



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

**Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos del Sector
Hidrogeológico de Aprovechamiento Común de Cuenca
Endorreica Salar de Pajonales**

SDT N° 413

DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN
DE RECURSOS HÍDRICOS

Santiago, Noviembre de 2018

Pablo Schnake G.

Ingeniero Civil

ÍNDICE

1.- Introducción.....	4
2.- Antecedentes Generales.....	5
3.- Análisis.....	7
3.1.- Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común.....	7
3.2.- Derechos de aprovechamiento de aguas otorgados.....	9
3.3.- Calidad de Aguas.....	10
3.4.- Volumen Sustentable.....	11
3.5.- Disponibilidad para el otorgamiento de derechos de aprovechamiento.....	17
4.- Conclusiones.....	21
ANEXOS.....	22

1.- INTRODUCCIÓN

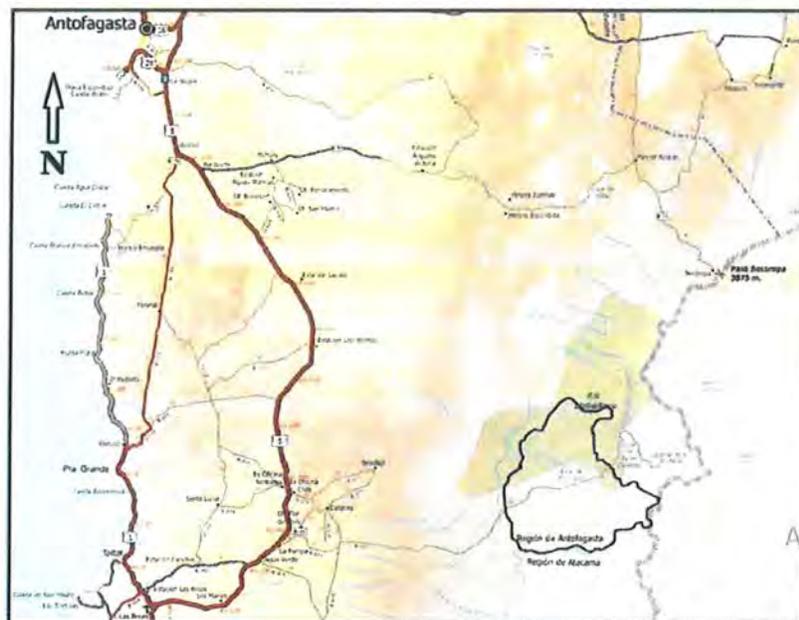
La utilización de las aguas subterráneas es de una enorme importancia en zonas áridas, como es el caso de la Región de Antofagasta. En esta región se tienen diversas situaciones, dadas las diferencias en la pluviometría según la altitud que se tenga. Es así como en la zona altiplánica y de la puna, es decir, fundamentalmente en la Provincia de El Loa, se tienen precipitaciones significativas en el período denominado Invierno Altiplánico, mientras que en otras zonas de menor altitud, ocurren eventos de precipitación en forma extremadamente aislada, y en general, representan escasos volúmenes de agua susceptibles de constituirse en derechos de aprovechamiento de aguas.

Desde el punto de vista político-administrativo, la zona en estudio se encuentra en la Provincia de Antofagasta, en la comuna homónima, en la zona sur-este de la Región de Antofagasta.

El acceso hacia la cuenca en análisis se tiene a través de la ruta B-885, en las cercanías del tramo de la ruta Panamericana entre los kilometrajes 1.160 y el 1.180, a escasa distancia de Catalina.

A continuación se presenta una figura en la que es posible visualizar la zona de estudio en la Región de Antofagasta.

Figura N°1.1: Ubicación de la zona de estudio en la Región de Antofagasta



Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos del Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común de Cuenca Endorreica Salar de Pajonales

El objetivo de este informe es determinar si existe o no disponibilidad de recursos hídricos subterráneos al interior de la cuenca en estudio, teniendo en cuenta tanto las características particulares del sistema, así como los derechos de aprovechamiento constituidos en el mismo.

2.- ANTECEDENTES GENERALES

La zona que se procede a analizar por medio del presente informe, corresponde fundamentalmente a la cuenca denominada Salar de Pajonales, Cuenca 0268 de acuerdo a la nomenclatura oficial de este Servicio¹.

Desde el punto de vista hidrogeológico, la zona en estudio se encuentra en la Provincia Andina Altiplánica, la cual se caracteriza fundamentalmente por una cubierta terciario-cuaternaria volcánica sobre la cual, dadas las precipitaciones estivales, ocurre infiltración y transmisión de volúmenes de aguas hacia zonas de menor altitud.

El sector en análisis se caracteriza por ser de clima desértico y estepárico de altura. La temperatura media anual se encuentra en torno a los 4 a 5 [°C], mientras que las precipitaciones medias se encuentran dentro del rango de los 80 a 150 [mm/año].

Se caracteriza además por tenerse alta luminosidad y radiación solar. La evaporación potencial es de unos 1.350 [mm/año].

La superficie de la cuenca en análisis es de unos 2.068 [Km²], mientras que la altitud media de la cuenca en estudio es cercana a los 3.912 [msnm].

Las precipitaciones se encuentran altamente concentradas entre los meses de diciembre y marzo, influenciadas por el denominado invierno altiplánico.

Cabe destacar que la zona en análisis ha sido estudiada y analizada formalmente en más de una oportunidad², entre las cuales se destacan los siguientes informes:

- S.I.T N°51: Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas: I, II y III Regiones – Chile. Volumen I: Síntesis; Volumen III: Estudio de Cuencas de la II Región. Enero de 1999.
- S.I.T. N°157: Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II, III. Etapa 1. Diciembre de 2008.

1 Cuenca oficial DGA, basada en el desarrollo del Mapa Hidrográfico de Chile, CORFO 1971.

2 Los estudios anteriores han sido desarrollados en forma conjunta por este Servicio y otras instituciones.

El estudio de los cuerpos de aguas subterráneas es sin lugar a dudas una tarea de alta complejidad. Ello, puesto que para cuantificar los caudales susceptibles de ser extraídos en el largo plazo sin generar afectación sobre sectores contiguos, se requiere de un significativo conocimiento de los sistemas naturales y sus interrelaciones, sean ambos de aguas subterráneas, o bien, se trate de aguas subterráneas y aguas superficiales, por efectos de interferencia.

