.044.216
UA-0203-1	MINERA UTAH DE CHILE INC.	18-04-84	7.286.117	511.795	A	169	03-05-85	14,00	441.504	10.485.720
UA-0203-1	MINERA UTAH DE CHILE INC.	18-04-84	7.298.756	510.561	A	169	03-05-85	2,00	63.072	10.548.792
UA-0203-1	MINERA UTAH DE CHILE INC.	18-04-84	7.293.552	508.044	A	169	03-05-85	20,00	630.720	11.179.512
ND-0203-245	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	11-10-88	7.307.152	513.794	A	143	21-02-90	5,60	176.602	11.356.114
ND-0203-245	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	11-10-88	7.305.652	520.793	A	143	21-02-90	7,00	220.752	11.576.866
ND-0203-245	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	11-10-88	7.305.652	513.294	A	143	21-02-90	14,10	444.658	12.021.523
ND-0203-245	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	11-10-88	7.305.652	514.794	A	143	21-02-90	7,00	220.752	12.242.275
ND-0203-245	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	11-10-88	7.304.152	512.294	A	143	21-02-90	8,40	264.902	12.507.178
ND-0203-245	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	11-10-88	7.304.152	513.794	A	143	21-02-90	4,40	138.758	12.645.936
ND-0203-245	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	11-10-88	7.302.652	511.794	A	143	21-02-90	35,10	1.106.914	13.752.850
ND-0203-245	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	11-10-88	7.302.652	513.294	A	143	21-02-90	2,20	69.379	13.822.229
ND-0203-280	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	29-11-88	7.307.152	513.794	A	142	21-02-90	32,40	1.021.766	14.843.995
ND-0203-280	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	29-11-88	7.300.649	514.794	A	142	21-02-90	26,20	826.243	15.670.238
ND-0203-280	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	29-11-88	7.308.153	514.293	A	142	21-02-90	28,00	883.008	16.553.246
ND-0203-280	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	29-11-88	7.305.652	513.294	A	142	21-02-90	13,90	438.350	16.991.597
ND-0203-293	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	26-01-89	7.305.652	511.794	A	140	21-02-90	33,00	1.040.688	18.032.285
ND-0203-293	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	26-01-89	7.304.152	512.294	A	140	21-02-90	28,60	901.930	18.934.214
ND-0203-293	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	26-01-89	7.302.652	511.794	A	140	21-02-90	44,90	1.415.966	20.350.181
ND-0203-293	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	26-01-89	7.288.653	512.794	A	140	21-02-90	15,00	473.040	20.823.221
ND-0203-317	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-89	7.307.152	513.294	A	141	21-02-90	19,00	599.184	21.422.405
ND-0203-317	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-89	7.305.652	514.794	A	141	21-02-90	10,00	315.360	21.737.765
ND-0203-317	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-89	7.304.152	513.294	A	141	21-02-90	13,70	432.043	22.169.808
ND-0203-317	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-89	7.302.652	513.794	A	141	21-02-90	17,80	561.341	22.731.149
ND-0203-317	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-89	7.299.152	514.794	A	141	21-02-90	19,00	599.184	23.330.333
ND-0203-317	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-89	7.295.158	514.790	A	141	21-02-90	21,00	662.256	23.992.589
ND-0203-317	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-89	7.288.653	513.294	A	141	21-02-90	19,20	605.491	24.598.080
ND-0203-317	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-89	7.287.655	513.297	A	141	21-02-90	34,00	1.072.224	25.670.304
ND-0203-317	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-89	7.286.653	513.294	A	141	21-02-90	5,00	157.680	25.827.984
ND-0203-317	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-89	7.285.655	513.294	A	141	21-02-90	37,20	1.173.139	27.001.123
ND-0203-317	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-89	7.284.653	513.294	A	141	21-02-90	31,00	977.616	27.978.739
ND-0203-317	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-89	7.285.153	513.794	A	141	21-02-90	25,00	788.400	28.767.139
ND-0203-317	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-89	7.306.653	512.792	A	141	21-02-90	19,50	614.952	29.382.091
