



Mesa Multiactor
SALAR DE ATACAMA

**Explorando la cuenca
Salar de Atacama
UN VIAJE POR EL AGUA**

2 CICLO

Ciclo III



En este segundo ciclo se abordarán algunos conceptos y contenidos asociados al uso de las aguas superficiales y subterráneas en el Salar de Atacama. En la primera sección se hará referencia a los Usos del Agua en la cuenca del Salar de Atacama. En la segunda sección se profundizará en la disponibilidad de las aguas en la cuenca. Finalmente, en la tercera sección se hablará de la calidad de las aguas para diferentes usos. Antes de comenzar les compartimos algunas definiciones de conceptos que pueden ser de utilidad.

GLOSARIO

1 Derecho de aprovechamiento de aguas (DAA): Representan la unidad básica del sistema de regulación y gestión de aguas en Chile. Es un derecho real que recae sobre las aguas y consiste en el uso y goce de ellas. En la actualidad, se otorga a través de una concesión temporal constituida originalmente por la Dirección General de Aguas (DGA). También existen los procedimientos de regularización de derechos para lo cual en la actualidad existen algunos plazos establecidos. La libre circulación de estos permite el establecimiento de un mercado de aguas, ya sea para su venta o arriendo de derechos.

2 Saneamiento: Se refiere al proceso de recolectar, transportar y realizar el tratamiento del agua para alcanzar la calidad establecida por ley, con el fin de reducir los riesgos para la salud y prevenir la contaminación del medioambiente.

3 Servicio sanitario rural (SSR): Es la organización que presta servicios de agua potable y saneamiento a las comunidades rurales para uso doméstico, entendido como uso destinado al consumo familiar, a pequeñas actividades comerciales o artesanales, u otros que la ley determine.

4 Uso consuntivo: Es una característica del DAA, que hace referencia al consumo total del agua del caudal asignado en cualquier actividad, por ejemplo, la agricultura.

5 Uso no consuntivo: Este tipo de DAA obliga a devolver las aguas a su fuente una vez utilizadas, en la misma cantidad y calidad que se extrajo, por ejemplo, una hidroeléctrica o ciertos procesos industriales.

6 Concentración: La concentración química se refiere a la cantidad en que se encuentran las sustancias sólidas que se disuelven (solute) en relación con la o las sustancias líquidas que lo disuelven (solvente), resultando en una solución. Mientras mayor sea la cantidad de soluto disuelto más concentrada estará la solución.

7 Normas de calidad: De acuerdo con la ley, estas normas establecen los valores de las concentraciones y períodos, máximos o mínimos permisibles, de elementos, compuestos, sustancias, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos o combinación de ellos; cuya presencia o carencia en el ambiente pueden constituir un riesgo para la vida o la salud de la población, o para el medio ambiente. Las normas primarias, tiene por objetivo proteger la salud de la población, y su aplicación es dentro del territorio nacional. Las normas secundarias, tienen por objetivo proteger o conservar el medio ambiente, siendo su aplicación de carácter local y no necesariamente nacional.

8 Objeto de protección: Elementos o componentes del medio ambiente definidos en el artículo 11 de la Ley 19.300 que, para efectos del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), se pretenden proteger de impactos ambientales que puedan ser generados por la ejecución de proyectos o una actividad en particular. Así, la evaluación de impactos ambientales significativos se realiza específicamente sobre estos componentes ambientales y no sobre otros. Los objetos de protección incluyen la salud de la población, recursos naturales renovables (como el componente hídrico), costumbres de grupos humanos, población indígena, zonas de valor turístico, entre otras.

9 Plan de alerta temprana: El PAT es parte del seguimiento ambiental para las aguas subterráneas, cuyo objetivo es mantener las variables ambientales dentro de lo proyectado y aprobado en la evaluación ambiental. Se presenta con el fin de gestionar ciertas acciones, cuando corresponda, que permitan prevenir la generación de impacto cuando la variable ambiental se comporta distinto a lo proyectado.

10 Plan de seguimiento ambiental: ya sea de un proyecto o actividad, tiene como objetivo asegurar que las variables ambientales relevantes que dieron origen al Estudio de Impacto Ambiental (EIA) evolucionan y se comportan según lo establecido en la proyección y documentación de la evaluación respectiva.

11 Minería metálica y no metálica: La minería metálica es la actividad relacionada con la explotación de sustancias naturales, de las cuales se puede extraer un elemento metálico, que puede ser básico, ferroso, precioso o radioactivos. En minería metálica, Chile tiene operaciones que explotan recursos de cobre, molibdeno, oro, plata, hierro, cinc y plomo. La minería no metálica de Chile comprende la explotación de sustancias naturales no metálicas, los cuales constituyen la materia prima para diversos sectores industriales, por lo que también es común referirse a estos productos como minerales industriales. En nuestro país, en minería no metálica, se destaca la producción de yodo, nitratos de sodio y potasio, compuestos de potasio, cloruros de sodio, y compuestos de litio y boro.

01 USOS DE AGUA

Cuando se habla de “usos de agua”, se hace referencia a clasificaciones que están relacionadas con la normativa vinculada a la gestión del agua, definida en el Código de Aguas de Chile. En esta Ley se establece que es el Estado, a través de la Dirección General de Aguas (DGA), el que entrega permisos a las personas para utilizar las aguas. A estos permisos se les llama Derecho de Aprovechamiento de Aguas (DAA). Sobre estos Derechos se distinguen dos tipos según el consumo o uso: **Consuntivo y No Consuntivo**.



Derecho consuntivo:

El derecho consuntivo permite el consumo total de las aguas en cualquier actividad



Derecho no consuntivo:

Permite usar el agua sin consumirla y obliga a devolverla -restituirla- en la forma como se indica en la resolución o documento que constituye ese derecho. Por ejemplo, indicará un punto de restitución (ubicación).

Según la DGA, en los últimos 100 años, se han otorgado 7.300 litros por segundo aproximadamente en la cuenca del Salar de Atacama, para uso consuntivo y no consuntivo. Dentro de los usos consuntivos se encuentra el agua potable, agricultura (riego) y minería.

Por otro lado, en la cuenca existen usos in situ o no extractivos (también reconocidos en el actual código de aguas), que son aquellos que no requieren tomar las aguas de los ríos, quebradas, lagos y/o lagunas; por el contrario, su fin es mantener un caudal constante en los cursos de aguas que permita la mantención de los ecosistemas o el desarrollo de actividades turísticas.

A continuación, se profundizará en los usos de agua existentes en la cuenca del Salar de Atacama.

¿Sabías que existe una base de datos de derechos de aprovechamiento de aguas (DAA)?

La base de datos oficial de DAA es el registro público de derechos de aprovechamiento de aguas (RPDAA), el cual forma parte del catastro público de aguas (CPA) que es administrado por la DGA. El RPDAA no posee información completa debido a que los titulares de derechos no siempre terminan el proceso de registro, generándose diferencias entre los registros de los conservadores de bienes raíces y los que mantiene la DGA.

Esta situación constituye una barrera para conocer y estimar, adecuadamente, los caudales totales entregados a través de los DAA, y, en consecuencia, se genera un desconocimiento e incertidumbre de la potencial demanda de las cuencas del país.



Uso como agua potable

En la cuenca del Salar de Atacama la demanda de agua potable, agua requerida, comprende tanto a la población permanente que habita las diferentes localidades de la cuenca -San Pedro y ayllus vinculados a comunidades atacameñas, como a la población flotante, conformada por los miles de turistas que año a año la visitan.

Esta demanda ha crecido en el último tiempo, asociado al aumento de la población de la comuna de San Pedro de Atacama la cual se cuadruplicó en un período de 15 años (1992-2017, según cifras del INE); y en el caso de los turistas, triplicándose los visitantes de la reserva nacional Los Flamencos, pasando de los casi 200.000 visitantes a 600.000 entre los años 2010 y 2018 (ver Figura 1).