En la zona de interés se tiene un significativo nivel de otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas.

Por tratarse de cuencas endorreicas, su descarga corresponde fundamentalmente a la que se tiene por medio de evaporación y evapotranspiración, a través de salares, lagunas, vegas y bofedales.

Por medio del presente informe se procede a definir el Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común de Cuenca Endorreica Salar de Pajonales, analizando la información hidrológica e hidrogeológica que dispone esta Institución, ante la necesidad de cuantificar la disponibilidad de recursos hídricos subterráneos³.

La cuenca se caracteriza por la existencia del Salar de Pajonales, en el cual se tienen varias lagunas asociadas a aportes superficiales y subsuperficiales, la mayoría de pequeño tamaño.

Por otro lado, el Salar de Pajonales se caracteriza por tener importantes ventanas de la napa u "ojos" de la napa. Estas aguas corresponden a las que se tienen bajo el salar, tratándose de aguas directamente asociadas al acuífero que subyace al salar.

El suelo de la Provincia Andina Altiplánica corresponde a una cubierta terciario cuaternaria volcánica con permeabilidad secundaria debido al fracturamiento, la cual permite la infiltración del recurso y su transmisión hacia sectores más bajos. En ésta, los acuíferos están constituidos principalmente por material aluvial y rocas fracturadas del basamento, como ignimbritas, andesitas, riolitas e intrusivos ígneos.

En cuanto a las áreas bajo protección oficial que existen al interior de la cuenca en análisis, cabe señalar que una significativa porción del área en estudio es parte del Parque Nacional Lullllaillaco.

³ Sin perjuicio de las conclusiones del informe "Determinación de Límites de Acuífero Sector Pampa de Pajonales", desarrollado en el marco del expediente ND-0203-2159 en el año 2003, este Servicio no dispone de antecedentes que permitan concluir favorablemente, respecto de una eventual conexión de la cuenca en estudio con las cuencas endorreicas vecinas que se tienen hacia el sur. A mayor abundamiento, los informes oficiales con que cuenta esta Institución, definen la cuenca en estudio en forma independiente de sus cuencas vecinas hacia el sur, y no señalan ni concluyen que exista una conexión hidrogeológica.

3.- ANÁLISIS

3.1.- Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común

La zona en estudio corresponde a una cuenca endorreica en cuyo centro se encuentra el Salar de Pajonales. Dicho salar se caracteriza por tener un importante número de espejos de agua tanto en su centro como en su contorno.

El Salar de Pajonales posee una superficie de unos 103 [Km²], conforme al SIT N°157⁴ desarrollado el año 2008. Se caracteriza por tener dos tipos de espejos de agua. Por una parte, especialmente en las orillas del salar, se tienen lagunas de escasa profundidad. Por otro lado, fundamentalmente en su parte central, es posible encontrar un importante número de "ojos", los cuales corresponden a ventanas de la napa asociada al acuífero que subyace a la costra salina. La superficie de lagunas totaliza unos 1,4 [Km²], conforme al SIT N°51⁵.

De acuerdo al SIT N°51, cuyo objetivo ha sido el estudio de las cuencas cerradas, andinas y preandinas, se tiene que las cuencas cerradas en las cuales se han originado lagunas y salares, pueden considerarse como pozas de evaporación para las aguas superficiales y subterráneas que fluyen en la cuenca. Luego, las aguas subterráneas en este tipo de sistemas poseen una completa interferencia con respecto a las aguas superficiales, y es posible calcular la recarga media anual asociada al sistema por medio de la determinación de la evaporación media anual que se tiene desde el salar y desde los espejos de agua, puesto que ellos son susceptibles de ser considerados como sección de salida del sistema.

Cabe señalar que conforme al SIT 157, se tiene una pequeña subcuenca dentro de la cuenca en estudio. Sin embargo, dada la ausencia de lagunas y salares, en atención a que las cuencas cerradas pueden considerarse como pozas de evaporación, es claro que sus aportes se ven reflejados aguas abajo, y que desde el punto de vista hidrogeológico es parte del sistema en estudio. Cabe señalar que esto es plenamente consistente con la delimitación de cuencas oficial de este Servicio, y corrobora el hecho de que estas subcuencas sean parte de una única unidad territorial⁶.

Luego, dado que en una cuenca de este tipo puede considerarse a las lagunas y a los salares como pozas de evaporación para las aguas superficiales y subterráneas, es que en el largo plazo la disponibilidad de aguas que se tienen en estas subcuencas, deben ser analizadas desde el punto de vista de las interferencias que se tienen entre los flujos subterráneos y los cuerpos de aguas superficiales. En efecto, al tener ello en

