

Seguridad Hídrica y Adaptación al Cambio Climático en la comuna de San Pedro de Atacama

Agosto, 2023

Paulina Ponce Philimon
Carolina Hernández Täguer
Natalia Pozo Morales
Mauricio Medina Cáceres
Marco Ascencio Otárola

1. Introducción

Chile es uno de los países más vulnerables al cambio climático y cuenta con siete de los nueve criterios de vulnerabilidad establecidos por la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. El Gobierno de Chile ha elaborado diversos planes y estrategias en respuesta al cambio climático, y cada cuatro años se publica el instrumento de evaluación conocido como "Estado de Medio Ambiente".

En San Pedro de Atacama, se espera un aumento de temperatura máximo de 2,7 °C en época estival y 3,0 °C en la invernal, lo que supera el promedio nacional de 2,2°C. La falta de estaciones meteorológicas en la región dificulta la comprensión de las variaciones del clima. La comuna de San Pedro de Atacama debe enfrentar la problemática regular en torno a eventos de sequía, disponibilidad de agua y fluctuaciones atmosféricas, así como las externalidades derivadas de su actividad económica, la tenencia de la tierra, acceso a infraestructura primaria, competencia territorial por los recursos, entre otros. Por tanto, la adaptación al cambio climático adquiere un papel central para hacer frente y superar los impactos producidos por las condiciones atmosféricas y cualquier otra injerencia que afecte a sus medios de vida.

La comuna de San Pedro de Atacama se encuentra en una zona de alta vulnerabilidad en el contexto del cambio climático producto de sus condiciones geográficas, en donde destacan las zonas áridas, semiáridas y los ecosistemas montañosos. De este modo, el territorio debe enfrentarse a un escenario de alta incertidumbre, lo cual puede repercutir en la sostenibilidad social, territorial y económica de la comuna.

En este sentido, las afectaciones durante los últimos años, se han visto también en el acceso al agua, volviéndose cada vez más crítico. También, sumado al aumento de otras actividades económicas, la llegada de población a residir a la zona y la alta presencia de población flotante.

De acuerdo a lo anterior, este aumento en la capacidad de carga del territorio, el ingreso de múltiples actores al territorio y una alta incertidumbre, hace necesario generar estudios

relacionados con medidas de adaptación para el uso eficiente y estratégico del agua. Para que, de este modo, la comuna pueda ajustar la toma de decisiones de la mejor manera.

El recurso hídrico en la comuna de San Pedro de Atacama ha sufrido una disminución en las últimas décadas, sin embargo, existirían diversas medidas que, bien administradas, repercutirán en una mejor gestión del recurso y en un aumento de la capacidad de adaptación al cambio climático en SPA.

En ausencia de instituciones de gobernanza efectivas a la escala adecuada, los recursos naturales y el medioambiente están en peligro por el aumento de la población humana, el consumo y el despliegue de tecnologías avanzadas para el uso de recursos, todo lo cual ha alcanzado niveles sin precedentes

2. Objetivos

- Conocer el balance hídrico de la cuenca en la comuna de San Pedro de Atacama y sus variaciones durante los últimos 30 años
- Identificar medidas de adaptación en las dimensiones económicas y sociales de la comuna de San Pedro de Atacama para el uso eficiente del recurso hídrico
- Proponer lineamientos territoriales para la población y sectores estratégicos de la comuna de San Pedro de Atacama

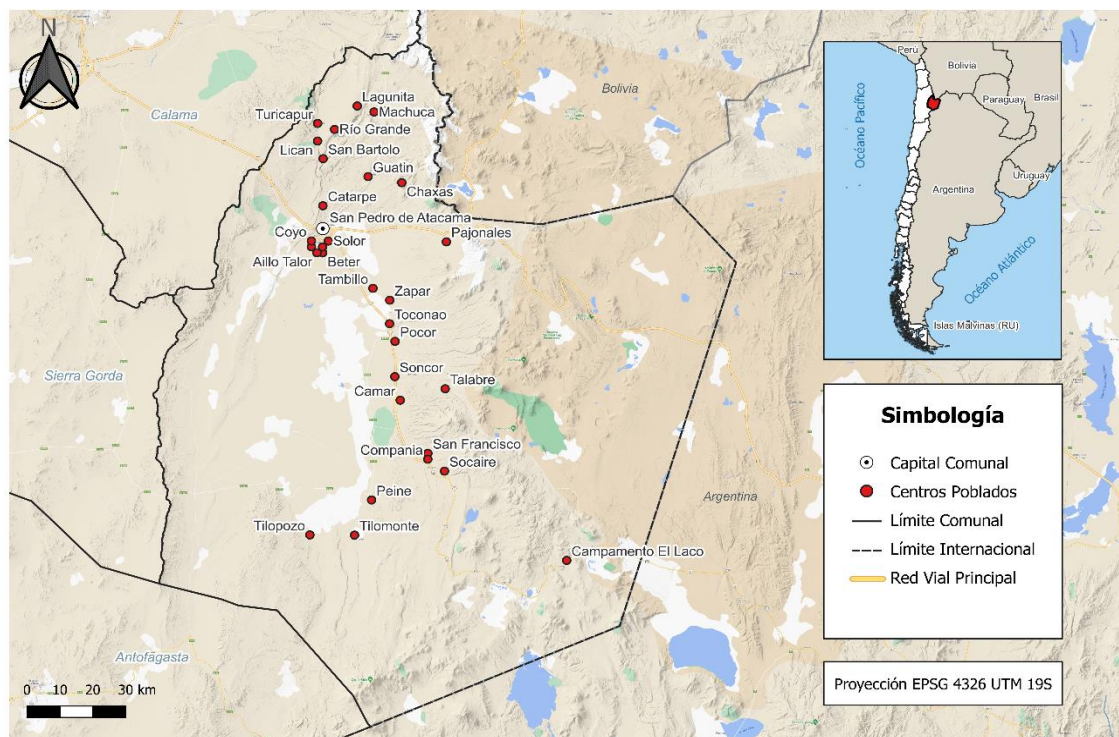
3. Área de Estudio

3.1 Antecedentes generales del área de estudio

Este estudio pone foco en una serie de variables contenidas en la comuna de San Pedro de Atacama, ubicada en la Región de Antofagasta, provincia del Loa, entre las coordenadas 22° 45' 00'' Sur; y 68° 15' 00'' Oeste, norte de Chile continental (IGM, 2018). Además, su límite noreste colinda con el Estado Plurinacional de Bolivia, en adición a la frontera de la República Argentina en su parte este (véase figura 2).

En términos administrativos, la comuna de San Pedro de Atacama pertenece a la II Circunscripción de Antofagasta, 3° Distrito, y se encuentra a cargo del alcalde Justo Zuleta Santander desde el año 2021 (BCN, 2021).

Figura N°1. Ubicación geográfica.



Fuente: Elaboración Propia a partir de INE, 2017.

Para efectos de este informe, cabe resaltar que la comuna cuenta con diez entidades y siete unidades vecinales (INE, 2017) con información actualizada. A su vez, la comuna concentra un total de 10.996 habitantes según los datos más actuales, correspondientes al año 2017, y

una población proyectada al 2021 de 12.790 habitantes. A priori, junto al proceso de conformación demográfico, el principal motor de su actividad económica está ligado al turismo y a la minería, así como a la actividad agropecuaria con alta presencia de población indígena.

Inserta en el Desierto de Atacama, la comuna, con una envergadura de 24937 km², es representada en su parte occidental por una gran fosa pre altiplánica en donde yace el Salar de Atacama, seguido por la zona cordillerana y posteriormente por el altiplano (Niemeyer, 1980). Representado enteramente por un tipo de drenaje endorreico, predomina en el sector la gran cuenca del Salar de Atacama (15575 km²) y en cuyo interior se alberga una costra salina de 3074 km², compuesta principalmente por depósitos evaporíticos: cloruro de potasio, carbonato de litio, sulfato de potasio, ácido bórico, sales de magnesio (SERNAGEOMIN, 2021); y donde se ubican algunas de las principales actividades mineras de la región. Además, cabe resaltar que un 46% del salar corresponde a zonas húmedas, es decir un 10% del total de la cuenca.

La hoya del Salar de Atacama (2400 m.s.n.m.) limita al norte con el río salado, encontrándose allí el cordón de cerros del Tatio que actúa como divisoria de aguas y que culmina con el volcán de nombre homónimo. También, es coronada en su parte noreste por el cordón de volcanes divisorios correspondientes al Tocarpori (5890 m.s.n.m.), Sairecabur (5970 m.s.n.m.), Curiquinca (5769 m.s.n.m.), Licancabur (5921 m.s.n.m.) y Juriques (5662 m.s.n.m.); bien llamados “seismiles”. A su vez, la red hidrográfica está conformada fundamentalmente por el río San Pedro y el Vilama, principales aportes hídricos al salar, junto a los pequeños aportes generados por vertientes. Además, en dirección N-S, se encuentran el río Putana, el río Machuca, el río Grande y el río Salada o Chuschul, junto a las quebradas de Chaxas, Honar, Aguas Blancas, Soncor, Talabre, Camar, Socaire y Peine (Niemeyer, 1980; DGA, 2021).

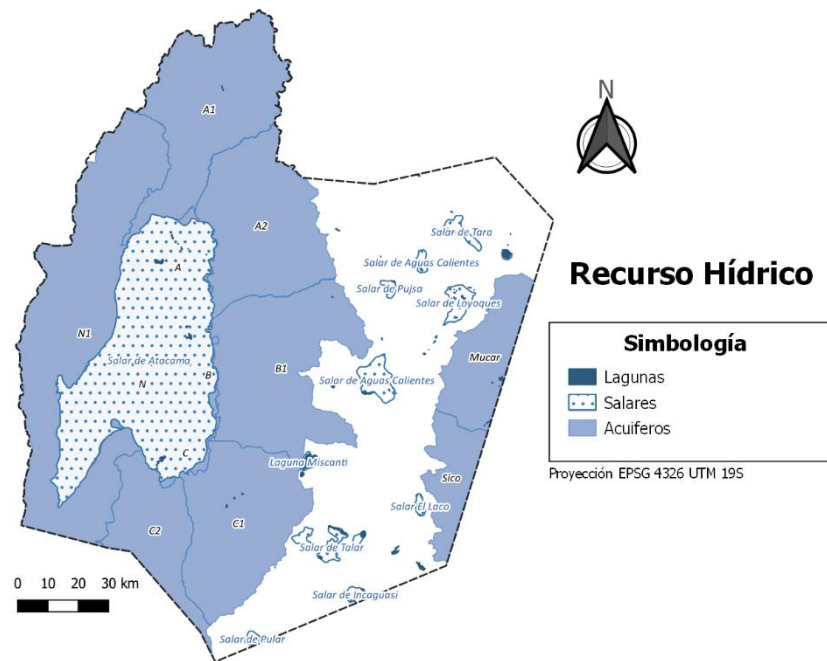
En cambio, hacia la parte oriental, el territorio está fragmentado en una serie de subcuencas que transitan hacia la frontera boliviana, caracterizadas por la presencia de numerosas lagunas, encajonamientos y pequeños salares. Destaca especialmente la hoya del Salar de Tara, del Salar de Pujsa, del Salar de Quisquiro, de la laguna Lejía, de Aguas Calientes, de Miscanti y Miñiques, del Laco, de Talar, de Purisunchi, y de Pular (Niemeyer, 1980; DGA, 2021) (véase figura 2).

Los acuíferos en la comuna ocupan una superficie total de 21500 Km², siendo recargados principalmente por el aporte hídrico proveniente del río San Pedro y Vilama. Frente a esto, los acuíferos son el punto de abastecimiento para las actividades extractivas, el riego y el acceso al agua potable.

Climas de tipo Desértico Frío de lluvia estival, Semiárido de lluvia estival y de Tundra con lluvia estival están presentes en la comuna. Los primeros dos climas, de “precordillera”, y un tercero más frío llamado “altiplánico”, están caracterizados por su extrema sequedad y alta amplitud térmica (25,9°C), influidos por la gradiente altitudinal (Köppen rectificado por Sarricolea et al., 2016). Es decir, temperaturas medias entre 13 y 8,5°C dependiendo del sector, mínimas bajo cero y máximas sobre los 30°; precipitaciones que bordean los 10 mm en sus zonas más secas y 120 mm anuales en las más húmedas, especialmente definidas por geoformas de mayores altitudes y la actividad convectiva de las precipitaciones que abastecen a los ríos en cabecera de cuenca. En este sentido, las elevaciones se despliegan en la comuna en sentido E-O desde los 2400 a los 6000 m.s.n.m. aproximadamente, convirtiéndose en importantes puntos de captación meteorológicos orográficos. Estos aportes de precipitación estival ligados a fenómenos producidos en áreas del altiplano andino hacia el noreste son los responsables (entre los meses de diciembre a marzo) del abastecimiento de acuíferos río abajo.

Este aporte también genera que en la comuna se desarrollen, a partir de los 2400 m.s.n.m. vegetación de tipo matorral bajo, principalmente hierbas perennes (de *Atriplex imbricata* y *Acantholippia deserticola*), que rodean una cubierta de matorral desértico presente al interior del Salar de Atacama. A medida que se gana altitud la vegetación es mucho más abundante, caracterizado por formaciones de estepa andina con arbustos de baja altura (*Fabiana bryoides* y *Parastrephia quadrangularis*), (Luebert y Pliscoff, 2017).

Figura N°2 Elementos asociados al recurso hídrico de la comuna.



Fuente: Elaboración Propia a partir de DGA, 2021.

4. Metodología

La utilización de una metodología mixta se hace necesaria en el análisis de las relaciones socioambientales, y es solo por este medio que la investigación puede cumplir con su objetivo. La asociación íntegra entre el método cualitativo y el cuantitativo permite una mejor exploración y explotación de los datos, adueñándose de una perspectiva más amplia y sólida que a su vez constituye la posibilidad de responder simultáneamente preguntas explicativas y confirmativas.

La metodología mixta permite al investigador confirmar un efecto sobre determinado fenómeno a través del análisis de estadística cuantitativa, y posteriormente, explorar las razones detrás del efecto observado utilizando investigación cualitativa (método de campo, estudios de caso, etc). Esta última con énfasis en la fenomenología, capaz de dar una comprensión explicativa de la relación/interacción entre fenómenos humanos y físicos.

De esta forma, el presente avance ha contemplado en una etapa inicial, la recopilación bibliográfica, con la cual es posible entregar una mirada actualizada del estado del agua en la comuna de San Pedro de Atacama, además de revisar las estructuras internas de esta, sus recursos y estimar así la capacidad adaptativa de la comuna ante los efectos destacados. Además de una mirada de política pública sobre cómo se prepara el área de estudio en términos de esta adaptación y lineamientos futuros de gobernanza del agua.

La recopilación de información proviene principalmente de fuentes secundarias, posibilitando el análisis cuantitativo a través de datos obtenidos desde estudios de impactos ambientales realizados por la empresa extractiva principal, como de actualización de estudios de los recursos hídricos en las diferentes cuencas realizados por entes estatales y la recopilación de información provenientes de artículos científicos como de textos académicos.

Asimismo, en una serie de entrevistas realizadas con la comunidad, se identificaron, desde los mismos actores locales del territorio, medidas de adaptación a problemáticas ligadas al cambio climático. Esta información fue sistematizada, trabajada en instancias participativas y agregada al discurso del presente informe.

5. Marco Teórico

5.1. Ciclo del Agua

El ciclo del agua es usado para representar cómo el agua se almacena, se distribuye e interactúa con la atmósfera, la superficie terrestre, el subsuelo y el medio vivo. El agua puede encontrarse en diversos estados de la materia, tales como: líquido, sólido y/o gas.

El agua puede tener una distribución muy amplia (gran escala) a muy baja (pequeña escala) dentro del sistema terrestre. El movimiento a gran escala lo realiza a través de las cuencas hidrográficas, la atmósfera y como agua subterránea (acuíferos). Esta distribución permite que el agua sufra diversas transformaciones que pueden modificar su composición química, el estado de la materia, entre otros procesos. Uno de los cambios más apreciables en el agua en estado líquido es la salinidad que este medio puede tener. Podemos tener aguas dulces (poco salinas) a salmueras (hipersalinas), incluso encontrar mezclas en distintas proporciones entre estos dos tipos de aguas (agua salobre). A pequeña escala, el agua la podemos observar cómo interactúa con el medio humano, animal y vegetativo.

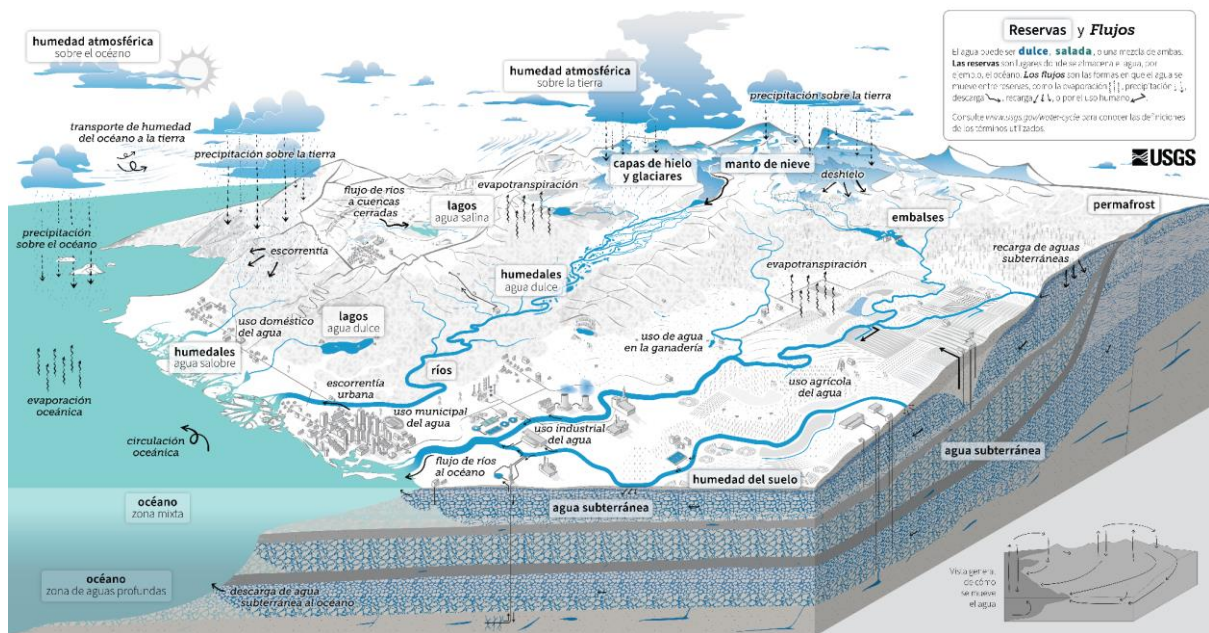
El agua puede almacenarse en distintos reservorios, siendo el océano la principal fuente de reserva, almacenando un 96% de toda el agua existente en la Tierra. En la corteza el agua puede almacenarse en distintas fuentes, siendo alguna de estas: 1) agua salina como lagos salinos, acuíferos asociados a salares; 2) agua dulce en forma líquida como lagos, ríos, embalse artificiales, humedales, entre otros; 3) agua en estado sólido como glaciares, capas de hielo y capas de nieve; 4) agua en estado gaseoso como vapor de agua almacenada como humedad atmosférica sobre el océano y la superficie terrestre; 5) en el subsuelo como humedad del suelo, permafrost y acuíferos (United States Geological Survey, 2019).

El agua, a medida que se traslada, se puede producir un cambio de fase entre sólido, líquido o gaseoso. Esta circulación puede producirse desde un flujo de agua oceánica que se evapora y se transporta como vapor de agua en la atmósfera hacia el continente, la interacción entre la superficie y la atmósfera puede producirse como procesos de evaporación, evapotranspiración y precipitación (líquida y/o sólida). Cuando esta se encuentra en la superficie puede ser almacenada como hielo y nieves, elemento que a través de los deshielos puede migrar como una escorrentía (flujo de agua superficial) a través de la superficie. La

precipitación que cae en la superficie puede migrar a través de esta y generar escorrentías permanentes y/o efímeras, como también flujos de ríos. Esta agua superficial puede migrar a zonas más bajas y acumularse y generar cuerpos lacustres permanentes y/o efímeros, además, si existen medios permeables por donde migra esta agua superficial, puede existir la infiltración al subsuelo generando la recarga de agua a los acuíferos profundos en el subsuelo. El agua almacenada en los acuíferos puede migrar por el subsuelo a través del medio rocoso y puede volver a la superficie como un manantial o como descarga natural de agua subterránea a los ríos, lagos y océanos.

Actualmente, el medio biótico (conjunto de seres vivos en un medio ambiente) tiene un rol fundamental en cómo se desarrolla e interactúa el ciclo hidrológico, en especial cómo influye la acción antrópica en el almacenamiento del agua, en el transporte y en la calidad química. Así, la acción humana puede llegar a alterar el ciclo del agua, ya que el agua es utilizada para diferentes usos, tales como abastecimiento de los poblados, para el riego de las zonas agrícolas, para consumo de la ganadería y los humanos. También es usada para las actividades industriales, tales como la minería, termoeléctricas, entre otros. El agua que se utiliza para estas actividades se obtiene a partir de la redirección de ríos, los bombeos de los acuíferos, la construcción de embalses, canalización de cauces superficiales, entre otros. Estas acciones perturban el régimen natural del ciclo hidrológico, llegando a afectar la disponibilidad de las reservas de agua tanto para el medio ambiente como para el mismo ser humano (USGS,2023).

Figura 3. Ciclo generalizado del agua.



Fuente: USGS, 2023.

5.2. La tragedia de los bienes comunes: agua

La tragedia de los comunes es un fenómeno que ha sido estudiado por muchos años en el campo de la economía y la política. Este concepto se refiere a la sobreexplotación de recursos comunes, como tierras, agua y aire, cuando no existe una regulación adecuada por parte del gobierno o de la sociedad.

Según Ostrom (2003), los recursos comunes pueden ser gestionados de manera sostenible si se establecen reglas claras y se fomenta la cooperación entre los usuarios. Sin embargo, cuando no existen estos esclarecimientos, y los usuarios compiten entre sí por el acceso a los recursos, se produce la tragedia de los comunes. En este escenario, cada usuario trata de maximizar su beneficio personal a corto plazo, lo que lleva a una sobreexplotación del recurso y a su eventual agotamiento.

Ahora bien, la tragedia de los comunes es un problema global que afecta a muchos recursos naturales, como puede ser, en este contexto, el agua. Para abordar este problema, es necesario establecer reglas claras y fomentar la cooperación entre los usuarios de los recursos. Esto puede lograrse a través de regulaciones gubernamentales, acuerdos voluntarios entre los usuarios y la creación de instituciones que fomenten la colaboración.

De esta manera se puede decir que las instituciones humanas y las formas de organizar las actividades, repercuten en la resiliencia de determinado entorno, por lo tanto, las estrategias para abordar las problemáticas vinculadas al bien común que constituye el agua, incluyen el diálogo entre las partes interesadas, gobiernos y organizaciones científicas, en diseños que facilitan el aprendizaje y el cambio sostenible (Dietz, Ostrom y Stern, 2003). Por tanto, una gobernanza efectiva del agua se hace indispensable.

5.3. Adaptación y la importancia de la sinergia de iniciativas para el uso eficiente del agua

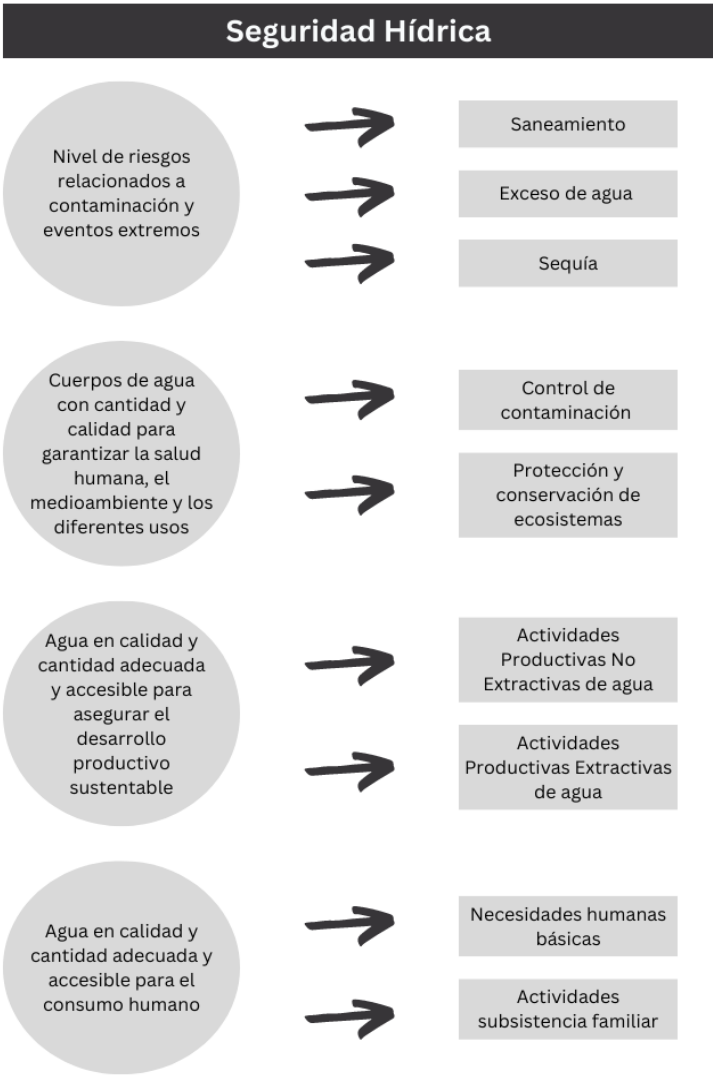
El cambio climático ya está afectando a las comunidades rurales de todo el mundo a causa de una mayor probabilidad en la presencia de riesgos relacionados con el clima: aumento de las temperaturas, variabilidad de las precipitaciones y los fenómenos meteorológicos extremos, como las sequías y las inundaciones (IPCC, 2021), que están afectando a la producción agrícola, la disponibilidad de agua, la salud y seguridad de las personas.

En este sentido, la adaptación al cambio climático resulta crucial para comunidades como la de la comuna de San Pedro de Atacama, las cuales dependen en gran medida de las condiciones climáticas para subsistir y desarrollarse. En palabras del IPCC (2001), la adaptación se define como *un ajuste en los sistemas ecológicos, sociales o económicos en respuesta a cambios climáticos observados o esperados y sus efectos e impactos, con el fin de aliviar los impactos adversos del cambio o aprovechar nuevas oportunidades*. Es decir, la adaptación al cambio climático implica la implementación de medidas que reduzcan la vulnerabilidad de las comunidades rurales a los efectos del cambio climático y que les permitan aprovechar las oportunidades que puedan surgir.

Por lo mismo, la adaptación implica tanto la construcción de la capacidad adaptativa como la implementación de decisiones de adaptación que transformen esa capacidad en acciones. Por lo tanto, se trata de un flujo continuo de actividades, acciones, decisiones y actitudes que influyen en las decisiones sobre todos los aspectos de la vida y reflejan las normas y procesos sociales existentes (Adger et al. 2005).

En este sentido, la gestión del agua en el territorio es fundamental para el desarrollo de la comuna y su seguridad hídrica. La adaptación de la población a los escenarios de incertidumbre respecto a la disponibilidad de agua plantea, en general, cuatro aristas relevantes (ver figura x), entre las cuales se resumen: los niveles de riesgo por contaminación y efectos extremos, la cantidad y calidad del agua disponible para consumo y actividades productivas, y para garantizar también el mantenimiento del medioambiente y entornos saludables (Fuster, 2017).

Figura 4. Factores condicionantes de la seguridad hídrica



Nota. Fuente: Elaboración propia a partir de Informe de Adaptación hídrica, 2019.

Ahora bien, para que esta adaptación sea efectiva, debe entenderse que estará medida por las acciones que se originan en toda la sociedad, realizadas por individuos, grupos y gobiernos. Estas acciones se manifiestan de diversas maneras y pueden estar motivadas por distintos aspectos, como la protección del bienestar económico o la mejora de la seguridad. En algunos casos, las acciones de adaptación se llevan a cabo para alcanzar objetivos individuales o colectivos, y pueden ser realizadas tanto por individuos como por organizaciones (Adger et al. 2005).

Los objetivos de la adaptación son a menudo diversos y pueden incluir comunicar información sobre el cambio climático, aumentar la conciencia sobre los impactos potenciales, proteger la propiedad o la tierra, mantener el crecimiento económico o explotar nuevas oportunidades. Es por ello que se hace necesario implementar medidas que permitan a estas comunidades enfrentar los efectos del cambio climático y adaptarse a las nuevas condiciones, las que, implementadas por las comunidades rurales, incluirían (Petengell, 2010):

- *Diversificación de los medios de subsistencia:* las comunidades pueden diversificar sus medios de subsistencia para reducir su dependencia de una sola actividad.
- *Conservación de los recursos naturales:* las comunidades pueden implementar prácticas de conservación de los recursos naturales, como la gestión sostenible del agua y la energía, la reforestación y la conservación del suelo. Estas medidas pueden ayudar a reducir la vulnerabilidad de las comunidades rurales a los efectos del cambio climático.
- *Fortalecimiento de la capacidad de adaptación:* las comunidades pueden fortalecer su capacidad de adaptación al cambio climático mediante la implementación de programas de capacitación y educación sobre sus prácticas económicas sostenibles, gestión del agua y otros temas relacionados con el cambio climático.
- *Desarrollo de infraestructuras resilientes:* las comunidades pueden desarrollar infraestructuras resilientes que les permitan hacer frente a los efectos del cambio climático, como la construcción de sistemas de irrigación más eficientes y la implementación de sistemas de alerta temprana para desastres siconaturales.

Sin embargo, como se ha expresado, adaptarse al cambio climático implica tomar decisiones en vista de un amplio espectro de agentes, que van desde individuos, empresas y sociedad

civil, hasta organismos públicos y gobiernos a nivel local, regional y nacional, y agencias internacionales (Thomas, 2005). Estos son ejecutores de las acciones de adaptación que, capaces de hacer sinergia, adquieren real relevancia a la hora de aumentar la forma en que los territorios se adaptan al cambio climático.

En virtud de lo anterior, cómo convergen los distintos actores y sus iniciativas tiene real importancia en la temática del agua, entendiendo que su uso eficiente es crucial para garantizar su disponibilidad para las generaciones futuras y el desarrollo sostenible del territorio. Es fundamental que los diferentes actores involucrados en la gestión del agua trabajen juntos para identificar e implementar medidas que promuevan su uso eficiente:

- Los gobiernos nacionales y subnacionales tienen un papel crucial en la gestión del agua, ya que son responsables de establecer políticas y regulaciones que promuevan su gestión eficiente. Políticas que deben ser diseñadas de manera participativa, involucrando a todos los actores relevantes, que se implementen de manera efectiva y con pertinencia territorial.
- Las empresas, grandes consumidores del recurso, deben adoptar prácticas sostenibles del agua, como la implementación de tecnologías más competentes a las necesidades actuales y la reducción de su huella hídrica.
- La sociedad civil y los ciudadanos, por su parte, promueven la conciencia sobre el agua y el fomento de la participación ciudadana en la toma de decisiones relacionadas con su gestión.