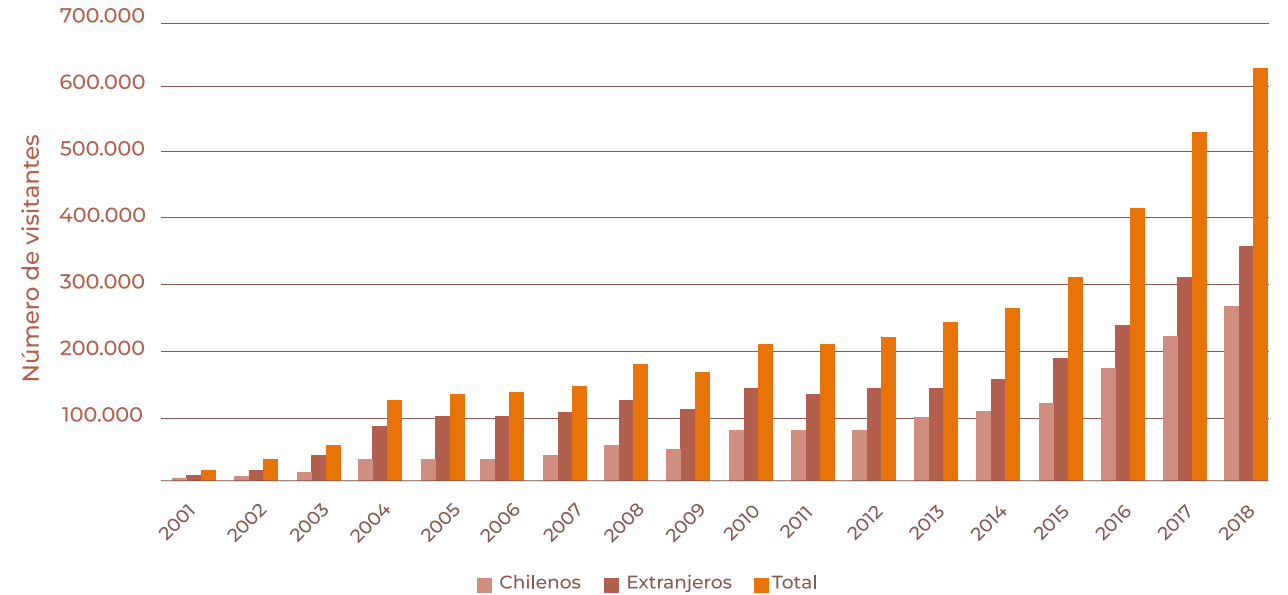
¿Sabías que existe una base de datos de derechos de aprovechamiento de aguas (DAA)?

Asociado a esta situación la DGA reconoce la existencia de usuarios de agua y/o comunidades que no han inscrito sus derechos de agua, por lo que no poseen el título que acredita su derecho al uso de las aguas.

Esta situación se busca subsanar a través de los nuevos plazos que la DGA estableció para regularizar estos derechos, lo cual se encuentra descrito en la última modificación al código de aguas.

Figura 1

Número de visitantes a reserva nacional Los Flamencos. Fuente: DGA-PUC, 2021.



Hay desafíos en torno a un más certero conocimiento de las demandas de agua y del abastecimiento efectivo de la población local y flotante.

El abastecimiento de agua potable a todas las personas que viven, trabajan y visitan la cuenca del Salar de Atacama, es realizado por una serie de sistemas sanitarios rurales (SSR), también conocidos como agua potable rural (APR), no existiendo empresas sanitarias. Al año 2021, formalmente estaban reconocidos cinco SSR, ubicados en las localidades de San Pedro de Atacama (comité de agua potable rural de San Pedro de Atacama, también conocido como CAPRA), Río Grande, Toconao, Socaire y Peine (Figura 2). Pese a las mejoras que se han implementado para una mayor cobertura de abastecimiento, en la actualidad, CAPRA aún entrega agua mediante camiones aljibes a diversas localidades rurales (4% del agua total que extrae). Según la estimación del estudio DGA-PUC (2021), la demanda total de dichos SSR es del orden de los 42 L/s.



Figura 2. Sistema de agua potable rural. Fuente: DGA-PUC, 2021.

Uso agrícola

La agricultura que se desarrolla en la cuenca utiliza para el riego agua superficial, conducida por canales de regadío, y agua subterránea, extraída de pozos y vertientes. De esta manera, se riegan los principales cultivos de la zona, como la alfalfa, maíz, trigo, frutales y hortalizas (ver Imagen 1).

La actividad agropecuaria es muy importante, ya que conserva las tradiciones culturales y ancestrales de los diferentes ayllus, y a partir de ella se despliegan actividades como la artesanía y el turismo. Las distintas áreas de riego, tanto de agua superficial como subterránea, se distribuyen según lo que se muestra en la Figura 3.



Imagen 1. Agricultura en comunidad atacameña de Socaire. Fuente: Comunidad atacameña de Socaire (socairechile.cl).

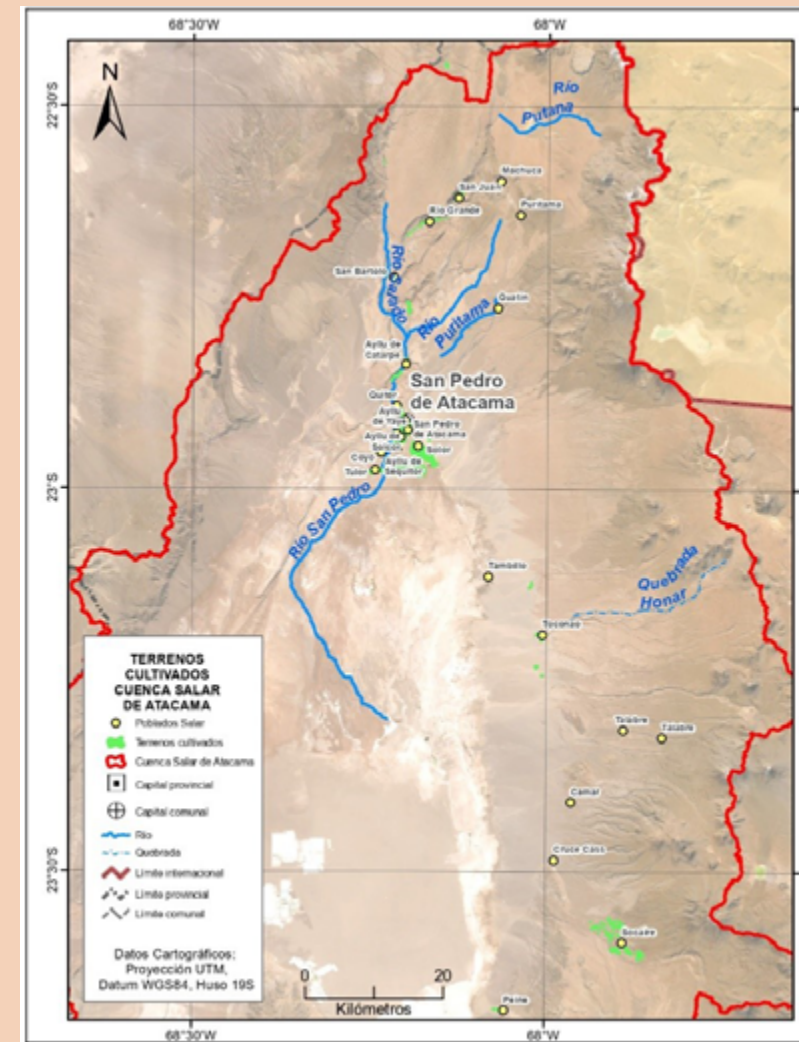


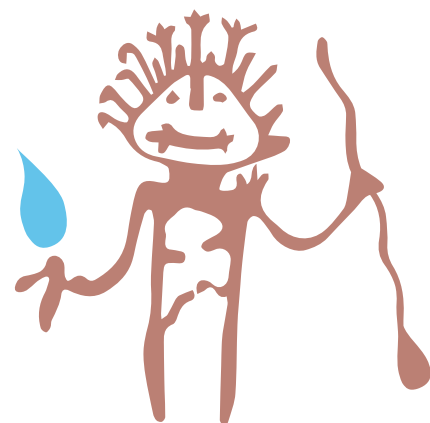
Figura 3. Áreas cultivadas cuenca Salar de Atacama. Fuente: Basado en DGA-PUC, 2021.