4 Ref. 2.

5 Ref. 1.

6 Esto es, sin perjuicio de las variaciones que se tienen para las delimitaciones, en general menores.

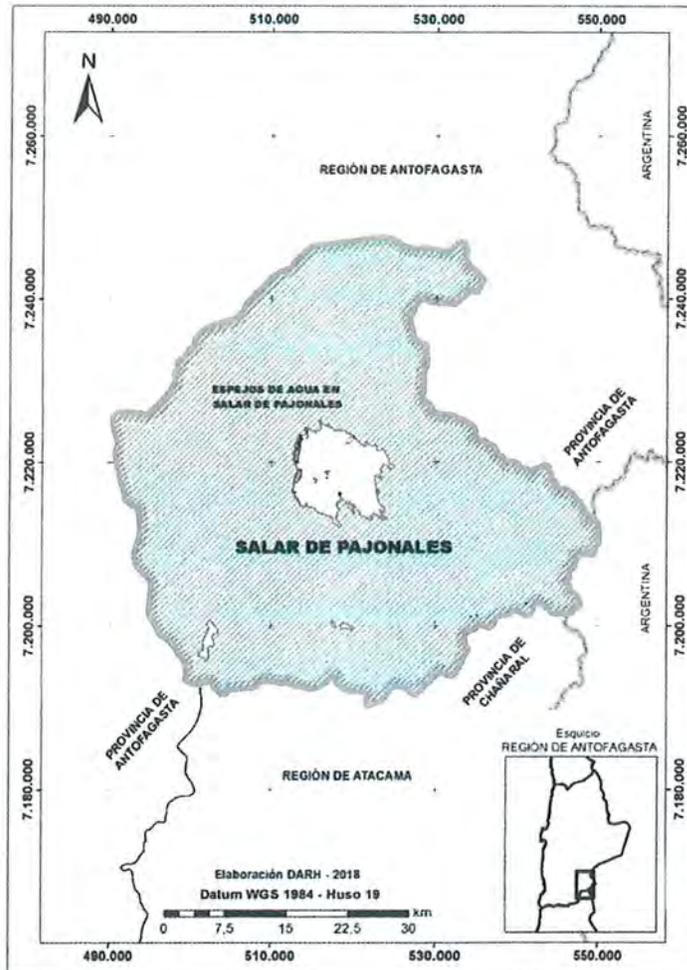
Cabe señalar que por medio de este informe se consideran los límites internacionales oficiales, en concordancia con la cartografía DGA-MOP e IGM, en el marco de la definición de los límites de este sector hidrogeológico de aprovechamiento común.

consideración, podemos apreciar que en este caso, el salar y los espejos de aguas se configuran en una sección de salida del sistema de aguas subterráneas.

Es importante tener en cuenta que las velocidades de los flujos subterráneos en este tipo de sistemas suelen ser extremadamente bajas, teniéndose que las explotaciones generan efectos ampliamente desfasados en el tiempo, y que un área bajo protección oficial no puede ser menoscabado ni en el corto ni en el largo plazo.

La delimitación definida para el sector acuífero en estudio puede apreciarse en la figura que se presenta a continuación.

Figura N°3.1.1: Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común



3.2.- Derechos de aprovechamiento de aguas otorgados

En la cuenca en estudio se han constituido derechos de aprovechamiento de aguas de tipo subterráneas por un volumen altamente significativo.

Sin perjuicio de que en la cuenca no se han constituido derechos de aprovechamiento de aguas superficiales, como ya se ha visto, dado que se trata de un sistema interconectado entre aguas superficiales y subterráneas, es preciso tener en cuenta que el titular de los derechos constituidos podría solicitar el cambio de fuente para efectos de ejercitar sus derechos desde otra ubicación al interior de la cuenca, en concordancia con los artículos 158 y 159 del Código de Aguas, y en base al procedimiento descrito en el Manual de Administración de Recursos Hídricos de este Departamento⁷.

En razón de lo anterior es que para efectos de desarrollar un balance hídrico, tendremos a la vista los caudales otorgados a nivel de sistema conjunto.

A través de la resolución DGA N°622/2003⁸, se constituyeron dentro de esta cuenca cuatro derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en favor de la sociedad Aguas Amarilla Limitada, por un caudal total de 352 [l/s], siendo todos de tipo consuntivo y de ejercicio permanente y continuo.

A continuación se presenta una tabla en la que se indica tanto la ubicación como el caudal comprometido en cada uno de los pozos.

Tabla N°3.2.1: Derechos de aprovechamiento otorgados

Pozo	Coordenadas UTM (PSAD 56; Huso 19)		Coordenadas UTM (WGS 84; Huso 19)		Caudal [l/s]
	Este [m]	Norte [m]	Este [m]	Norte [m]	
SPAJB-2	517.725	7.205.131	517.538	7.204.772	90
SPAJB-3	518.554	7.199.492	518.367	7.199.134	80
SPAJB-6	519.933	7.199.755	519.746	7.199.397	150
SPAJB-8	517.282	7.203.042	517.095	7.202.683	32

⁷ Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos, aprobado según la Resolución DGA (Exenta) N°3.504/2008.

⁸ Expediente ND-0203-2159.

3.3.- Calidad de Aguas

Desde el punto de vista de la calidad de las aguas, conforme a los antecedentes recabados en el SIT N°51, todas las aguas que se han encontrado en la cuenca son de alta salinidad, teniéndose que el agua de aporte de menor concentración tiene una elevada salinidad de 11,7 [gr/l].

Cabe señalar que a diferencia de la mayoría de los salares del norte de Chile, en los cuales se suele encontrar salmueras de tipo sulfatado, en éste predominan aguas cuya composición química es tal que la única relación que se ha encontrado para los elementos mayoritarios corresponde a: Na+Ca+Mg / Cl, relación que se tiene tanto para las aguas de aporte como para las lagunas y "ojos" o ventanas de la napa⁹, lo que no suele darse con frecuencia en los salares del país.

A continuación se presenta una tabla con la información principal para las aguas de aporte que se tienen hacia el salar de Pajonales.

Tabla N°3.3.1: Información de calidad química de aguas de aporte

Aporte	SDT	Tipo químico
	[mg/l]	Cationes / Aniones
PAJ-8	11.728	Na-(Ca)-(Mg) / Cl
PAJ-1	15.376	Na-(Mg)-(Ca) / Cl - (SO4)
PAJ-7	21.777	Na-(Ca)-(Mg) / Cl
PAJ-3	22.395	Na-(Mg)-(Ca) / Cl

A modo comparativo con el salar de Atacama, es preciso considerar que las aguas de este último son significativamente menos salinas que las aguas del salar de Pajonales, lo cual se nota con claridad al comparar los Sólidos Disueltos Totales de las aguas de aporte que se han determinado a través del SIT N°51 para ambos salares.

En efecto, para el caso del salar de Atacama los aportes van desde los 213 [mg/l] hasta los 19.509 [mg/l], teniéndose que en más de un tercio de los casos éstos son inferiores a los 1.000 [mg/l], mientras que en el caso del salar de Pajonales, los aportes se encuentran dentro del rango de los 11.728 [mg/l] a los 22.395 [mg/l].