En resumen, el cambio climático está afectando a la comuna de San Pedro de Atacama mediante diferentes fenómenos hidro-atmosféricos que impactan directamente en la disponibilidad de agua en el territorio. Ante esta situación, la adaptación al cambio climático se vuelve crucial para reducir la vulnerabilidad de la comunidad y aprovechar las oportunidades que puedan surgir. Para lograrlo, se deben implementar medidas que permitan a la comunidad adaptarse a las nuevas condiciones climáticas, siendo la gestión del agua fundamental para garantizar la seguridad hídrica y el desarrollo sostenible del territorio. En este sentido, es importante promover la convergencia de los distintos actores y sus iniciativas en la temática del agua para asegurar su disponibilidad para las generaciones futuras y garantizar el desarrollo sostenible del territorio.

5.5. Gobernanza para la adaptación

La gobernanza es un término que se refiere a la forma en que se toman decisiones y se gestionan los recursos en una sociedad (Alburquerque, 2008). En este sentido, la gobernanza del agua se refiere a la forma en que se realiza su uso, gestión y conservación, y que puede ser ejercida por diferentes actores, como gobiernos, empresas, organizaciones de la sociedad civil y comunidades locales. La colaboración y el diálogo son fundamentales para el éxito de la gobernanza, y por consiguiente, para la adaptación al cambio climático.

Asimismo, para que una gobernanza sea exitosa desde lo adaptativo, debe tener en consideración diversos aspectos, entre los cuales destaca la obtención de información, la capacidad de lidiar con los conflictos, el inducir al cumplimiento de las normativas, la proporción de infraestructura y la disposición al cambio (Dietz, Ostrom y Stern, 2003).

En primer lugar, la gobernanza para la adaptación y la seguridad hídrica depende de información buena y confiable sobre existencias, flujos y procesos dentro de los sistemas hídricos que se rigen, así como sobre las interacciones entre humanos y medio ambiente que afectan esos sistemas. Es importante que la información esté en línea con las necesidades de los responsables de la toma de decisiones, tanto en términos de tiempo como de contenido y forma de presentación. De esta manera, se asegura que la información sea útil y relevante para la toma de decisiones y que se pueda actuar de manera oportuna y efectiva (Dietz, Ostrom y Stern, 2003).

En segundo término, el conflicto es inherente en condiciones en donde existen marcadas diferencias de poder y valores entre las partes. Las personas aportan diferentes perspectivas, intereses y filosofías que pueden generar conflictos. Sin embargo, estos conflictos, siempre y cuando no lleguen a ser disfuncionales, pueden ser una oportunidad para el aprendizaje y el cambio (Dietz, Ostrom y Stern, 2003).

Tercero, para lograr una gobernanza efectiva, es necesario que las reglas de uso de los recursos se sigan en general. Tanto si los mecanismos de aplicación son formales o informales, es importante que quienes los imponen sean percibidos como efectivos y legítimos por los usuarios de los recursos. De lo contrario, la resistencia y la evasión pueden socavar la estrategia de gobernanza de los bienes comunes (Dietz, Ostrom y Stern, 2003).

Cuarto, la infraestructura, incluyendo la tecnología, juega un papel fundamental en la capacidad de aprovechar los bienes comunes y fomentar la adaptación (por ejemplo, obras hidráulicas y tecnología de riego). Para reducir los residuos en el uso de los recursos y monitorear eficazmente sus condiciones y el comportamiento de los usuarios humanos (Dietz, Ostrom y Stern, 2003).

Finalmente, es importante que las instituciones estén diseñadas para permitir la adaptación, ya que es probable que parte de la comprensión actual sobre el agua sea incorrecta, la escala de organización requerida de gobernanza del agua pueda cambiar y los sistemas biofísicos y sociales estén en constante evolución (Dietz, Ostrom y Stern, 2003).

5.6. Gobernanzas del agua en Latinoamérica

A nivel Latinoamericano, si se observan sus gobernanzas sobre el agua se pueden identificar diversos casos. En Paraguay, el uso del agua es un derecho fundamental, en donde se indica una cantidad mínima reglamentaria por día por persona. Aspecto importante si se tiene en cuenta que el uso racional del agua independientemente de la disponibilidad que haya, debe estar involucrado con una buena gobernanza.

En Brasil, el agua tiene una dimensión social por ser una sustancia vital para satisfacer las necesidades básicas humanas, y que configura los principios del derecho de la vida. Esta ley reconoce que el agua tiene una dimensión económica por ser “un recurso natural limitado, dotado de valor económico” y que una porción proveniente del recurso hídrico es sometida a un uso específico por una persona natural o jurídica, el cual debe pagar, ya que el agua posee la función de insumo proveniente de un recurso escaso. Por lo tanto, esta ley permite el otorgamiento de un derecho de uso temporal que le da un reconocimiento al valor económico del recurso hídrico a través de adjudicación de un precio por el uso individualizado de un bien común (Villar, P. & Machado, M. 2019).

En cambio, Venezuela define el agua como un bien de dominio público, situación que implica la derogación de las normas que regulan los derechos adquiridos y preferentes al aprovechamiento de las aguas del dominio público (Brewer-Carias, 2006). En este caso, los usos comunes son libres, pero los usos especiales deben someterse a limitaciones administrativas, como la obtención de una concesión.

En Perú, el Estado es el titular de la propiedad o dominio de todas las aguas, propiedad que se define además, como inalienable e imprescriptible. Es la Ley de Recursos Hídricos, la que regula el uso y la gestión integrada del agua y la actuación del Estado y privados, reconociendo el agua como un bien indispensable para el desarrollo sostenible y, por lo tanto, su uso debe ser de manera coordinada siendo el Estado el ente coordinador, gestor y protector de este interés general (Cairampoma & Villegas, 2015).

De igual manera, en Argentina y Uruguay las aguas son de dominio público, el Estado actúa como titular otorgando permisos o concesiones. La gran diferencia, y a la vez gran debilidad, es que en Argentina es la jurisdicción la que ejerce en cada provincia, y estas no están coordinadas, ni cobijadas, bajo el mismo marco legal ni institucional. En cuanto a Brasil, es claro en decir que su poder público en el dominio del agua debe ser de administrador y protector más no de propietario, de manera que, en su Constitución, no de forma directa, se declara que el agua, por ser elemento integrador del medio ambiente, es un bien difuso y de uso común (Villar & Machado, 2019).

En Chile, se reconoce que las aguas son bienes nacionales de uso público. La Constitución Política de la República y el Código de Aguas de 1981, junto con las modificaciones realizadas a este último, otorgan el derecho de aprovechamiento de las aguas, que consiste en el uso y goce de las mismas. Existen dos tipos de derechos de aprovechamiento: los consuntivos, aquellos que facultan a su titular para consumir las aguas totalmente; y los no consuntivos, los que permiten emplear el agua sin consumirla y obligan a restituirla, es decir, devolverla a su cauce, los cuales son transferibles como cualquier bien de mercado, debido a que son entregados a particulares gratuitamente, a perpetuidad y sin justificación de uso.

Por esto en Chile el agua es valorada primordialmente como bien económico y productivo, pues tanto la Constitución como el Código de Aguas permiten expandir las libertades para privados, restringiendo el rol regulador del Estado y fortaleciendo el poder de los tribunales para proteger los derechos de propiedad privada, incluyendo los derechos del agua (Bauer, 1998).

Actualmente, se está desarrollando otro tipo de acciones, aunque de forma piloto. Se trata de los consejos de cuencas, los que se proponen como modelos de gobernanza participativa de gestión hídrica, de carácter intersectorial y con pertinencia territorial, compuesto por representantes del Estado de nivel central, regional y comunal, sector privado, la sociedad civil y pueblos originarios.

Desarrollando la planificación, coordinación y la concertación para la gestión integrada de recursos hídricos a nivel de cuenca, se puede fortalecer la gobernanza de los territorios y establecer mecanismos de resolución de conflictos. Lo anterior, mediante mecanismos participativos, intersectoriales, transdisciplinarios y coordinados.

6. Resultados

6.1. Balance Hídrico de la comuna de San Pedro de Atacama

Las cuencas hidrográficas en la cual está inmersa la comuna de San Pedro de Atacama son elementos hidrogeológicos de suma importancia para el entendimiento de cómo las aguas subterráneas interactúan con el medio subterráneo y superficial. La caracterización de los cuerpos de aguas subterráneos en cada cuenca y entre las cuencas permite realizar una correcta gestión de los recursos hídricos mediante los balances hídricos locales como regionales.

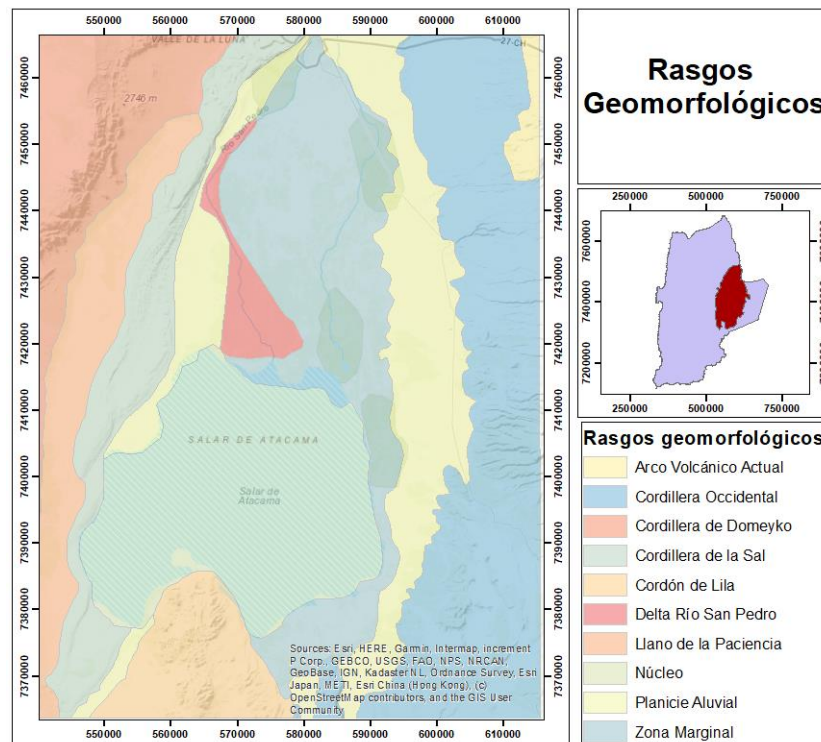
Así, este apartado entrega, en primer lugar, una caracterización de las cuencas contenidas al interior de la comuna de San Pedro de Atacama, seguido por la interpretación acabada sobre el balance hídrico actualizado de sus cuencas.

6.1.1 Caracterización de las cuencas de la comuna de San Pedro de Atacama

La comuna de San Pedro de Atacama se ubica en la parte oriente de la región de Antofagasta, a una altura aproximada de 2500 metros. En la zona de San Pedro de Atacama se identifican distintas unidades geomorfológicas de orientación Norte-Sur (Figura 6.1). Estas unidades, desde el poniente al oriente, se disponen en el siguiente orden: 1) Cordillera de Domeyko; 2) Llano de la Paciencia; 3) Cordillera de la Sal; 4) Salar de Atacama y 5) Cordillera Occidental (arco volcánico actual).

Los salares del norte de Chile no tienen un aporte importante de cauces superficiales permanentes con excepción del Salar de Tara. La mayoría de estos salares son alimentados por lluvias y aguas subterráneas, las cuales tienen la capacidad de formar lagunas pequeñas con un nivel freático inestable (Teillier y Becerra, 2003; Cervetto, 2012).

Figura 5. Salar de Atacama, indicando los principales rasgos morfológicos y estructurales.



Fuente: Elaboración propia a partir de SQM (2022).

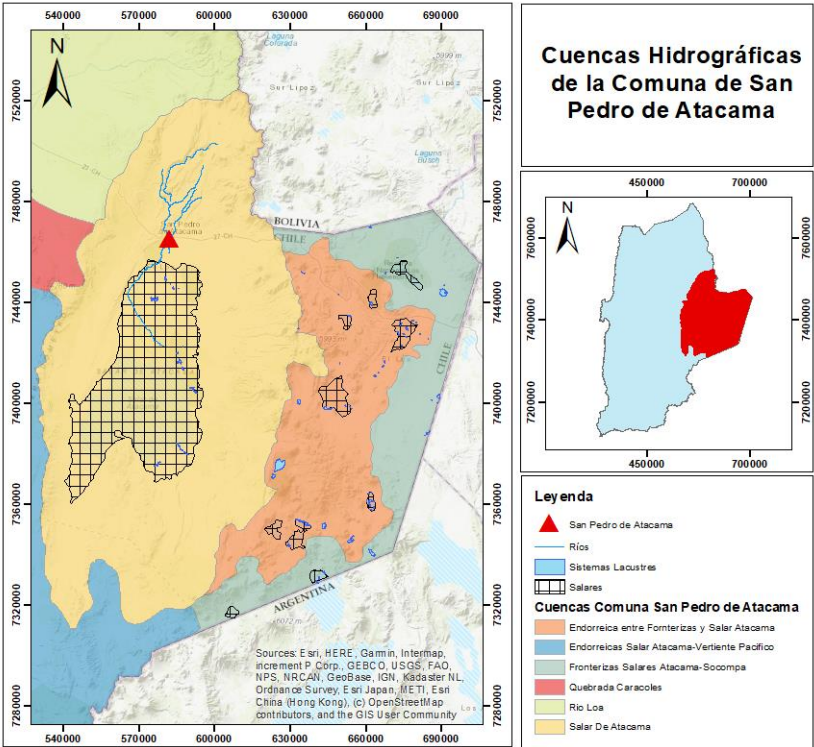
La comuna de San Pedro de Atacama se encuentra inmersa en la cuenca hidrográfica homónima de su mismo nombre, la que a su vez se compone por seis cuencas que abastecen el sistema hidrográfico de la comuna (DGA, 2013).

Tabla 1. Cuencas hidrográficas pertenecientes a la comuna de San Pedro de Atacama.

Comuna de San Pedro de Atacama		
Cuencas que son parte de la comuna		
Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama	Salar de Atacama	Fronterizas Salares Atacama-Socompa
Endorreica Salar de Atacama-Vertiente Pacífico	Quebrada Caracoles	Río Loa

Fuente: Elaboración propia a partir de DGA, 2023.

Figura 6. Cuencas hidrográficas asociadas a la comuna de San Pedro de Atacama



Fuente: Elaboración propia en base a información de la DGA (2013) y Conadi (2012).

A continuación, se realiza la descripción de las tres cuencas principales que tienen el mayor impacto hídrico relacionado con la comuna de San Pedro de Atacama.

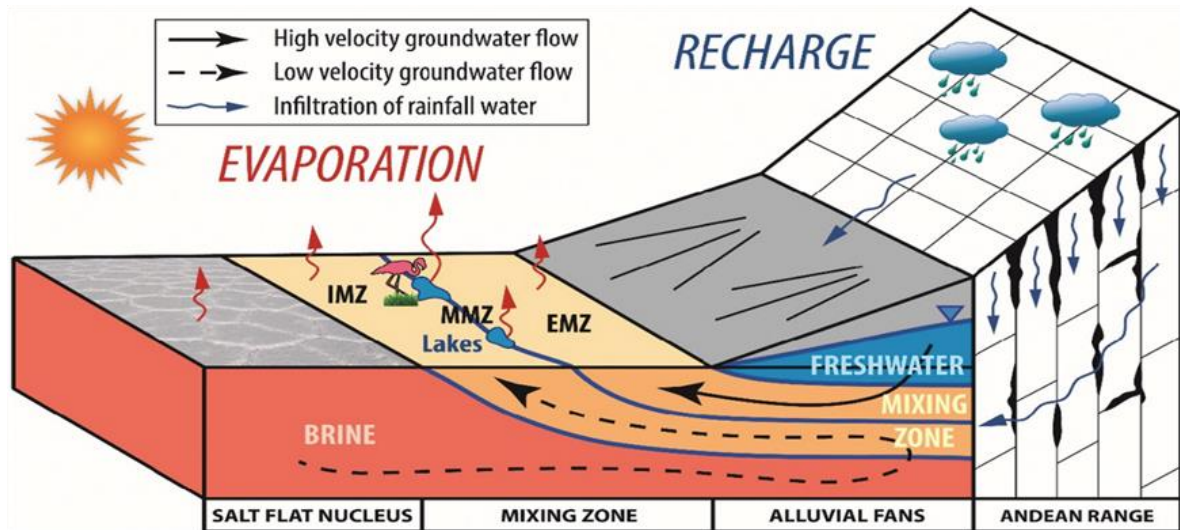
6.1.2. Cuenca Salar de Atacama

La cuenca del Salar de Atacama corresponde a una cuenca evaporítica de grandes dimensiones (3000 km²), actualmente activa, que se ubica en la depresión Preandina a una altura aproximada de 2450 m s.n.m. (Boschetti et al., 2007). En esta cuenca se localiza el Salar de Atacama, este salar corresponde al tercer salar más grande del mundo después del Salar de Uyuni en Bolivia y las Salinas Grandes en Argentina (Marazuela 2020), además, alrededor del Salar de Atacama se pueden encontrar excepcionales ecosistemas lacustres y humedales, englobados dentro de la Reserva Nacional de los Flamencos (sitio Ramsar, Marazuela, 2020).

El Salar de Atacama está conformado por distintos rasgos hidrológicos que están determinados por las condiciones climáticas y morfológicas imperantes en la zona. En general, los aportes hídricos superficiales son escasos y pueden ser de carácter permanente (lagunas y/o ríos) y/o efímeros (afloramientos, cauces superficiales, entre otros), teniendo una distribución limitada. La cuenca hidrográfica del Salar de Atacama tiene como principal aporte la recarga de agua subterránea proveniente del sector oriental, donde las precipitaciones en la Cordillera de los Andes son retenidas (Díaz, 2016) y posteriormente infiltradas en esa zona, y aguas abajo por los abanicos aluviales próximos al margen del salar. La morfología de la cuenca da como resultado una cuenca endorreica (sin salida al mar), con altas tasas de evaporación y la formación de costras salinas.

El Salar de Atacama se divide en distintos rasgos geomorfológicos: 1) La zona de recarga (*Andean Range*); 2) los abanicos aluviales (*Alluvial Fans*); 3) zona marginal o de mezcla (*Mixing zone*) y 4) el núcleo del Salar de Atacama (*Salt Flat Nucleus*). Estas zonas geomorfológicas corresponden a las zonas de interés hidrológico e hidrogeológico de los aportes hídricos superficiales y subterráneos que controlan la hidrodinámica del Salar de Atacama.

Figura 7. Hidrodinámica de la zona de transición del SdA. IMZ: Zona de mezcla interna. MMZ: Zona de mezcla intermedia. EMZ: Zona de mezcla externa.



Fuente: Marazuela et al. (2019).

6.1.3. Hidrología e hidrogeología de la cuenca del Salar de Atacama

El Salar de Atacama recibe aportes hídricos superficiales como subterráneos, a continuación, se abordará algunos aspectos de estos cuerpos de agua.

- **Red Hídrica**

La red hidrográfica en el Salar de Atacama es escasa y está compuesta principalmente por distintos cuerpos hídricos superficiales y estructuras asociadas a estos. Estas redes se distribuyen en las zonas marginales del SdA. Los cuerpos hídricos superficiales son representados principalmente por lagos andinos prístinos de gran altitud (*HAALs*) que están ampliamente distribuidos a lo largo de los Andes Centrales de América del Sur (Albarracín et al., 2015; Bull et al., 2018; Núñez et al., 2020). La presencia de otros cuerpos superficiales, como ríos, escorrentías o cualquier corriente de agua, son escasas. En la cuenca del Salar de Atacama la escorrentía superficial constituye la fuente de abastecimiento de bofedales en las quebradas y, además, se utiliza para el riego en agricultura tradicional y como abastecimiento para la ganadería (SQM, 2022).

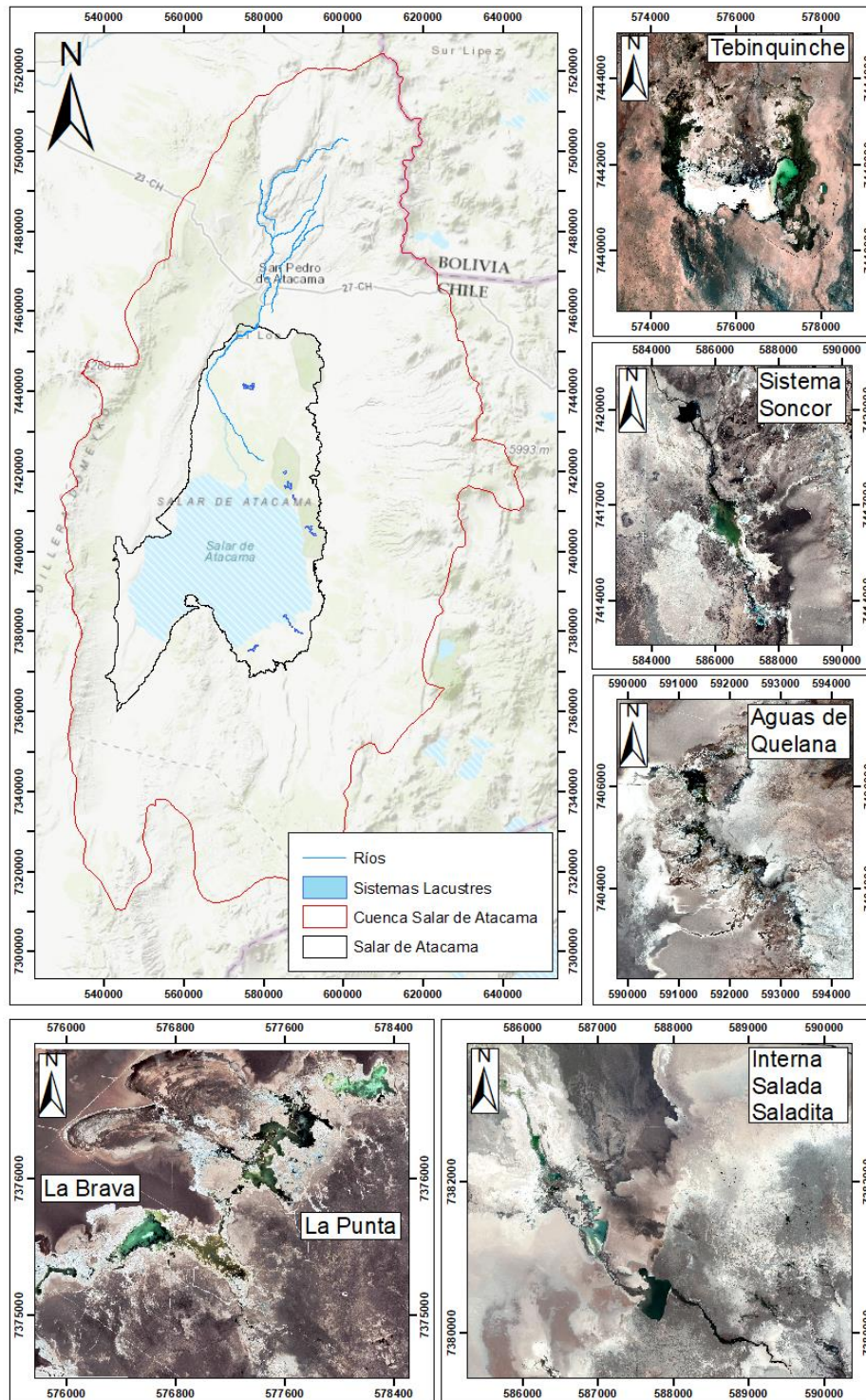
Los sistemas lacustres del sistema del Salar de Atacama corresponden a lagunas hipersalinas y salinas, normalmente localizadas en zonas áridas y semiáridas, donde las condiciones climatológicas, como altas tasas de evaporación y bajas tasas de precipitación, junto a

condiciones geológicas, hidrológicas y geomorfológicas, son claves para que las salmueras y/o aguas salobres persistan en el tiempo como cuerpos de aguas superficiales (Marazuela et al., 2018).

En términos hidrológicos, el Salar de Atacama lo podemos separar en tres zonas principales: 1) borde norte; 2) borde oriental o este y 3) borde sur-sureste. A continuación, se realizará una breve descripción de cada zona.

- El borde norte incluye el área del Salar entre la latitud de San Pedro de Atacama y Toconao, limitado al poniente por la cordillera de la Sal y al oriente por los abanicos aluviales de la cordillera de Los Andes. En este sector, la red hidrográfica es escasa y se compone principalmente por cuerpos hídricos superficiales. Desde la parte norte, hacia el sur de la cuenca, se localizan los ríos San Pedro y Vilama. En su fase terminal se localiza el delta del río San Pedro además de las lagunas Tebinquinche, Baltinache y Cejar (Cofre, 2018; Bravo, 2021).
- El borde oriental está limitado al poniente por el núcleo de halita y al oriente por los abanicos aluviales. La escorrentía superficial se origina en la partes altas de la cuenca y se escurre por las quebradas, como ríos o vertientes, infiltrándose por la zona aluvial, como escorrentía subsuperficial y subterránea en dirección hacia el Salar (SQM, 2022), teniendo afloramientos como cuerpos lacustres o afloramientos efímeros. Procesos de evaporación en la zona ocurren en la zona marginal del SdA, siendo afectados los principales cuerpos lacustres (SQM, 2022). En el borde oriental se identifican dos grandes sistemas hídricos: 1) El sistema Soncor, conformado por el canal Burro Muerto y las lagunas Chaxa, Puilar y Barros Negros y 2) el sistema Aguas de Quelana.
- El borde sur-sureste está limitado entre el Cordón del Lila al poniente y el borde oriental. En este borde se identifican dos sistemas lacustres: 1) El sistema Peine conformado por las lagunas Salada, Saladita e Interna y 2) el sistema Tilopozo conformado por las lagunas La Punta y La Brava.

Figura 7. Sistemas lacustres y escorrentías existentes en el Salar de Atacama. Tebinquinche: Margen Norte del SdA. Sistema Soncor y Aguas de Quelana: Margen Oriental del SdA. La Brava, La Punta; Salada-Saladita-Interna: Margen Sur del SdA.



Fuente: Elaboración del IDE, 2022; BCN, 2022 e Imágenes Satelitales de SasPlanet, 2022.

El sistema del Salar de Atacama al estar relacionado con distintos cuerpos de aguas superficiales, pueden presentar algunas diferencias y/o similitudes entre ellos. A continuación, la tabla 1 muestra una breve descripción de los cuerpos lacustres ubicados en el Salar de Atacama.

Tabla 2. Resumen de las características generales de los sistemas lacustres ubicados en la cuenca Salar de Atacama.

Cuenca	Ubicación	Sistema	Origen	Sistemas lacustres y/o cuerpos de aguas	Trayecto	Descargas	Referencias
Salar de Atacama	Zona Marginal Oriental	Soncor	Afloramiento de Aguas Subterráneas provenientes de las infiltraciones de las precipitaciones en las zonas altas de la cuenca.	- Canal Burro Muerto - Laguna Chaxa - Laguna Barros Negros - Desborde Cola Pez - Laguna Puilar	- Afloramientos en el Llano del Tambillo. - Surgencia de dos canales que aguas abajo forman el Canal del Burro Muerto, flujo continua hacia el Puente San Luis y la Laguna Chaxa, para desembocar en la Laguna Barros Negros. - Hay desbordes temporales conocido como Cola Pez. - Laguna Puilar no tiene conexión con el canal del Burro Muerto.	Evaporación desde los cuerpos de aguas y el acuífero somero.	- IDAEA-CSIC (2017) - SQM (2022)
		Aguas de Quelana	Afloramiento de agua salobre subterránea provenientes de las quebradas aluviales.	Conjunto de lagunas de poca profundidad.	Flujo de agua subterránea desde las zonas altas hacia la zona marginal y que afloran en superficie.		
	Zona Marginal Sur-Sureste	Peine	Afloramiento de Aguas Subterráneas provenientes de las infiltraciones de las precipitaciones en las zonas altas de la cuenca.	- Laguna Salada - Laguna Saladita - Laguna Interna	Las lagunas están orientadas en dirección SE-NW, con canales que conectan a estos sistemas entre sí.		- Anderson et al. (2002) - Núñez et al. (2020) - SQM (2022)
		Tilopozo	Afloramiento de aguas subterráneas que es alimentado por el acuífero Monturaquí-Negrillar-Tilopozo.	Ecotonos entre humedales, praderas saladas y ecosistemas Lagunas freáticas: - Laguna La Brava - Laguna La Punta - Vegas de Tilopozo	- Recarga subterránea proveniente desde el acuífero Monturaquí-Negrillar-Tilopozo. - Aportes pequeños desde el Cordon de Lila - Aportes desde el núcleo de halita		

Fuente: Elaboración propia a partir de IDAEA-CSIC (2017), SQM (2022), Anderson et al. (2002), Núñez et al. (2020).

● Precipitación

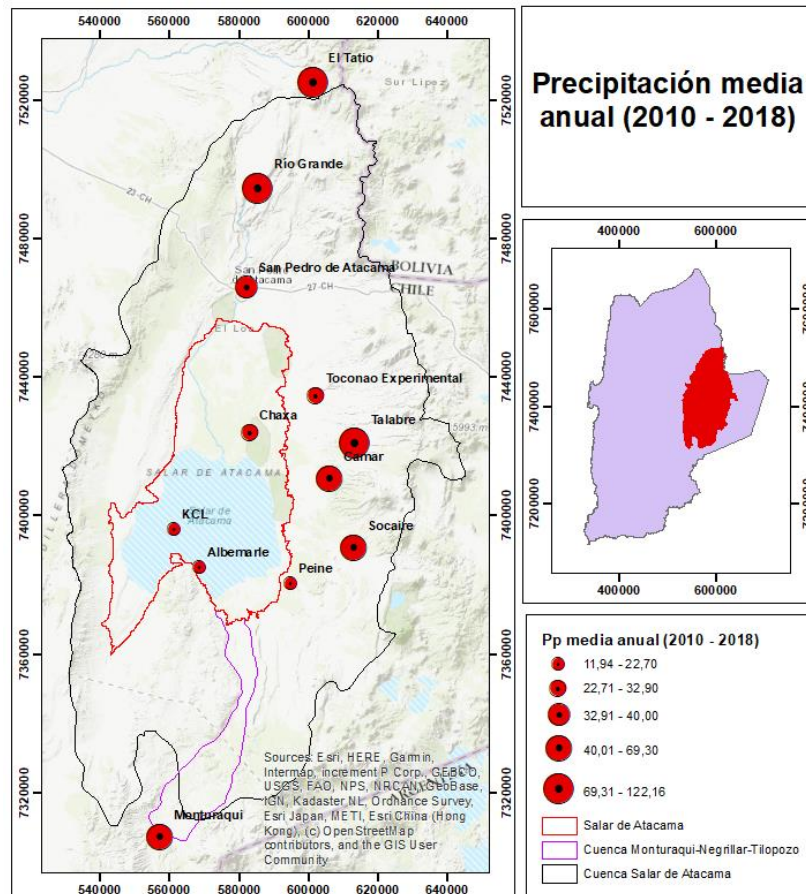
La ubicación de El Salar de Atacama (SdA) le confiere una característica climatológica particular. El salar se puede ubicar en una de las cuatro franjas de subtipos climáticos desérticos (Descritas en Díaz, 2016), siendo la franja de los 2000 a los 3500 m.s.n.m. de clima desértico marginal de altura. Este clima tan distintivo e imperante en el salar es el resultado de la confluencia de una zona de alta presión subtropical, con la corriente de Humboldt, con los vientos costeros (Clarke, 2006), como también del efecto sombra de la precipitación Andina y la posición latitudinal de la región (Houston y Hartley, 2003).