Según datos del estudio DGA-PUC (2021), la superficie total agrícola bajo riego era cercana a las 1.100 hectáreas, concentrando la mayor parte de dicha superficie en torno a la localidad de San Pedro de Atacama. El resto de las áreas de riego, tanto de agua superficial como subterránea, mantienen su distribución principalmente en los poblados de la cuenca.

Cabe destacar, que las superficies bajo riego suelen ser dinámicas en el tiempo, por lo que la superficie por localidad puede cambiar bastante entre un año y otro.

El principal método de riego en la cuenca es por tendido o de tipo tradicional, seguido en un menor porcentaje por los métodos de aspersión y goteo.

Según el mismo estudio, la demanda en promedio estimada para el periodo 1986-2018 es del orden de los 630 L/s.



Uso ancestral

Finalmente, existe otro tipo de uso: el ancestral, que, si bien no es parte de los usos que se registran en la dirección general de aguas DGA, sí ha sido reconocido por el estado chileno (por ejemplo, en contextos judiciales), en reconocimiento de las prácticas consuetudinarias de determinadas comunidades, reconociendo la existencia de un derecho previo en favor de estas. En esta línea, el uso ancestral se entiende como el uso histórico del agua por parte de comunidades originarias de un lugar que está asociado al autoconsumo, a la mantención de las tradiciones y cultura, y al bienestar familiar.

En la cuenca, habitan muchas comunidades Lickanantay o atacameñas, las cuales, hace milenios, han utilizado el agua para la agricultura (Imagen 2), sus actividades domésticas y como parte de sus ceremonias y rituales. Así también, la práctica de pastoreo (Imagen 3) y su relación con cerros tutelares, que representan a sus ancestros, quebradas y ríos, tienen evidentemente, un sentido vinculado a agua y al territorio, más allá de un sentido instrumental de su aprovechamiento solo como un recurso productivo.

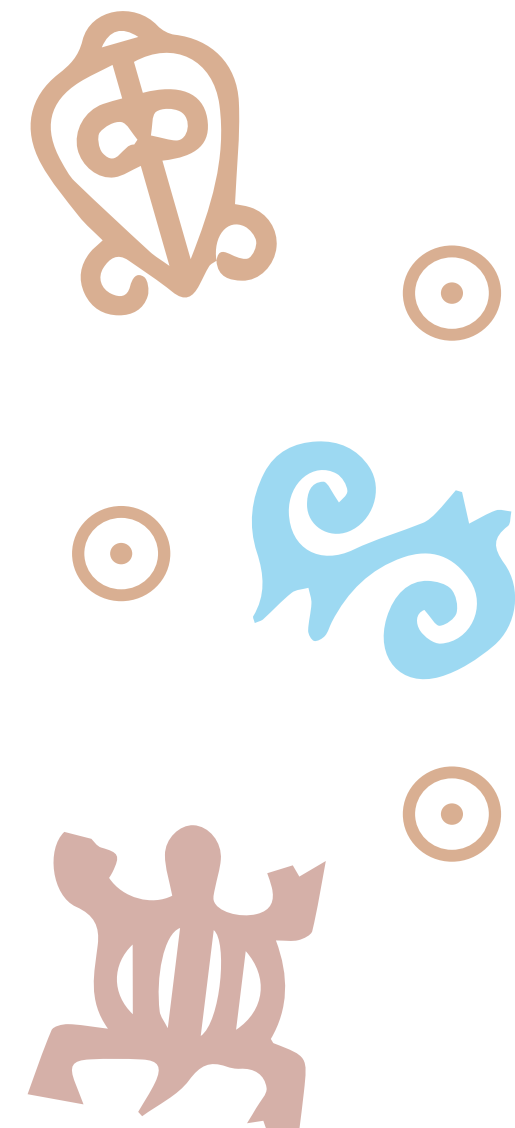


Imagen 2

Agricultura en terrazas. Fuente: Comunidad atacameña de Socaire (socairechile.cl).



En este sentido, la ocupación de las comunidades, y su interacción con el entorno, ha estado mediada también por su cosmovisión, que se vincula a una ontología animista, es decir a la visión de los elementos de la naturaleza como seres vivientes. En este caso, tanto la tierra, los cerros y el agua son vistos como espíritus en interacción: la Pachamama, Tata Mayllco y la Puri, respectivamente, se invocan conjuntamente.



**“El cerro origina al agua, y ésta fertiliza a la tierra”
(Grebe e Hidalgo, 1988).**

Imagen 3

Llamas en Salar de Tara.

Fuente: AllSanPedrodeAtacama



Uso ambiental

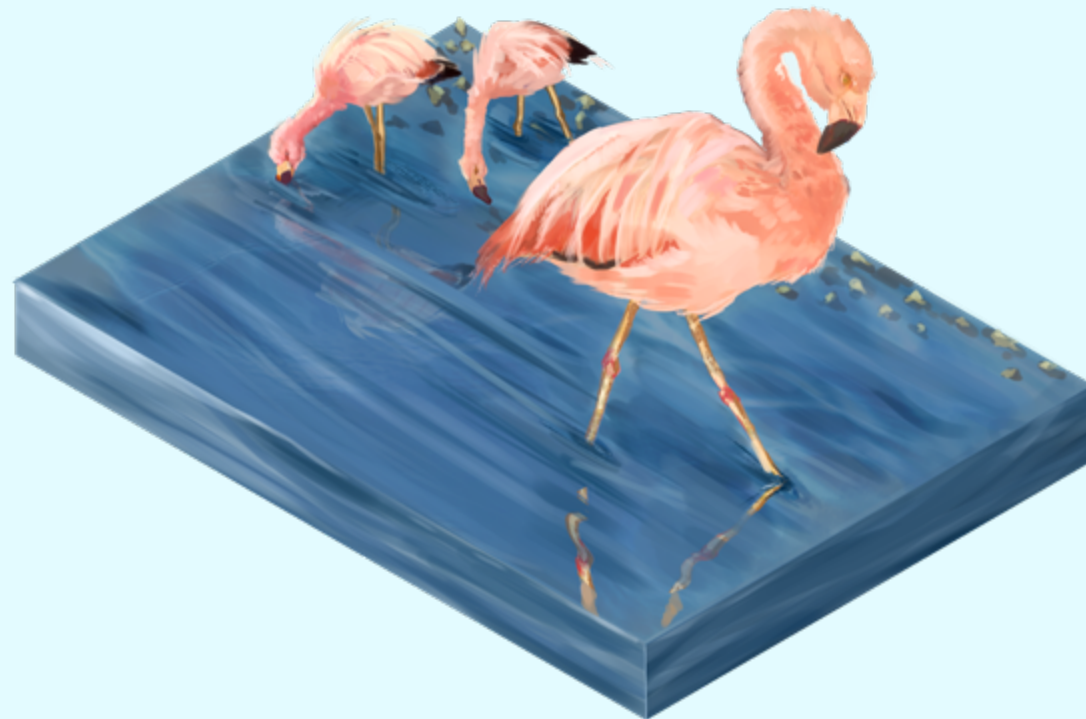
Está relacionado con el agua necesaria, en cantidad y calidad, para mantener la sustentabilidad de un ecosistema, que pueda proveer servicios ambientales y tenga capacidad de adaptación al cambio climático. En este sentido, el uso ambiental del agua en los ecosistemas lagunares del Salar de Atacama resulta una preocupación permanente, en cuanto a que su disponibilidad no se vea afectada por la actividad minera y se garantice el desarrollo de la flora y fauna en estos espacios. En este sentido, los procesos de recarga de agua dulce y evaporación son claves de monitorear para evaluar el estado del agua -en sus distintos estados- vinculado a estos ecosistemas. Este uso ambiental traducido en una demanda determinada de agua, en el caso de estos ecosistemas, podría ser variable, pues existe un dinamismo asociado a las variaciones de estos espacios en el tiempo, lo cual se ve reflejado, por ejemplo, en el espejo de agua de las lagunas, que presentan modificaciones interanuales asociadas a períodos más húmedos o más secos.