En cuanto a las características de las aguas de las lagunas, se tiene que la salinidad se encuentra dentro del rango de los 43.510 [mg/l] a los 246.673 [mg/l].

⁹ En el informe citado, se tiene que para el punto PAJ-10, el cual corresponde a un "ojo" del salar, se tiene que los SDT corresponden a 215.247 [mg/l].

3.4.- Volumen Sustentable

En base a lo expuesto en el acápite anterior, es claro que el análisis relativo a la disponibilidad de recursos hídricos debe efectuarse a nivel del sistema en conjunto, es decir, a nivel de la cuenca Salar de Pajonales.

Respecto de las precipitaciones, cabe señalar que no se dispone de una estación pluviométrica ni de otro tipo en la cuenca. Sin perjuicio de ello, es importante tener a la vista que por medio del Balance Hídrico Nacional¹⁰, la precipitación media anual corresponde a 98,5 [mm/año], mientras que a través del SIT N°157 se ha calculado que la precipitación media anual corresponde a 115 [mm/año].

La zona en análisis se caracteriza por la ocurrencia de precipitaciones en forma aislada, teniéndose que estas al darse, pueden ser de gran intensidad pero de escasa duración, lo cual se traduce en que el porcentaje de agua capaz de infiltrarse y alcanzar zonas profundas para luego traducirse en percolación, suele ser muy bajo, e incluso en ocasiones inexistente.

En términos generales, para un tipo de suelo determinado, la recarga de los acuíferos se suele ver favorecida ante la ocurrencia de tormentas de varias horas de duración, puesto que ello permite que aumente la humedad del suelo, favoreciendo la infiltración y posterior percolación.

Como ya se ha referido en el primer acápite de este capítulo, dado que en este caso el salar y los espejos de aguas se configuran en una sección de salida del sistema de aguas subterráneas, es posible estimar la recarga que se tiene en el largo plazo como la suma de la evaporación que se tiene desde los espejos de agua y desde el salar¹¹.

En cuanto a los espejos de agua, como ya se ha indicado, es preciso recordar que se tienen tanto lagunas someras como "ojos" o "ventanas de la napa". En cuanto a las primeras, de acuerdo a los cálculos contenidos en el SIT N°51¹², se deduce que la evaporación para este tipo de cuerpos de agua corresponde a:

$$e_L = 40 \left[\frac{l}{s \text{ km}^2} \right] \quad (1)$$

10 Ref. 5

11 Dado que no se tienen porciones acuíferas delimitadas que alimenten áreas de vegas y bofedales conforme a la Resolución DGA N°87/2006, es que no se considerará la evapotranspiración desde coberturas vegetales. Cabe señalar que se ha tenido a la vista los antecedentes con los que cuenta este Departamento en el marco de los expedientes asociados a los derechos de aprovechamiento, y que en este caso en particular, se ha considerado que la evaporación desde dichas coberturas, dada su escasez, se encontraría contenida dentro del margen de incertidumbre que se tiene, dado el presente análisis de primer orden.

12 En este informe se tiene un completo capítulo para el salar de Pajonales, en el cual se han desarrollado diversos cálculos. Entre ellos, se tiene el balance hídrico para dos de las lagunas someras pertenecientes al salar, desde las cuales se deduce la tasa presentada considerando las superficies y los flujos de evaporación.

O equivalentemente:

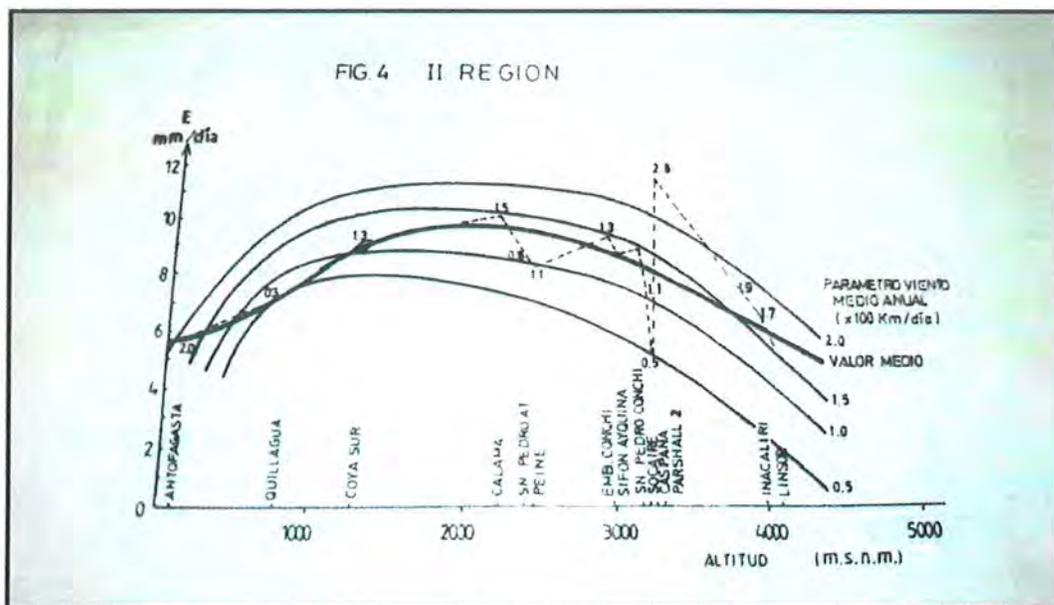
$$e_L = 3,5 \left[\frac{mm}{dia} \right] \quad (2)$$

En virtud de lo anterior, es posible estimar la evaporación desde la totalidad de los espejos de agua considerando la tasa anteriormente deducida. Luego, teniendo en consideración que la superficie de lagunas someras corresponde a 1,4 [Km²], y que por medio de imágenes satelitales se ha estimado una superficie de ojos de unos 500.000 [m²], se obtiene una superficie total de espejos de agua de 1,9 [Km²], con lo que resulta la siguiente evaporación¹³:

$$Evap_{EA} = 76 \left[\frac{l}{s} \right] \quad (3)$$

Por otro lado, para el cálculo de la evaporación que se tiene desde el salar, se ha considerado emplear relaciones generales determinadas para los salares de la región de Antofagasta. En efecto, conforme al informe de Evaporación desde Salares desarrollado en este Servicio¹⁴, se tienen las relaciones expresadas en la figura que se muestra a continuación:

Figura N°3.4.1: Evaporación en función de la Altitud



13 Se asume la misma tasa para los espejos de agua (Ver detalles en acápite anterior y en el SIT N°51).

14 Ref. 3.

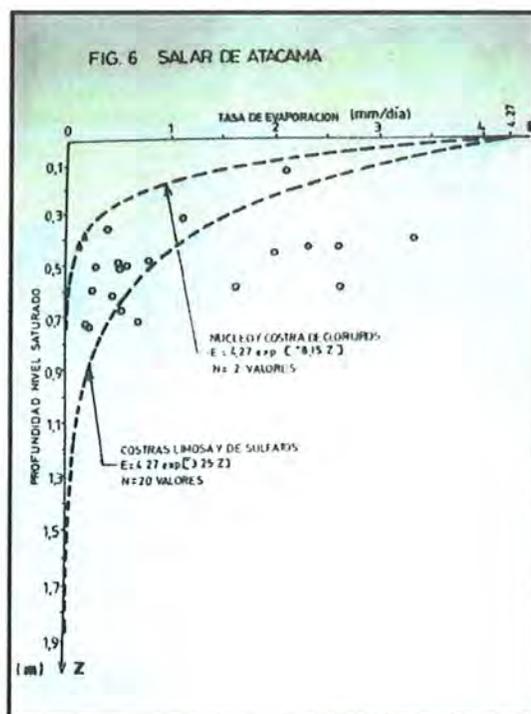
Dado que nos interesa obtener la evaporación media anual para el salar de Pajonales, podemos establecer una ponderación¹⁵ del valor que se tiene para la evaporación de un salar ampliamente estudiado en la región.

Luego, considerando la Figura N°3.4.1, y teniendo en cuenta que el salar de Pajonales se encuentra a una altitud de unos 1.200 [msnm] superior a la del salar de Atacama, de dicha figura se desprende un ponderador igual a 0,8 ya que la evaporación media diaria en el salar de Pajonales, corresponderá al 80 [%] de la que se tendría en el Salar de Atacama, por efectos de la mayor altitud.

$$\rho = 0,8 \quad (4)$$

Sin embargo, es preciso considerar tanto la variación de profundidad media a la cual se encuentra el nivel saturado del acuífero que subyace al salar de Pajonales, así como la diferencia que se tiene en cuanto a la calidad de las aguas entre ambos salares y el tipo de costra. Para ello es posible considerar las relaciones contenidas en la figura que se muestra a continuación.

Figura N°3.4.2: Evaporación en función de la profundidad del nivel saturado



15 Se considera la curva para el valor medio para el parámetro viento medio anual.

Teniendo presente que en el caso del salar de Pajonales se tiene una composición química tal que la única relación que se ha encontrado para los elementos mayoritarios corresponde a: Na+Ca+Mg / Cl, se empleará la fórmula siguiente¹⁶:

$$E(z) = 4,27 \cdot \exp(-8,15 \cdot z) \quad (5)$$

Donde: z= profundidad del nivel saturado.

Sin embargo, utilizando la tasa obtenida para una profundidad nula (2), la cual considera la calidad del agua del salar, la fórmula anterior resulta:

$$E(z) = 3,50 \cdot \exp(-8,15 \cdot z) \quad (6)$$

Por otro lado, como ya se ha señalado en el subcapítulo de Calidad de Aguas, es preciso considerar que las aguas del salar de Atacama son significativamente menos salinas que las aguas del salar de Pajonales.

Sin perjuicio de que no se dispone de información respecto de las características particulares de la costra de las diversas zonas del salar de Pajonales, en base a la calidad de las aguas que se tiene, y a los resultados presentados en el SIT N°51 en el diagrama de Eugster y Hardie para la composición de las aguas y las salmueras del salar de Pajonales, resulta que todas las aguas, tanto de aportes como de lagunas son homogéneas, y se tiene el predominio del Sodio (Na) en cuanto a los cationes, y de los Cloruros (Cl) para el caso de los aniones.

Por otra parte, si analizamos la descripción que se tiene para la composición de las zonas del salar de Atacama¹⁷, podemos notar que para las zonas A6 y A13 se tienen las características que se muestran a continuación:

Tabla N°3.4.1: Tasa de evaporación en zonas A6 y A13 para el salar de Atacama

Zona	Descripción	Prof. napa	E
		[mbnt] ¹⁸	[mm/día]
A6	Costra de cloruro de sodio (NaCl)	1	0,012
A13	Núcleo, costra dura de cloruro de sodio (NaCl)	0,67	0,005

16 Ref. 3

17 Ref. 4

18 Metros bajo el nivel del terreno.

Luego, como ya se ha señalado, teniendo en consideración que el salar de Pajonales es un caso especial por la altísima salinidad de sus aguas, y en atención a la diferenciación clara que se ha establecido por medio del SIT N°51, entre la profundidad de los ojos de la napa y de las lagunas someras, es claro que las características que se presentan en la tabla anterior pueden darse con seguridad en el salar de Pajonales, teniéndose que la tasas de evaporación desde este salar podrían ser incluso inferiores a las que se han presentado en la tabla anterior.

Por otro lado, tal como se ha señalado en el SIT N°51, la profundidad de los ojos de la napa en los salares estudiados pueden llegar incluso a ser de varios metros de profundidad. Luego, considerando que el salar de Pajonales posee una altísima salinidad¹⁹, muy superior a la del salar de Atacama, se deduce que las profundidades medias son del orden de las que se han presentado en la tabla anterior.

En base a los antecedentes citados, se considera que la profundidad media de la napa es de a lo menos 0,50 [mbnt]. Luego, la evaporación desde el salar puede ser estimada con dicha profundidad para el nivel medio de la napa bajo la costra del salar.