La información climatológica del SdA es monitoreada mediante estaciones meteorológicas (Figura 6.5) con pertenencia a la Dirección General de Aguas (DGA) y a entes privados,

como Soquimich y Albemarle. La cuenca del SdA se localiza en una latitud donde sus precipitaciones varían según la estacionalidad y las condiciones climáticas. Entre los meses de abril y noviembre las precipitaciones que se producen en el Salar son casi inexistentes debido al efecto del Anticiclón del Pacífico (cinturón de altas presiones de gran estabilidad climática), en cambio, en los meses de verano, el Anticiclón es desplazado a latitudes mayores produciendo el ingreso del Frente Ecuatorial de bajas presiones generando la inestabilidad atmosférica del altiplano (DGA, 2014). Este fenómeno es conocido como Invierno Altiplánico. En el sector occidental del SdA las precipitaciones son escasas, este fenómeno es atribuido a la inversión térmica que sufre la masa de aire localizada entre la costa y la Cordillera de los Andes. Se genera un descenso del aire y es reforzado por efecto de la corriente de Humboldt (efecto enfriador, Díaz, 2016).

El promedio anual de la precipitación acumulada entre el 2010 al 2018 (Figura 6.5) en el SdA varía según la localización de la estación que se mide, siendo el valor mínimo de 11.94 mm en las estaciones ubicadas en las cercanías del núcleo del Salar y su valor máximo de sobre los 70 mm cerca de las zonas de recarga. Las precipitaciones que caen en el salar apenas contribuyen a la recarga de los acuíferos, sin embargo, las precipitaciones que caen sobre el altiplano, y el macizo volcánico del margen Este, son un gran contribuyente en la recarga de los acuíferos del salar (Salas et al., 2010). Principalmente estas precipitaciones provienen de la cuenca del Amazona (Kampf et al., 2005) que recargan a las ignimbritas del basamento volcánico, que debido a conexiones hidrogeológicas, recargan al acuífero detrítico-volcánico del margen Este del Salar (Tejeda et al., 2003).

Figura 8. Estaciones meteorológicas en la cuenca del Salar de Atacama. Representación de la precipitación media anual entre el periodo 2010 – 2018.



Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2023).

● Evaporación

La evaporación es uno de los procesos principales de descarga de agua al ambiente. En el salar esta dinámica se genera en el espejo de agua de las lagunas y desde la superficie freática somera de los acuíferos (Philip, 1957). La intensa evaporación produce una reducción o desaparición de los cuerpos de agua y de las zonas circundantes inundadas (Alonso y Risacher, 1996; Anderson et al., 2002; Babidge, 2016), además, de un aumento de la salinidad de la columna de agua (Núñez et al., 2020). La evaporación es estacional y empieza a aumentar a inicios de la época estival (enero-marzo, Núñez et al., 2020).

La evaporación del SdA tiene un rol fundamental en los balances hídricos y en el control de la evolución hidrogeoquímica e isotópica (Salas et al., 2010) de las aguas superficiales como subterráneas someras. Diversos autores han determinado valores de evaporación aproximados en el Salar y las superficies libres de agua. Mardones (1986) estimó que la evaporación freática en diferentes dominios de las costras evaporíticas. Calculó valores de 0.7 mm/día concentrado en la franja de la costra detrítica-evaporítica, siendo coincidente con la cuña salina ubicada a centímetros de la superficie topográfica. Ortiz et al. (2014) estimaron que los valores de evaporación en las superficies de agua libre de los cuerpos lacustres varían en función de la estacionalidad, observándose valores de 2 y 8 mm/ día en los meses de julio y diciembre, respectivamente.

- **Flujo de agua subterránea**

Los flujos de agua subterráneas en el SdA son comprendidos en un sistema de cuatro zonas hidrogeológicas principales, desde oriente al poniente las zonas son: 1) zona de recarga; 2) zona aluvial; 3) zona marginal y 4) núcleo (Figura 6.6). A continuación, se describen brevemente las zonas (Descripción completa en Vásquez et al. (2013))

- **Zona de recarga:** corresponde al aporte principal de agua. Es un flujo descendente de agua meteórica infiltrada en las zonas elevadas de la cuenca y de los ríos de la zona a través de la zona aluvial. En el margen sur, las aguas provienen de la cuenca Monturaqui-Negrillar-Tilopozo.
- **Zona aluvial:** acuífero aluvial compuesto por depósitos de origen volcánico. Es recargado por las aguas meteóricas infiltradas en las zonas más elevadas.
- **Zona marginal:** acuífero de descarga o playa, aquí se localiza la interfaz salina (caracterizada por altas concentraciones de sales disueltas). Se compone por depósitos evaporíticos. En esta zona se producen la precipitación y/o disolución de sales (Risacher et al., 2003), además, se genera un flujo ascendente que puede llegar a formar lagunas salinas e/o hipersalinas. Las descargas se producen principalmente por la evaporación (Kampf et al., 2005).
- **Núcleo:** corresponde a la zona centro-occidental del SdA. En esta no hay presencia de cuerpos de agua superficiales, y se caracteriza por la existencia de costras salinas de cloruro (Cofré, 2018, DGA, 2016). En esta zona se ubica el acuífero hipersalino (Vásquez et al., 2013).

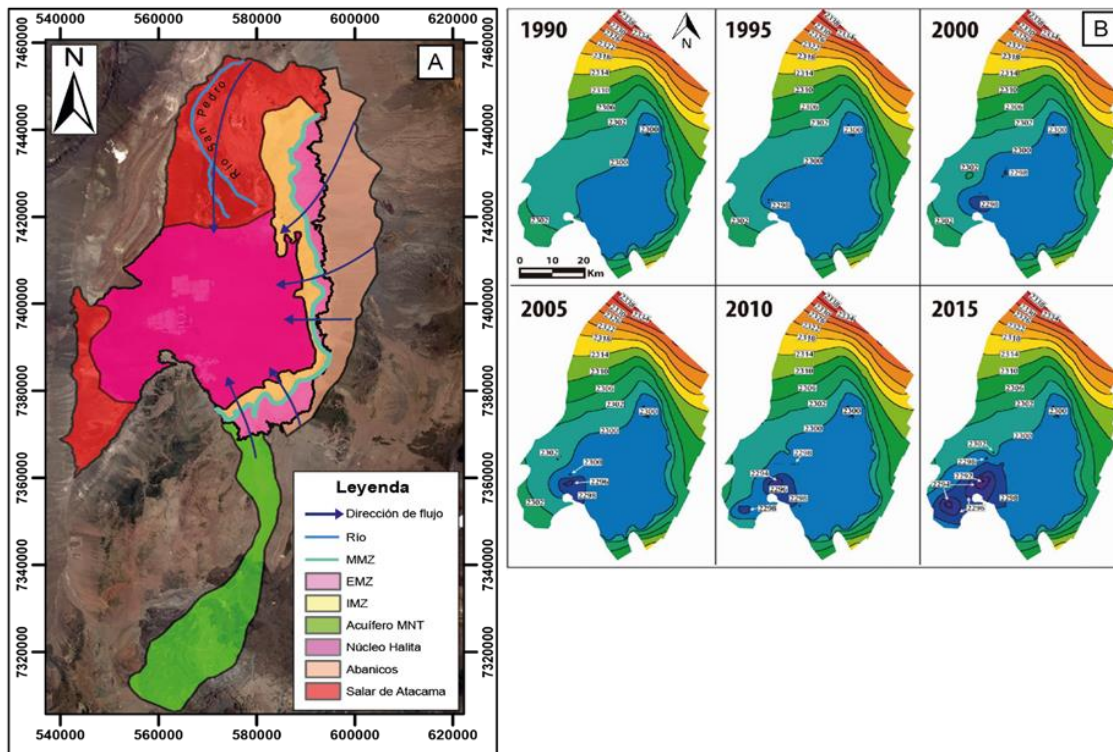
El flujo de agua subterránea en el SdA tiene diferentes componentes: en la zona marginal sur la dirección de flujo es de orientación SE-NW; en la zona del núcleo de halita la dirección de flujo es de N-S; SE-NW, y en menor proporción de W-E, en la zona marginal (sector oriental) la dirección del flujo tiene una componente NE-SW y E-W.

- **Interfaz Salina**

La interfaz salina es un rasgo hidrogeológico que controla la interacción entre dos subsistemas hidrogeológicos, estos subsistemas son: 1) la salmuera del núcleo y 2) los acuíferos salobres en la zona marginal (Díaz, 2016). Esta interacción se produce por la diferencia de densidad entre los acuíferos marginales de baja densidad (1 g/cm^3) y el acuífero salobre de alta densidad ($1,225 \text{ g/cm}^3$) (Díaz, 2016), generando una zona de inmiscibilidad líquida conocida como Zona de mezcla o *mixing zone* (Figura 6.3), similares a las interacciones producidas en el agua marina y el acuífero costero (Custodio y Llamas, 1983; Díaz, 2016). La zona de mezcla es un tipo de barrera semipermeable del flujo, que permite que el acuífero salobre ascienda por la salmuera aflorando y dando origen a las lagunas y vegas en las unidades salinas y/o detríticas de las zonas marginales del SdA (Figura X). Además, se producen flujos salobres sobre la salmuera en dirección al núcleo (Díaz, 2016). La profundidad de la interfaz salina en la zona marginal sur llega a una profundidad aproximada de 80 metros en las capas aluviales, en cambio, en el borde oriental, llega a una profundidad aproximada de 125 metros en las unidades sedimentarias (Díaz, 2016). Marazuela et al., (2019) diferencia tres zonas de mezclas (Figura 6.6) en función de las características hidráulicas:

- **Zona de mezcla media (MMZ) y externa (EMZ):** flujo de fluidos ascendente; sus velocidades de flujo con altos y medios, respectivamente. En la MMZ afloran la mayoría de las lagunas con excepción del sistema lacustre Soncor que aflora en la IMZ (Ortiz et al., 2014).
- **Zona de mezcla interna (IMZ):** agua mezclada que es empujada por la celda convectiva marginal del núcleo.

Figura 9. A: Direcciones de flujo subterráneo hacia el depocentro de la cuenca del Salar de Atacama y B: Mapas piezométricos durante la época pre-bombeo y bombeo del Salar de Atacama.



Fuente: Elaboración propia a partir de A: Medina (2023) y B: Marazuela et al. (2019).

6.1.3. Cuenca Entre Fronterizas y Salar de Atacama

Las cuencas Endorreicas, Entre Fronterizas y Salar de Atacama, se localiza sobre un rasgo morfoestructural distintivo de los Andes Centrales denominado Altiplano-Puna, consistente en una gran planicie de altura de promedio 3700 m.s.n.m. El alzamiento del Altiplano-Puna se debe fuertes presiones de la placa oceánica de Nazca, que habrían forzado a este bloque de los Andes Central, a elevarse cabalgando hacia el Este y el Oeste de las rocas adyacentes mediante dos sistemas divergentes de fallas Inversas (Allmendinger et al., 1997; Talukder & Hayashi, 2006; Whitman, et al., 1996; DGA, 2016).

En esta cuenca se localizan 7 salares asociados a ecosistemas de gran fragilidad por su delicado equilibrio, además, de su interacción y conexión con el resto de los cuerpos de agua y la propia cuenca del mismo salar. De esta forma, la explotación en dichos cuerpos de agua

es básicamente de dos tipos en cuanto al recurso hídrico: explotación de agua subterránea en la parte de agua dulce del sistema, y explotación de salmueras (DGA, 2016).

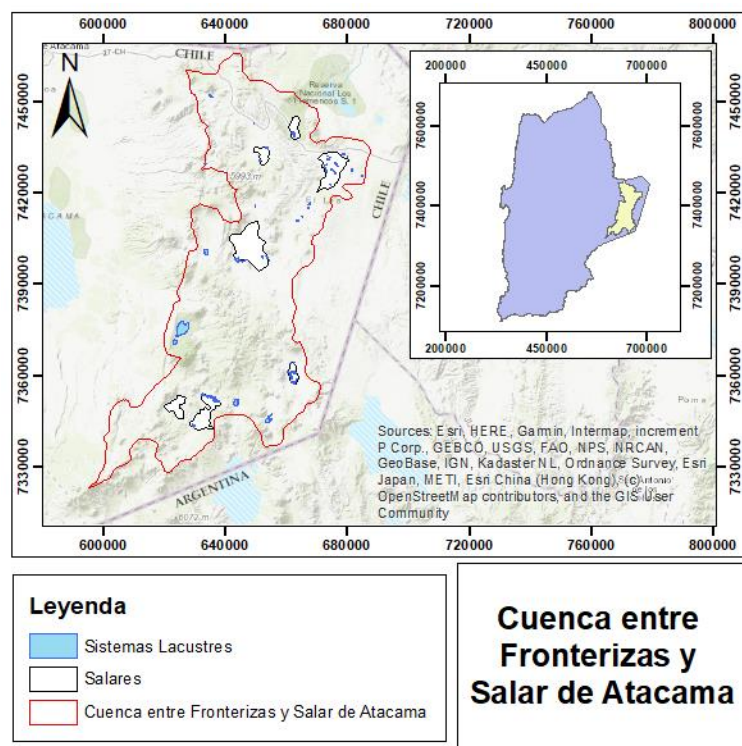
Esta cuenca está sometida a condiciones climáticas extremas, las que solo permiten que subsista vegetación especializada de pocos requerimientos hídricos y con una capacidad de soportar oscilaciones térmicas grandes. Los bofedales existentes son sistemas adaptados a estas condiciones extremas. Esta vegetación minimiza la transpiración a través de sus hojas de reducida superficie y algunas espinas (DGA, 2022a).

- **Hidrología e hidrogeología de la cuenca Entre Fronterizas y Salar de Atacama**

Esta cuenca se caracteriza por tener la presencia de varios cuerpos de agua superficiales y de salares (Figura 6.7), tales como: 1) Salar de Loyoques o Quisquiro; 2) Salar de Aguas Caliente Norte, Centro y Sur; 3) Salar El Laco; 4) Salar de Capur; 5) Salar de Talar ; 6) Salar de Pujsa; 7) Cuenca Punta Negras; 8) Cuenca Colorada; 9) Pampa Las Tecas; 10) Laguna Tuyajto; 11) Laguna Lejía y 12) Lagunas Miscanti y Miñiques (DGA, 2022a).

La cuenca tiene varias áreas ambientales protegidas como lo son la Reserva Nacional Los Flamencos, donde destaca el Salar de Pujsa y las Lagunas Miscanti-Miñiques. La laguna Lejía ha sido considerada como un sitio prioritario para la biodiversidad, con existencia de acuíferos que alimentan las vegas y bofedales, los cuales se encuentran protegidos por la DGA (DGA, 2022a).

Figura 10. Presencia de salares y sistemas lacustres Entre Fronterizas y Salar de Atacama



Fuente: Elaboración del IDE, 2022; BCN, 2022 e Imágenes Satelitales de SasPlanet, 2022.

La cuenca Endorreica, Entre Fronterizas y Salar de Atacama, está relacionado con distintos cuerpos de aguas superficiales y salares, que pueden presentar algunas diferencias y/o similitudes entre ellos. A continuación, la tabla 3 muestra una breve descripción de estos cuerpos lacustres y salares ubicados en la cuenca.

Tabla 3. Resumen de las características generales de los sistemas lacustres ubicados en la cuenca entre Fronterizas y Salar de Atacama.

Cuenca	Sistema	Sistemas lacustres y/o cuerpos de aguas	Descargas	Información Adicional	Referencias
Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama	Salar de Loyoques o Quisquiró	Existencia de cuerpos de agua, la superficie de aguas responde a variabilidades temporales Aportes desde el río Salado.	Evaporación desde los cuerpos de aguas.	Precipitación media anual de 150 mm. Deficit hídrico de 1511 mm/año. Existencia de depósitos sedimentarios cuaternarios e ignimbritas. Vegetación en los márgenes noreste y noroeste.	DGA (2022a)
	Salar de Aguas Calientes Norte	Lagunas superficiales de extensiones variables. Acuífero de salmuera. Espejos de agua responden a variabilidades temporales. Dos espejos de agua permanentes: - Zona centro - norte - Zona extremo suroeste		Localizado en la cuenca del Salar de Aguas Calientes. Extensión de la cuenca de 281 km ² y el salar de 15 km ² . Cuenca limita con el salar de Tara y Pujsa. Vegetación en el extremo norte.	
	Salar de Aguas Calientes Centro	Parte norte del salar recibe aportes desde los extremos noroeste, norte y noreste, siendo el aporte superficial más relevante es el Río Pili, desde el noreste y el este aportes menores. Afloramientos y vertientes efímeros en la zona suroeste y sureste del salar.		Salar de una extensión de 134 km ² . Vegetación en la mayoría de las zonas. Precipitación media de 120 a 160 mm/año.	Cervetto et al. (2012) DGA (2022a)
	Salar de Aguas Calientes Sur	Cuerpos de aguas cercanos en el borde oeste del salar. Espejos de agua y el salar con patrones estacionales de contracción y expansión.		Salar de una extensión de 46 km ² . Vegetación en las zonas extremo norte y sur del Salar.	DGA (2022a)
	Salar El Laco	Lagunas central, alargada y curva, presencia de espejos de agua. Alimentación a través de afloramientos difusos en los límites norte, oeste y sur del salar. Espejos de agua con patrones estacionales de contracción y expansión.		Precipitación media de 200 mm/año en la cuenca y en el salar de 62 mm/año Escasa vegetación Salar ovalado con una superficie de 16 km ² de orientación N-S	
	Salar de Pujsa	Alimentación por la parte norte desde diferentes quebradas. Manantiales difusos al nororiente y suroriente.		Superficie de la cuenca de 634 km ² y el salar de 18 km ² .	Titichoca (2023)
	Laguna Tuyajto	Laguna en la zona extremo suroeste de la cuenca. Vertientes puntuales en la zona norte y este que alimentan a la laguna. Acuífero asociado a la cuenca Tuyajto permite la existencia de humedales por la descarga de estas aguas subterráneas.		Extensión de 3 km ² . Limitado al oeste por el Salar de Aguas Calientes y al este por la cuenca de Pampa Las Tecas y Colorada. Precipitación media anual de 150 a 200 mm/año. Evaporación potencial media anual de 1500 mm/año.	Cervetto et al. (2012) Herrera et al. (2019) Risacher et al. (1999)
	Laguna Miscanti y Laguna Miñiques	Aportes por descarga subterránea al oriente del Cordón de Puntas Negras. Pequeños aportes de manantiales y aportes limitados de Miscanti a Miñiques.		Miscanti limita al sur-suroeste con Miñiques. Laguna Miscanti tiene una superficie de 15,5 km ² y una profundidad de hasta 10 metros, cuerpo lacustre de menor salinidad. Miñiques tiene una superficie de 1,6 km ² .	Cordovez et al. (2019) Valero-Garces et al. (1996; 2003)

Fuente: Elaboración propia a partir de Risacher et al., (1999); Valero-Garces et al., (1996; 2003); Cervetto et al., (2012); Herrera et al., (2019); DGA (2022a); Titichoca (2023).

● Precipitaciones

Las precipitaciones en esta cuenca tienen origen tropical-amazónico y ocurren durante la época estival (verano). Son precipitaciones de tipo convectivas (Cervetto 2012), de alta distribución espacial y se concentran entre enero y febrero. Ocurren precipitaciones sólidas

durante invierno y primavera producto de frentes polares, sin embargo, son de menor impacto que las lluvias estivales (DGA 2022a).

La información meteorológica de esta cuenca es escasa. La Dirección General de Agua consta con una estación de monitoreo meteorológico en la cuenca, la estación Paso Sico, la que fue constituida en 2016 y tiene tres años de registros de datos y se ubica a una altura de 4295 m.s.n.m. Existen otras estaciones a latitudes similares, sin embargo, estas estaciones se ubican por debajo de los 3600 m.s.n.m. Además de ser pertenecientes a la cuenca del Salar de Atacama, estas estaciones son: Camar, Socaire y Talabre.

El estudio realizado por la Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Pontificia Universidad Católica de Chile (DICTUC, 2008) estableció 4 estaciones con registro desde octubre 2007 a febrero 2009. A partir de esta escasez de datos, el estudio “Plan estratégico de gestión hídrica” en la cuenca endorreica Entre Fronterizas y Salar de Atacama considera la base determinada por el estudio DGA (2019) y a los productos grillados asociadas al balance hídrico para el periodo histórico (1985 – 2015) realizado por el CR2MET (*Center for Climate and Resilience Research*). Ese estudio determinó una precipitación media anual de 46,5 mm/año con variaciones interanuales, siendo los peak de precipitación en la época estival (DGA, 2022a). Estudios realizados por GeoAgua Consultores entre 2006 al 2007 instalaron 6 estaciones meteorológicas (Cervetto 2012). La escasez de información de precipitación, debido a la alta variabilidad de la precipitación en las subcuencas y a la poca existencia de redes de monitoreo, dificultan hacer una caracterización completa de la cuenca entre Fronterizas y Salar de Atacama.

- **Evaporación**

La determinación de la evaporación en la cuenca es difícil debido a la poca existencia de información. La estación Socaire (ubicada en la cuenca Salar de Atacama) registra información mensual y anual de las series de evaporación total y media (Cervetto 2012). A partir de esta información, las mayores tasas de evaporación ocurren de noviembre a enero con valores cercanos a los 350 mm mensuales (Estación Socaire). En los meses de junio y julio se identifican las menores tasas de evaporación de alrededor de 170 mm mensuales (Estación Socaire) (Cervetto 2012).

6.1.4. Cuenca Fronterizas Salares Atacama – Socompa

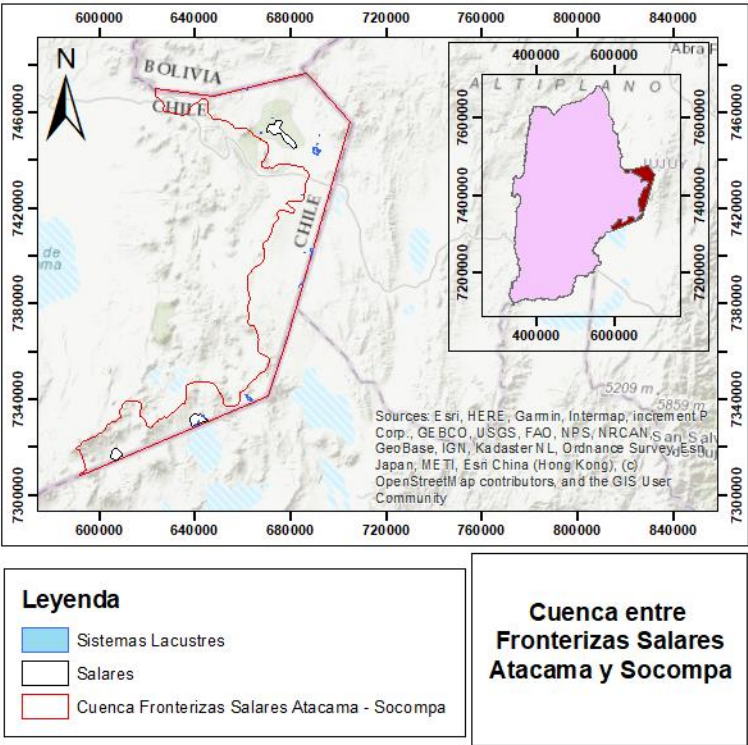
Cuenca que se extiende entre Chile, Bolivia y Argentina. Según lo mostrado en el Diagnóstico plan estratégico para la gestión de los recursos hídricos, Región de Antofagasta (2012) esta cuenca no contaba con una estación monitoreo pluviométrico, meteorológico, calidad de agua superficial, sedimentos, ni de niveles estáticos, por lo cual, existía un vacío importante de información de esta zona altoandina.

No obstante, en el Informe de “Balance de Cuencas del año 2016” esta cuenca se incluye en el plan estratégico para la gestión de los recursos hídricos de la región. Aquí se reporta que no hay localidades ni zonas de cultivo, por ser una de las zonas más alejadas y de difícil acceso de la región.

- **Hidrología e Hidrogeología de la cuenca Fronterizas Salares Atacama – Socompa**

Comprende la presencia de cuerpos de agua superficiales y subterráneas (Figura 6.8), estos son: 1) Laguna Chita, 2) Salar de Tara, 3) Río Zapaleri, 4) Río Chico, 5) Laguna Helada, 6) Laguna Ciénaga, 7) Laguna Pampa Ciénaga, 8) Acuífero Sico-Mucar, 9) Salar de Incahuasi y 10) Salar de Pular (DGA, 2014; Observatorio Georreferenciado DGA). En esta cuenca se ubica parte de la Reserva Nacional Los Flamencos comprendida entre la Cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama y la presente cuenca, e incluye el Salar de Tara.

Figura 11. Cuerpos lacustres y salares de la cuenca endorreica entre fronteras y salar de Atacama.



Fuente: Elaboración del IDE, 2022; BCN, 2022 e Imágenes Satelitales de SasPlanet, 2022.

A continuación, la tabla 3 muestra una breve descripción de estos cuerpos lacustres y salares ubicados en la cuenca Entre Fronterizas Salares Atacama - Socompa. Se omite la Subcuenca El Cajón (124 km²) debido a que no presenta cuerpos de agua permanentes.

Tabla 4. Resumen de las características generales de los sistemas lacustres ubicados en la cuenca entre Fronterizas Salares Atacama - Socompa.

Cuenca	Sistema	Salares, Sistemas lacustres y/o cuerpos de aguas	Información Adicional	Referencias
Entre Fronterizas Salares Atacama - Socompa	Subcuenca Salar de Tara	Lagunas Tara, Chita y Helada. Salar de Tara. Salar alimentado por el río Zapaleri y aportes de algunos arroyos. Laguna de Tara recibe aportes de agua dulces y tibias.	Superficie: - Cuenca de 1506 km ² - Laguna Chita de 0,75 km ² - Laguna Helada de 5,8 km ² - Salar de Tara de 48 km ²	Ciren (2016) DGA (2016; 2017)
	Subcuenca Entre Lagunas Gucchalajte y Pampa del Lari	Lagunas Ciénaga y Pampa Ciénaga. Acuífero fronterizo Sico-Munar.	Superficie lagunas de 0,3 km ² y 1,9 km ² .	
	Subcuenca Salar de Incahuasi	Salar de Incahuasi. Zona chilena alimentada por Qbas Leoncito, Puruchare, Corichico y Medanito al norte y noroeste. Zona sur se localiza un Acuífero.	Salar que se extiende tanto en Chile como en Argentina. Acuífero se extiende hasta la cuenca Entre Fronterizas y Salar de Atacama. Acuífero asociado a rocas volcánicas y niveles sedimentarios menores.	
	Subcuenca Salar de Pular	Salar de Pular. Alimentado por la Qba Agua Delgada en la parte norte y la Qba Pular en el occidente. Existencia de un sistema lacustre.	Salar de una extensión de 33 km ² . Situado en la frontera Chile - Argentina. Laguna ubicada en la parte Chilena.	

Fuente: Elaboración propia a partir de Ciren (2016), DGA (2016; 2017).

6.1.5. Balance Hídrico

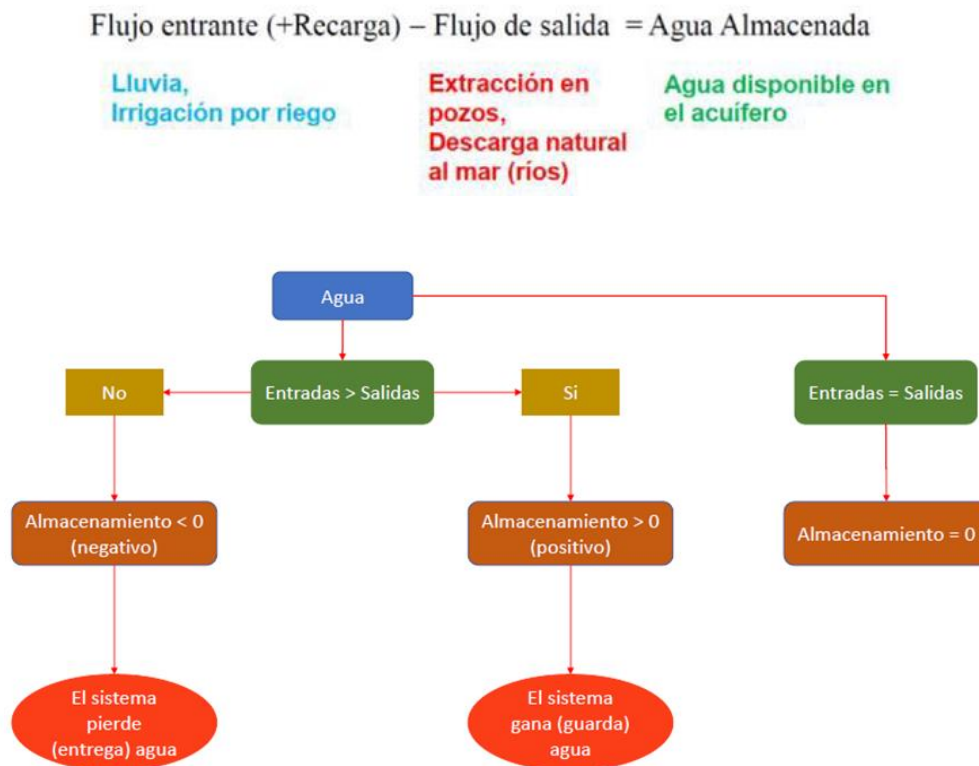
El Balance Hídrico es el equilibrio que existe entre todos los recursos hídricos de un sistema, es decir, los recursos que ingresan y salen en un intervalo de tiempo determinado. Es una representación simplificada del ciclo hidrológico del sistema analizado. El balance hídrico idealmente es realizado con un periodo de 30 años continuos de datos registrados. Las variables más usadas en el balance hídrico son las siguientes: precipitación; evapotranspiración; caudal de escorrentía superficial; caudal de subterráneo, extracciones por bombeo, entre otros.

El balance hídrico es representado por un volumen de control (espacio) en un intervalo de tiempo (temporal). Es posible de representar de distintas formas (Figura 12), a continuación, se muestra la forma fundamental del concepto Balance Hídrico:

$$\text{Recarga (R)} - \text{Descarga (D)} = \text{Variación de Almacenamiento } (\Delta S) \pm \text{error (e)}$$

$$\text{Agua que entra (R)} - \text{Agua que sale (D)} = \pm \text{Variación de almacenamiento} \pm \text{error (e)}$$

Figura 12. Ejemplificaciones de los componentes considerados para un balance hídrico. y Mapa conceptual resumido del funcionamiento del Balance Hídrico.