El uso ambiental entonces se encuentra presente en los distintos sistemas lagunares: lagunas de Cejar y Tebenquiche, el sistema Soncor (Imagen 4), el sistema Peine y aguas de Quelana y el sistema La Punta-La Brava.

Y en el caso particular de las vegas asociadas a estos ecosistemas lagunares, el uso ambiental de estos sistemas están protegidos indirectamente a través de la protección especial que entrega el código de aguas, impidiendo el alumbramiento de las aguas subterráneas en las zonas que las alimentan y prohibiendo una mayor explotación de los acuíferos que las sostienen. Asimismo, ha sido abordado, por ejemplo, a través de la determinación de caudales ecológicos; y con las últimas modificaciones al código de aguas, se han incorporado también dentro de los usos posibles de los derechos de aprovechamiento, aquellos no extractivos o in situ, que incluyen los fines de conservación ambiental. Esto último refleja que el uso ambiental también se puede vincular a los cauces superficiales, como los ríos y quebradas de la cuenca.

Imagen 4

Laguna Chaxa del sistema Soncor.
Fuente: Tourism media.



Uso minero Historia minera en la cuenca del Salar de Atacama

En la cuenca del Salar de Atacama podemos encontrar actividades mineras metálicas y no metálicas. Dentro de la minería no metálica, destacan dos empresas (SQM y Albemarle) relacionadas a la extracción del litio y operaciones relacionadas. La operación de dichas empresas data de hace décadas, y ha tenido diversos hitos. Destacamos algunos de estos en la figura siguiente.

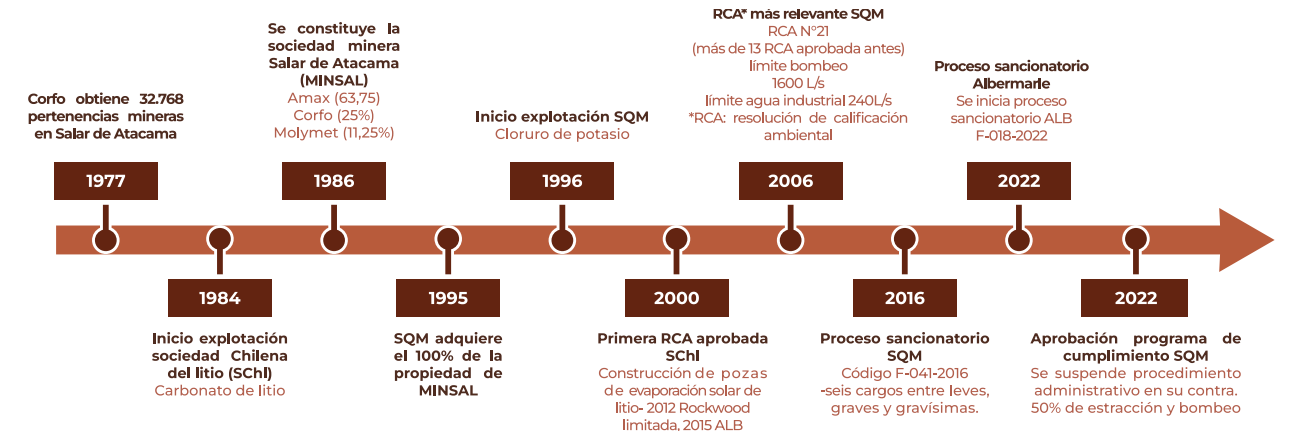


Figura 4. Línea del tiempo que ilustra historia minera en la cuenca del Salar de Atacama.
Fuente: Elaboración propia.

Uso minero

Actividad minera en la cuenca

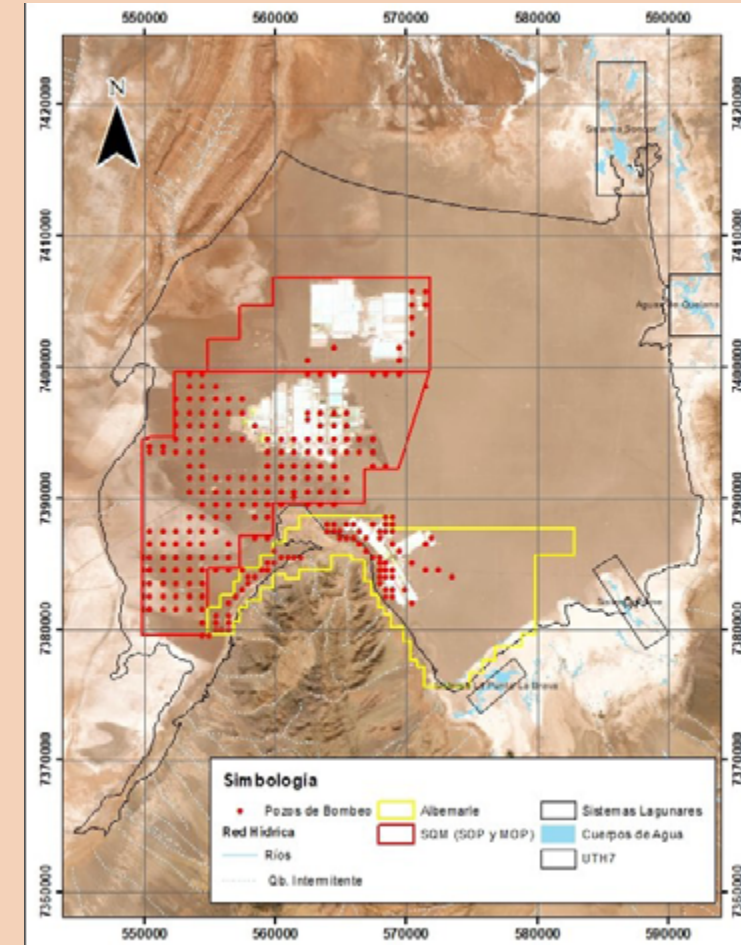
La minería es la actividad económica más importante en la cuenca de San Pedro de Atacama, siendo el litio el principal mineral producido debido a las importantes reservas del Salar de Atacama. La explotación, producción y comercialización de este mineral no metálico en el territorio ha sido realizado únicamente por las empresas Albemarle y SQM, las cuales, al extraer salmuera, logran obtener carbonato de litio (90% del total) e hidróxido de litio, junto con potasio y boro. En el último Informe de Inversión de la minería Chilena - cartera de proyectos 2021-2030, se estima que la producción en la región de Antofagasta podría aportar alrededor de 174.700 toneladas anuales de carbonato de litio.

Como se mencionó anteriormente, la extracción del litio en la cuenca depende de dos empresas mineras: SQM y Albemarle.

Estas empresas realizan sus extracciones en el sector sur de la cuenca, en el área del núcleo del salar, cercanos a las comunidades de Peine y Toconao. Las áreas de concesión de SQM para extraer salmuera alcanzan una superficie aproximada de 395 km², mientras que la de Albemarle es aproximadamente 167 km² (Figura 5).

Figura 5

Ubicación de explotaciones mineras de litio:
Fuente: DGA-PUC, 2021.



Para la producción del litio, en primer lugar, es necesaria la exploración hidrogeológica y sondaje para identificar la presencia del mineral, mediante la construcción de pozos y habilitación de plataformas y piscinas de acumulación (SEA, 2021).