Luego, considerando una superficie del salar de 101,1 [Km²], al descontar la superficie de espejos de agua, y aplicando la fórmula (6), considerando $z = 0,50$ [m], resulta:

$$E(z = 0,50 [m]) = 70 \left[\frac{l}{s} \right] \quad (7)$$

Por lo tanto, considerando el ponderador (4), que se desprende de la aplicación de la corrección por diferencia de altitud, se obtiene la siguiente evaporación media anual para la costra del salar de Pajonales:

$$Evap_{CS} = 56 \left[\frac{l}{s} \right] \quad (8)$$

19 Solamente el Salar de Aguilar supera las concentraciones de SDT (sólidos disueltos totales) mínimas y máximas considerando la totalidad de los salares chilenos (Ref. 3)

Así, considerando (3) y (8), es decir, la evaporación tanto desde los espejos de agua, como desde la costra del salar, se obtiene la siguiente evaporación para el Salar de Pajonales:

$$Evap_{SP} = 132 \left[\frac{l}{s} \right] \quad (9)$$

Cabe destacar que en el caso del salar de Atacama, la zona A13 corresponde a la mayor parte del salar, totalizando 1.620 [Km²], equivalentes al 58% de su superficie. Es decir, dicha superficie se traduce en una evaporación media anual igual a 93,8 [l/s] para el salar de Atacama. Luego, a modo comparativo, si el salar de Pajonales tuviese dicho porcentaje de superficie del mismo tipo que el de la zona A13 del salar de Atacama, la evaporación proveniente del 58% del salar de Pajonales, es decir, de 60,2 [Km²], se traduciría en una evaporación media anual de tan sólo 3,82 [l/s].

Considerando las características del salar de Pajonales, en especial sus salmueras, así como las diversas consideraciones anteriormente expuestas, se considera que la evaporación estimada por medio de este informe se constituye en un límite superior para la evaporación que se tiene desde este sistema en el largo plazo, y que corresponde a una sustantiva estimación de acuerdo a los antecedentes disponibles en este Servicio.

Por lo tanto, como ya se ha señalado, en atención a que las cuencas cerradas en las cuales se han originado lagunas y salares, como es en este caso, pueden considerarse como pozas de evaporación para las aguas superficiales y subterráneas que fluyen en una cuenca, es que la evaporación estimada corresponde a la recarga de la Cuenca Endorreica Salar de Pajonales en el largo plazo.

Luego, la recarga del sistema en estudio corresponde al siguiente valor:

$$R = 132 \left[\frac{l}{s} \right]$$

Dicho resultado se traduce en un volumen sustentable igual a:

$$V = 4.162.752 \left[\frac{m^3}{año} \right]$$

3.5.- Disponibilidad de recursos hídricos para el otorgamiento de derechos de aprovechamiento

El acuífero contenido en la cuenca en estudio se encuentra íntimamente conectado con las fuentes de aguas superficiales que se tienen. Por lo tanto, el volumen total anual de derechos comprometidos en el largo plazo corresponde a la suma de los volúmenes asociados a los derechos constituidos de aguas subterráneas y de aguas superficiales.

Luego, se puede establecer una analogía entre oferta y demanda de recursos hídricos para efectos de verificar en qué situación se encuentra la disponibilidad.

En efecto, considerando los volúmenes referidos en los capítulos anteriores, en cuanto a derechos de aprovechamiento de aguas, se tiene un volumen total anual equivalente a 11.100.672 [m³/año].

En resumen, la situación general a nivel de sistema se resume en la tabla que se muestra a continuación²⁰.

Tabla N°3.5.1: Volumen Sustentable v/s Demanda Comprometida

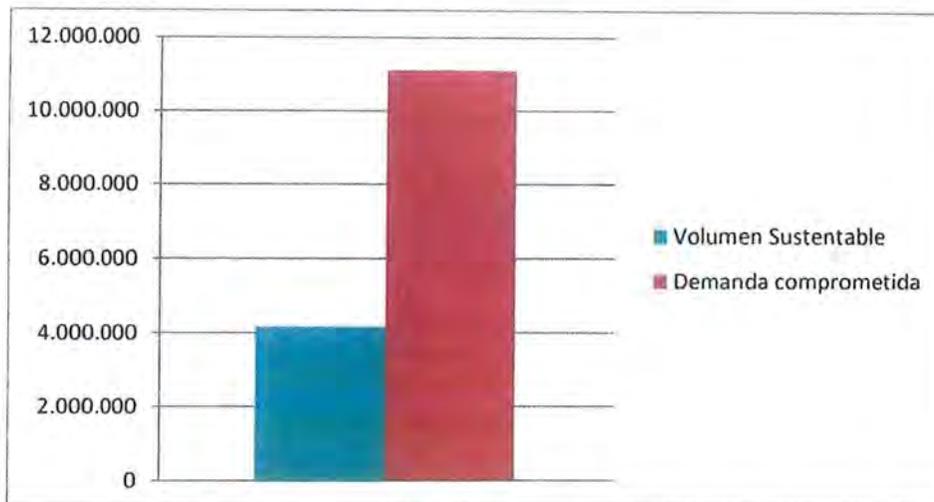
Sector Acuífero	Volumen Sustentable	Demanda Comprometida
	[m ³ /año]	[m ³ /año]
Cuenca Endorreica Salar de Pajonales	4.162.752	11.100.672

Es decir, la demanda comprometida supera significativamente la disponibilidad u oferta de recursos hídricos.

A continuación se presenta un gráfico en el que es posible visualizar la situación anterior:

20 La demanda comprometida ha contemplado la suma de los volúmenes asociados a los derechos de aguas constituidos. Sin embargo, no se ha considerado el requerimiento natural proveniente de la evapotranspiración desde las vegas que podrían tenerse, dado que conforme a la Res. DGA N°87/2006, no existen vegas ni bofedales en dicho catastro. Asimismo, tampoco se ha considerado el requerimiento para el mantenimiento de los espejos de aguas de las lagunas, dado el orden de magnitud de este análisis. Es por ello que la demanda comprometida en rigor corresponde a un límite inferior para el requerimiento que se tiene al interior de la cuenca en estudio.