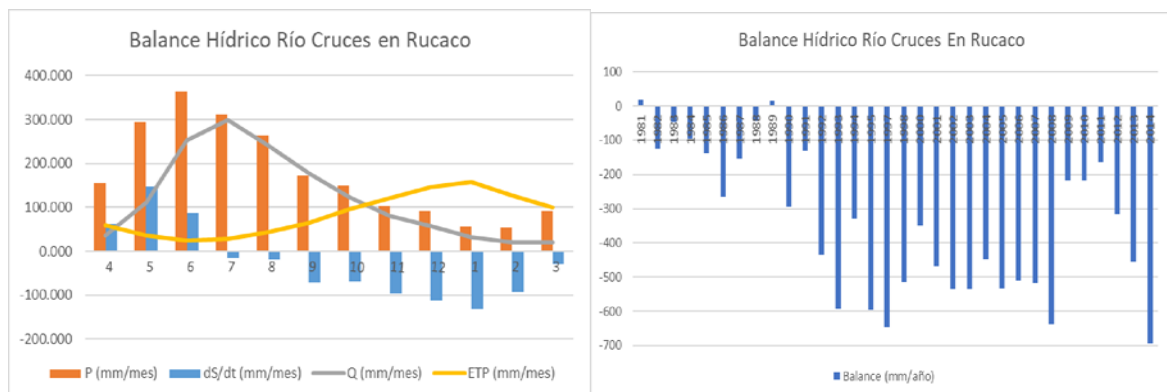


Fuente: Elaboración propia, Medina (2023).

Un Balance Hídrico de una cuenca puede ser representado de distintas formas, ya sea de forma numérica, a través del cálculo de los componentes, y/o a través de representaciones gráficas conocidas como el Diagrama de Wund o diagramas de barras del almacenamiento

(Figura 13). Este diagrama muestra la variación de cada componente del balance hídrico a lo largo de un periodo de tiempo.

Figura 13. Ejemplificación del Balance Hídrico de una cuenca. A) Diagrama de Wund representado los principales componentes del ciclo hidrológico y B) diagrama de barras mostrando el almacenamiento a lo largo de un periodo de 30 años.



Fuente de datos: Elaboración propia a partir de la información de la plataforma Camels.Cr²¹ (2020).

● Balance Hídrico de la cuenca Salar de Atacama

Diversos trabajos (Mardones, 1986; Muñoz-Pardo, 2004, entre otros) realizados en la cuenca del Salar de Atacama han cuantificado las variables del ciclo hidrológico. La evaporación ha sido cuantificada por diversos autores, indicando que el sistema evapora agua equivalente a la recarga del sistema a largo plazo (Mardones, 1986, Muñoz-Pardo 2004, entre otros autores citados en SQM, 2022). Esta suposición indicaría que la variación de almacenamiento es 0 señalando que los sistemas se mantienen estables durante el tiempo (SQM, 2022). El estudio realizado por SQM (2022) y distintos autores (Ramírez, 1972; MINSAL, 1989 mencionados en SQM, 2022) expresan que los niveles del agua han ido disminuyendo a una tasa natural de aproximadamente 2 cm/año en la parte aluvial y entre 2 a 4 cm/año en el núcleo (más detalle en los anexos del estudio SQM (2022)). Las observaciones realizadas por estos autores indican que la descarga es mayor a la recarga, obteniéndose un almacenamiento negativo. Estos desbalances observados son consistentes con la formación de salares (descarga > recarga), además, la presencia de rocas evaporíticas

¹ Plataforma que integra información física e hidrometeorológica de las cuencas en todo Chile.

son indicadores del desbalance negativo, el agua del sistema es retirado de la cuenca por las altas tasas de evaporación (Warren, 2006).

El balance hídrico del Salar de Atacama considera la existencia de dos cuerpos de agua de diferente salinidad y densidad, estas diferencias son de suma importancia a considerar al momento de realizar el balance hídrico del Salar de Atacama (SQM, 2022). La interacción entre estos cuerpos de distinta salinidad genera una cuña salina (interfaz salina) en la zona marginal del salar. Esta interfaz produce una barrera de semi permeable a impermeable originando dos subsistemas. A continuación, se resume y se muestran los resultados principales del balance hídrico obtenido por el estudio de la empresa de Soquimich, llamado Proyecto de Reducción de Extracciones en el Salar de Atacama. En este estudio se realiza una separación de los cuerpos de agua de la siguiente forma: 1) sistema de agua y 2) sistema de salmuera.

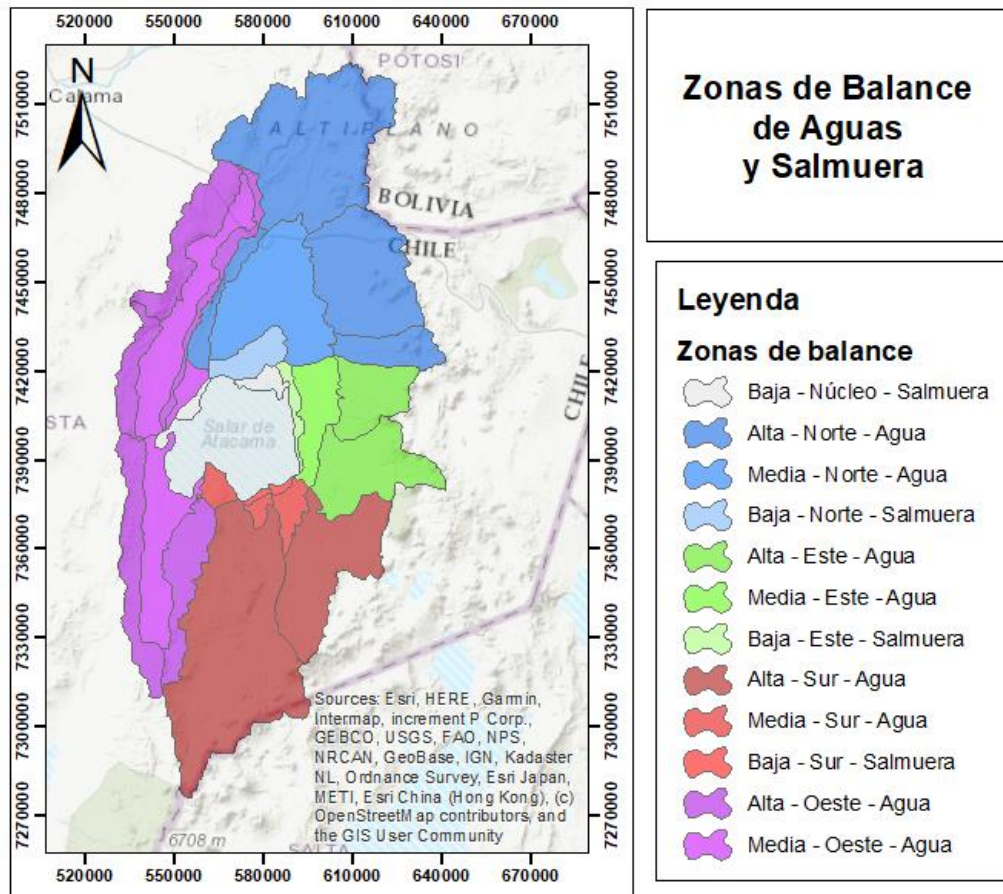
Tanto el sistema de aguas y de salmuera son divididas en zonas de balance (Tabla 4) siendo agrupadas según los siguientes criterios: 1) posición geográfica (zona norte, sur, este y oeste); 2) altitud (zonas altas, medias y bajas) y 3) tipo de fluido analizado (agua o salmuera). Este balance tiene consideraciones de las principales entradas y salidas del sistema, además, los aportes de caudal desde las zonas más altas a las más bajas de la cuenca. Las zonas altas son las cuencas o zonas de altas cumbres y de mayores pendientes, donde la principal entrada al sistema es la esorrentía. En las zonas medias se consideran los acuíferos aluviales y la zona marginal del salar. Esta última tiene mayor influencia por infiltración directa que por las esorrentías. En las zonas bajas se consideran los sectores donde se localiza la salmuera, teniendo como divisoria en superficie con la zona media la intersección de la interfaz salina.

Tabla 5. División de las zonas de balance en los criterios de posición, altitud y tipo de fluido.
Extraído y Modificado.

	Zonas Altas	Zonas Medias	Zonas Bajas
Norte	San Pedro y Vilama	Zona Norte - Agua	Zona de Salmuera: Núcleo Zona Norte Salmuera Zona Intermedia Norte Núcleo Zona Este - Salmuera Zona Intermedia Oeste Núcleo Zona Sur Salmuera Peine Zona Sur Salmuera Tilopozo
	Toconao		
	Cordillera de la Sal Este		
	Aguas Blancas		
Este	Talabre	Zona Este - Agua	
	Socaire		
Sur	Monturaqui	Zona Sur Tilopozo - Agua	
	Peine	Zona Sur Peine	
Oeste	Chepica SW	Borde Suroeste	
	Borde Pacífico Sur		
	Borde Pacífico Central	Llano de la Paciencia	
	Borde Pacífico Norte		
	Cordillera de la Sal Oeste		
	Cordillera de la Sal Sureste		
	Agua		Salmuera

Fuente: Elaboración propia a partir de SQM (2022).

Figura 14. Zonas de balance de aguas y salmuera usadas en el EIA Proyecto Plan de Reducción de Extracciones en el Salar de Atacama



Fuente: Elaboración propia a partir de SQM (2022).

● Balance de aguas

El estudio de SQM (2022) en la cuenca del Salar de Atacama considera dos escenarios: 1) época pre-bombeo o preoperacional y 2) época de bombeo u operacional. El periodo preoperacional abarca entre septiembre 1986 a octubre 1994 y el periodo operacional abarca entre noviembre 1994 a diciembre 2019, este periodo comprende la extracción de la salmuera.

El balance hídrico en la cuenca del Salar de Atacama comprende los siguientes componentes principales:

$$\text{REC}_D + \text{ESC} - \text{EVS} - \text{EVL} - \text{EVT} - \text{EXT}_{ad} - Q_n = \Delta S \pm \text{error} \quad (\text{Ec. De balance})$$

Siendo:

- **REC_D**: Recarga directa por precipitación
- **ESC**: Escorrentía
- **EVS**: Evaporación desde el acuífero
- **EVL**: Evaporación en lámina libre (superficies lagunares)
- **EVT**: Evapotranspiración
- **EXT**: Extracciones de agua
- **Q_n**: Caudal disponible para ingresar al núcleo
- **ΔS**: Cambios de almacenamiento del sistema

La precipitación que ingresa al sistema es infiltrada en el subsuelo y fluye como escorrentías superficiales. La precipitación que escurre generalmente se infiltra en los depósitos aluviales de la zona marginal y que rodean al núcleo. La infiltración generada incrementa el aporte subterráneo que fluye en dirección al núcleo. Las entradas en la cuenca del Salar de Atacama pueden ser naturales y antrópicas. Las entradas naturales son las recargas por precipitación y el flujo subterráneo, y las entradas antrópicas se generan durante el periodo operacional; ocurren principalmente en el núcleo debido a los procesos de re inyección directa de salmuera y de las re inyecciones indirectas asociadas a las pérdidas de salmuera en las pozas de evaporación (SQM, 2022).

El balance de aguas de la cuenca del Salar de Atacama considera las zonas altas y medias, y es realizado aguas arriba de la interfaz salina, teniendo la siguiente estructura:

1. Balance en las zonas altas: considera el cálculo del caudal disponible para el ingreso a la zona media a partir de las siguientes entradas y salidas:
 1. Entrada por precipitación y por escorrentía.

2. Salidas por la evapotranspiración asociada a las vegas y evaporación desde la lámina libre de los cuerpos de agua continuos en el tiempo.
2. Balance en las zonas medias:
 1. Entradas por recarga por precipitación y por esorrentía.
 2. Recarga lateral originada por el flujo subterráneo y superficial de las zonas altas.
 3. Descarga por la evapotranspiración, evaporación del acuífero y la lámina libre de agua.
3. El resultado obtenido del balance realizado en las zonas medias
 1. Entrega de cuánto caudal de agua está disponible para ingresar al núcleo, evaluando las potenciales entradas por los cuatro sectores definidos en el núcleo: Norte, Este, Sur y Oeste.

A continuación, se muestran los valores obtenidos para el balance de aguas del periodo preoperacional y operacional obtenido del trabajo Proyecto de Reducción de Extracciones en el Salar de Atacama Anexo 5.1 Modelo Conceptual del Salar de Atacama durante el periodo 2021 y 2022 (Valores y más detalle en SQM, 2022).

En el periodo preoperacional, las mayores entradas se producen en la parte norte de la cuenca, sector que se caracteriza por la mayor cobertura de vegetación, generando las mayores descargas por los procesos de evapotranspiración. Los caudales tienen su mayor componente en el ingreso al sistema que las descargas. Esta diferencia de caudal genera un balance positivo, produciendo la recarga de agua hacia la zona de salmuera con valor estimado de 300 L/s.

En la zona sur se diferencia en dos zonas: Tilopozo y Peine. En ambos casos el balance estimado es positivo para recargar las zonas de salmuera, siendo la zona de Tilopozo la de mayor caudal aportante de unos 250 L/s y en la zona de Peine de unos 36 L/s. En la zona este las entradas de mayor relevancia son las esorrentías. En el caso de las descargas, estas son generadas por tasas de evaporación muy altas en la zona marginal. La relación en esta zona es que las salidas son mayores produciendo que no exista ingreso de agua a la zona de la salmuera. En la zona oeste las entradas son bajas, ya que las precipitaciones son de menor magnitud, no hay presencia de cuerpos de aguas de gran extensión y consideración, la vegetación es muy escasa, por lo que las salidas no tienen mayor impacto, generando que la

relación de entrada y salida sea positiva, generando una entrada menor hacia la zona de la salmuera.

Los resultados (Tabla 6) del estudio indican que en las zonas altas predomina la escorrentía como la principal entrada al sistema, y las salinas son controladas por la evapotranspiración (no considera la descarga hacia la zona media). En la zona media las entradas son dominadas por la recarga lateral proveniente de las zonas altas, las salidas son dominadas por la evapotranspiración y la evaporación del acuífero somero, las que tienen un rol importante en el balance de la cuenca.

Tabla 6. Resumen de las recargas y descargas del balance de agua en el periodo preoperacional.

Sector	Zonas de Balance de Agua	Recarga (L/s)				Descarga (L/s)				Balance (L/s)	
		Recarga Directa	Recarga Lateral	Escorrentía	Recarga desde otras Zonas	Evaporación desde el acuífero	Evaporación Lámina Libre	Evapotranspiración	Extracciones	Disponible para descarga hacia otras zonas	Variación de Almacenamiento
Norte	Alta-Norte-Agua	297	150	1.750		0	8	294	0	1.895	0
	Media-Norte-Agua	282	0	105	1.895	259	321	1.402	0	299	0
Este	Alta-Este-Agua	84	46	644		0	0	191	0	583	0
	Media-Este-Agua	111	0	56	583	674	40	127	0	0	-92
Sur	Alta-Sur Peine-Agua	39	14	184		0	34	33	0	169	0
	Media-Sur Peine-Agua	38	0	15	169	84	40	62	0	36	0
	Alta-Sur Tilopozo-Agua	227	27	498		3	20	11	0	719	0
	Media-Sur Tilopozo-Agua	11	0	8	719	407	42	35	5	250	0
Oeste	Alta-Oeste-Agua	63	3	55		0	0	0	0	122	0
	Media-Oeste-Agua	125	1	31	122	104	28	1	0	146	0
Total		1.278	242	3.345		1.531	534	2.157	5	4.219	-92

Fuente: Elaboración propia a partir de SQM (2022)

Durante el periodo operacional las descargas son incrementadas por las extracciones de agua en la cuenca por las distintas empresas, observándose principalmente en la zona Este por las extracciones de SQM y en la zona Sur por el bombeo de Albemarle, CMZ y MEL.

La información recopilada muestra que los aportes de entradas del flujo de agua hacia el sistema de salmuera se generan desde el norte, sur y oeste. El estudio SQM (2022) estima la disponibilidad para la zona Norte – Salmuera de 299 L/s, Para la zona sur se divide en el área de Peine y Tilopozo, obteniéndose para el periodo operacional para Peine de 36 L/s, mientras que Tilopozo de 204 L/s,. Al comparar los balances de este sistema con el periodo

preoperacional (Tabla 7) la zona de Tilopozo sufre una disminución de los valores, y la zona oeste muestra un ingreso de 146 L/s hacia la zona de salmuera.

Tabla 7. Resumen de las recargas y descargas del balance de agua en el periodo operacional.

Sector	Zonas de Balance de Agua	Recarga (L/s)				Descarga (L/s)				Balance (L/s)	
		Recarga Directa	Recarga Lateral	Escorrentía	Recarga desde otras Zonas	Evaporación desde el acuífero	Evaporación Lámina Libre	Evapotranspiración	Extracciones	Disponible para descarga hacia otras zonas	Variación de Almacenamiento
Norte	Alta-Norte-Agua	297	150	1.750		0	8	294	0	1.895	0
	Media-Norte-Agua	282	0	105	1.895	259	321	1.402	0	299	0
Este	Alta-Este-Agua	84	46	644		0	0	191	0	583	0
	Media-Este-Agua	111	0	56	583	674	40	127	124	0	-216
Sur	Alta-Sur Peine-Agua	39	14	184		0	34	33	0	169	0
	Media-Sur Peine-Agua	38	0	15	169	84	40	62	0	36	0
	Alta-Sur Tilopozo-Agua	227	27	498		3	20	11	0	719	0
	Media-Sur Tilopozo-Agua	11	0	8	719	407	42	35	51	204	0
Oeste	Alta-Oeste-Agua	63	3	55		0	0	0	0	122	0
	Media-Oeste-Agua	125	1	31	122	104	28	1	0	146	0
Total		1.278	242	3.345		1.531	534	2.157	175	4.173	-216

Fuente: Elaboración propia a partir de SQM (2022)

● Balance de Salmuera

El balance de la salmuera comprende la zona del núcleo más la parte de la zona marginal – salmuera (parte interior de la interfaz). En este sistema las entradas son controladas por las recargas directas y los aportes desde la zona media. Al igual que el apartado de balance de aguas, se puede dividir el balance de la salmuera en dos partes, el periodo preoperacional y el periodo operacional.

En el periodo preoperacional (Tabla 6.8) la variación de almacenamiento es negativa de - 105 L/s, según el estudio de SQM (2022) indicaría que esta variación puede ser explicada por las extracciones de SCL.

Tabla 8. Resumen del balance de salmuera en el periodo preoperacional.

Recarga (L/s)				Descarga (L/s)				Balance (L/s)
Recarga Directa	Recarga Lateral	Escorrentía	Recarga Lateral desde la zonas de Aguas	Evaporación desde el acuífero	Evaporación Lámina Libre	Evapotranspiración	Extracciones	Variación de Almacenamiento
256	0	19	731	983	82	0	46	-105

Fuente: Elaboración propia a partir de SQM (2022)

En el periodo operacional (Tabla 9) el balance de la salmuera tiene un balance negativo de un orden de -660 L/s. Este es producido por el aumento de las extracciones del núcleo. En el periodo preoperacional las extracciones eran de 46 L/s, incrementando a 1249 L/s en el periodo operacional. Estudio de SQM (2022) indica que el aumento de las extracciones es amortiguado en cierta medida con la disminución de la evaporación desde el acuífero en la zonas de la salmuera, ya que las extracciones de salmuera generan que los niveles piezométricos del núcleo disminuyen generando la disminución de la evaporación.

Las recargas naturales en la zona del núcleo se ven reducidas debido a la instalación de las pozas de evaporación, sin embargo, existe un proceso de recarga antrópica debido a las pérdidas de las pozas de evaporación y por la reinyección de la salmuera al sistema del núcleo. Esta reinyección supera la magnitud de pérdida de la recarga natural.

Tabla 9. Resumen del balance de salmuera en el periodo operacional

Recarga (L/s)					Descarga (L/s)				Balance (L/s)
Recarga Directa	Recarga Lateral	Escorrentía	Recarga Lateral desde la zonas de Aguas	Reinyección	Evaporación desde el acuífero	Evaporación Lámina Libre	Evapotranspiración	Extracciones	Variación de Almacenamiento
247	0	19	685	248	557	82	0	1219	-658

Fuente: Elaboración propia a partir de SQM (2022)

- **Balance Hídrico de la cuenca endorreica Entre Fronterizas y Salar de Atacama**

La información presentada en este capítulo corresponde a un resumen del balance hídrico realizado en el estudio Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca Endorreica Entre Fronterizas y Salar de Atacama (DGA, 2022a). Se mostrará parte de los resultados obtenidos para la situación actual que responde al periodo histórico entre abril 1980 a marzo 2020, con un modelo calibrado y validado sin mayores cambios. Este estudio establece diversos parámetros para regular la respuesta a distintos flujos hidrológicos, estos flujos son: 1) afloramientos; 2) recarga lateral; 3) recarga directa; 4) evaporación desde acuíferos someros y 6) descargas de agua desde el sistema de cuenca Endorreica hacia el Salar de Atacama.

Dentro de la modelación de simulación histórica se consideran los datos de escorrentía superficial del Salar de Aguas Calientes para la calibración del modelo y la validación del modelo. El balance de aguas obtenido por el estudio DGA (2022b) estableció la partición hidrológica entre las entradas y las salidas de agua desde las cuencas Endorreicas. Los flujos de recarga son agrupados en procesos de recarga directa y de recarga lateral o afloramientos desde los acuíferos poco profundos. Las variaciones mensuales de los flujos estimados de las recargas fluctúan entre 44,4 L/s y 245,3 L/s para las cuencas Endorreicas.

La cuenca de estudio tiene un régimen de orden natural, donde no hay obras construidas, y tampoco hay población residente en la zona (DGA, 2022b). En la cuenca existen derechos

de aprovechamiento de aguas otorgados a mineras y comunidades locales, sin embargo, no existen derechos de aguas que estén actualmente explotados (DGA, 2022b). El balance hídrico anual (Tabla 6.10) en las Cuencas Endorreica fue calculado con el promedio anual de los valores promedio mensuales y agregados proveniente de las unidades hidrológicas disponibles del Modelo WEAP (Más detalle revisar estudio DGA (2022b)). La construcción del modelo WEAP permite simular y evaluar la dinámica hidrológica de los flujos superficiales de las cuencas Endorreicas estudiadas, además, considera la información de los Salares y las Lagunas existentes en cada cuenca para la estimación del balance hídrico (DGA 2022b)

Tabla 10. Volúmenes promedio de entrada y de salida de la cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama

Entrada	Volumen Promedio (m3/mes)	Salida	Volumen Promedio (m3/mes)
Recarga desde Lagunas Salares	214.406,690	Descarga hacia Salar de Atacama	1.361.458,060
Recarga Directa desde Lluvias	226.261,170	Evaporación	2.159.349,208
Recarga Lateral desde Lluvias	156.626,340	Descarga hacia Lagunas	2.731.346,944
Escorrentía Superficial	137.228,742	Descarga hacia otros sistemas salares	2.211.219,345
Flujo Regional de Entrada a Acuíferos	114.519.947,580	Afloramientos	3.964.880,142
		Flujo Regional de Salida Acuíferos	102.748.358,330
Total Entradas	115.254.470,522	Total Salidas	115.176.612,029

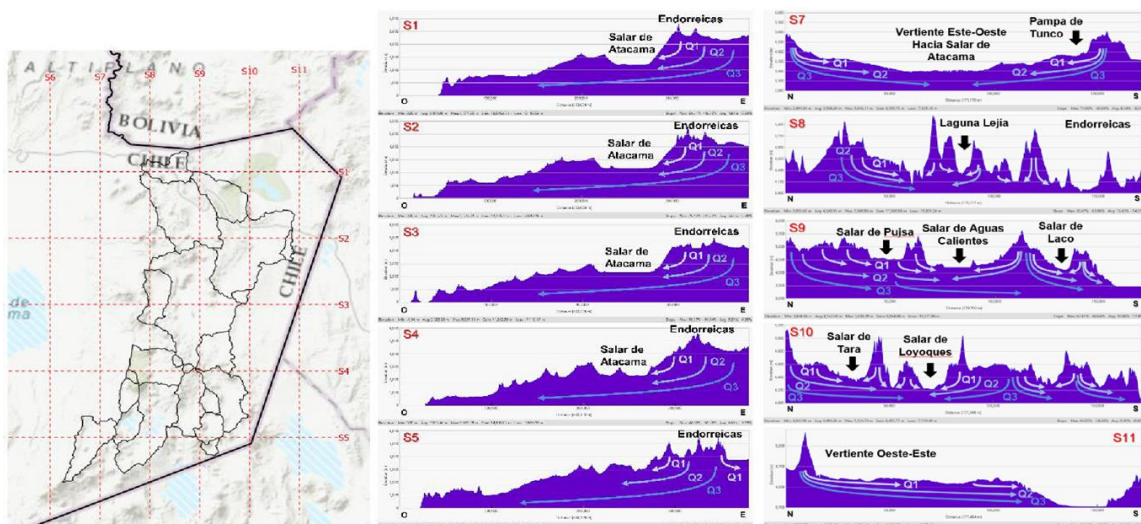
Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2022a,b)

La construcción, implementación y validación de este modelo WEAP consideran diversas fuentes con datos hidro-climatológicos instrumentales, y productos grillados (más detalle revisar DGA, 2022b). Aún con existencia de algunos datos para la determinación del modelado y el balance hídrico, existen limitaciones debido a la cantidad de datos observados disponibles para la realización de la modelación en estas cuencas endorreicas. En la zona solo existe una sola estación pluviométrica, la estación Paso Sico (DGA, 2022b), esta estación junto a estaciones fuera de la cuenca fueron usadas para el proceso de modelado (corrección de sesgo) de los datos climatológicos.

No existen simulaciones previas de las cuencas endorreicas a partir de un modelo WEAP. Aun así, existen simulaciones de los flujos y de los volúmenes de agua subterránea desde los acuíferos regionales, sin embargo, no toda la información está disponible, ya que son pertenecientes a entes privados. El estudio de DGA (2022a,b) utiliza los datos del Balance Hídrico Nacional del estudio DGA (2018) para poder construir parte del sistema de modelación.

El modelo conceptual de los flujos regionales (Figura 6.12) fue determinado mediante la caracterización de los flujos de aguas superficiales y subterráneas asociadas al funcionamiento hidrogeológico de la Región de Antofagasta. Las cuencas Endorreicas se encuentran emplazadas en un área de recarga donde los flujos regionales descargan en las zonas bajas, en la parte oeste de la región. En estas cuencas Endorreicas el flujo regional tiene un dominado gradiente hidráulico de sentido norte – sur, sin embargo, debe tenerse en consideración la presencia de capas impermeables y estructuras geológicas regionales que pueden influir sobre los flujos subterráneos y subsuperficiales locales (DGA, 2022b).

Figura 15. Modelo conceptual de los flujos regionales obtenido del análisis de perfiles morfométricos de secciones transversales realizadas en las cuencas endorreicas.



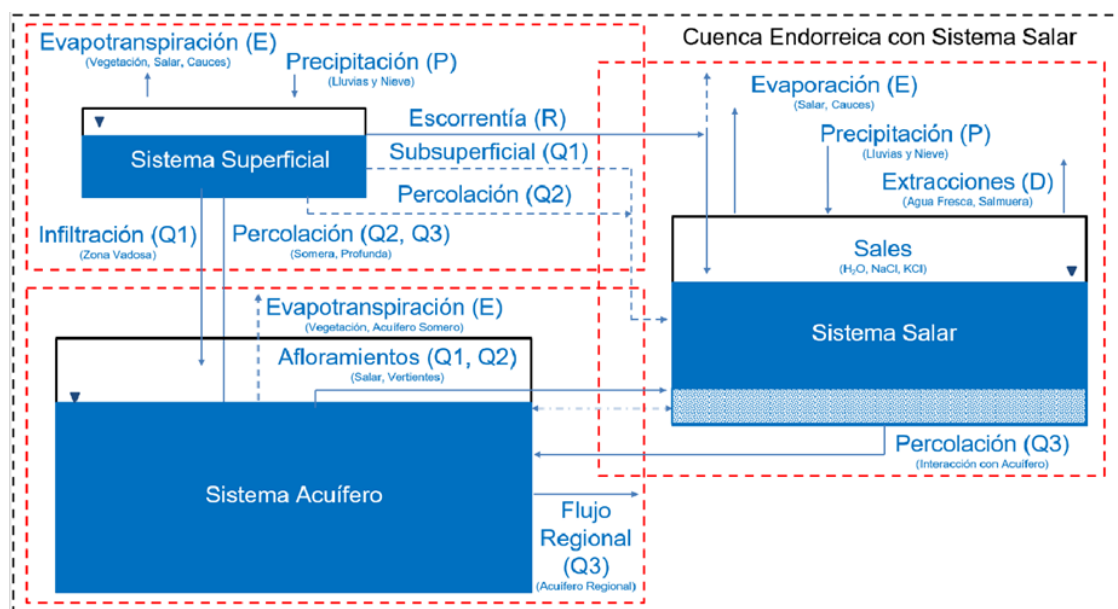
Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2022 b)

Una gran dificultad para la realización del modelado hidrológico ,y por consiguiente, el balance hídrico, es la simulación de los procesos hidrológicos de las lagunas o los salares,

ya que se deben hacer supuestos generales para la simulación del modelo hidrológico WEAP en los procesos hidrológicos dominantes (Figura 16) de las cuencas endorreicas. A continuación se muestra un resumen de los supuestos realizados por el estudio DGA (2022a,b):

- Existencia de una interacción hidrogeológica entre el sistema superficial, sistema acuífero y los salares.
- El sistema superficial tiene flujos de escorrentías superficiales, y flujos subsuperficiales, como lo es la infiltración, la percolación somera y profunda.
- Los acuíferos descargan hacia los salares como afloramientos.
- Los acuíferos también descargan por flujos de evapotranspiración desde el acuífero somero, existe una dominancia de vegetación que junto a la altas tasas de radiación neta generan estos procesos de evapotranspiración.
- Los salares interactúan directamente con el sistema acuífero por procesos de percolación a través de la descarga del salar y los flujos de afloramientos como recargas hacia el salar.
- Los procesos hidrológicos e hidrogeológicos están dominados por un componente climático, incluyendo los procesos de evapotranspiración y la precipitación (agua y/o nieve).

Figura 16. Conceptualización del Sistema Cuencas Endorreica, Salar y Acuífero para la implementación del modelo WEAP



Fuente: Elaboración propia a partir de DGA (2022 b)

La modelación de la simulación inicial para la cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama tuvo resultados razonables, estos simulan de forma realista la estacionalidad de la escorrentía superficial y del balance de aguas de la cuenca. Se indica que la escorrentía superficial se activa durante los meses de mayor acumulación de lluvias (octubre o noviembre) y continúa hasta marzo o abril del año siguiente. Estas variaciones muestran períodos de secamiento entre los meses de mayo a septiembre, con posibles reactivaciones por la generación de tormentas en la época de invierno, siendo menos frecuentes.

6.2. Institucionalidad del Agua

El propósito central del siguiente capítulo radica en una exploración de las instituciones que desempeñan un papel crucial en relación con la gestión del agua a nivel internacional, nacional y comunal. Tomando en cuenta, que su identificación puede influir en la recopilación de de datos, identificación de medidas de adaptación, y la formulación de políticas y lineamientos territoriales que buscan uso eficiente y sostenible del recurso hídrico en la comuna.

De este modo, el abordaje de esta temática es esencial, ya que estas instituciones no solo constituyen pilares fundamentales en la toma de decisiones, sino que también ejercen una influencia directa en diversos aspectos vinculados con el recurso hídrico en la comuna de San Pedro de Atacama.