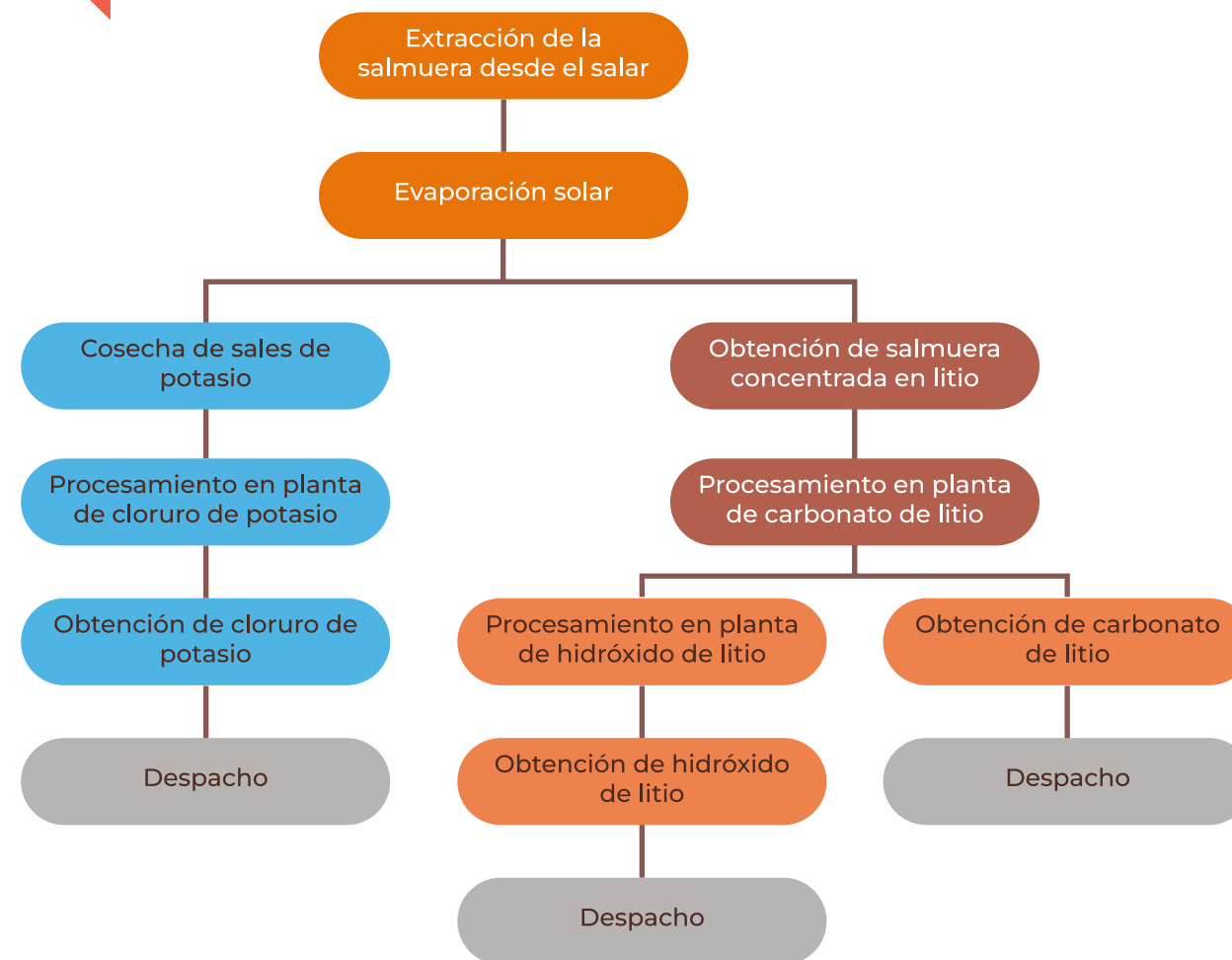
Una vez realizada la identificación del mineral, se procede a extraer la salmuera mediante la perforación y bombeo de pozos dentro del salar, para luego conducirla a piscinas de evaporación solar. A medida que la salmuera va avanzando de piscina en piscina, va evaporando agua con el consecuente aumento de las concentraciones de sales.

Finalmente, la salmuera concentrada de litio es derivada a pozas de litio y a plantas procesadoras de carbonato de este, donde se separan de los demás compuestos de manera de obtener los productos de carbonato de litio (Li_2CO_3) e hidróxido de litio (LiOH), para despacharlos por vía terrestre o marítima dependiendo de su destino final (ver Figura 6).

Se estima que la recuperación de litio en este proceso productivo es de alrededor de un 55%, lo que indica que el proceso no logra una separación efectiva del mineral, sin embargo, ambas empresas se encuentran implementando nuevos métodos para aumentar la eficiencia en la extracción, para alcanzar el 60-65% de recuperación en el proceso de evaporación de salmuera.

Figura 6

Esquema de un proceso general de explotación y procesamiento de litio y otras sustancias minerales. Fuente SEA, 2021.



Por otro lado, la cuenca del Salar de Atacama aporta a la extracción y producción del cobre, mediante el agua subterránea bombeada para el proceso productivo de este mineral en cuencas aledañas. Las empresas mineras responsables de esta extracción son la minera Escondida y minera Zaldívar.

El litio, en los últimos años, se ha convertido en un mineral estratégico debido a su importancia para el desarrollo de energías renovables (Imagen 5). Se considera como un elemento energético, en cuanto a su aporte en la producción, transmisión y almacenamiento de energía (fabricación de baterías y tecnología termosolar), y en la eficiencia energética. Además, cuenta con características que permiten utilizarse en la elaboración de grasas lubricantes, medicamentos y sicofármacos, aleaciones de bajo peso con diferentes minerales, entre otros.



Imagen 5

Piscinas para la extracción de litio en el Salar de Atacama.
Fuente Hypotheses (<https://atacama.hypotheses.org/1213>), 2023.



Uso minero Consumo y efectos

De acuerdo al plan estratégico de gestión hídrica de la cuenca del Salar de Atacama (2021), la demanda de agua subterránea de las mineras de litio el año 2019 fue de 180 L/s, 173 L/s correspondiente a SQM y 7 L/s a Albemarle. En cuanto a la extracción de salmuera, este plan indica que SQM extrajo 1.254 L/s, mientras que Albemarle extrajo 442 L/s.

En cambio, las mineras que extraen agua subterránea para la producción de cobre consumieron al 2019 un total de 1.530 L/s, 1.319 L/s demandados por minera Escondida y 211 L/s por minera Zaldívar.

¿Sabías que las concesiones para la explotación de litio funcionan de forma diferente a las demás concesiones mineras del país?

El código de minería establece en su artículo 7 que el litio no es susceptible a concesión minera, a excepción de empresas con concesiones constituidas antes de la publicación de la ley, donde sólo CORFO contaba con estas en el Salar de Atacama. Esto se debe a que se considera un material de interés nuclear y nacional.

Pese a ello, actualmente existen seis alternativas que permiten la explotación del recurso: 1) Concesión antes del 1 de enero de 1979, 2) Explotación por el Estado, 3) Explotación por empresas del Estado, 4) Explotación por empresas privadas en virtud de un contrato especial de operación de litio (CEOL), 5) Explotación por empresas privadas en virtud de una concesión administrativa, y 6) A través de modificación de la legislación vigente.

Entre los efectos ambientales que puede ocasionar la minería del litio, el bombeo de salmuera y la extracción de agua fresca resultan las actividades que mayor potencial tienen para generar impactos. El bombeo de salmuera, principal actividad de este proceso productivo, provoca cambios en la calidad y cantidad de salmuera del salar, modificando las condiciones de estos frágiles ecosistemas. Por su parte, la extracción de agua dulce puede impactar en la calidad de las lagunas, en la recarga del salar y en la cantidad de agua para diferentes usos, pudiendo disminuir y alterar el nivel de las lagunas que sirven de hábitat para la flora y fauna del territorio.

Cabe destacar que, la predicción de impactos futuros y del comportamiento de los ecosistemas ante acciones como las descritas, se hace mediante herramientas como por ejemplo modelos matemáticos, que son representaciones de lo que puede ocurrir en la realidad, pero que como cualquier modelo, no son capaces de representar completamente los efectos reales que podrían generar estas acciones sobre el estado de estos ecosistemas; lo cual puede mejorarse en la medida que se cuenta con información completa para generar cada vez mejores herramientas. Por ello, resulta relevante la generación de información y una mayor comprensión del funcionamiento de estos ecosistemas, que permita disminuir la incertidumbre de los posibles impactos ambientales.