Gráfico N°3.5.1: Volumen Sustentable v/s Demanda Comprometida [m³/año]



En este sentido podemos concluir que sobre el sector acuífero ya individualizado en el párrafo precedente, se estima que existe riesgo de grave disminución de sus niveles en el largo plazo, 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 recursos hídricos subterráneos para otorgar nuevos derechos de aprovechamiento en calidad de definitivos.

En cuanto a derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas de tipo provisionales, cabe señalar que este Servicio una vez que ha otorgado la totalidad del volumen sustentable en calidad de derechos de aprovechamiento de aguas de tipo definitivos, puede declarar el sector acuífero como área de restricción y otorgar derechos provisionales sólo si se estima prudente, analizando aspectos tales como los niveles de explotación del acuífero y niveles de aguas subterráneas.

Con el fin de evaluar el volumen de aguas subterráneas susceptible de ser otorgado como derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas en calidad de provisionales, de acuerdo al procedimiento establecido en el Manual de Normas y Procedimientos para la Administración de Recursos Hídricos de este Departamento, modificado según la Resolución DGA (Exenta) N°2.455/2011, se tiene que los derechos provisionales factibles de otorgar, podrán quedar determinados al emplear otro sector hidrogeológico de aprovechamiento común como patrón o referencia.

Lo anterior podrá aplicarse en la medida que las características de este sector hidrogeológico sean comparables, que no existan antecedentes que indiquen afección a derechos de terceros ni a la fuente. 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, sobre un sector acuífero que presente características particulares que no permitan asociar un sector hidrogeológico a utilizar como patrón o referencia, se podrán otorgar derechos provisionales en magnitud equivalente a su volumen sustentable, esto, sobre la base de que se implementará un monitoreo efectivo del acuífero, y dado que pueden ser dejados sin efecto en caso de detectarse afección a derechos de terceros.

En lo que respecta al sector acuífero denominado Cuencas Endorreica Salar de Pajonales, 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, procediendo se estimen los derechos provisionales en una magnitud equivalente al volumen sustentable de dicho sector.

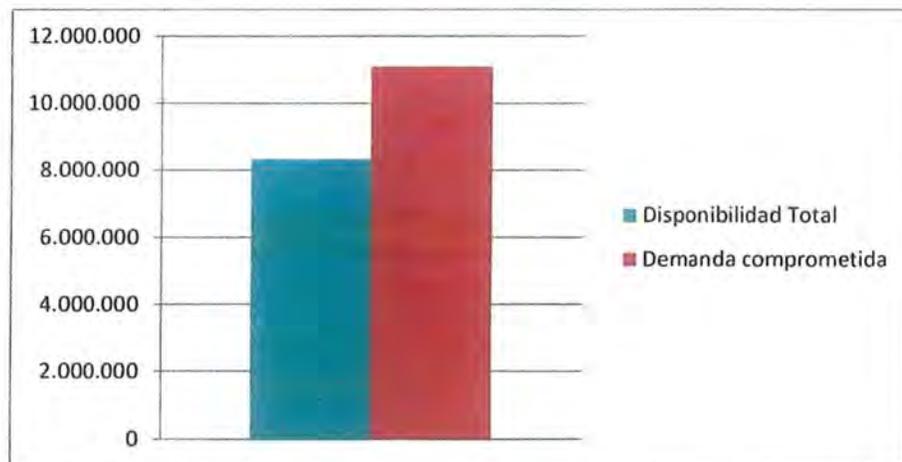
A continuación se presenta el volumen total factible de otorgar como derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas para el sector acuífero.

Tabla N°3.5.2: Volumen total factible de otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas

Sector Acuífero	Volumen Sustentable	Factor	Disponibilidad Total (definitivos + provisionales)
	[m3/año]		[m3/año]
Cuenca Endorreica Salar de Pajonales	4.162.752	2	8.325.504

En cuanto al volumen susceptible de ser constituido como derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas de tipo provisionales, cabe señalar que éste correspondería a la diferencia que se tiene entre el volumen asociado a la Disponibilidad Total y a la Demanda Comprometida, valores que se han presentado en las tablas 3.5.2 y 3.5.1 respectivamente, y los cuales se pueden apreciar gráficamente a continuación.

Gráfico N°3.5.2: Disponibilidad Total v/s Demanda Comprometida [$m^3/año$]



Sin embargo, dado que la Disponibilidad Total es significativamente inferior a la Demanda Comprometida, se tiene que tampoco es factible el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas de tipo provisionales.

Luego, como ya se ha señalado en este informe²¹, las cuencas cerradas en las cuales se han originado lagunas y salares, pueden considerarse como pozas de evaporación para las aguas superficiales y subterráneas que fluyen en la cuenca. Por lo tanto, dado que la demanda supera significativamente tanto el volumen sustentable como la disponibilidad total, es que tampoco existe disponibilidad de aguas superficiales.