6.2.1. Marco internacional, nacional, regional y comunal sobre agua

Actualmente existen variados organismos, tanto públicos como privados, que tienen algún grado de injerencia en el uso de agua en Chile. A continuación se hará alusión a los organismos y sus programas a nivel internacional, nacional, regional y comunal que se encuentran mayormente presentes en torno a la temática del agua, su gestión, distribución y uso sustentable, en la comuna de San Pedro de Atacama (Boettinger, 2022).

En base a lo anterior, los organismos se clasifican en los diferentes niveles de acuerdo con las percepciones obtenidas en las entrevistas a los actores claves, lo que refleja cómo los habitantes vinculados con la temática del agua valoran la incidencia de las instituciones en las diferentes categorizaciones territoriales.

Es importante mencionar que la clasificación puede variar según el contexto y las interacciones que los habitantes tengan con las instituciones que se presentarán a continuación.

- **Marco internacional**

Para comenzar, a nivel mundial, se identifica la Asamblea General de las Naciones Unidas, la cual está compuesta por representantes de todos los Estados miembros de la ONU. Se trata del organismo encargado de adoptar y aprobar la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que incluye los 17 ODS. La temática del agua es de gran importancia para las Naciones Unidas, y la organización ha estado trabajando activamente en diversas iniciativas relacionadas con la gestión sostenible del agua (Rodríguez & Alvarado, 2018).

En este caso, un programa relevante en temática de agua son los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que tienen como fin abordar los desafíos globales y promover un desarrollo sostenible en todo el mundo. De estos, el ODS 6, que se centra en agua y saneamiento, busca garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos y todas. Algunos de los principales puntos y metas incluyen el acceso universal al agua potable, saneamiento adecuado y seguro, gestión sostenible de los recursos hídricos y cooperación internacional para fortalecer temas relacionados al agua (Rodríguez & Alvarado, 2018).

Al alcanzar las metas del ODS 6, se puede mejorar significativamente el acceso al agua potable y el saneamiento básico, lo que impactaría de manera positiva en la salud, la educación, la igualdad de género y el desarrollo sostenible en general (Ministerio de Desarrollo Social y Familia, 2023).

Por otro lado, se encuentra la división de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) la cual maneja un programa dedicado al agua y la agricultura, promoviendo prácticas sostenibles de gestión del agua en el sector agrícola y rural. Es una agencia especializada que tiene como objetivo principal erradicar el hambre, promover la seguridad alimentaria y mejorar la nutrición a nivel mundial (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, 2022).

La FAO trabaja en estrecha colaboración con gobiernos, organizaciones de la sociedad civil, el sector privado y otras agencias de las Naciones Unidas, para abordar los desafíos

relacionados con la alimentación, la agricultura y, por consiguiente, el agua. Sus áreas de enfoque incluyen la producción agrícola sostenible, la seguridad alimentaria, la gestión de recursos naturales, la lucha contra la malnutrición, la pesca y la acuicultura, entre otras. De este modo, las actividades se centran en proporcionar asistencia técnica, desarrollar políticas y programas, realizar investigaciones, recopilar y analizar datos, y promover la colaboración internacional en el ámbito de la alimentación y la agricultura (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, 2022).

- **Marco nacional**

En el contexto nacional, el ordenamiento jurídico reconoce una serie de organismos públicos y privados con incidencia, directa e indirecta, en la gestión de los recursos hídricos. Estamos en presencia de una estructura legal que organiza la gestión del agua, entendiendo que es un proceso que pretende controlar el ciclo de un recurso natural que se manifiesta de forma errática o aleatoria en el tiempo y sobre la superficie, y que pretende la prevención y solución de conflictos entre los diferentes usuarios, así como entre ellos y su entorno (Dourojeanni, 1993)

Desde el punto de vista de la Administración Pública, previo a la descripción de la orgánica funcional del agua, debemos destacar que la Ley de Bases Generales de la Administración del Estado (LBGAE) “Ley n° 18.575, artículo 3 inciso 2°” prescribe que los órganos de la Administración deben actuar en coordinación.

La coordinación en el actuar de la Administración es un principio general, de aquellos denominados principios funcionales (Caldera, 1987). Aún no siendo un principio de carácter jurídico, es reconocido por el legislador, por cuanto importa la disposición metódica y racional de las actividades desplegadas por los organismos públicos, individualmente y en conjunto, para el cumplimiento más eficiente y eficaz de las potestades públicas asignadas por ley.

Este principio pretende evitar que la Administración realice duplicidad de esfuerzos y gasto público, lo que a la posta perjudica la satisfacción del interés general, alterando muchas veces la actividad de otros organismos públicos en el ejercicio de sus facultades o incluso

perturbando la actividad desarrollada por privados que el legislador ha reconocido con potestades con incidencia en la gestión de los recursos hídricos.

Por lo demás, debemos considerar las características generales que presenta nuestra legislación de aguas (Rojas, 2016). La primera de ellas es considerar, desde el punto de vista legal, a las aguas como un bien nacional de uso público, es decir, aquellos que pertenecen a toda la nación. En segundo lugar, respecto de dichos bienes, se otorga por vía administrativa un derecho de aprovechamiento, y por tanto, una titularidad privada respecto del título que habilita para el uso y goce del recurso. En tercer lugar, en cuanto al derecho de aprovechamiento, existe una libre disponibilidad y transferibilidad de éstos, de la misma forma en que se trata cualquier bien de naturaleza privada. Una cuarta característica, relevante en la gestión del agua, es la proporcionalidad que debe existir en el reparto, se trata de atender a la cuestión de la medida o canon que, de modo general, corresponde utilizar para la entrega o reparto de las aguas. Relacionado directamente con la proporcionalidad del reparto tenemos la característica de unidad de corriente, cuestión que nuestra legislación incorpora desde 1951 y que, dentro de tantas cosas, permite el manejo integrado de las cuencas. Finalmente, como última característica, la administración de las aguas tiene naturaleza dual, tanto la Administración Pública como los particulares participan de ella, aunque hay una triple dominación del agua: Estado, sociedad y mercado (Vergara, 2014). Desde otro punto de vista podemos afirmar que se trata de la gobernanza del agua.

A nivel nacional, se encuentra el Ministerio de Obras Públicas (MOP) creado durante el año 1888, marcando un hito en el inicio de la infraestructura moderna en el país, en términos de institucionalización y profesionalización de las obras públicas. Se estableció un enfoque más sistemático y racional en la planificación y ejecución de proyectos. Con el objetivo de unificar y homogeneizar las instituciones, se desarrollaron diseños estándar para diversos edificios públicos, como escuelas, cárceles, diques, malecones, faros, muelles, entre otros (Loyola, 2011).

Por consiguiente, es un organismo del Estado de Chile responsable de la planificación, desarrollo y ejecución de proyectos de infraestructura y obras públicas en el país. El MOP desempeña un papel fundamental en la gestión de los recursos hídricos en el país, incluyendo la formulación de políticas y la implementación de medidas para la gestión sustentable del agua.

Dentro de la estructura orgánica de éste ministerio, surge la Dirección General de Aguas, Dirección de Obras Hidráulicas, Superintendencia de Servicios Sanitarios e Instituto Nacional de Hidráulica. En este caso, se tomará en consideración la Dirección General de Aguas (DGA) y la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) en Chile, organismos públicos que se encuentran bajo la dependencia del Ministerio de Obras Públicas (MOP).

La Dirección General de Aguas (DGA), entidad encargada de promover la gestión y control de las aguas en Chile, supervisando su uso y distribución de acuerdo con las disposiciones establecidas en el Código de Aguas. Entre sus funciones principales se encuentran la entrega y fiscalización de derechos de agua, la gestión de las cuencas hidrográficas, la protección de los recursos hídricos y la planificación del uso del agua (Ministerio de Obras Públicas, 2023). En esencia, le corresponde a la DGA la asignación de los derechos de aprovechamiento de aguas.

En este modelo de administración, la facultad administrativa a nivel nacional es la Dirección General de Aguas (DGA), cuyas potestades consisten en (Vergara, 2014):

- 1) Planificar el desarrollo del recurso hídrico en las fuentes naturales, formulando recomendaciones para su aprovechamiento;
- 2) Investigar y medir el recurso hídrico;
- 3) Ejercer la fiscalización de las aguas en los cauces naturales de uso público;
- 4) Autorizar, en su caso, la construcción, modificación y destrucción de todo tipo de obras en los cauces naturales de uso público;
- 5) Cuando no existan Juntas de Vigilancia legalmente constituidas, deberá impedir que se extraigan sín título o en mayor cantidad de lo que corresponde, aguas de los cauces naturales de uso público;
- 6) Supervigilar el funcionamiento de las organizaciones de usuarios.

Por otra parte, dentro de la orgánica del Ministerio de Obras Públicas, en paralelo a la DGA, se encuentra la Dirección General de Obras Hidráulicas (DOH), cuya misión es proveer los servicios de infraestructura hidráulica que permitan el óptimo aprovechamiento del agua y protección del territorio y de las personas (Dirección de Obras Hidráulicas, 2023).

En concreto, respecto de la DOH nos interesan aquellas funciones que la normativa le ordena en torno a la gestión del agua:

- 1) La realización del estudio, proyección, construcción, reparación y explotación de obras de riego que se realicen con fondos fiscales (DFL 850 Ministerio de Obras Públicas, 1998)
- 2) Solicitar el otorgamiento de los correspondientes derechos de aprovechamiento de agua, permanentes o eventuales, que requieran las obras de riego financiadas con fondos fiscales (DFL 1123 Ministerio de Justicia, 1981)
- 3) La realización de obras de saneamiento y recuperación de terrenos que se ejecuten con fondos fiscales (DFL 850 Ministerio de Obras Públicas, 1998)
- 4) Disponer de la contratación para la realización de las obras a que den lugar las disposiciones contenidas en la ley 19.525 que regula los Sistemas de Evacuación y Drenajes de Aguas Lluvias (Ley 19.525, 1997)

Fuera de la estructura orgánica del Ministerio de Obras Públicas, pero bajo la supervigilancia de éste, tenemos la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). Órgano administrativo que ejerce principalmente función de policía administrativa, correspondiéndole la fiscalización de los prestadores de servicios sanitarios; del cumplimiento de las normas relativas a servicios sanitarios y el control de residuos líquidos industriales que se encuentren vinculados a las prestaciones o servicios de las empresas sanitarias (Ley 18.902, 1990).

También le corresponde a la SISS fiscalizar que las empresas sanitarias cumplan con los requisitos y condiciones exigidas por normativa de descarga de Residuos Industriales Líquidos (RILES), así como atender las denuncias o situaciones ambientales relativas al incumplimiento, y las respectivas sanciones asociadas al incumplimiento (Ley n° 18.902, 1990).

Otra función relevante que cumple la SISS es participar en la evaluación ambiental de los proyectos de saneamiento ambiental vinculados a la prestación de servicios sanitarios, y de aquellos proyectos cuyos residuos líquidos se dispongan en redes de alcantarillado o tengan alguna vinculación con los servicios de empresas sanitarias (Ley n° 19.300, 1994).

Otro organismo público de incidencia en la gestión del agua a nivel nacional, que ejerce competencia en San Pedro de Atacama, es la Comisión Nacional de Riego (CNR), creada en 1975 por Decreto Ley n° 1.172, cuyo objetivo es asegurar el incremento y mejoramiento de la superficie regada del país, mediante la Política Nacional de Riego que, a través de

programas, proyectos e instrumentos de fomento al riego y drenaje, contribuya al uso eficiente del recurso hídrico en la agricultura, a la seguridad hídrica alimentaria y a la participación de agricultores en forma diferenciada de acuerdo a sus realidades y diversidad.

Para el cumplimiento de dichos fines, la legislación orgánica de la CNR le asigna varias potestades:

- 1) La planificación, el estudio y la elaboración de proyectos integrales de riego, así como la evaluación de proyectos de esta índole que le sean presentados;
- 2) La supervigilancia, coordinación y complementación de la labor de los distintos organismos públicos y privados que intervienen en la construcción, destinación y explotación de obras de riego;
- 3) Adoptar los acuerdos que sean necesarios para asegurar el incremento y mejoramiento de la superficie regada del país, así como implementarlos a través de los distintos Ministerios;
- 4) Evaluar y aprobar previamente las obras de riego que se ejecuten con fondos fiscales.

Determinante es el rol que juega la CNR en la gestión de los recursos hídricos, por cuanto determina la estrategia de volúmenes de agua que serán destinados al riego y los productos que se benefician, así como las aguas que serán utilizadas y lo que se hace con ellas después de su uso.

Por otra parte, la reforma agraria del año 1967 (Ley 16.640, 1967), dentro de las modificaciones e innovaciones legales, introduce un nuevo organismo público, el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), cuyo objeto es contribuir al desarrollo agropecuario del país, mediante la protección, mantención e incremento de la salud animal y vegetal; la protección y conservación de los recursos naturales renovables que inciden en el ámbito de la producción agropecuaria del país y el control de insumos y productos agropecuarios sujetos a regulación en normas legales y reglamentarias.

Para cumplir su cometido, el ordenamiento jurídico le asigna una serie de potestades, que permiten a éste organismo público intervenga en la prevención y control de contaminación de las aguas que pueda generar la actividad agropecuaria y la introducción al país de productos relacionados, así como también la conservación de la calidad de las aguas, los

suelos, la flora y la fauna que conforman ecosistemas y sistemas acuáticos. Dentro de dichas potestades destacamos (Ley n° 18.755, 1989):

- 1) Aplicar y fiscalizar el cumplimiento de las normas legales y reglamentarias sobre contaminación de los recursos agropecuarios y protección de la flora del mismo ámbito y de la fauna terrestre bravía, cuyo hábitat esté en los ríos y lagos.
- 2) Promover las medidas tendientes a asegurar la conservación de los suelos y aguas que eviten la erosión de éstos y mejoren su fertilidad y drenaje. Debe promover, además, las iniciativas tendientes a la conservación de las aguas y al mejoramiento de la extracción, conducción y utilización del recurso, con fines agropecuarios. Junto con ello, debe regular y administrar la provisión de incentivos que faciliten la incorporación de prácticas de conservación en el uso de los suelos, aguas y vegetación;
- 3) Restringir, mediante resolución fundada del Director Nacional, el uso o aplicación de agroquímicos en determinadas áreas de zonas agroecológicas del país, cuando ello perjudique la salud animal o vegetal, o la conservación de los recursos naturales renovables.

Un organismo extraño -por su naturaleza jurídica- dentro de la orgánica administrativa nacional es la Corporación Nacional Forestal (CONAF), creada en 1973, como una persona jurídica de derecho privado dependiente del Ministerio de Agricultura.

Las funciones asignadas a esta corporación están encaminadas a contribuir al manejo sustentable de los bosques nativos, mediante la función de fomento; la fiscalización del cumplimiento de la normativa forestal y ambiental, así como la conservación y protección de la diversidad biológica a través del Sistema Nacional de Áreas Protegidas. Con lo anterior, CONAF debe promover políticas vinculadas a la gestión integrada de los recursos hídricos, así como la protección de los Caudales Ecológicos Mínimos.

Cabe destacar que CONAF será reemplazado por un nuevo organismo público, el Servicio Nacional de Biodiversidad y Áreas Protegidas, que se encuentra actualmente *ad portas* de ser promulgado como ley de la República (Senado, 2023).

El esencial cuerpo normativo en la materia es el Código de Aguas, el cual es el principal marco normativo en materia de agua en el país y, con ello, el marco legal que regula la

gestión y administración de los recursos hídricos en Chile. Establece los derechos de agua, los procedimientos para su otorgamiento, transferencia y caducidad, así como mecanismos de fiscalización y sanciones (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2021).

La normativa en cuestión, promulgada en 1981 y aún en vigor, fue implementada en un contexto en el cual la gran mayoría de las aguas superficiales disponibles durante la temporada seca ya se encontraban asignadas. Esto se debió a que la asignación de derechos de agua negociables había comenzado en 1975, coincidiendo con el proceso de reprivatización de tierras que siguió a la profunda reforma agraria. El propósito fundamental de la ley de 1981 era fortalecer los derechos de propiedad sobre el recurso hídrico. La asignación inicial de los derechos de agua se basó tanto en el uso previo de los mismos como en una redistribución que, hasta ese momento, había estado excesivamente concentrada. Según estimaciones, aproximadamente el 40% de los derechos de agua se asignaron considerando su utilización anterior, mientras que el 60% restante se otorgó a los beneficiarios de la reforma agraria (Muchnik, Luraschi & Maldini, 1997).

El Código de Aguas de 1981 fue acorde con las políticas económicas que se implementaban en el país, las cuales promovían el libre mercado y el libre comercio. Su objetivo principal estaba relacionado con asegurar un crecimiento económico a través de una asignación eficiente de los recursos. En este sentido, el código establecía un mecanismo en el cual, si no había suficiente agua para satisfacer todas las demandas, se recurría a un proceso de subasta entre los interesados, donde aquel que estuviera dispuesto a pagar más obtendría los derechos de agua. De esta manera, la reasignación se llevaba a cabo mediante la libre transferencia de derechos, como afirmó Muchnik, Luraschi & Maldini (1997).

El Código de Aguas define el derecho de aprovechamiento como un derecho real, es decir, es un derecho que se tiene sobre una cosa, sin respecto a determinada persona. Siguiendo a Atria, si la lógica que justifica el uso privativo que implica el derecho de aprovechamiento de las aguas es que este sea compatible con su contenido público, entonces habrá que entender que la decisión legislativa recurrió a la técnica de derechos privados de aprovechamiento para realizar el contenido público del agua. Pero esto implica que los derechos de dominio sobre los derechos de aprovechamiento son manifestaciones de una lógica regulatoria que atiende a las características especiales del agua como bien nacional de uso público (Atria y Salgado, 2016).

La propiedad de los derechos de aprovechamiento de agua es completamente independiente de los derechos de propiedad de la tierra y se les reconoce la capacidad de ser transados, transferidos y transmitidos sin restricciones. Estos derechos gozan de un estatus de propiedad privada que está respaldado por los derechos de propiedad establecidos en el Código Civil. Así, se otorgan a través de un sistema de concesiones, donde se asigna un volumen específico de agua a una persona, empresa o entidad para un uso determinado. Estos otorgamientos de derechos se obtienen a través de la Dirección General de Aguas (DGA), que es la institución encargada de administrar y regular el recurso hídrico en el país (Boettinger, 2022).

Es importante destacar que los derechos de agua en Chile pueden ser objeto de compra, venta y transferencia, lo que permite a los titulares de los derechos negociar y comercializar el agua. Sin embargo, es necesario cumplir con ciertos requisitos y regulaciones establecidos por la DGA para llevar a cabo estas transacciones (Muchnik, Luraschi & Maldin, 1997).

Por añadidura, desde la Dirección General de Aguas emerge la Estrategia Nacional de Recursos Hídricos como un marco estratégico que establece principios, objetivos y lineamientos para la gestión integrada y sustentable de los recursos hídricos en Chile. Proporcionando una visión estratégica a largo plazo y guiando la toma de decisiones en materia de agua a nivel nacional (Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2022).

En especial consideración de la realidad chilena y los efectos derivados del cambio climático, se hizo necesario tomar medidas tanto en el corto, como en el mediano y largo plazo para poder absorber el aumento de la demanda de agua que se espera ocurra progresivamente durante los próximos años (Ministerio de Obras Públicas, 2023).

Así, se proponen medidas bajo una visión mancomunada de los distintos intereses en torno al agua para asegurar, tanto a la actual como a las futuras generaciones, el acceso a este vital elemento, un medioambiente libre de contaminación y, a su vez, potenciar el desarrollo económico y sostenible de las actividades económicas que demandan este recurso (Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2022).

La planificación y sus instrumentos de aplicación, como los planes de adaptación, son herramientas fundamentales para abordar los desafíos de la adaptación a distintas escalas

espaciales y sectoriales. Sin embargo, su uso real todavía es limitado y su aplicación es desigual, especialmente en América Latina. Solo unos pocos países han iniciado el desarrollo de este tipo de herramientas, y aunque se han realizado esfuerzos en países como Chile, aún existen vacíos y brechas importantes para aprovechar todo su potencial (Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2022).

Con el objetivo de avanzar en este ámbito, se llevó a cabo un proceso participativo a lo largo del año 2023, en el cual se realizaron talleres con la comunidad científica. Como resultado de este proceso, se generó una propuesta de lineamientos para el diseño, implementación y seguimiento de planes de adaptación. Además, estos lineamientos fueron puestos en práctica mediante un ejercicio hipotético de desarrollo de un Plan de Adaptación al Cambio Climático (PACC) para los Recursos Hídricos.

Este enfoque participativo y la implementación práctica permitieron dar pasos concretos hacia el fortalecimiento de la planificación de la adaptación en Chile y potencialmente en otros contextos similares. Sin embargo, aún queda trabajo por hacer para superar los desafíos y aprovechar plenamente el potencial de los planes de adaptación en la región (Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, 2023).

En su complemento, en lo que respecta a la gestión de los propios recursos hídricos, se encuentra el Plan Nacional de Recursos Hídricos, un instrumento de planificación que define las políticas y acciones prioritarias para la gestión de los recursos hídricos en Chile, estableciendo estrategias para enfrentar los desafíos asociados a la escasez hídrica, la calidad del agua, el cambio climático y la participación ciudadana (Ministerio de Obras Públicas, 2012). Este plan tiene como objetivo principal establecer una visión estratégica y una hoja de ruta para la gestión integrada y sustentable de los recursos hídricos en el país (Comité Científico COP 25, s/f).

En resumen, en el año 2004, cuando se creó el Plan Nacional de Recursos Hídricos, se vivía una época marcada por la escasez hídrica, los conflictos por el agua, la necesidad de fortalecer la legislación y la institucionalidad, y el impulso de la participación ciudadana en la gestión del agua. El plan fue diseñado como una respuesta integral a estos desafíos y como un marco para una mejor gestión y planificación de los recursos hídricos en el país (Comité Científico COP 25 Chile, s/f).

Por otro lado, desde el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación y Ministerio de Medio Ambiente en colaboración con el Comité Científico COP 25 Chile, surgen los Lineamientos para el desarrollo de planes de adaptación al cambio climático: Aplicación a los recursos hídricos. Este documento genera una propuesta de lineamientos para el diseño, implementación y seguimiento de planes de adaptación, la que además fue implementada de manera práctica en un ejercicio hipotético de desarrollo de un Plan de Adaptación al Cambio Climático (PACC) para los Recursos Hídricos (Comité Científico COP 25 Chile, s/f).

En complemento a las instituciones anteriormente mencionadas, se encuentra el Ministerio de Agricultura de Chile, el cual está encargado de formular, coordinar y ejecutar las políticas relacionadas con el sector agropecuario y forestal del país. Su misión es promover y fomentar el desarrollo sostenible de la agricultura, ganadería, pesca, acuicultura y silvicultura en Chile. Dicha institucionalidad tiene una estrecha relación con la temática del agua, ya que el agua es un recurso fundamental para la actividad agrícola y ganadera. A través de su rol en la gestión del sector agropecuario, el Ministerio aborda diversas cuestiones relacionadas con el agua, incluyendo su disponibilidad, uso eficiente y manejo sustentable.

Asimismo, se encuentra el Ministerio de Salud (MINSAL), organismo que tiene como objetivo formular, coordinar y ejecutar las políticas y acciones relacionadas con la salud de la población chilena. Su principal objetivo es promover y proteger la salud de los ciudadanos, así como regular y supervisar el sistema de salud en el país. Dentro de sus funciones el MINSAL debe emitir directrices para el establecimiento de Programas de Vigilancia Regional para el monitoreo de las normas primarias de calidad de las aguas, lo que tiene directa relación con los niveles aceptados para el consumo de la población (Decreto N° 143 Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 2008). Estas acciones buscan asegurar que el agua destinada al consumo humano sea segura y esté libre de contaminantes que puedan representar un riesgo para la salud.

Por añadidura, el Ministerio de Medio Ambiente de Chile es el organismo encargado de formular, coordinar y ejecutar las políticas y acciones relacionadas con la protección y conservación del medio ambiente en el país. Su labor contribuye a garantizar la disponibilidad y calidad del agua, así como a preservar los ecosistemas acuáticos para el

bienestar de la población y el equilibrio del medio ambiente. En cuanto a su relación con el agua, el Ministerio de Medio Ambiente tiene diversas responsabilidades y acciones relacionadas: gestión y protección de recursos hídricos, conservación de ecosistemas acuáticos, calidad del agua y saneamiento, adaptación al cambio climático, educación y sensibilización ambiental.

Sometido a la supervigilancia del Ministerio del Medio Ambiente se nos presenta un organismo importante como es el Servicio de Evaluación Ambiental, cuyas funciones inciden de manera directa en la gestión del recurso hídrico, por cuanto debe evaluar todos aquellos proyectos que tienen repercusión ambiental. Para ello establece una serie de condiciones de operación necesarias para asegurar el cumplimiento de la legislación ambiental a través de la Resolución de Calificación Ambiental.

La Ley 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente, en su artículo 10, prescribe aquellos proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental relacionados directamente con el recurso agua, a saber:

- 1) Acueductos, embalses o tranques y sifones que deban someterse a la autorización establecida en el artículo 294 del Código de Aguas, presas, drenaje, desecación, dragado, defensa o alteración, significativos, de cuerpos o cursos naturales de aguas;
- 2) Proyectos de desarrollo minero, incluidos los de carbón, petróleo y gas comprendiendo las prospecciones, explotaciones, plantas procesadoras y disposición de residuos y estériles, así como la extracción industrial de áridos, turba o greda;
- 3) Proyectos de explotación intensiva, cultivo, y plantas procesadoras de recursos hidrobiológicos;
- 4) Proyectos de saneamiento ambiental, tales como sistemas de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamiento de aguas o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, emisarios submarinos, sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos o sólidos.

El organismo fiscalizador en materia medio ambiental es la Superintendencia del Medio Ambiente, cuyas funciones tienen por objeto ejecutar, organizar y coordinar el seguimiento y fiscalización de las Resoluciones de Calificación Ambiental, de las medidas de los Planes de Prevención y, o de Descontaminación Ambiental, del contenido de las Normas de Calidad

Ambiental y Normas de Emisión, y de los Planes de Manejo, cuando corresponda, y de todos aquellos otros instrumentos de carácter ambiental que establezca la ley (Ley 20.417, 2010).

La ley orgánica de la Superintendencia de Medio Ambiente, señala que los organismos sectoriales, tales como la DGA; DOH; SAG; SISS, etc., conservan sus facultades fiscalizadoras, pero deben adoptar y respetar todos los criterios que la Superintendencia establezca en relación a la forma de ejecutar las actuaciones de fiscalización, pudiendo solicitarle que se pronuncie al respecto.

El Consejo de Ministros para Sustentabilidad, creado por la Ley 20.417 del año 2010, es presidido por el Ministro del Medio Ambiente e integrado por los Ministros de Agricultura, de Hacienda, de Salud, Economía, Fomento y Reconstrucción, de Energía, de Obras Públicas, de Vivienda y Urbanismo, de Transporte y Telecomunicaciones, de Minería, y de Planificación. Sus funciones dicen relación con propuestas, principalmente, que debe realizar al Presidente de la República en materias tales como políticas para el manejo, uso y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales renovables; criterios de sustentabilidad que deben ser incorporados en la elaboración de las políticas y procesos de planificación de los ministerios, así como en la de sus servicios dependientes y relacionados; creación de las Áreas Protegidas del Estado, que incluye parques y reservas marinas, así como los santuarios de la naturaleza y de las áreas marinas costeras protegidas de múltiples usos; las políticas sectoriales que deben ser sometidas a evaluación ambiental estratégica, aspectos que tienen resonancia en los recursos hídricos.

Para finalizar, se encuentra el Ministerio de Minería de Chile, el cual tiene una relación importante con el agua debido a la naturaleza del sector minero, el cual utiliza grandes cantidades de agua en sus procesos de extracción y beneficio de minerales. Aunque la gestión del agua en la minería está principalmente regulada por la Dirección General de Aguas (DGA) y el Código de Aguas, el Ministerio de Minería desempeña un papel relevante en esta temática. Algunas de las áreas de interés y acciones del Ministerio de Minería en relación con el agua son: uso eficiente del agua, gestión y administración de derechos de agua, monitoreo y control, innovación y tecnología. En concreto, su objetivo es fomentar una minería responsable y sustentable, considerando el uso responsable y cuidadoso del recurso hídrico en beneficio del medio ambiente y las comunidades cercanas a las operaciones mineras.

No se puede soslayar que el Código de Minería regula las “aguas del minero”² (Art 110 Código de Minería) , es decir, el titular de concesión minera tiene, por el solo ministerio de la ley, el derecho de aprovechamiento de las aguas halladas en las labores de su concesión, en la medida que tales aguas sean necesarias para los trabajos de exploración, explotación y de beneficio. Lo que hoy puede verse contradicho dado que la última modificación al Código de Aguas, en su nuevo art. 56 *bis*, prescribe que las aguas halladas por los concesionarios mineros en labores de exploración y de explotación minera podrán ser utilizadas por éstos, en la medida que sean necesarias para las faenas de explotación y sean informadas para su registro a la Dirección General de Aguas, dentro de noventa días corridos desde su hallazgo. Deberán indicar su ubicación y volumen por unidad de tiempo y las actividades que justifican dicha necesidad. En caso de haber aguas sobrantes, igualmente deberán ser informadas. El uso y goce de estas aguas se extinguirá por el cierre de la faena minera, por la caducidad o extinción de la concesión minera, porque dejen de ser necesarias para esa faena o porque se destinen a un uso distinto.

La razonable contradicción se presenta toda vez que el Código de Aguas no regula un otorgamiento de un derecho de aprovechamiento, sino más bien de una autorización de uso para el titular de una concesión minera, pero que en ningún caso constituye una concesión, ni mucho menos un derecho de propiedad.

- **Marco regional**

A nivel regional, se encuentra la Seremi de Salud de la Región de Antofagasta, como autoridad sanitaria, con la responsabilidad de velar por la calidad y seguridad del agua potable en la región. A través de la fiscalización y la aplicación de normativas sanitarias, se busca garantizar que el agua destinada al consumo humano cumpla con los estándares de calidad establecidos (Ministerio de Salud, 2023).

² Se define aguas del minero como aquel derecho de aprovechamiento de aguas otorgado por el sólo ministerio de la ley al dueño de una concesión minera sobre las aguas que éste alumbra en sus labores mineras y que se encuentra sujeto a determinados requisitos y a las modalidades que establece la ley (Morán Ovalle, J. 2011)

A partir de dicha entidad, se desarrolla el Plan Regional de Recursos Hídricos de la Región de Antofagasta como un instrumento de planificación que busca asegurar la disponibilidad y uso sostenible del agua en la región. Este plan considera las características y particularidades de la zona, y establece medidas y acciones para la gestión integral de los recursos hídricos, considerando tanto el abastecimiento humano como las necesidades productivas y medioambientales (Dirección General de Aguas, 2016).

El Plan Regional de Recursos Hídricos de la Región de Antofagasta se crea con el objetivo de abordar los desafíos y necesidades específicas relacionadas con el agua en esa región de Chile (Dirección General de Aguas, 2016).

Asimismo, un gran aporte en la temática son las instituciones de educación superior en la región, considerados como centros de conocimiento, investigación y formación de profesionales en diversas disciplinas relacionadas con el agua (Rock, Rojas, Puentes & Durán, 2013).