Uso minero Obligaciones ambientales

Las empresas mineras deben cumplir con los procesos establecidos en el sistema de evaluación de impacto ambiental (SEIA) para asegurar que no causen daños al medio ambiente. Si un proyecto puede tener efectos negativos, la empresa debe demostrar cómo evitarlos o compensarlos. Si hay incertidumbre sobre el posible daño, se aplican medidas preventivas, como el monitoreo ambiental a través de los planes de seguimiento ambiental, para detectar y corregir cualquier impacto negativo.

Si las variables ambientales se comportan de manera diferente a lo esperado, se implementan planes de alerta temprana para evitar mayores daños. El SEIA busca garantizar que la operación de proyectos mineros, como la extracción del litio, no cause daños ambientales mayores a los previstos.

¿Sabías que los glaciares corresponden a una de las reservas de agua dulce más relevantes en algunos lugares del país?

Según el inventario de glaciares de Chile de la DGA para 2019, de los 24.114 glaciares, el 1% se encuentran en la zona norte, y de esos, solo 18 se encuentran en la cuenca del Salar de Atacama, totalizando un área aproximada de 0,8 km². Según DGA-PUC (2021), no existen antecedentes relevantes del aporte de estos glaciares a la oferta de agua, no obstante, dada la escasa superficie, se presume que su aporte es acotado a las zonas cercanas a su ubicación.



02 DISPONIBILIDAD DE AGUA

La disponibilidad de agua representa la cantidad de agua superficial y subterránea que puede ser aprovechable por distintos usos del agua. Para este contexto geográfico de hiperaridez es fundamental conocer la disponibilidad de agua y el acceso de los distintos usos a dicha disponibilidad; de esta manera, se podrá orientar la gestión sustentable del agua.

Para aproximarse a la disponibilidad del agua es útil el concepto de balance hídrico, detallado en el folleto 1, el cual es una herramienta que permite cuantificar el agua de los diferentes procesos del ciclo hidrológico en un lugar determinado, por ejemplo, en la cuenca hidrográfica o una ciudad.

Es decir, busca cuantificar el agua que entra, el agua que sale y el agua que permanece en el lugar, al que llamaremos “sistema”. El balance hídrico nos permite aproximarnos a cuánta agua tenemos disponible en la cuenca para nuevas actividades, también nos permite estimar cuánta agua ya se encuentra en uso y visualizar estos volúmenes en comparación a las entradas que tiene nuestro sistema, de modo de gestionar el agua. Conocer la disponibilidad de agua es de gran importancia, sobre todo en la cuenca del Salar de Atacama, dada su condición de hiperaridez. Para comprender cuánta agua está disponible, es fundamental entender dos conceptos clave: la oferta y la demanda de agua.



Oferta de agua

La oferta de agua la podemos entender como la cantidad de agua disponible de manera natural en una cuenca. Esta oferta puede encontrarse como aguas superficiales o subterráneas en estado líquido, o en nieves y glaciares en estado sólido. La oferta de agua es limitada y está influenciada por las características climáticas y geográficas de cada cuenca.

En el caso de la cuenca del Salar de Atacama, su oferta de agua está determinada principalmente por su condición de hiperaridez, donde existe una alta radiación y, por tanto, altos volúmenes de agua que se evaporan principalmente de la superficie. Según estimaciones del plan estratégico de gestión hídrica (PEGH) de la DGA, la precipitación promedio anual es de 29.200 L/s, mientras que la evaporación y la transpiración desde la vegetación es de 26.200 L/s.

La diferencia entre ambas cifras podemos entenderla como una aproximación simple a la oferta de agua, que se sitúa en torno a los 3.000 L/s aproximadamente. Esta oferta de agua se encuentra en ríos, vertientes, quebradas y acuíferos, y es utilizada para distintos fines, lo que representa una demanda sobre la misma.

¿Sabías que la oferta de agua no es estática y va cambiando en el tiempo?

En el caso del Salar de Atacama, investigadores muestran cómo el caudal de los ríos San Pedro y Vilama han cambiado enormemente en el tiempo. Mientras que en la década de 1940 el caudal medio anual se encontraba en torno a los 1.127 L/s y 332 L/s para el río San Pedro y Vilama, respectivamente, entre los años 2000 a 2014 los caudales medio anuales llegaron a 620 L/s en el río San Pedro y a 76 L/s en el río Vilama. En cuanto a las proyecciones futuras, para 2050 no resultan concluyentes. En algunos escenarios la precipitación aumentaría en un 50% y en otros se reduciría en un 40%. Si las precipitaciones medias anuales disminuyeran significaría menores entradas de agua a la cuenca y por tanto menor oferta de agua en ríos, quebradas, vertientes y acuíferos.



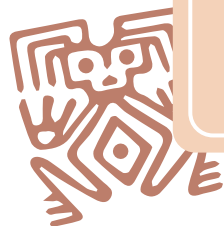
Demanda de agua

La demanda de agua corresponde al consumo de agua por parte de los distintos usos consuntivos: el uso minero, industrial, consumo humano, de riego, entre otros. La estimación de la demanda real de los distintos usos en una cuenca es un desafío en muchas cuencas del país, sobre todo considerando que no existe un monitoreo de las distintas extracciones que se realizan desde aguas superficiales y subterráneas. Una forma de aproximarse al volumen de esta demanda es a través de los DAA otorgados por la DGA, siendo esta una demanda legal comprometida, que puede ser ejercida por los distintos titulares de DAA y para distintos usos. Hasta 2019, los DAA otorgados de carácter consuntivo representaban una demanda de 6.900 L/s aproximadamente, que se distribuye a lo largo de toda la cuenca por los distintos usos.



Balance hídrico y mejora en el aprovechamiento del agua

Tal como fue explicado en el folleto 1, para aproximarse al balance hídrico de una cuenca se suele utilizar modelos hidrológicos y/o hidrogeológicos. Utilizando estos modelos se puede estimar de forma más precisa el resultado del balance, en base a los datos de oferta y demanda de agua distribuidos a lo largo de la cuenca. Ahora bien, una manera simple de aproximarse al balance hídrico a nivel de cuenca es haciendo una resta entre la oferta y la demanda de agua presentadas en los párrafos anteriores. Así, considerando la estimación simple del valor promedio anual de oferta de agua de 3.000 L/s, estimada a partir de la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración, y la estimación de la demanda de agua a partir del caudal otorgado a través DAA, correspondiente al valor promedio anual de 6.900 L/s, obtenemos un balance negativo de -3.900 L/s, lo que significa que la oferta es menor que la demanda potencial de agua.



¿Sabías que las elevadas tasas de evaporación y evapotranspiración conforman las salidas naturales de agua más importantes dentro de la cuenca del Salar de Atacama?

Se estima que del total de agua que precipita en la cuenca, se evapora alrededor del 77%.

La gran evaporación de agua, sobre todo en las partes bajas de la cuenca, da origen al salar, que conceptualmente posee un balance negativo.

Ahora bien, al momento de considerar si las demandas se cubren con la oferta disponible, es importante tomar en cuenta el balance no solo en relación con el caudal disponible (cantidad de agua), sino que también en cuanto a su calidad y su acceso. Por ejemplo, para el caso del consumo humano en la cuenca, hasta la fecha, se ha contado con caudales subterráneos suficientes para cubrir la demanda tanto de residentes como de los visitantes a la cuenca. Aunque no ha sido exento de dificultades, como el aumento en la demanda de agua potable futura, el tratamiento de agua potable y la deficiente mantención de infraestructura para captar y distribuir el agua. Por estas razones es importante considerar que, aunque la demanda pueda ser cubierta por la oferta, aun así, puede no existir un acceso oportuno a un agua de calidad para el consumo humano por deficiencia en los sistemas de tratamiento de agua (infraestructura de bombeo y conducción de agua).