ND-0203-317	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-89	7.284.183	513.820	A	141	21-02-90	30,00	946.080	30.328.171
ND-0203-317	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-89	7.304.909	510.315	A	141	21-02-90	0,14	4.415	30.332.586
ND-0203-317	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-89	7.300.802	511.494	A	141	21-02-90	14,10	444.658	30.777.244
ND-0203-317	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-89	7.299.619	510.770	A	141	21-02-90	2,10	66.226	30.843.469
ND-0203-317	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-89	7.289.652	513.294	A	141	21-02-90	21,50	678.024	31.521.493
ND-0203-317	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-89	7.290.652	513.294	A	141	21-02-90	12,50	394.200	31.915.693
ND-0203-317	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-89	7.283.353	512.794	A	141	21-02-90	1,80	56.765	31.972.458
ND-0203-317	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-89	7.282.353	512.795	A	141	21-02-90	33,10	1.043.842	33.016.300
ND-0203-317	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-89	7.303.631	511.282	A	141	21-02-90	65,30	2.059.301	35.075.601
ND-0203-317	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-89	7.286.113	513.800	A	141	21-02-90	26,00	819.936	35.895.537
ND-0203-510	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-90	7.278.189	511.590	A	181	25-05-92	18,00	567.648	36.463.185
ND-0203-510	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-90	7.270.313	507.436	A	181	25-05-92	25,00	788.400	37.251.585
ND-0203-510	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-90	7.266.198	506.506	A	181	25-05-92	25,50	804.168	38.055.753
ND-0203-510	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-90	7.264.230	505.947	A	181	25-05-92	55,00	1.734.480	39.790.233
ND-0203-510	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	03-04-90	7.260.454	504.419	A	181	25-05-92	46,00	1.450.656	41.240.889
ND-0203-524	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	02-05-90	7.280.430	513.326	A	539	12-11-92	10,20	321.667	41.562.556
ND-0203-524	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	02-05-90	7.279.469	513.058	A	539	12-11-92	18,90	596.030	42.158.586
ND-0203-524	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	02-05-90	7.277.265	512.418	A	539	12-11-92	7,00	220.752	42.379.338
ND-0203-524	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	02-05-90	7.276.303	512.145	A	539	12-11-92	18,00	567.648	42.946.986
ND-0203-524	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	02-05-90	7.275.310	511.883	A	539	12-11-92	21,00	662.256	43.609.242
ND-0203-524	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	02-05-90	7.271.098	506.557	A	539	12-11-92	30,00	946.080	44.555.322
ND-0203-524	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	02-05-90	7.269.147	506.128	A	539	12-11-92	12,00	378.432	44.933.754
ND-0203-524	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	02-05-90	7.267.190	505.682	A	539	12-11-92	17,50	551.880	45.485.634
ND-0203-524	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	02-05-90	7.269.299	507.157	A	539	12-11-92	8,00	252.288	45.737.922
ND-0203-524	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	02-05-90	7.267.268	506.743	A	539	12-11-92	30,00	946.080	46.684.002
ND-0203-524	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	02-05-90	7.265.611	505.299	A	539	12-11-92	28,00	883.008	47.567.010
ND-0203-524	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	02-05-90	7.265.180	506.300	A	539	12-11-92	40,00	1.261.440	48.828.450
ND-0203-524	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	02-05-90	7.268.276	506.939	A	539	12-11-92	12,50	394.200	49.222.650
ND-0203-604	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	23-10-90	7.265.180	506.300	A	77	05-03-92	5,00	157.680	49.380.330
ND-0203-1669	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	21-07-98	7.329.465	525.593	P-REG	-	-	16,80	529.805	49.910.135
ND-0203-1669	SOCIEDAD CONTRACTUAL MINERA ESCONDIDA	21-07-98	7.339.015	527.854	P-REG	-	-	2		