De forma indirecta participan de la gestión del recurso hídrico los Gobiernos Regionales, cuyas funciones se centran en el desarrollo social, cultural y económico de la región. Diversas de las atribuciones que le otorga la ley se relacionan con la elaboración, planificación de proyectos, a nivel local como regional, como también la asignación de recursos financieros para dichos proyectos, tales como participar en programas y proyectos de dotación y mantenimiento de obras de infraestructura y de equipamiento de la región; asimismo, una serie de funciones de carácter ambiental, donde el agua es factor preponderante.

- **Marco local**

A nivel local, como organismo público se encuentra la Ilustre Municipalidad de San Pedro de Atacama, quien establece ordenanzas y normativas específicas en relación al uso y gestión del agua dentro de la comuna. Estas ordenanzas pueden incluir restricciones, medidas de conservación y uso responsable del agua, así como incentivos para el uso eficiente del recurso (Municipalidad de San Pedro de Atacama, 2021).

El Plan de Desarrollo Comunal de San Pedro de Atacama, emanado de dicha institución, establece los lineamientos estratégicos y acciones para promover un desarrollo sostenible en la comuna, abordando diversas áreas, entre ellas, la gestión del agua. Este plan considera la disponibilidad y manejo del recurso hídrico en el territorio, promoviendo prácticas y acciones que fomenten su uso eficiente y sustentable (Municipalidad de San Pedro de Atacama, 2021).

El objetivo de esta planificación es crear mayores oportunidades para alcanzar una mejor calidad de vida y bienestar social en la comuna. Para lograrlo, se busca fomentar la participación ciudadana activa y organizada en las decisiones que les conciernen, construyendo así un futuro que responda a las necesidades y aspiraciones de la comunidad (Municipalidad de San Pedro de Atacama, 2021).

En este contexto, el Plan de Desarrollo Comunal de San Pedro de Atacama se convierte en un instrumento fundamental para promover un enfoque integral y equilibrado del desarrollo, considerando el agua como un recurso clave para el desarrollo sostenible de la comuna. A través de este plan, se establecen medidas y acciones concretas para gestionar de manera eficiente y responsable el recurso hídrico, asegurando su disponibilidad a largo plazo y protegiendo los ecosistemas acuáticos en la zona (Municipalidad de San Pedro de Atacama, 2021).

El Estado provee de organismos jurisdiccionales para resolver problemáticas que se susciten en materia hídrica, en particular los Juzgados de Letras en lo Civil de la ciudad de Calama, cuyo ámbito territorial alcanza a San Pedro de Atacama, tienen competencia en razón del factor materia, para conocer de todos aquellos conflictos suscitados en el ámbito judicial, de conformidad al Código de Aguas, para conocer en primera instancia de:

- 1) Los juicios sobre aguas relacionados con la constitución, ejercicio y pérdida de los derechos de aprovechamiento de aguas, así como todos los demás asuntos que no tengan contemplado un procedimiento especial, los que serán tramitados de conformidad a las reglas del procedimiento sumario contenidas en el Título XI del Libro III del Código de Procedimiento Civil;
- 2) De las demandas de amparo judicial interpuestas por los titulares de derechos de aprovechamiento de aguas que se vea perjudicado por obras o hechos de terceros, como veremos en el capítulo siguiente al analizar los procedimientos;

- 3) De los juicios de indemnización y multa (esto último en conjunto con los Juzgados de Policía Local respectivos), por incumplimiento de las obligaciones de mantención de acueductos o de ejecución de medidas de protección de los desbordamientos;
- 4) De los comparendos respecto de cuestiones suscitadas en relación con la existencia de Comunidades de Aguas o derechos de aprovechamiento de aguas de los comuneros, así como de los reclamos presentados por los miembros de Juntas de Vigilancia que se sientan perjudicados por acuerdos adoptados por sus Directorios.
- 5) Hemos indicado que en la gestión del agua en Chile no sólo participa el Estado, hay una dualidad, porque también participan los usuarios de las aguas, es decir, la sociedad civil o, si se quiere, los privados.

Pero no solo los Tribunales Civiles de Calama tiene competencia, también la Corte de Apelaciones de Antofagasta, a quien le compete conocer de los recursos de apelación interpuestos en contra de las sentencias de primera instancia. Del mismo modo, tiene competencia para conocer en primera instancia de los recursos de protección, regulado en el artículo 20 de la Constitución.

Finalmente los Tribunales Ambientales, se trata de un órgano jurisdiccional especial que detenta competencias relacionadas con el agua, y dentro de sus competencias que inciden en la temática de la presente investigación son:

- 1) Conocer de las reclamaciones que se interpongan en contra de los decretos supremos que establezcan normas primarias o secundarias de calidad ambiental y normas de emisión;
- 2) Conocer de las reclamaciones en contra de las resoluciones dictadas por la Superintendencia del Medio Ambiente;
- 3) Conocer de las reclamaciones que se interpongan en contra de los actos administrativos que dicten los Ministerios u organismos públicos para la ejecución o implementación de las normas de calidad, de emisión y los planes de prevención o descontaminación, cuando estos infrinjan la ley, las normas o los objetivos de los instrumentos;
- 4) Las reclamaciones en contra de la resolución que resuelva un procedimiento administrativo de invalidación de un acto administrativo de carácter ambiental.

Dentro de los actores privados en la gestión del agua debemos considerar a los Comités de Agua Potable y Rural (APR), definidas como organizaciones locales encargadas de la gestión del agua potable en zonas rurales de Chile. La actual legislación (Ley n° 20.998, 2017) las denomina como organizaciones comunitarias funcionales, constituidas y organizadas conforme a las leyes respectivas, sobre juntas de vecinos y demás organizaciones comunitarias, a las que se les otorgue una licencia de servicio sanitario rural. Estos comités juegan un papel fundamental en la provisión de servicios de agua potable a comunidades rurales y se centran en la gestión eficiente y sustentable del recurso hídrico a nivel local (Artero, 2016).

La delimitación territorial de la presente investigación da cuenta de los Comités de Agua Potable Rural de San Pedro de Atacama; Socaire; Peine; Rio Grande; Talabre; Toconao. Se encuentran registrados ante la DOH como operadores de servicios sanitarios rurales sólo la APR de Socaire, Toconao y Talabre (DOH, 2023).

El Código de Aguas contempla una serie de actores privados, denominados genéricamente como organizaciones de usuarios de agua, a los que el ordenamiento jurídico a entregado un papel primordial en la materia, asignándoles distintas funciones y atribuciones, siendo las más relevantes (Arévalo, 2000): 1) Administrar los cauces naturales o artificiales, en casos de aguas superficiales, o los acuíferos, en el caso de las aguas subterráneas, sobre los cuales ejerce su jurisdicción; 2) Distribuir las aguas entre los miembros de las respectivas organización, de acuerdo con lo que dicen los títulos de los derechos de aprovechamiento de cada uno de ellos; 3) Explotar las obras de captación, esto es, las organizaciones de usuarios tienen la obligación de obtener el mayor rendimiento y utilidad de las obras de aprovechamiento común existentes bajo su jurisdicción; 4) Conservar, mantener y cuidar las obras de aprovechamiento común, con lo que se logra que sus miembros obtengan un aprovechamiento integral y pácifico de las aguas a que tienen derecho; 5) Resolver los conflictos que pueden suscitarse entre distintos miembros de la respectiva organización o entre ésta y algún miembro, relativas a la repartición de aguas o ejercicio de los derechos que tengan como integrantes de la organización y finalmente 6) las organizaciones de usuarios pueden celebra libremente toda clase de actos y contratos, siempre que ellos se refieran al cumplimiento de sus fines.

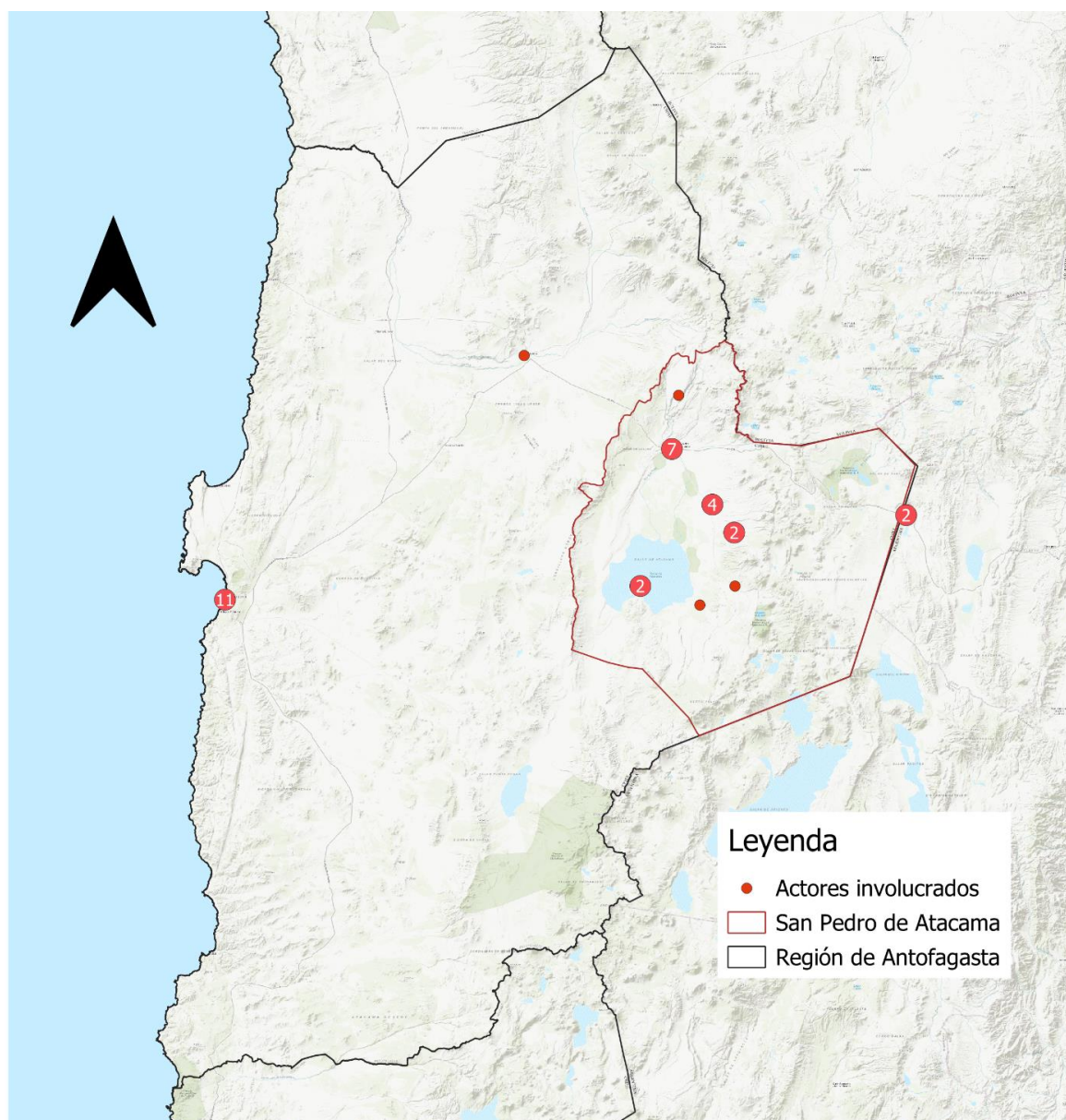
Las organizaciones de usuarios contempladas en el Código de Aguas son las Juntas de Vigilancia; las Asociaciones de Canalistas; las Comunidades de Aguas Superficiales y las de Aguas Subterráneas. De acuerdo a la información disponible en la DGA y en la DOH, legalmente no hay en la cuenca de San Pedro de Atacama ninguna de estas organizaciones constituidas legalmente (DGA, 2022; DOH 2023).

En paralelo a éstas organizaciones locales, se identifican asociaciones de agricultores vinculados a la gestión y administración del agua potable. Entendiendo que son las comunidades locales quienes desempeñan un papel clave en la gestión y uso del agua. Su participación activa en la toma de decisiones, la adopción de prácticas sostenibles y el cuidado del recurso son fundamentales para lograr una gestión integral y sustentable del agua en la comuna (Martín & Bautista, 2015).

Cabe hacer notar que las asociaciones de agricultores y regantes en la zona no han sido constituidas bajo la normativa del Código de Aguas, sino a través de la Regulación contenida en la Ley 19.253 que establece las normas sobre protección, fomento y desarrollo indígenas, y crea la Corporación Nacional Indígena. Estas asociaciones deben tener personalidad jurídica, y de acuerdo a la información disponible de la Municipalidad de San Pedro de Atacama son: Agricultores, regantes, indígenas de Sequitor y Larache; Asociación Atacameña de regantes y agricultores de Aguas Blancas; Asociación Atacameña de regantes y agricultores de Celeste; Asociación Atacameña de regantes y agricultores de Río Vilama; Asociación Atacameña de regantes y agricultores de Matancilla; Asociación Atacameña de regantes y agricultores de San Pedro de Atacama; Asociación Atacameña de regantes y agricultores de Soncor; Asociación Atacameña de regantes y agricultores de Toconao; Asociación Atacameña de regantes y agricultores de Zapar; Asociación Atacameña de regantes y agricultores de Paso Jama; Asociación Atacameña de regantes y ganaderos de Paso Jama (Municipalidad de San Pedro de Atacama, 2023).

A continuación, se resume en la figura 17, los actores involucrados en la institucionalidad del agua según su ubicación geográfica:

Figura 17. Área de influencia institucionalidad del agua en San Pedro de Atacama.



Fuente: Elaboración propia a partir de SIT Antofagasta, 2023. Disponible en:

<https://app.sitantofagasta.cl/vista/hgrv71mawu>

De este modo, la gestión y uso del agua en San Pedro de Atacama, la colaboración y la coordinación entre dichas instituciones y programas, son esenciales para garantizar la disponibilidad y el uso sostenible del recurso hídrico en la comuna. Se trata de construir una propuesta de ajuste al marco institucional, construida colectivamente junto a quienes habitan el territorio, para tomar decisiones que se adapten a la gestión de los recursos hídricos a la realidad local (Saravia, Gil, Blanco, Llavona & Naranjo, 2020).

La generación de sinergias entre iniciativas en la comuna es de vital importancia debido a los siguientes aspectos:

1. **Eficiencia en el uso de recursos:** generando sinergias entre iniciativas, se pueden optimizar los recursos disponibles. En lugar de trabajar de manera aislada, las iniciativas pueden compartir recursos como personal, infraestructura, conocimientos y financiamiento, lo que conduce a una mejor utilización de los recursos disponibles en la comuna (Banco Mundial, 2022).
2. **Impacto amplificado:** uniendo esfuerzos, las iniciativas pueden tener un impacto más amplio y significativo. Al coordinar y colaborar entre sí, se pueden abordar problemas complejos de manera más efectiva y aprovechar las fortalezas y experiencias de cada iniciativa para lograr resultados más grandes y duraderos en beneficio de la comunidad a largo plazo (Artero, 2016).
3. **Sinergias de conocimiento y experiencia:** las iniciativas pueden intercambiar conocimientos, compartir lecciones aprendidas y beneficiarse mutuamente de las diversas experiencias. Esto promueve la transferencia de conocimientos de generación en generación, como también, la mejora continua en intervenciones en torno al agua, permitiendo el crecimiento y desarrollo conjunto de las iniciativas en la comuna (Severiche, Muñoz & Morales, 2016).
4. **Mayor alcance y visibilidad:** mediante la unión de fuerzas, las iniciativas pueden ampliar su alcance y aumentar su visibilidad. Al trabajar juntas, pueden alcanzar a un público más amplio y difundir mejor su mensaje, lo que a su vez puede aumentar el apoyo de la comunidad y de otros actores relevantes (Banco Mundial, 2022).
5. **Coherencia y complementariedad:** permite una mayor coherencia y complementariedad entre las iniciativas en la comuna. Al coordinar sus objetivos y actividades, se evita la duplicación de esfuerzos y se promueve una estrategia

integral que aborde de manera más efectiva y eficiente las necesidades y desafíos de la comunidad (Saravia, Gil, Blanco, Llavona & Naranjo, 2020).

En conclusión, la generación de sinergias entre los lineamientos establecidos, sus iniciativas y actores claves promueve la eficiencia, amplifica el impacto, fomenta el intercambio de conocimientos, aumenta el alcance y la visibilidad, y promueve la coherencia y complementariedad. Estas sinergias contribuyen a un desarrollo más integral y sostenible de la comuna, maximizando los beneficios para la comunidad en su conjunto (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2017).

6.3. Iniciativas para la adaptación en la comuna de San Pedro de Atacama

La comuna de San Pedro de Atacama se enfrenta a diversos desafíos en materia de adaptación al cambio climático. La escasez de agua, la degradación del suelo, aumento del escurrimiento superficial, expansión poblacional y la creciente demanda turística son solo algunos de los problemas que enfrenta esta zona. Frente a esta situación, se han desarrollado diversas iniciativas para promover la adaptación y la resiliencia en la comuna.

En este contexto, en este texto se presentarán algunas de las iniciativas más destacadas en materia de adaptación en San Pedro de Atacama, entregando, primero, acciones para la adaptación desarrolladas por los diversos actores de la comuna, y, segundo, una mirada de la distribución de estas en el territorio.

6.3.1. Acciones para la adaptación

El cambio climático no solo se limita a aspectos naturales directos, como puede ser la variabilidad climática presente en la zona, sino que también depende de la vulnerabilidad de las sociedades, que varía según factores sociales, económicos y políticos. La flexibilidad o resiliencia de la comuna de San Pedro de Atacama para adaptarse al Cambio Climático dependerá de su estado y características, incluyendo su exposición y sensibilidad al cambio climático, que obedecerá a la flexibilidad o resiliencia a través de introducir o fortalecer estrategias de adaptación en el territorio. Esto también, con tal de evitar “la tragedia del bien común” como es el agua, a través de iniciativas que tengan un fin claro y que fomente la cooperación entre los distintos actores del territorio.

En algunos casos, las acciones de adaptación se llevan a cabo para alcanzar objetivos individuales o colectivos, y pueden ser realizadas tanto por individuos como por organizaciones (Adger et al., 2005). También, se debe entender que como cualquier sistema, la seguridad hídrica estará medida a la par por iniciativas que no tengan que ver de manera directa con el tratamiento del agua (Figura 17), sino que con la adaptación general de la comuna que, en sus distintas dimensiones, permitiría aumentar la capacidad de adaptación hídrica (Petengell, 2010).

La comuna de San Pedro de Atacama está expuesta a eventos extremos, como sequías e inundaciones, que pueden tener un gran impacto en la productividad dependiendo de los recursos naturales. Se estima que el aumento en temperatura, sequía, precipitaciones fuertes, entre otros factores, podría reducir la productividad hasta en un 50% en algunas regiones, especialmente en zonas secas (Le Quéré et. al, 2007). Además, la ubicación de la comuna en sectores áridos o semiáridos y en montañas la hace más vulnerable ecológicamente.

Es importante destacar que los grados de pobreza y marginalidad son elementos que afectan directamente la sensibilidad de las comunidades para sobrellevar los embates climáticos. Estos factores contribuyen significativamente a aumentar la vulnerabilidad, especialmente en áreas rurales donde el acceso a servicios básicos suele ser limitado en comparación con las zonas urbanas.

En la actualidad, es de suma urgencia abordar las actividades humanas relacionadas con el agua, especialmente en lo que respecta a la disponibilidad de agua para uso humano. En el caso de San Pedro de Atacama, la principal fuente de abastecimiento de agua es el sistema de Agua Potable Rural (APR), que provee el servicio a alrededor de 7.000 habitantes. Durante la temporada estival, la demanda de agua aumenta debido al turismo, al mismo tiempo que las presiones sobre el recurso hídrico se intensifican debido a variables naturales. Por tanto, es necesario implementar medidas para garantizar el acceso sostenible al agua y minimizar los impactos negativos en la comunidad y en el ecosistema (León, Muñoz y Sanchez, 2020).

En San Pedro de Atacama, el 61% de las viviendas tienen conexión a la Red Pública de Agua Potable (CAPRA), mientras que el 88% cuenta con conexión si se incluyen los

diversos sistemas de Agua Potable Rural (APR) de las localidades aledañas como Socaire, Talabre y Peine, dejando una brecha del 12%. La falta de acceso al servicio es una de las problemáticas más alarmantes para la comunidad, y el consumo mensual de 131.170 m³ indica la saturación del sistema (Municipalidad de San Pedro de Atacama, 2022).

Las viviendas del sector rural que nunca han contado con este bien enfrentan una realidad cada vez más difícil y costosa al abastecerse de fuentes alternativas. Aunque ciertas iniciativas han sido exitosas en dar cobertura a las comunidades rurales, presentan fallas constantemente debido a problemas de diseño en los sistemas de APR. La falta de mantenimiento y mejoras es la principal causa de las fallas operativas y de la falta de continuidad en el suministro de agua potable. Estos problemas están relacionados con la escala de operación y la capacidad de los APR para financiar sus gastos recurrentes y no operacionales, lo que se traduce en un subfinanciamiento crónico (León, Muñoz y Sanchez, 2020).

La comuna de San Pedro de Atacama depende en gran medida del turismo como actividad económica, lo que la hace vulnerable a amenazas externas debido a la falta de diversificación. Además, las actividades económicas presentes en la comuna tienen una alta dependencia de los recursos naturales, especialmente la agricultura y la minería. El turismo ha experimentado un aumento progresivo en la comuna, convirtiéndose en su principal actividad económica y generando empleo directo e indirecto. El sector terciario es el que más empleo genera (80%), seguido del sector primario (16%) y secundario (4%) (Censo, 2017).

En la comuna, el 78% de las personas declararon trabajar en 2017, principalmente en actividades relacionadas con los servicios de alojamiento y comida, especialmente en sub rubros hoteleros y turísticos. Estas actividades terciarias tienen predominio en zonas urbanas, mientras que la agricultura y la concentración extractiva se concentran en el área del Salar (SIT, 2022). Sin embargo, este tipo de actividad tiene graves repercusiones en la forma en que las personas se relacionan con lo económico y cómo se fortalecen las actividades de subsistencia a futuro. El empleo ha transitado hacia puestos ligados con el turismo y la construcción o industria, con un abandono marcado de tareas relacionadas con la agricultura (SII, 2021). El principal desafío radica en una mirada que otorga beneficios cortoplacistas y abandona el foco en economías de pequeña escala pero con alta repercusión

humana, como son los modos de vida y la seguridad agroalimentaria. Además, la actividad turística tiene consecuencias negativas en el entorno, como la contaminación de zonas de ríos y canales, que son sistemas sumamente frágiles.

La falta de equipos, herramientas y técnicas limita la adaptación en la comuna de San Pedro de Atacama al cambio climático. La falta de información y conocimiento insuficiente sobre los impactos del cambio climático pueden continuar obstaculizando la adaptación si no se invierte en la sistematización de datos, principalmente ambientales, que ayuden a la toma de decisiones basadas en valores empíricos. La comuna necesita tecnologías aplicadas al monitoreo y fiscalización de las variables ambientales, ya que no existen estaciones de monitoreo de la calidad del aire en la comuna y los estudios sobre aguas residuales y niveles de arsénico y boro no han sido actualizados.

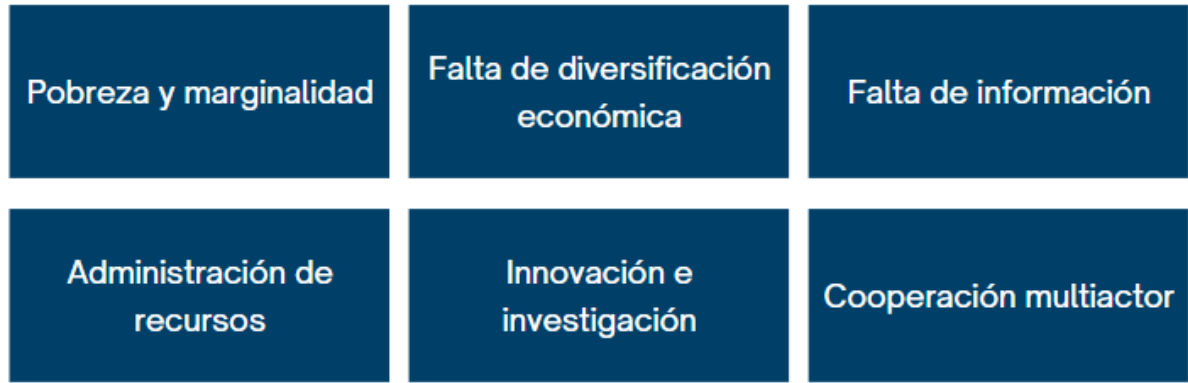
Además, el grado de conectividad influye directamente en la capacidad de la comuna para sobrellevar emergencias y distribuir recursos equitativamente en el territorio. En San Pedro de Atacama, la baja dependencia del cableado y el predominio del acceso inalámbrico son una realidad, con 36 antenas que proveen cobertura 3G y 4G en puntos cercanos a las localidades pobladas. Las compañías Movistar y Entel tienen la mayor amplitud de red, aunque están concentradas en el área urbana, las redes de camino y la zona centro-norte de la comuna. Para garantizar una correcta adaptación al cambio climático, se debe promover una conexión estable y considerarla crítica debido a la proporción de superficie que cubre la señal de internet y la inestabilidad que puede mostrar ante condiciones meteorológicas adversas.

En la comuna de San Pedro de Atacama, los procesos y reglas que regulan el acceso a los medios de subsistencia y a ciertos activos son fundamentales para la vulnerabilidad de la población ante el cambio climático. Hay dos barreras institucionales que destacan: en primer lugar, la dificultad en la comercialización de actividades como la agricultura o la artesanía, reguladas por normativas centralizadas poco adaptables a las realidades ecológicas del norte de Chile, lo que aísla a ciertos comerciantes y les impide adaptarse a situaciones de fragilidad económica.

Además, la administración y distribución del recurso hídrico, la falta de fiscalización, la contaminación y la pérdida del suelo fértil son temas prioritarios para los pobladores. En

segundo lugar, las presiones no climáticas, como la construcción de viviendas informales en zonas de riesgo y la falta de regulación territorial, afectan la vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos. Aunque existen restricciones de suelo para construir nuevas viviendas, hay zonas aledañas con escasa pendiente que podrían ser utilizadas, pero la falta de regularización del suelo y servicios básicos limita la habitabilidad. Finalmente, el modelo imperante de gestión del agua, controlado mayoritariamente por empresas, lleva a una creciente sobreexplotación de los recursos hídricos y una competencia entre la actividad agrícola y el uso del agua.

Figura 18. Principales variables que inciden en la vulnerabilidad hídrica en San Pedro de Atacama.



Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, la adaptación que se enfoca hacia una seguridad hídrica óptima, recordemos, es en resumen (Fuster, 2017), aquella que maximiza sus esfuerzos en disminuir los niveles de riesgo por contaminación y efectos extremos, la cantidad y calidad del agua disponible para consumo y actividades productivas, y para garantizar también el mantenimiento del medioambiente y entornos saludables, a través de medidas autónomas o planificadas.

- **Nivel de riesgos relacionados a contaminación y eventos extremos.**

En la actualidad, San Pedro de Atacama se enfrenta a diversos desafíos en materia de saneamiento, lluvias esporádicas y extremas, y sequía. Para hacer frente a estas problemáticas, se han implementado medidas de adaptación que buscan garantizar la sostenibilidad y el bienestar de la población local.

En cuanto al saneamiento, se ha trabajado en la mejora de las infraestructuras sanitarias por parte de la Dirección de Obras Hidráulicas y en la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales por parte de la Municipalidad de San Pedro de Atacama. Además, se han promovido prácticas de higiene y educación ambiental para concientizar a la población sobre la importancia del cuidado del agua y la preservación del medioambiente, a cargo de la Dirección de Medio Ambiente Aseo y Ornato.

Sumado a esto, el exceso de agua representa un riesgo para la comunidad, especialmente durante la temporada de lluvias. Para hacer frente a esta problemática, se han implementado medidas de prevención y respuesta ante emergencias, tales como la construcción de canales de drenaje y la capacitación de la población en materia de gestión del riesgo.

En el caso de la sequía, en San Pedro de Atacama, una de las zonas más áridas del mundo, resulta un problema recurrente que afecta a la población y al ecosistema local. Para hacer frente a esta situación, se han implementado diversas medidas de adaptación que buscan reducir el impacto de la falta de agua en la comunidad.

Entre las medidas más destacadas se presenta la construcción de infraestructuras para el almacenamiento y distribución del agua, como represas y canales de irrigación. Estas obras permiten aprovechar al máximo el agua disponible y asegurar su distribución equitativa entre los distintos sectores de la comunidad. A su vez, los sistemas de riego eficientes y los programas de educación y concientización resultan primordiales para el uso responsable del agua en la población.

Además, se ha fomentado el uso de tecnologías y prácticas sostenibles en la gestión del agua, como la utilización de sistemas de captación de agua de lluvia y la implementación de técnicas de cultivo y especies agrícolas que requieran menor cantidad de agua para su sustento.

- **Cuerpos de agua con cantidad y calidad para garantizar la salud humana, el medioambiente y los diferentes usos.**

Para lograr este enunciado, la comuna ha implementado medidas de adaptación que permiten mantener la cantidad y calidad de los recursos hídricos en la zona, realizando un monitoreo constante de los cuerpos de agua para identificar posibles contaminantes y controlar su impacto en la salud humana y el medio ambiente. Esto es llevado a cabo de manera paralela tanto por entidades privadas³ como por servicios públicos⁴ y de la sociedad civil⁵. Lo anterior se traduce en la capacidad de implementar políticas públicas que fomenten el uso responsable del agua y promuevan su conservación.

Otras medidas que destacan incluyen la construcción de infraestructuras para el tratamiento de aguas residuales, la promoción de prácticas agrícolas sostenibles y la educación ambiental para la comunidad, ya mencionadas en el tópico anterior, provocándose una sinergia transversal.

- **Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para asegurar el desarrollo productivo sustentable**

La disponibilidad de agua, en calidad y cantidad suficiente, es fundamental para garantizar el desarrollo productivo sustentable de actividades extractivas y no extractivas de agua en San Pedro de Atacama. Frente a esto es necesario asegurar el acceso a este recurso para que las distintas actividades, motor de la economía de San Pedro de Atacama en algunos casos, puedan llevarse a cabo de manera responsable y sostenible, sin comprometer el medio ambiente ni la salud de las comunidades locales.

Para lograr este objetivo, se han implementado medidas eficaces de gestión del agua, que permiten optimizar su uso y minimizar los impactos negativos sobre los ecosistemas y las poblaciones cercanas. Esto implica, entre otras cosas, la implementación de tecnologías

³ SQM, 2023. Con su servicio de monitoreo del Salar de Atacama, y dispuesto de manera pública.

⁴ DGA, 2023. Servicio de monitoreo en línea de las cuencas de la comuna.

⁵ CPA, 2023. Monitoreo del Consejo de Pueblos Atacameños para disponer de información de la cuenca del Salar entre otras.

limpias y eficientes, la promoción del uso responsable del agua por parte de las empresas mineras y la colaboración estrecha entre los diferentes actores involucrados en la gestión de este recurso.