Cabe destacar que, si bien las cifras expuestas anteriormente son aproximaciones, sirven para entender la disponibilidad de agua en la cuenca, siendo relevante entonces hacer un seguimiento de la cantidad, calidad y gestión del agua, para analizar la situación y tomar medidas apropiadas y oportunas. Considerando los problemas de balance, que repercuten en una baja disponibilidad de agua en la cuenca, existen diversas opciones que pueden ser utilizadas para un mejor aprovechamiento de las aguas, destacando algunas a continuación.





Sistemas de recirculación de agua:

Métodos que permiten la reutilización de agua dulce con el objetivo de disminuir la extracción de agua y minimizar efluentes. Estos sistemas son usualmente utilizados en la minería, y permiten recircular el agua, a través de circuitos cerrados de tuberías y tanques de almacenamiento, para poder ser utilizada en distintos procesos mineros.



Riego tecnificado:

Sistemas de riego que utilizan tecnología para optimizar el uso del agua en la agricultura. Estos sistemas pueden incluir dispositivos de medición y control de agua, como sensores de humedad del suelo, sistemas de riego por goteo, por pivote central y por aspersores. Estas tecnologías permiten una aplicación más eficiente y precisa del agua en los cultivos, lo que se traduce en un uso más eficiente del agua y una mejora en la productividad de los cultivos, aportando a la sostenibilidad del uso del agua en la producción de alimentos (Imagen 6).

Imagen 6

Riego tecnificado por goteo.

Fuente: PUC (<https://transferenciaydesarrollo.uc.cl>), sin año.



Reutilización de aguas grises:

Proceso mediante el cual el agua residual generada en lugares residenciales o turísticos, como hoteles y restaurantes, se recoge y trata con procesos físicos y químicos para ser reutilizada en aplicaciones como el riego de jardines, lavado de autos, entre otros. Esta opción representa una solución para reducir la demanda de agua potable y reducir la cantidad de aguas residuales que se vierten en las redes de alcantarillado o en el medio ambiente (Figura 7).



Figura 7. Tratamiento de aguas residuales. Fuente banco mundial, 2020.

Más allá de las opciones presentadas para mejorar el aprovechamiento de las aguas, es importante considerar que para reducir el impacto sobre la disponibilidad de agua de la cuenca que tienen estos usos, es fundamental hacer más eficiente la gestión y el consumo del agua no solo a nivel individual, sino que, también, a nivel colectivo (Figura 8), de modo que la eficiencia en el uso del agua a nivel individual no signifique un aumento en el consumo de agua a nivel de cuenca, lo que puede profundizar la falta de disponibilidad de agua.

Este es el gran desafío que debemos abordar para seguir avanzando hacia la sostenibilidad hídrica de la cuenca del Salar de Atacama.



¿Cómo podemos conocer la calidad del agua de un río, lago o acuífero?

Se debe tomar una muestra de agua del cuerpo de agua que sea de nuestro interés. Se debe tener presente la ubicación en la cual se toma la muestra debido a que los resultados serán representativos sólo de ese cuerpo de agua y la zona desde donde se tomó la muestra. Luego, la muestra debe ser analizada en un laboratorio certificado. Posteriormente, el laboratorio entregará los valores de los parámetros químicos, físicos y biológicos de la muestra.

Figura 8

Acuerdos para la gestión de cuencas.
Fuente: ASCC.



La calidad del agua, según indica la organización mundial de la salud (OMS), corresponde a la condición en la que se encuentra el agua respecto a sus características físicas, químicas y biológicas, en relación con los estándares o requisitos de calidad de una especie biótica, necesidad humana, o un propósito. Estos requisitos son establecidos por organizaciones a nivel mundial o por normativas nacionales. Conocer la calidad de las aguas es muy importante ya que nos permite utilizarlas en actividades con estándares de calidad concordantes.

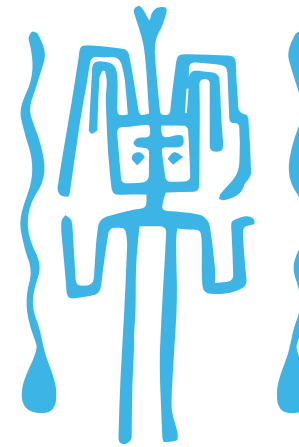


Imagen 8

Muestreo de agua para análisis de calidad.
Fuente AGQ Labs, sin año.

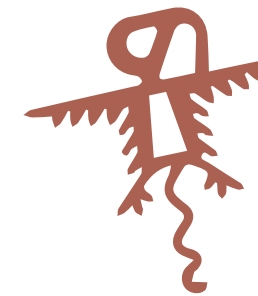


Es decir, el conocer las concentraciones de parámetros químicos, físicos y biológicos del río San Pedro nos permite comparar con los estándares de esos parámetros en la normativa vigente e identificar los usos que podrían tener las aguas de ese río. El agua naturalmente presenta minerales, elementos químicos, debido a su interacción con diferentes materiales geológicos, como rocas y sustratos, durante su recorrido por la cuenca. Estos elementos químicos se integran a las aguas producto del “lavado o lixiviación” de los materiales geológicos presentes en la cuenca. Así también, durante su recorrido, el agua cambia sus características físicas y biológicas. Es importante indicar que la calidad del agua depende tanto de factores naturales como de la acción humana.

¿Cómo podemos conocer la calidad del agua de un río, lago o acuífero?

Se debe tomar una muestra de agua del cuerpo de agua que sea de nuestro interés. Se debe tener presente la ubicación en la cual se toma la muestra debido a que los resultados serán representativos sólo de ese cuerpo de agua y la zona desde donde se tomó la muestra.

Luego, la muestra debe ser analizada en un laboratorio certificado. Posteriormente, el laboratorio entregará los valores de los parámetros químicos, físicos y biológicos de la muestra.



Requerimientos de calidad de aguas

La ley sobre bases generales del medio ambiente establece la existencia de las normas de calidad ambiental primarias y secundarias. Las normas de calidad primarias establecen valores de las concentraciones permisibles de elementos, compuestos, sustancias cuya presencia o ausencia afecten la salud de la población humana; estas disposiciones tienen aplicación en todo el territorio nacional. Las normas secundarias establecen valores de concentraciones permisibles con el fin de proteger o conservar el medio ambiente, las cuales, generalmente, presentan una aplicación de carácter local.

¿Sabías que hay cuencas en nuestro país, cuyas aguas presentan concentraciones de minerales por sobre las normas establecidas?

Ejemplo de esto es el río Lluta, que presenta concentraciones de arsénico que imposibilitan su uso.



Los principales estándares para evaluar la calidad de las aguas en Chile son:



Norma Chilena 409-1 de calidad de agua potable (NCh 409/1)



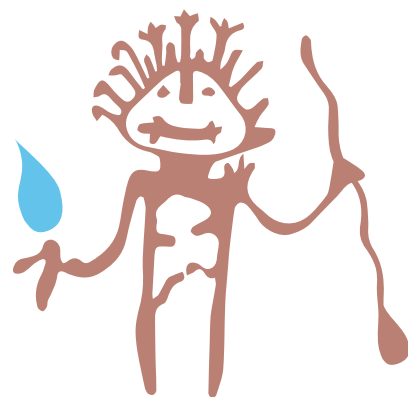
Norma Chilena 1.333, la cual establece los parámetros de diferentes usos, entre ellos agua para bebida de animales, riego, recreación y estética, y vida acuática.

A continuación (Tabla 1), se exponen las concentraciones máximas permitidas según la norma de calidad de agua potable y de calidad para otros usos:

Parámetro	Sigla	NCh 409 (mg/L)	NCh 1.333 (mg/L)	Parámetro	Sigla	NCh 409 (mg/L)	NCh 1.333 (mg/L)
Aluminio	Al	-	5	Manganeso	Mn	0.1	0.2
Arsénico	As	0.01	0.1	Mercurio	Hg	0.001	0.001
Boro	B	-	0.75	Molibdeno	Mo	-	0.01
Cadmio	Cd	0.01	0.01	Níquel	Ni	-	0.2
Cloruro	Cl-	400	200	pH	pH	6.5 a 8.5	5.5 a 9.0
Cobalto	Co	-	0.05	Plata	Ag	-	0.2
Cobre	Cu	2	0.2	Plomo	Pb	0.05	5
Cromo	Cr	0.05	0.1	Sólidos disueltos	SDT	1500	< 500 mg/L
Conductividad Específica	CE	-	< 750 mhos/cms	Selenio	Se	0.01	0.02
Escherichia coli	-	Ausencia	-	Sulfato	SO ₄	500	250
Hierro	Fe	0.3	5	Zinc	Zn	3	2

Tabla 1. Concentraciones máximas permitidas según norma NCh 409 y NCh 1333.