21 Se cita desde Ref. 1

4.- CONCLUSIONES

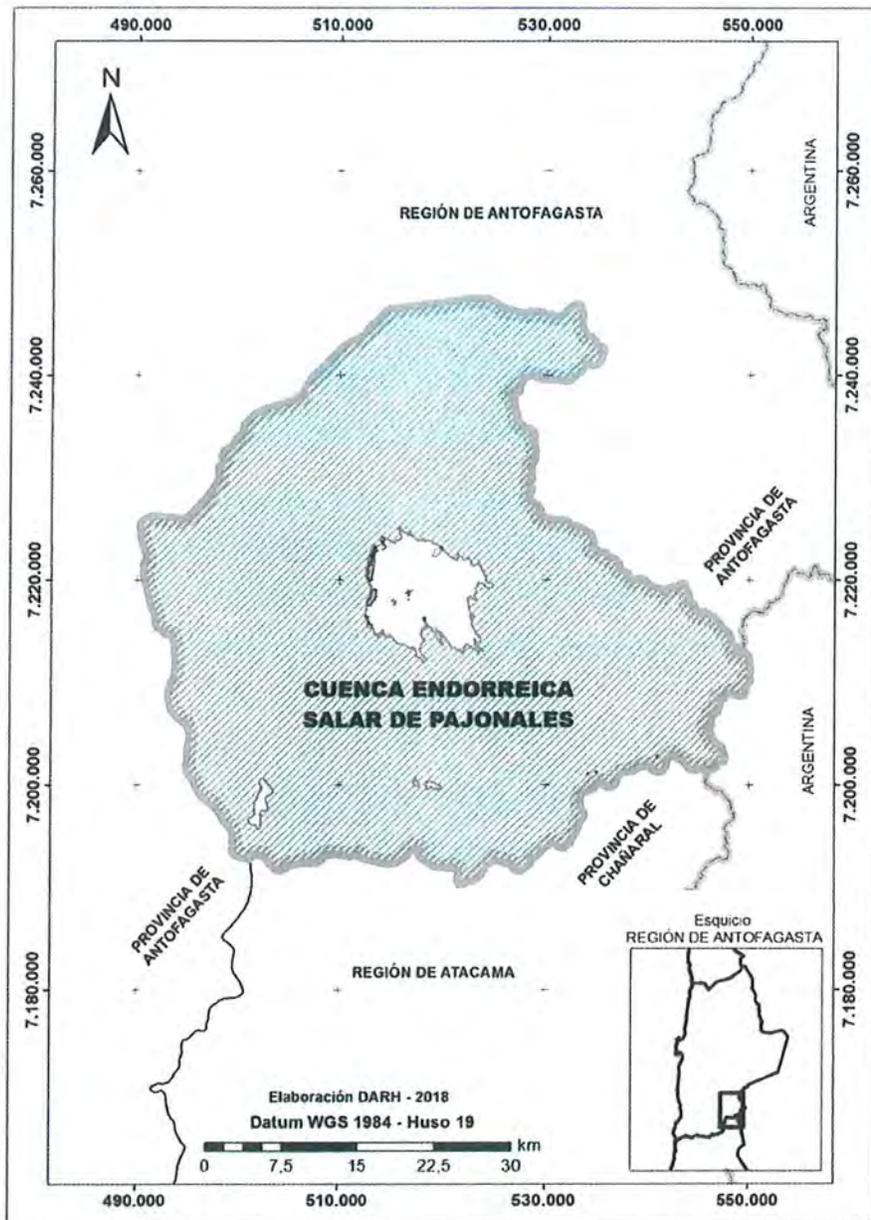
El análisis desarrollado sobre esta cuenca altiplánica, cuyas aguas subterráneas se constituyen en el Sector Acuífero de Cuenca Endorreica Salar de Pajonales, se traduce en síntesis en que:

- El caudal máximo admisible manteniendo un nivel de explotación sustentable es de 132 [l/s], equivalente a 4.162.752 [m³/año]. A la fecha se han otorgado derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas por un caudal total de 352 [l/s], equivalente a 11.100.672 [m³/año].
- Se estima que existe riesgo de grave disminución de sus niveles en el largo plazo, con el consiguiente perjuicio de derechos de terceros ya establecidos en él, por cuanto la demanda comprometida supera con creces la oferta sustentable definida para la zona, no existiendo entonces disponibilidad de recursos hídricos subterráneos para otorgar nuevos derechos de aprovechamiento en calidad de definitivos.
- Dado que la Disponibilidad Total es significativamente inferior a la Demanda Comprometida, se tiene que tampoco es factible el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas de tipo provisionales.
- Las cuencas cerradas en las cuales se han originado lagunas y salares, como es en este caso, pueden considerarse como pozas de evaporación para las aguas superficiales y subterráneas que fluyen en la cuenca, por lo que no es posible la constitución de derechos de aprovechamiento de aguas superficiales.
- En el sector acuífero en análisis, el cual corresponde a un único sector hidrogeológico de aprovechamiento común denominado Cuenca Endorreica Salar de Pajonales, se han constituido a la fecha derechos de aprovechamiento de aguas que comprometen toda la disponibilidad determinada por este Servicio para el otorgamiento de derechos de aprovechamiento de aguas subterráneas, tanto definitivos como provisionales. Es por esto que en virtud del Artículo 35 del Decreto Supremo MOP N°203/2013, procede declarar Zona de Prohibición para el sector hidrogeológico de aprovechamiento común de Cuenca Endorreica Salar de Pajonales, el cual queda definido geográficamente en el mapa N°1 presentado en Anexos.



Pablo Enrique Schnake Gálvez
Departamento de Administración
de Recursos Hídricos
Dirección General de Aguas

1.- Mapa N°1: Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común



Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos del Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común de Cuenca Endorreica Salar de Pajonales

2.- Referencias

Los siguientes documentos han sido revisados para efectos del desarrollo del presente análisis:

1. S.I.T N°51; Geoquímica de Aguas en Cuencas Cerradas: I, II y III Regiones – Chile. Volumen I: Síntesis; Volumen III: Estudio de Cuencas de la II Región. Enero de 1999.
2. S.I.T. N°157: Levantamiento Hidrogeológico para el Desarrollo de Nuevas Fuentes de Agua en Áreas Prioritarias de la Zona Norte de Chile, Regiones XV, I, II, III. Etapa 1.- Hidrografía Regional del Altiplano de Chile. Diciembre de 2008.
3. SDEH 86/4: Evaporación desde Salares: Metodología para Evaluar los Recursos Hídricos Renovables. Aplicación en las Regiones I y II.- Sub Depto. de Estudios Hidrológicos, Departamento de Hidrología, Dirección General de Aguas, 1986.
4. SDT N°339: Análisis de la Oferta Hídrica del Salar de Atacama.- División de Estudios y Planificación, Dirección General de Aguas, 2013.
5. Balance Hídrico de Chile, Dirección General de Aguas, 1987.
6. Mapa Hidrogeológico de Chile, Dirección General de Aguas, 1986.
7. Estudio del Mapa Hidrogeológico Nacional, DGA, 1986.
8. Resolución DGA N°87/2006.- Modifica Resolución DGA N°529 de 2003 en el sentido de actualizar Identificación y Delimitación de Acuíferos que Alimentan Vegas y Bofedales de la II Región de Antofagasta.