Sin embargo, el acceso equitativo al agua para todas las comunidades locales, especialmente aquellas que dependen directamente de este recurso para su subsistencia aun es un tema en discusión. Esto implica la implementación de políticas públicas que promuevan la participación activa de las comunidades en la gestión del agua y que aseguren su derecho al acceso a este recurso vital.

- **Agua en calidad y cantidad adecuada y accesible para el consumo humano**

Entre las medidas de adaptación para asegurar necesidades humanas básicas se encuentran la construcción de infraestructuras para la captación y almacenamiento de agua, como pozos y represas, y la tecnificación del Comité de Agua Potable Rural y Alcantarillado (CAPRA).

Otro aspecto relevante es la gestión adecuada de los recursos hídricos. Si bien no existe una implementación clara acerca de esto, sí existe la necesidad de establecer políticas públicas que promuevan la conservación y protección del agua, así como la regulación de su uso en sectores como la agricultura y la minería. En este caso, la Dirección General de Aguas actúa como un fiscalizador en el uso del agua, mientras que la regulación viene dada por las comunidades usuarias del mismo, por lo que las medidas implementadas dependen de la adaptación tanto planificada como autónoma.

Además, es importante considerar la implementación de tecnologías avanzadas para el tratamiento y purificación del agua, lo que permitiría su reutilización en diversos ámbitos.

En el caso de las actividades de subsistencia familiar, una de las principales medidas es la implementación de sistemas de riego eficientes, que permiten maximizar el uso del agua en la agricultura y reducir su desperdicio, especialmente por las Asociaciones de Regantes de la comuna. Además, se promueve el uso de técnicas agrícolas sostenibles, como la rotación de cultivos y el uso de abonos orgánicos, que mejoran la calidad del suelo y reducen la necesidad de fertilizantes químicos. También, se han presentado iniciativas que promueven

el resguardo de esta actividad, como los Sistemas Importantes del Patrimonio Agrícola Nacional.

Otra medida importante es la promoción de la diversificación económica, que permite a las familias locales no depender exclusivamente de la agricultura y la ganadería. Se han implementado programas de turismo rural y artesanía, que generan nuevas fuentes de ingresos y promueven la conservación de la cultura local.

Para que la adaptación al cambio climático sea efectiva, es necesario entender que está determinada por las acciones de toda la sociedad, incluyendo individuos, grupos y gobiernos. Estas acciones pueden ser motivadas por distintos aspectos, como la protección del bienestar económico o la mejora de la seguridad.

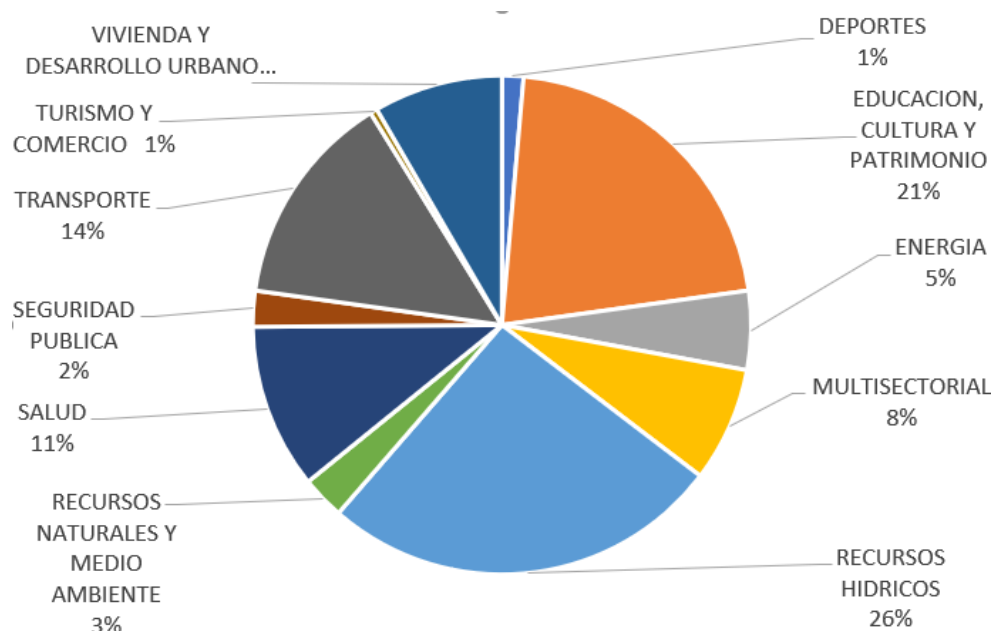
En este sentido, en la comuna de San Pedro de Atacama se busca una adaptación que maximice el desarrollo de infraestructuras resilientes y la conservación de los recursos naturales. Sin embargo, la comuna está recientemente diversificando sus medios de subsistencia, ya que actualmente depende casi en su totalidad de una sola actividad.

Por otro lado, aunque existen esfuerzos, la falta de coordinación y una gobernanza efectiva del agua, mermaría el fortalecimiento de la capacidad de adaptación.

6.3.2. Distribución de Iniciativas

En San Pedro de Atacama la mayoría de las iniciativas públicas (entre los años 2017 y 2023) tienen que ver, en primer lugar, con el agua (26%). Segundo, con educación cultura y patrimonio (21%) orientado al mejoramiento de la infraestructura de establecimientos educacionales. Y tercero, se presentan intervenciones en transporte (14%) con la construcción de carreteras y la conexión y articulación de San Pedro de Atacama a las principales arterias de la región, como también optimización de rutas.

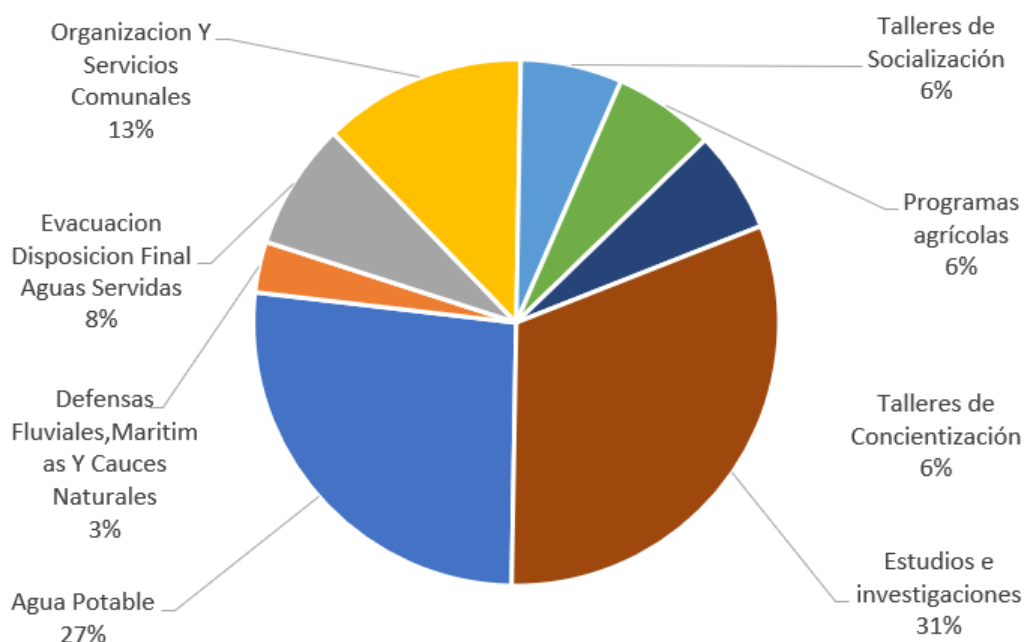
Figura 19. Distribución de iniciativas en San Pedro de Atacama.



Fuente: Elaboración propia a partir de Banco Integrado de Proyectos y entrevistas a actores claves.

Referente a las primeras, las iniciativas públicas planificadas se dividen en estudios e investigaciones (31%), gestión del agua potable (27%), organización y servicios comunales (13%), evacuación de disposiciones de aguas servidas (8%), talleres de socialización (6%), programas agrícolas (6%), talleres de concientización (6%), defensas fluviales, marítimas y cauces naturales (3%).

Figura 20. Distribución de iniciativas ligadas a la gestión del agua por subsector en San Pedro de Atacama.



Fuente: Elaboración propia a partir de Banco Integrado de Proyectos y entrevistas a actores claves.

- **Gestión del agua potable**

La gestión del agua potable en San Pedro de Atacama es un tema de gran importancia para la comunidad y las autoridades locales. La escasez de agua en la región hace que sea fundamental contar con un sistema eficiente y sostenible para el suministro de agua potable a los habitantes y visitantes del lugar.

Para ello, se han implementado diversas medidas para garantizar el acceso al agua potable de calidad. Entre ellas, se destaca la construcción de infraestructuras para la captación, tratamiento y distribución del agua.

En palabras de CAPRA, las acciones van más allá de la disposición de infraestructuras. La gestión del agua potable debe enfocarse también en “aceptar ayuda y dialogar sobre la realidad del Agua en San Pedro de Atacama, (...) atendiendo a opiniones técnicas y la unificación del mundo privado, público y los actores locales para tomar decisiones de ejecución y garantizar la continuidad del suministro” (Entrevista Personal, 2023).

Los resultados en la gestión del agua potable han dado fruto en la adquisición de nuevos generadores, la implementación de nuevos pozos de extracción, nuevas bombas y la gestión futura de módulos de ósmosis. En adición a lo anterior, estas iniciativas adaptativas consideran una administración óptima al interior de las organizaciones concernientes al agua potable, a través de convenios y análisis técnicos económicos.

Sin embargo, es necesario seguir trabajando en la implementación de nuevas medidas y tecnologías que permitan mejorar la eficiencia y sostenibilidad del sistema de suministro de agua potable en la comuna.

- **Defensas fluviales, marítimas y cauces naturales**

En San Pedro de Atacama, se han implementado diversas medidas para proteger los cauces naturales y prevenir posibles desbordes de los ríos. Una de estas medidas son las defensas fluviales, las cuales se han construido con el objetivo de evitar la erosión de las riberas y mantener la estabilidad del cauce.

Estas defensas fluviales se han construido con materiales resistentes y duraderos, como piedras y hormigón, y se han diseñado de manera que no afecten al ecosistema circundante. Además, se han establecido medidas de mantenimiento y limpieza para asegurar su correcto funcionamiento y evitar obstrucciones que puedan generar inundaciones.

Por otro lado, se ha trabajado en la conservación de los cauces naturales, los cuales son esenciales para mantener el equilibrio hidrológico de la zona. Se han implementado medidas de restauración y recuperación de estos cauces, con el objetivo de mejorar su calidad y aumentar su capacidad de retener agua en épocas de lluvia.

Por otro lado, se han generado programas de gestión del riesgo de desastre por parte de la Municipalidad de San Pedro de Atacama, y la concientización de temáticas de riesgo relacionadas al agua en centros educacionales.

- **Evacuación de disposiciones de aguas servidas**

La evacuación de disposiciones de aguas servidas en San Pedro de Atacama es un tema de gran importancia para la salud pública y el medioambiente de la zona. Es por ello que se han implementado diversas medidas para garantizar que esta actividad se realice de forma segura y eficiente.

En primer lugar, se han establecido normativas y regulaciones específicas que deben ser cumplidas por todas las empresas y personas que se dedican a esta labor. “Estas normativas incluyen requisitos técnicos y sanitarios, así como procedimientos específicos para el manejo y transporte de los residuos” (Entrevista Personal, 2023).

Además, se han creado sistemas de monitoreo y control para asegurar que las aguas servidas sean tratadas adecuadamente antes de su disposición final. Estos sistemas incluyen la supervisión de los procesos de tratamiento y la evaluación periódica de la calidad del agua.

Otro aspecto importante en la evacuación de disposiciones de aguas servidas es la educación y concientización de la población. Se han llevado a cabo campañas informativas para promover el uso responsable del agua y el cuidado del medioambiente. También se ha incentivado el uso de tecnologías más eficientes y amigables con el entorno, como sistemas de tratamiento de aguas residuales y la reutilización del agua.

Sin embargo, aún queda por desarrollar “una mayor capacidad en el tratamiento del agua, pues con el incremento de la demanda habitacional, se debe proveer de agua a distintos asentamientos, incluyendo los ayllus” (Entrevista Personal, 2023).

- **Organización y servicios comunales**

Las iniciativas se basan principalmente en la disponibilidad de recursos que ayudan a gestionar el agua, especialmente en lo que respecta a garantizar el suministro para consumo humano. Aquí tienen cabida la “implementación y mejoramiento de camiones aljibes, la contratación de herramientas para intervenir pozos, entre otros elementos” (Entrevista Personal, 2023).

- **Talleres de socialización**

La participación ciudadana es un pilar fundamental en la organización comunal de San Pedro de Atacama referente al agua. Existen diversas instancias para que los habitantes puedan expresar sus necesidades y propuestas, tales como los consejos vecinales, las reuniones con autoridades locales y las encuestas de opinión. De esta manera, se fomenta una gestión pública más transparente y cercana a las demandas de la comunidad.

En este sentido existen “mesas de agua compuestas por dirigentes, Comités de Agua Potable Rural y la Dirección de Obras Hidráulicas, como también talleres de socialización del Código de Aguas, o la Mesa Multiactor GIZ” (Entrevista Personal, 2023). En estas se busca resolver problemáticas en torno al agua, avanzar en la cooperación y encaminarse hacia una gobernanza eficiente del agua para generar sinergia en la ejecución de proyectos y el quehacer público-privado.

- **Programas agrícolas**

Los programas agrícolas en San Pedro de Atacama son una iniciativa importante para el desarrollo sostenible de la comuna, especialmente cuando esta actividad está ligada al agua. Estos programas buscan fomentar la producción agrícola en la zona, promoviendo prácticas sostenibles en el uso del agua.

Uno de los principales objetivos de estos programas es mejorar la calidad de vida de los agricultores locales, proporcionándoles herramientas y conocimientos para aumentar su producción y mejorar la rentabilidad de sus cultivos. Además, se busca fomentar la diversificación de cultivos y la implementación de sistemas agroforestales, con el fin de mejorar la resiliencia de los sistemas productivos ante el cambio climático, la disponibilidad de agua y la sequía.

Los programas agrícolas en San Pedro de Atacama también tienen un enfoque en la conservación del patrimonio cultural y natural de la zona. Se busca promover prácticas agrícolas que respeten las tradiciones y conocimientos ancestrales de los pueblos originarios de la región, y que contribuyan a la preservación de la biodiversidad y los ecosistemas locales.

Para lograr estos objetivos, los programas agrícolas en San Pedro de Atacama cuentan con el apoyo de diversas instituciones y organizaciones, tanto públicas como privadas. Estas entidades trabajan en conjunto con las comunidades locales para diseñar y ejecutar proyectos que promuevan el desarrollo sostenible y la conservación del patrimonio.

Algunos de ellos están enfocados en “metodologías de diagnóstico predial, dimensiones agroecológicas, y planes de manejo en base a brechas agrícolas. También en capacitaciones para aportar en la transición agroecológica rescatando prácticas tradicionales del territorio” (Entrevista Personal, 2023). Como también, en aquellas que “entreguen conocimientos específicos para negocios asociados a agricultura y empujar así la diversificación económica” (Entrevista Personal, 2023) especialmente con ayudas privadas, lo cual fomenta la capacidad de sobreponerse a los embates del cambio climático.

- **Talleres de concientización**

Los talleres están dirigidos a la comunidad en general, incluyendo a niños, jóvenes y adultos. Durante estas actividades se abordan temas como el “ciclo del agua, la importancia de la conservación del agua, las consecuencias del mal uso de este recurso y las medidas que se pueden tomar para su cuidado y preservación” (Entrevista Personal, 2023).

Además, se promueve la implementación de prácticas sostenibles en el hogar y en la comunidad, como la recolección de agua de lluvia, el uso de sistemas de riego eficientes y la reducción del consumo de agua potable. De esta manera, se busca fomentar una cultura de cuidado y respeto hacia el medioambiente y hacia las futuras generaciones.

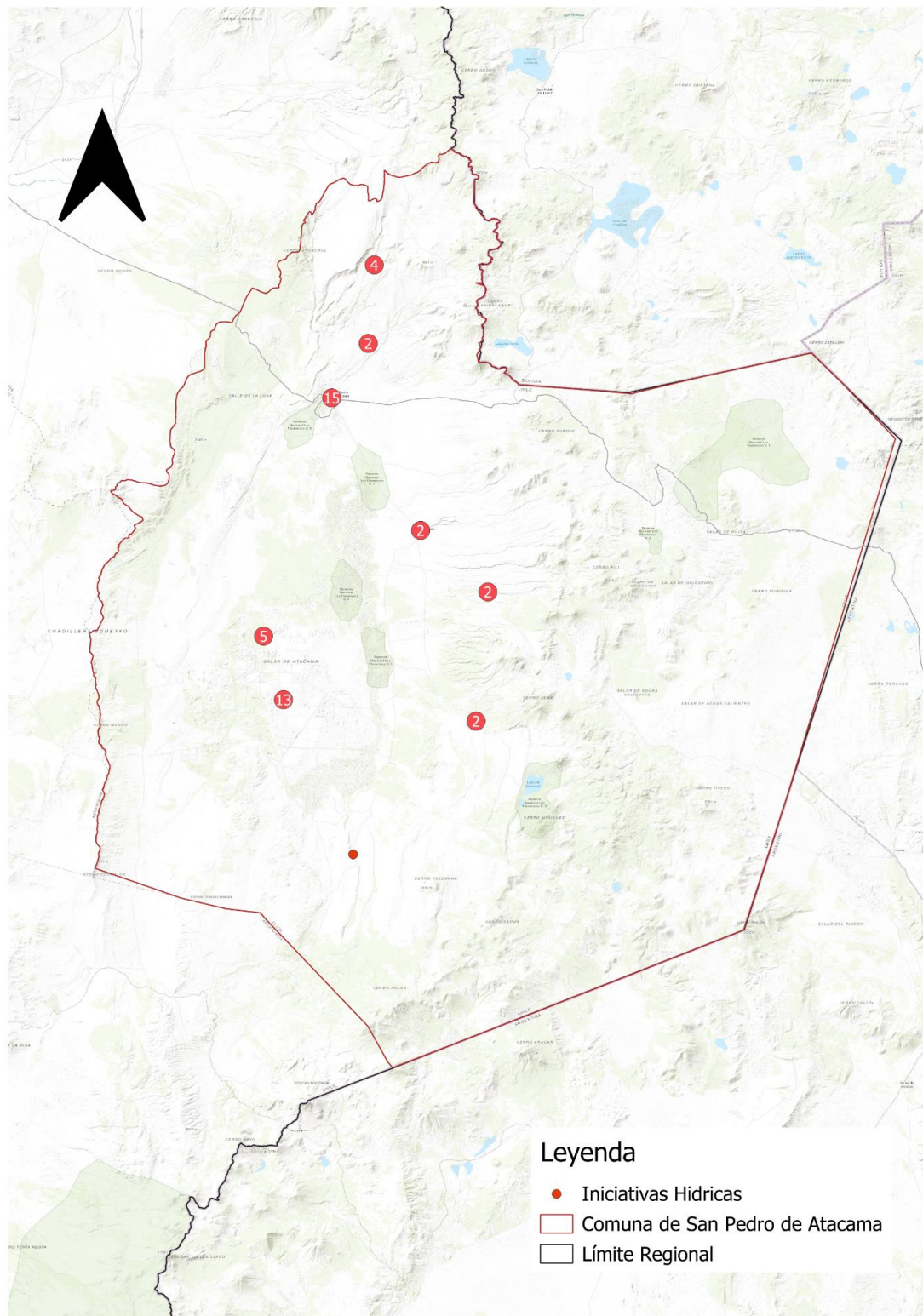
- **Estudios e investigaciones**

Existen iniciativas en temáticas divididas en hidrogeología, hidrología, meteorología, y balance hídrico, permitiendo tener una imagen acabada del agua en la comuna, y específicamente en sus cuencas. Estos estudios buscan medir los niveles de acuíferos, ríos y la concentración de minerales.

Las iniciativas surgen de diversas fuentes, como el ámbito académico regional, el sector privado, el público y las motivaciones autónomas de agricultores, regantes y organizaciones de la sociedad civil. La intención detrás de estas iniciativas es llamar la atención de las autoridades y la comunidad en general sobre la situación hídrica en la comuna de San Pedro de Atacama y sus cuencas.

Por otro lado, “se han realizado análisis y monitoreos constantes para asegurar que el agua sea apta para el consumo humano y para la agricultura, principal actividad económica de la zona” (Entrevista Personal, 2023). Como también esfuerzos en dilucidar “la incógnita del Estado sobre la disponibilidad del recurso a futuro, poniendo énfasis en el descubrimiento de nuevas vertientes para 2024” (Entrevista Personal, 2023).

Figura 21. Distribución de iniciativas ligadas a la gestión del agua en San Pedro de Atacama.



Fuente: Elaboración propia a partir de Banco Integrado de Proyectos y entrevistas a actores claves.

Disponible en: <https://app.sitantofagasta.cl/vista/hgypt8j29k>

6.4. Modelo de gobernanza para la gestión del agua

Este capítulo del documento examina la gobernanza en San Pedro de Atacama y su modelo y cómo este ayuda a proteger los recursos hídricos de la comuna mientras se asegura un suministro adecuado de agua para las necesidades del territorio. Para abordar los desafíos antes mencionados, se muestra el resultado de los niveles de importancia que poseen los actores en la gestión del agua y, seguido, una serie de recomendaciones sobre gobernanza en San Pedro de Atacama.

6.4.1. Gobernanza del agua

La gobernanza del agua en San Pedro de Atacama es un tema de gran importancia para la comunidad local y para el desarrollo sostenible de la región. Esta zona desértica se caracteriza por tener una escasez de agua que se agrava con el cambio climático y la actividad humana.

Para abordar esta problemática, es necesario implementar políticas y estrategias que permitan una gestión eficiente y equitativa del agua. Esto implica la participación activa de todas las partes interesadas, incluyendo a los habitantes de San Pedro de Atacama, las autoridades locales, los organismos reguladores y los actores privados.

En este sentido, se requiere fortalecer la capacidad institucional y promover la transparencia en la toma de decisiones. Es necesario establecer normas claras y precisas que regulen el acceso y uso del agua, así como fomentar la educación y conciencia sobre la importancia de este recurso natural.

Además, es fundamental considerar las necesidades de las comunidades indígenas y respetar sus derechos en relación al agua. La cultura lickantai tiene una estrecha relación con lo hídrico y su gestión debe ser abordada desde una perspectiva intercultural y participativa.

De esta manera, la figura 22 muestra cómo las comunidades locales perciben la importancia de ciertas organizaciones del territorio en el proceso de gestión hídrica. Es decir, el conjunto de acciones y estrategias que se llevan a cabo para administrar y utilizar de manera eficiente el agua, con el fin de satisfacer las necesidades de la población y garantizar la sustentabilidad del ecosistema. Esto incluye la planificación, el monitoreo y la regulación del uso del agua, así como la implementación de medidas para proteger y conservar el agua, antes expuestas. La gestión hídrica es fundamental para garantizar el acceso al agua potable, la producción de alimentos y la conservación del medioambiente.

Figura 22. Actores ligados al agua en San Pedro de Atacama.



Fuente: Elaboración propia a partir de Entrevista Personal, 2023. Existen entidades con más de una sede, las cuales están señaladas con una estrella.

Así, los actores locales son agrupados dependiendo del sector de gobernanza al que pertenecen y, a su vez, según el grado de importancia o el peso que revisten en el ejercicio de la administración del agua (figura 21). Aquellos ubicados más abajo representan a los actores más relevantes, mientras que los superiores a los de menor grado.

Al momento de considerar las limitaciones del proceso de una gobernanza sobre el agua, se deben considerar los actores ya presentes y sus interrelaciones, las situaciones

complejas en las cuencas hidrográficas (contaminación, erosión, sedimentación, calidad de agua etc.) e institucionalidad ya vigente en las dinámicas hídricas.

Para que esta gobernanza tenga éxito, en San Pedro de Atacama, se debe tener en cuenta ciertas acciones que permitan la sostenibilidad y sustentabilidad del trabajo de la gobernanza, sobre la cual se debe considerar:

- Un marco normativo legal que reconozca la existencia de una mesa del agua y que considere la participación de los órganos públicos, privados y de la sociedad civil en su estructura.
- Patrimonio propio y sustentabilidad económica.
- Sistema de resolución interno de conflictos con énfasis en el apoyo técnico a la mesa y sus decisiones.

Asimismo, el compromiso de la comunidad con la mantención de la gobernanza y una actitud propositiva es fundamental para el buen funcionamiento y prosperidad en el tiempo.

Al momento de hablar sobre gobernanza del agua en la comuna de San Pedro de Atacama se debe comprender los múltiples y variados actores que se encuentran involucrados en el tema, los cuales juegan diversos roles e influencias y que han sido detallados a mayor cabalidad en párrafos anteriores.

Por ello, una gobernanza se comprende como un conjunto de reglas, formales e informales, que sirven para tomar decisiones, que en el caso del agua, influyen en el uso y gestión de esta. Son prácticas y procesos a través de los cuales se toman e implementan decisiones, los actores pueden articular sus intereses y que sus inquietudes sean tomadas en consideración y faciliten una gestión más integrada del agua (OCDE, 2022; MMA, s.f.).

La gobernanza tiene que ver con el papel de las instituciones, la sociedad civil y las relaciones entre las organizaciones y los grupos sociales implicados en la toma de decisiones, tanto de forma transversal entre sectores y entre zonas urbanas y rurales, como de forma vertical desde el nivel local al nivel internacional

Por esto, se presentan principios que deben regir la gobernanza del agua en San Pedro de Atacama, los cuales permitirían un desarrollo más pleno de gobernanzas locales que gestionen un recurso crítico como es el agua. (OCDE, 2022):

1. **Roles y responsabilidades claras:** En esta etapa se debe considerar el designar y distinguir claramente las funciones y responsabilidades para la formulación, implementación, gestión operativa y regulación de políticas hídricas, y fomentar la coordinación entre las autoridades responsables. Aquí el fomento a la participación ciudadana, la educación ambiental y cívica son fundamentales para el desarrollo de roles y la toma de responsabilidades por la ciudadanía o una comunidad.
2. **Escalas apropiadas dentro de los sistemas de cuenca:** Gestionar el agua a las escalas apropiadas dentro de los sistemas integrados de gobernanza de cuencas y fomentar la coordinación entre ellas. Una escala apropiada se debe fijar pensando en la comunidad que va a trabajar o se ve impactada por la intervención en la cuenca hidrográfica, esto permitirá una gobernanza más manejable y abarcable en desafíos y oportunidades.
3. **Coherencia de políticas:** El fomentar y promover la coherencia de las políticas sobre gobernanza del agua a niveles mediante una coordinación intersectorial eficaz con las instituciones (como la DOH, Unidades de medio Ambiente locales, municipalidad, comunidades Lickantay, CAPRA, entre otras) e instancias ya existentes (como las mesas de agua, o el Consejo de Cuencas), en ello se invita revisar las políticas vigentes y como apoyan o dificultan procesos de gobernanzas locales, fomentando políticas que ayuden a destrabar conflictos y permitan el diálogo territorial.
4. **Capacitación:** La entrega de herramientas para adecuar el nivel de capacidad de las autoridades responsables a la complejidad de los desafíos hídricos a enfrentar y al conjunto de competencias requeridas es vital para el buen uso y aprovechamiento del agua, en especial, en lugares que cuentan con APR (Agua Potable Rural) y que son manejados de manera comunitaria, la capacitación y fomento a instancias de mejora por parte de esta instancias y de actores involucrados impactarían de manera directa en el desempeño, calidad y gobernanza local sobre el agua por parte de las comunidades.
5. **Datos e información:** El producir, actualizar y compartir datos e información oportunos, coherentes, comparables y relevantes para las políticas, y utilizarlos para

orientar, evaluar y mejorar la política del agua, es una necesidad de gran relevancia en la actualidad frente a un contexto de cambio climático, aumento de carga en la comuna y el ser un elemento escaso, hacen vital su monitoreo y generación de información para la toma de decisiones exhaustivas que generen políticas públicas en pro de la conservación del agua.

6. **Financiamiento:** Asegurar que los arreglos de gobernanza ayuden a movilizar el financiamiento del acercamiento y acceso al agua y a asignar los recursos financieros de manera eficiente, transparente y oportuna.
7. **Marcos regulatorios:** Asegurar que los marcos regulatorios sólidos de gestión del agua se implementen y hagan cumplir de manera efectiva en pos del interés público, para poder que estos marcos regulatorios sean efectivos, la capacitación y participación comunitaria será vital para la aplicación y mantención de estos.
8. **Gobernanza innovadora:** Promover la adopción e implementación de prácticas innovadoras de gobernanza del agua, como se ha nombrado anteriormente, la necesidad de una gobernanza innovadora, participativa, que fomente nuevas y mejore las estructuras ya implementadas que permitan la acción comunitaria sobre la gestión del agua.
9. **Integridad y transparencia:** El incorporar prácticas de integridad y transparencia en las políticas del agua, las instituciones del agua y los marcos de gobernanza del agua son la base para la buena gestión del agua y según, las necesidades y prioridades comunitarios.
10. **Involucramiento de las partes interesadas:** Con marcos regulatorios óptimos, participación ciudadana, instancias de diálogo y decisión, son base para promover la participación de las partes interesadas en la gestión del agua, la toma de sus opiniones en instancias resolutorias y consultivas son base de una gobernanza activa, efectiva y propositiva.
11. **Arbitraje entre usuarios, áreas urbanas y rurales y generaciones:** Fomentar marcos de gobernanza del agua que ayuden a gestionar las compensaciones entre los usuarios del agua, las zonas rurales y urbanas y las generaciones, esto en especial, en zonas donde el manejo comunitario como son los APR en Chile es fundamental para la mantención y ampliación del acceso agua potable (e incluso, en casos como este también del alcantarillado).

Estos se basan en ser una propuesta de hacer frente a los restos presentes y futuros, en donde se necesitan políticas públicas sólidas, con objetivos conseguibles y fijados temporalmente, a cargo de entidades competentes y con regular monitoreo y evaluación. La gobernanza del agua eficaz, eficiente e incluyente contribuye al diseño e implementación de dichas políticas, en responsabilidad compartida entre los órdenes de gobierno y en cooperación con los actores relevantes, lo que posibilita poder afrontar los desafíos del agua presentes y futuros.

7. Conclusiones

El cambio climático es un fenómeno que afecta a todo el mundo y San Pedro de Atacama no es la excepción. En esta zona, el cambio climático ha condicionado la seguridad hídrica y la adaptación de sus habitantes, esperando un aumento de temperatura máximo de 2,7 °C en época estival y 3,0 °C en la invernal, lo que supera el promedio nacional de 2,2°C. A su vez, la alta variabilidad de las precipitaciones y el aumento de las temperaturas han provocado una disminución en la cantidad de agua disponible en la zona, lo cual ha generado una mayor presión sobre los recursos hídricos existentes.

La comuna debe enfrentar la problemática regular en torno a eventos de sequía, disponibilidad de agua y fluctuaciones atmosféricas, así como las externalidades derivadas de su actividad económica. La adaptación al cambio climático adquiere un papel central para hacer frente y superar los impactos producidos por las condiciones atmosféricas y cualquier otra injerencia que afecte a sus medios de vida, lo que obliga a buscar la implementación de medidas de conservación y gestión eficiente del agua.