Las normas secundarias de calidad de agua se establecen en cada cuerpo de agua. En nuestro país existen 5 normas vigentes y 6 en proceso de elaboración (información del MMA, planes y normas). En el Salar de Atacama no existen normas vigentes ni en proceso de elaboración. Esto implica que no existe una norma que establezca los parámetros químicos, físicos y biológicos que deben mantenerse para proteger los ecosistemas.



¿Sabías que existe una preocupación, a nivel mundial y nacional, respecto a la falta de datos de calidad de las aguas?

Esta falencia de datos limita la evaluación del estado de los ríos, lagos, lagunas y acuíferos del país, siendo este un obstáculo para la gestión integrada y sustentable del agua.



¿Cuál es la calidad de las aguas en la cuenca del Salar de Atacama?

Las aguas de la cuenca del Salar de Atacama presentan parámetros por sobre los estándares establecidos para agua potable, dado principalmente por el material geológico y la alta presencia de sales en el territorio. Algunas vertientes en la cuenca del Salar de Atacama presentan concentraciones naturales de arsénico que superan los niveles máximos permitidos para el consumo de agua potable. Dos ejemplos claros son las vertientes de Nacimiento y Vilaco, que abastecen de agua a las comunidades de Socaire y Toconao, y los pozos que suministran agua a CAPRA. A pesar de esto, tras su tratamiento, estas fuentes de agua son consideradas aptas para el consumo humano como agua potable.

No toda el agua que encontramos en la cuenca es apta para para el consumo humano o para el riego, este es el caso de la salmuera (Imagen 9). La salmuera es una mezcla natural de agua que se encuentra saturada al 100% con sales disueltas, es decir, que ya no puede incorporar más elementos químicos. Como se mencionó en el ciclo anterior, la salmuera se origina a partir de la evaporación de las aguas superficiales que llegan a la parte baja de la cuenca, y también de la evaporación de agua subterránea que se encuentra ubicada a poca profundidad.

Para que el agua sea apta para consumo humano, debe cumplir con un máximo de 1,5 gramos de sales por litro de agua (en la Tabla 1 parámetro “sólidos disueltos”). En el caso del agua para riego la concentración de sales debe ser menor a 0,5 gramos por litro (Tabla 1), existiendo algunos cultivos tolerantes a mayores concentraciones de sales (entre 0 y 0,5 gramos por litro). Por otro lado, el agua de mar tiene una concentración de 35 gramos de sales por litro, y la salmuera contiene más de 300 gramos de sales por litro. Por lo tanto, el agua de mar (sin tratamiento) y la salmuera no son fuentes de agua utilizables para agua potable o riego.



Imagen 9. Piscinas de evaporación de salmuera. Fuente: SQM, sin año.

Referencias

Baeza, E. 2016. Calidad de Aguas. Asesoría Técnica Parlamentaria. Disponible en: <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/23747/2/Calidad%20del%20Agua%20Final.pdf>

Barrera, R. 2023. Cómo puede afectar la minería del litio a la conservación de los flamencos en Chile. Ladera Sur. Disponible en: <https://laderasur.com/articulo/como-puede-afectar-la-mineria-del-litio-a-la-conservacion-de-los-flamencos-en-chile/>

Barría, J. 2021. Análisis de antecedentes ambientales en la explotación del litio y sus perspectivas de futuro en Sudamérica. Caso de estudio, Salar de Atacama, Chile. Memoria de Título para optar al Título de Ingeniero Civil de Minas. Concepción, Chile.

Comisión Chilena del Cobre. 2021. Inversión en la minería chilena – Cartera de proyectos 2021-2030. Resumen Ejecutivo. Disponible en: <https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/2021%2010%2028%20Inversi%C3%B3n%20en%20la%20miner%C3%ADa%20chilena%20-%20cartera%20de%20proyectos%202021%20-%20202030%20VFinal.pdf>

Consejo Minero. 2019. Minería metálica. Disponible en: <https://consejominero.cl/chile-pais-minero/aprende-de-mineria/mineria-metalica/>

DGA-PUC. 2021. Desarrollo de Herramientas para el Análisis de Salares y Cuencas Costeras y su Aplicación para el Desarrollo del Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la cuenca del Salar de Atacama.

Gravel, L. 2015. Litios y las dificultades para la obtención de una calificación ambiental favorables en el Salar de Atacama. Análisis de las causas. Tesis para optar al grado de magister en Gestión y dirección de empresas. Santiago, Chile.

Grebe, M. E., & Hidalgo, B. (1988). Simbolismo atacameño: un aporte etnológico a la comprensión de significados culturales. Revista Chilena De Antropología, (7). Disponible en: <https://revistadeantropologia.uchile.cl/index.php/RCA/article/view/17614>

Iroumé, Andrés, Gayoso, Jorge. Chile. Dirección General de Aguas. 2004. Levantamiento de usos no extractivos o usos in situ del agua. DGA. División de Estudios y Planificación. Disponible en: <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/32773>

Ministerio de Medio Ambiente. Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire, SINCA. Normativa aplicable. Disponible en: <https://sinca.mma.gob.cl/index.php/pagina/index/id/norma>

NCh 1333. 1987. Requisitos de calidad del agua para diferentes usos. Disponible en: <https://tefri.cl/wp-content/uploads/2019/01/NCh1333.pdf>

NCh409/1. Calidad del Agua Potable. Disponible en: <https://ecommerce.inn.cl/nch4091200440901>

Paredes, E. 2012. El uso ancestral indígena de las aguas frente a Derechos de Aprovechamiento de Aguas otorgados. Tesina Facultad de Derecho. Universidad Alberto Hurtado, Disponible en: <https://repositorio.uahurtado.cl/bitstream/handle/11242/7075/DERParedes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SERNAGEOMIN. 2013. Compilación de informes sobre: Mercado internacional del litio y El potencial del litio en salares del norte de Chile. Santiago, Chile. Disponible en: https://www.semageomin.cl/wp-content/uploads/2017/09/Mercado-Internacional_Potencial-del-Litio-en-salares-del-norte-de-chile.pdf

Sepúlveda, I., Molina, R., Delgado, María del Mar, & Guerrero, José Emilio. (2015). Aguas, riego y cultivos: cambios y permanencias en los Ayllus de San Pedro de Atacama. Estudios atacameños, (51), 185-206. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-10432015000200012>

Servicio de Evaluación Ambiental. 2021. Descripción de proyecto. Guía para la descripción de proyectos de explotación de litio y otras sustancias minerales desde salares en el SEIA. Disponible en: https://sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2021/03/12/guia_litio_version_para_publicar_compressed.pdf

SONAMI. Minería metálica. Disponible en: <https://www.sonami.cl/v2/informacion-de-la-mineria/mineria-metalica/>

SONAMI. Minería no metálica. Disponible en: <https://www.sonami.cl/v2/informacion-de-la-mineria/mineria-no-metalica/>

Universidad de Chile. 2022. Claves del litio: el metal más liviano y con mayor potencial electroquímico. Disponible en: [https://www.uchile.cl/noticias/183640/el-potencial-de-chile-con-el-litio-que-es-y-para-que-sirve-#:~:text=Sus%20usos%20e%20importancia,producci%C3%B3n%20de%20energ%C3%ADa%20\(reactores\).](https://www.uchile.cl/noticias/183640/el-potencial-de-chile-con-el-litio-que-es-y-para-que-sirve-#:~:text=Sus%20usos%20e%20importancia,producci%C3%B3n%20de%20energ%C3%ADa%20(reactores).)

Financiado por

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



www.mesamultiactor.cl