Sin embargo, además de los factores externos del cambio climático (saneamiento, sequía y emergencias meteorológicas), existen otros elementos que inciden en las capacidades adaptativas de la comunidad de San Pedro de Atacama, que aumentan su vulnerabilidad y, por tanto, la sensibilidad del territorio a los embates producidos por este fenómeno. Barreras económicas, políticas, tecnológicas y sociales tienen fuerte injerencia en la resiliencia del ecosistema sanpedrino y en sus relaciones socioecológicas.

El balance hídrico demuestra que los diversos acuíferos de la comuna han sufrido variaciones en sus flujos durante un periodo de treinta años, con una disminución

significativa de sus capas freáticas. Diversos autores señalan que, si bien la extracción de agua se ve un poco sopesada por las reinyecciones en acuíferos de salmuera del núcleo del salar, igualmente existe una situación que genera un escenario de incertidumbre frente al contexto global del cambio climático y la variabilidad de las precipitaciones. Cabe resaltar, que esto considera solo los datos producidos por eventos externos y no así la actividad antrópica en el sector sur ligada al ciclo del agua, y de los cuales no se tienen muchos datos al respecto.

Así, la cuenca del Salar de Atacama en términos hidrogeológicos es un sistema hídrico superficial y subterráneo de alta complejidad, debido a la presencia de distintos cuerpos de agua (salobre y salmuera) de diferente densidad y salinidad que puede dificultar el entendimiento hidrodinámico de las aguas subterráneas. Sin embargo, estudios han sido capaces de caracterizar este sistema, ya sea en términos geológicos, hidrogeológicos, hidroquímicos, microbiológicos, entre otros.

La presencia de estos cuerpos de agua salobres y de salmuera pueden llegar a causar problemas en la determinación de la cantidad de agua en el sistema. Es decir, del agua que entra (recarga) y sale (descarga) de la cuenca del Salar de Atacama por la presencia de la cuña salina que se forma por la interacción entre estos cuerpos de agua de diferente salinidad.

El estudio de SQM (2022) determinó el balance hídrico para toda la cuenca del Salar de Atacama. Este estudio dividió el sistema en función del tipo de cuerpo de agua que se está analizando, estos cuerpos son: 1) el sistema de agua representado por las aguas dulces y salobres y 2) el sistema salmuera representado por la salmuera. La división en dos sistemas permite que el balance hídrico sea más simple, ya que se puede determinar cuánta agua se recarga y descarga en cada sistema. Sin embargo, esta separación puede llevar a tener algunas complicaciones, ya que se puede perder parte de la información de la interacción subterránea entre los acuíferos, esta interacción puede deberse a la presencia de estructuras que pueden hacer circular agua salobre a la salmuera y/o viceversa.

La división del sistema entre un periodo pre-operacional y un periodo operacional es una buena herramienta para entender cómo el sistema funcionó en los periodos donde el bombeo del agua casi no existía, y ver como la puesta en marcha de los periodos de extracción hasta

el periodo actual han modificado la hidrodinámica de los sistemas subterráneos. Los balances hídricos son calculados para un largo periodo de tiempo, normalmente son determinados con un periodo de 30 años seguidos de registros de precipitación, evaporación, transpiración, entre otros parámetros.

Así, el balance hídrico indicado en el presente estudio, muestra un detalle de la cantidad de agua que se mueve desde las partes altas (altas cumbres de las cuencas) a las partes medias del sistema de agua (acuíferos aluviales y marginal del Salar), y como descarga en el sistema bajo (salmuera), en cada subsistema de los márgenes del Salar de Atacama. No obstante, en el margen sur, en la zona de Peine y Tilopozo, se desconocen los datos de balance hídrico de otros actores privados que tienen derechos de extracción de agua concedidos. Estos datos faltantes pueden modificar los valores determinados por el estudio de SQM (2022) en la zona de Tilopozo y Peine.

Por otro lado, se puede decir también, que el flujo de agua comienza su trayecto superficial en la parte alta del sistema de agua. Este flujo se transporta hacia las zonas medias, ya sea como escorrentía o como flujo subterráneo, producido por la infiltración del agua precipitada en los abanicos aluviales y en la zona marginal. Las descargas de los sistemas son producidas por los procesos de evapotranspiración y/o surgencia del acuífero somero en la zona marginal, estas descargas permiten que se formen las costras salinas dando origen al mismo salar, además, cuando aflora el agua subterránea, da origen a los sistemas lacustres y afloramientos existentes en el Salar de Atacama.

El Balance Hídrico en la zona de aguas durante el periodo preoperacional y operacional muestra que, en la zona marginal este, se observa una variación de almacenamiento negativo, de -92 y -216 L/s, respectivamente. Si bien en las demás zonas no se aprecia un almacenamiento negativo, es en la zona sur donde no se contemplan los datos de extracción que permitan sugerir en detalle la variación del almacenamiento en la zona marginal sur (Tilopozo y Peine).

En el caso de la cuenca endorreica Entre Fronterizas y Salar de Atacama, se presenta un balance hídrico en un periodo histórico de 40 años (1980 a 2020) mediante una modelación generalizada de la cuenca, en función de distintos flujos hidrológicos. Esta determinación del balance corresponde al sistema completo sin tener mayor detalle de cómo cada sistema

salar, acuífero y lagunar funciona. Debido a que esta cuenca se localiza en el Altiplano, dificulta su acceso y su medición constante de los distintos cuerpos lacustres, por lo que el estudio Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca Endorreica Entre Fronterizas y Salar de Atacama (DGA, 2022a,b) tuvo que realizar diversos supuestos de los procesos hidrológicos e hidrogeológicos dominantes para la determinación del balance hídrico, pudiendo llegar a tener algún grado de incertidumbre en los valores determinados.

La cuenca Entre Fronterizas Salares Atacama y Socompa es la cuenca hidrográfica más alejada de la comuna de San Pedro de Atacama y con la mayor dificultad para poder acceder a los salares y a los cuerpos de agua existentes en ella. Esta dificultad se traduce en la poca información existente de los sistemas de agua subterránea y cómo estos interactúan entre ellos y con las demás cuencas, por lo que el balance hídrico no puede aún ser determinado.

La vulnerabilidad del sistema tiene fuertes repercusiones en la capacidad de adaptación; barreras que en San Pedro “más allá de físicas” son políticas, económicas y sociales. La zona se enfrenta a diversos problemas, como la escasez de agua, la degradación del suelo, el aumento del escurrimiento superficial, el crecimiento de la población y la creciente demanda turística. Lo que se traduce en grados de pobreza y marginalidad, falta de diversificación económica, falta de información, lentos procesos de innovación e investigación, y cooperación multiactor. Dentro de lo anterior, las barreras administrativas tienden a hacer más compleja la gestión de los recursos. La “tragedia de los comunes” puede cumplirse si no se atiende esto con urgencia, aspectos que repercuten en el agotamiento del recurso y en la serie de amenazas antes mencionadas.

Sin embargo, el panorama parece alentador. En San Pedro de Atacama existen numerosas iniciativas para la adaptación al cambio climático y también suficientes actores trabajando en ellas. Desde proyectos de uso sostenible del agua hasta programas de educación ambiental, la comunidad de San Pedro de Atacama está comprometida en la búsqueda de soluciones sostenibles para proteger su entorno natural y cultural. Además, se están llevando a cabo esfuerzos para involucrar a los distintos actores en estas iniciativas y fomentar prácticas responsables que ayuden a preservar y fortalecer la adaptación al cambio climático y la seguridad hídrica en la comuna.

De hecho, actualmente las comunidades del poblado de San Pedro de Atacama y sus alrededores han empezado con la realización de estudios hidrológicos e hidrogeológicos para empezar a rellenar estos vacíos de información, sin embargo, estos trabajos conllevan una gran tarea, por lo que se recomienda la conjunción entre los organismos estatales, los entes privados, las instituciones académicas y las comunidades a generar redes de trabajo colaborativo para la creación de proyectos a corto, mediano y largo plazo para la mejor caracterización de los recursos hídricos en todas las cuencas hidrográficas pertenecientes a la comuna de San Pedro de Atacama.

En este sentido la institucionalidad juega un rol importante, pues no está exenta de problemáticas. Dado el modelo de gestión dual, la institucionalidad del agua en San Pedro de Atacama exige una coordinación armónica entre todos los participantes que el ordenamiento jurídico otorga potestades en el tema. No es suficiente que exista coordinación entre los organismos públicos por ley encargados de la gestión del recurso hídrico. La ausencia de uno de estos actores influye negativamente en la gestión del agua, produciéndose una falta de fiscalización e incerteza jurídica en el ejercicio de los derechos de aprovechamiento. Como efecto dominó, el manejo de la cuenca se ve también afectado por la falta de comunidades de usuarios, aun cuando existen agrupaciones que gestionan el recurso hídrico, pero fuera de la legislación del Código de Aguas. En resumen, la coordinación armónica entre todos los participantes es esencial para una gestión efectiva del recurso hídrico en San Pedro de Atacama.

La gobernanza es un elemento clave para lograr la sinergia necesaria entre las diferentes iniciativas que se están llevando a cabo en San Pedro de Atacama para adaptarse al cambio climático. Al trabajar juntos, los actores involucrados pueden desarrollar soluciones más efectivas y sostenibles para preservar los recursos naturales y culturales de la zona. Es importante seguir promoviendo la cooperación entre los diferentes sectores y fomentar la participación ciudadana para abordar de manera urgente el agotamiento de los recursos y lograr un futuro más sostenible.

El desarrollo de políticas hídricas debe incluir la designación clara de roles y responsabilidades, la gestión del agua a escalas apropiadas, la coherencia de políticas, la capacitación de autoridades y comunidades, la generación y uso de datos e información, el financiamiento eficiente y transparente, la implementación de marcos regulatorios sólidos,

la promoción de prácticas innovadoras y la participación activa de las partes interesadas. Además, es importante fomentar el arbitraje entre usuarios, áreas urbanas y rurales y generaciones para una gestión efectiva del agua.

Para lograr una gestión y uso sostenible del agua en San Pedro de Atacama, resulta imperativo establecer una colaboración efectiva, eficiente y coordinada entre las diversas instituciones que operan en el territorio. El análisis presentado en este documento revela que, si bien existe una diversidad de instituciones en la escala regional-local, su falta de coordinación es evidente. En este sentido, es crucial evitar una sobre intervención por parte de estas entidades, con el propósito de evitar la duplicación de esfuerzos y asegurar una estrategia integral y complementaria.

La necesidad de unir fuerzas sociales, políticas y técnicas, se fundamenta en la optimización de recursos, la amplificación del impacto, la generación de sinergias en conocimiento y experiencia, la expansión de alcance y visibilidad, así como la congruencia y complementariedad entre las distintas iniciativas. Al unir sus esfuerzos, las instituciones pueden afrontar con mayor eficacia problemáticas complejas, como por ejemplo, el cambio climático, y aquellas de larga data relacionadas con el agua en la comuna. Esta colaboración permitiría obtener resultados de mayor relevancia y perdurabilidad. Además, el intercambio de conocimientos y la colaboración mutua estimulan un progreso conjunto y un continuo mejoramiento de las acciones relacionadas con el agua.

De este modo, la colaboración efectiva entre instituciones y la coordinación entre programas se convierten en pilares fundamentales para garantizar la disponibilidad y uso adecuado del agua en San Pedro de Atacama y, por ende, para el bienestar presente y futuro de la comunidad.

La política pública debe poner foco en aunar fuerzas, y garantizar la adaptación al cambio climático a través de una gobernanza efectiva “desde abajo” en los planes de adaptación. Esta estrecha colaboración permitiría superar barreras políticas, sociales y económicas.

Así, la política pública debe ser capaz de trascender y encontrar un reflejo en la ley, ya sea innovando o modificando la gobernanza del agua. En la región de Antofagasta es fundamental, toda vez que la aplicación del Código de Minería, en particular lo que dice

relación con las "aguas del minero", contradice lo preceptuado por el Código de Aguas en cuanto al otorgamiento y gestión del recurso.

El ordenamiento jurídico ha entregado las herramientas de gestión del agua, pero en la cuenca en estudio no han sido utilizadas, lo que redundaría en una justa y equitativa distribución de las aguas. El Código de Aguas regula un uso colectivo de las aguas. En otros términos, una gestión participativa, lo que se logra a través de las comunidades de usuarios, tales como las Junta de Vigilancia. Es fundamental en el resguardo del agua y para su uso sustentable la conformación de dichas organizaciones, siendo actores relevantes en la gobernanza del agua en San Pedro de Atacama.

La percepción común es que la Administración Pública (DGA) es la encargada de fiscalizar el cumplimiento de la ley, pero en materia de aguas el primer ente fiscalizador son las comunidades de usuarios. De ahí su relevancia, no sólo porque se le ha entregado la potestad de asignar la distribución e incluso disponibilidad del agua, sino también la fiscalización del correcto ejercicio de los derechos de aprovechamiento.

Al agruparse los propietarios del derecho de aprovechamiento del agua, comparten puntos de captación y también obras comunes, por tanto, la parte de cada usuario podrá ser alícuota o por turno, permitiendo de esta manera una primera forma de fiscalización asignada por ley.

Es fundamental abordar las temáticas relacionadas con la seguridad hídrica y el cambio climático a través de una mesa de diálogo que involucre a todos los actores relevantes. Al establecer un espacio de discusión y colaboración, se pueden identificar las principales barreras que impiden la implementación de soluciones efectivas y sostenibles a largo plazo. Además, se pueden proponer soluciones que consideren las necesidades y perspectivas de todos los actores involucrados, lo que puede aumentar la viabilidad y el impacto de las medidas adoptadas.

Para lo anterior es necesario extender las investigaciones a los distintos territorios de la comuna (ayllus, comunidades en formación, entre otros) y conocer así que está pasando en términos de sus problemáticas, iniciativas y fomentar la participación ciudadana de todos y todas. Solo así los embates del cambio climático tendrán mínima incidencia en estos

territorios y se podrá garantizar menores niveles de exposición y sensibilidad a las consecuencias del cambio climático.

8. Bibliografía

- Adger, N. 2000. Social and ecological resilience: are they related?. *Progress in Human Geography*. 24 (3): 347-364.
- Adger, N. 2003. Social capital, collective action and adaptation to climate change. *Economic Geography*: 387-404.
- Albarracín, V. H., Kurth, D., Ordoñez, O. F., Belfiore, C., Luccini, E., Salum, G. M., Farías, M. E. (2015). High-up: a remote reservoir of microbial extremophiles in central Andean wetlands. *Frontiers in microbiology*, 6, 1404. doi:<https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01404>
- Albuquerque, F. (2008) Innovación, transferencia de conocimientos y desarrollo económico territorial: una política pendiente. *Revista ARBOR* N° 732, julio y agosto, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid (pp.687-700).
- Allmendinger, R. W., Jordan, T. E., Kay, S. M., & Isacks, B. L. (1997). The evolution of the Altiplano-Puna plateau of the Central Andes. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 25(1), 139-174.
- Alonso, H., & Risacher, F. (1996). Geoquímica del Salar de Atacama, parte 1: origen de los componentes y balance salino. *Andean Geology*, 23(2), 113-122.
- Anderson, M., Low, R., & Foot, S. (2002). Sustainable groundwater development in arid, high Andean basins. *Geological Society, London, Special Publications*, 193(1), 133-144. doi:<https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2002.193.01.11>
- Arévalo Cunich, G. Las organizaciones de usuarios de aguas en nuestra legislación y su funcionamiento. *Revista de Derecho Administrativo Económico*. Vol. II, n° 1, enero-junio 2000. Págs. 41-49 <https://doi.org/10.7764/redae.3.5>
- Artero, C. (2016). Las organizaciones comunitarias de agua potable rural en América Latina: un ejemplo de economía substantiva. *Revista Polis* 15(45).
- Atria Lemaitre, F. y Salgado, C. (2016). La propiedad, el dominio público y el régimen de aprovechamiento de las aguas en Chile. *Legalpublishing*.
- Babidge, S. (2016). Contested value and an ethics of resources: Water, mining and indigenous people in the Atacama Desert, Chile. *The Australian Journal of Anthropology*, 27(1), 84-103. doi:<https://doi.org/10.1111/taja.12139>
- Banco Mundial. (2022). Gestión de los Recursos Hídricos. Repositorio Banco Mundial.

- Boschetti, T., Cortecchi, G., Barbieri, M., & Mussi, M. (2007). New and past geochemical data on fresh to brine waters of the Salar de Atacama and Andean Altiplano, northern Chile. *Geofluids*, 7(1), 33-50. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1468-8123.2006.00159.x>
- Bravo Castro, P. I. (2021). Estudio hidráulico de aguas subterráneas de la zona de Monturaqui, Salar de Atacama, Chile.
- Bull, A. T., Andrews, B. A., Dorador, C., & Goodfellow, M. (2018). Introducing the Atacama desert. In (Vol. 111, pp. 1269-1272): Springer.
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2021). Reforma del Código de Aguas. Recuperado de: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1174443>
- Boettinger, C. (2022). Nueva Institucionalidad para el agua: La importancia de un buen diseño regulatorio. Universidad del Desarrollo.
- Caldera Delgado, H. (2016). Principios funcionales y técnicos de los órganos públicos que integran la administración del Estado. *Revista De Derecho Público*, (41/42), Págs. 165–172. <https://doi.org/10.5354/rdpu.v0i41/42.43666>
- Centro Atacama. (2010). Las Mesas del Agua y la Gestión de Cuencas en Chile. Santiago. Disponible en: <https://research.csiro.au/gestionrapel/wp-content/uploads/sites/79/2016/12/Las-mesas-del-agua-y-la-gesti%C3%B3n-de-cuencas-en-Chile-2010.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística (2017). Censo Nacional de Población.
- Cervetto Sepúlveda, M. M. (2012). Caracterización hidrogeológica e hidrogeoquímica de las cuencas: |bSalar de Aguas calientes 2, Puntas negras, Laguna Tuyajto, Pampa Colorada, Pampa Las Tecas y Salar el Laco, II región de Chile.
- CIREN. (2016). Sistema de información Territorial de Humedales Altoandinos.
- Clarke, J. D. A. (2006). Antiquity of aridity in the Chilean Atacama Desert. *Geomorphology*, 73(1-2), 101-114. doi:<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.06.008>
- Cofré Arzola, E. A. (2018). Caracterización hidrogeoquímica de la cuenca del Salar de Atacama y lagunas salinas de la Cordillera Occidental,(22° 50´ -24° 00´ S), Región de Antofagasta, Chile.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2017). Agua, producción de alimentos y energía. La experiencia del nexo en Chile. Repositorio CEPAL.

- Comité Científico COP 25 Chile. (s/f). Lineamientos para el desarrollo de planes de adaptación al cambio climático: Aplicación a los recursos hídricos. Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.
- Cordovez, L., Espinoza, E., Medina, N., & Morales, L. (2019). Infraestructura Turística Lagunas Miscanti-Miñiques, Reserva Nacional Los Flamencos. Universidad Católica del Norte, Antofagasta.
- Correa et al. (2021). Análisis Comparado de la Gobernanza del Agua en América del Sur. Asociación de Exportadores de Frutas de Chile. Disponible en: https://www.simfruit.cl/wp-content/uploads/2021/07/Monografi%CC%81a.Agua_.CindyCorrea.RodrigoRomer o.Alejandra.Salazar.pdf
- Decreto con Fuerza de Ley N° 1 que fija el texto refundido, coordinado, sistematizado y actualizado de la Ley 19.175, Orgánica Constitucional sobre Gobierno y Administración Regional. Diario Oficial 8 de noviembre de 2005. Disponible en <https://bcn.cl/2f96z>
- Dietz, T., Ostrom, E. y Stern, A. (2003) The Struggle to Govern the Commons. Revista Science. Vol 302. N° 5652.
- Decreto con Fuerza de Ley N° 7 que fija el texto refundido del Decreto Ley n° 1.172 de 1975 que crea la Comisión Nacional de Riego. Diario oficial 24 de agosto de 1983. Disponible en <https://bcn.cl/2tf2g>
- Decreto con Fuerza de Ley n° 7 que fija el texto refundido del Decreto Ley n° 1.172 de 1975, que creó la Comisión Nacional de Riego. Diario Oficial 24 de agosto de 1983. Disponible en <https://bcn.cl/2tf2g>
- Decreto con Fuerza de Ley n° 1.122 que fija el texto del Código de Aguas. Diario Oficial 29 de octubre de 1981. Disponible en <https://bcn.cl/2f8tw>
- Decreto con Fuerza de Ley n° 1.123 que establece normas sobre ejecución de obras de riego por el Estado. Diario Oficial 21 de diciembre de 1981. Disponible en <https://bcn.cl/2m5lx>
- Decreto con Fuerza de Ley n° 850 fija el texto refundido, coordinado y sistematizado de la ley n° 15.840 de 1964 y del Decreto con Fuerza de Ley 206 de 1960. Diario Oficial 25 de febrero de 1998. Disponible en <https://bcn.cl/2iqo0>
- Díaz, E. J. (2016). Caracterización hidrogeoquímica de los flujos de agua subterránea que alimentan el sistema hídrico del sureste del Salar de Atacama, región de Antofagasta, Chile.

- DICTUC. (2008). Levantamiento Hidrogeológico para el desarrollo de nuevas fuentes de agua en áreas prioritarias de la Zona Norte de Chile, regiones XV, I, II y III: etapa 2. Informe final. Parte IX. Sistema Piloto II Región Salares El Laco y Aguas Calientes 2, Laguna Tuyajto y Pampas Puntas Negras, Las Tecas y Colorada.
- Dirección General de Aguas (2012). Diagnóstico Plan Estratégico para la gestión de los recursos hídricos, Región de Antofagasta.
- Dirección General de Aguas (2014). Inventario de Cuencas, Subcuencas y Subsubcuencas de Chile.
- Dirección General de Aguas. División de Estudios y Planificación. (2016). Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos Región de Antofagasta. Ministerio de Obras Públicas.
- Dirección General de Aguas. (2016). Resumen Ejecutivo. Gobierno de Chile.
- Dirección General de Aguas (2016a). Plan estratégico para la gestión de los recursos Hídricos Región de Antofagasta.
- Dirección General de Aguas (2016b). Sistematización de información de los recursos hídricos del Salar de Atacama para un futuro plan de gestión.
- Dirección General de Aguas (2017). Evaluación de los Recursos Hídricos Subterráneos del Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común de Cuencas Endorreicas en Sección Sur de la Puna de Atacama.
- Dirección General de Aguas (2022a). Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca Endorreica Entre Fronterizas y Salar de Atacama - Anexos.
- Dirección General de Aguas (2022b). Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca Endorreica Entre Fronterizas y Salar de Atacama - Informe Final.
- Dirección General de Aguas. Sección Organizaciones de Usuarios. <https://dga.mop.gob.cl/Paginas/oua.aspx>
- Dirección de Obras Hidráulicas. Sección Servicios Sanitarios Rurales. <https://doh.mop.gob.cl/SSR/operadores.html>
- Dourojeanni, A. Sistemas de gestión de aguas. El manejo de las cuencas. Derecho en la región. Universidad de Talca, año 1, n° 1, pág 55.
- Herrera Lameli, C., Urrutia Meza, J., Jódar Bermúdez, J., Lambán Jiménez, L. J., Custodio Gimena, E., & Gamboa Palacios, C. (2019). Investigaciones hidrogeológicas en la laguna Tuyajto perteneciente a la Reserva Nacional de los Flamencos (Atacama, Chile).

- Houston, J., & Hart, D. (2004). Theoretical head decay in closed basin aquifers: an insight into fossil groundwater and recharge events in the Andes of northern Chile. *Quarterly journal of engineering geology and hydrogeology*, 37(2), 131-139. doi:<https://doi.org/10.1144/1470-9236/04-007>
- IDAEA-CSIC. (2017). Cuarta Actualización del Modelo Hidrogeológico del Salar de Atacama.
- Ilustre Municipalidad de San Pedro de Atacama. Organizaciones indígenas participantes del Consejo Comunal de Organizaciones de la Sociedad Civil 2023. <https://www.munispa.cl/cosoc/>
- IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, doi:10.1017/9781009157896.
- Kampf, S. K., Tyler, S. W., Ortiz, C. A., Muñoz, J. F., & Adkins, P. L. (2005). Evaporation and land surface energy budget at the Salar de Atacama, Northern Chile. *Journal of Hydrology*, 310(1-4), 236-252. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.01.005>
- Le Quéré, C., Rodenbeck, C., Buitenhuis, E. T., Conway, T. J., Langenfelds, R., Gomez, A., ... & Heimann, M. (2007). Saturation of the Southern Ocean CO₂ sink due to recent climate change. *science*, 316(5832), 1735-1738.
- León, M., Muñoz, C., & Sánchez, J. (2020). La gobernanza del litio y el cobre en los países andinos.
- Ley N° 16.640 reforma agraria. Diario Oficial 28 de julio de 1967, derogada por Ley n° 18.755. Diario Oficial 7 de enero de 1989. Disponible en <https://bcn.cl/2lplv>
- Ley N° 18.428 Código de Minería. Diario Oficial 14 de octubre de 1983. Disponible en <https://bcn.cl/2fcpf>
- Ley N° 18.755 establece normas sobre el Servicio Agrícola y Ganadero, deroga la ley n° 16.640 y otras disposiciones. Diario Oficial 7 de enero de 1989. Disponible en <https://bcn.cl/2g1fm>
- Ley N° 18.902 que crea la Superintendencia de Servicios Sanitarios. Diario Oficial 27 de enero de 1990. Disponible en <https://bcn.cl/3c79k>

- Ley N° 19.253 establece normas sobre protección, fomento y desarrollo de los indígenas, y crea la Corporación Nacional Indígena. Diario oficial 28 de septiembre de 1993. Disponible en <https://bcn.cl/2f7n5>
- Ley N° 19.300 de Bases Generales del Medio Ambiente. Diario Oficial 9 de marzo de 1994. Disponible en <https://bcn.cl/2f707>
- Ley N° 19.525 regula sistemas de evacuación y drenaje de aguas lluvias. Diario Oficial 10 de noviembre de 1997. Disponible en <https://bcn.cl/2i85z>
- Ley N° 20.417 que crea el Ministerio del Medio Ambiente, Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente. Diario Oficial 26 de enero de 2010. Disponible en <https://bcn.cl/2fade>
- Ley N° 20.600 que crea los Tribunales Ambientales y establece su composición y funciones. Diario Oficial 18 junio de 2012. Disponible en <https://bcn.cl/2f7uf>
- Ley N° 20.998 regula los servicios sanitarios rurales. Diario Oficial 14 de febrero de 2017. Disponible en <https://bcn.cl/2flpv>
- Loyola, C. (2011). Ministerio de Obras Públicas: los cimientos humanos y materiales de Chile. Revista Universitaria 152.
- Marazuela, M. Á. (2020). Hydrogeology of salt flats: the Salar de Atacama example.
- Marazuela, M. A., Vázquez-Suñé, E., Ayora, C., García-Gil, A., & Palma, T. (2019). The effect of brine pumping on the natural hydrodynamics of the Salar de Atacama: The damping capacity of salt flats. Science of the Total Environment, 654, 1118-1131. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.196>
- Marazuela, M. A., Vázquez-Suñé, E., Custodio, E., Palma, T., García-Gil, A., & Ayora, C. (2018). 3D mapping, hydrodynamics and modelling of the freshwater-brine mixing zone in salt flats similar to the Salar de Atacama (Chile). Journal of Hydrology, 561, 223-235. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.04.010>
- Martín, L. & Bautista, J. (2015). Análisis, prevención y resolución de conflictos por el agua en América Latina y el Caribe. Repositorio CEPAL.
- Ministerio de Obras Públicas. (2023). Definiciones Estratégicas Ministeriales. Gobierno de Chile.
- Ministerio De Desarrollo Social y Familia. (2023). Definiciones Estratégicas Ministeriales. Gobierno de Chile.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. (2023). Definiciones Estratégicas Ministeriales. Gobierno de Chile.

- Ministerio de Salud. (2023). Definiciones Estratégicas Ministeriales. Gobierno de Chile.
- Muchnik, E., Luraschi, M. & Maldini, F. (1997). Comercialización de los derechos del agua en Chile. Naciones Unidas: Santiago.
- Municipalidad de San Pedro de Atacama. (2021). Plan de Desarrollo Comunal de San Pedro de Atacama. Recuperado de: https://www.munispa.cl/?smd_process_download=1&download_id=1366
- Muñoz-Pardo, J. F., Ortiz-Astete, C. A., Mardones-Pérez, L., & de Vidts-Sabelle, P. (2004). Funcionamiento hidrogeológico del acuífero del núcleo del salar de Atacama, Chile. *Tecnología y ciencias del agua*, 19(3), 69-81.
- Niemeyer, H. 1980. Hoyas Hidrográficas de Chile: Primera Región. Dirección General de Aguas, Centro de Información Recursos Hídricos, sin lugar.
- Núñez, R., Aguirre, C., Soto, J., Salinas, P., Salinas, C., Prieto, H., & Paneque, M. (2020). Physicochemical parameters affecting the distribution and diversity of the water column microbial community in the high-altitude Andean lake system of La Brava and La Punta. *Microorganisms*, 8(8), 1181. doi:<https://doi.org/10.3390/microorganisms8081181>
- OECD. (2016). Water Governance in cities, OECD studies on water, OECD publishing, Paris. Disponible en: https://read.oecd-ilibrary.org/governance/water-governance-in-cities_9789264251090-en#page4
- Ortiz, C., Aravena, R., Briones, E., Suárez, F., Tore, C., & Muñoz, J. F. (2014). Sources of surface water for the Soncor ecosystem, Salar de Atacama basin, northern Chile. *Hydrological Sciences Journal*, 59(2), 336-350. doi:<https://doi.org/10.1080/02626667.2013.829231>
- Ostrom, Elinor y James M. Walker, comps. 2003. Trust and Reciprocity: Interdisciplinary Lessons from Experimental Research. Nueva York: Russell Sage Foundation.
- Pettengell, C. 2010. Adaptación al cambio climático. Capacitar a las personas que viven en la pobreza para que puedan adaptarse. Informe de Investigación de OXFAM, Reino Unido.
- Rock, J., Rojas, C., Puentes, G. & Durán, F. (2013). Vinculación del desarrollo regional y la educación superior en Chile. Foro de Educación Superior: Chile.
- Rodríguez, A. & Alvarado, H. (2008). Claves de la Innovación Social en América Latina y El Caribe. Organización de las Naciones Unidas.

- Saravia, S., Gil, M., Blanco, E., Llavona, A. & Naranjo, L. (2020). Desafíos hídricos en Chile y recomendaciones para el cumplimiento del ODS 6 en América Latina y el Caribe. Repositorio CEPAL.
- Sarricolea, P., Meseguer Ruiz, O., & Romero-Aravena, H. (2017). Tendencias de la precipitación en el norte grande de Chile y su relación con las proyecciones de cambio climático. *Diálogo andino*, (54), 41-50.
- Severiche, C., Muñoz, D. & Morales, J. (2016). Gestión del conocimiento en el sector de agua potable y saneamiento básico en Colombia. *Revista Omnia*, 22(1).
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura. (2022). La FAO y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Italia. DOI: <https://doi.org/10.4060/cc2063es>
- Philip, J. R. (1957). Evaporation, and moisture and heat fields in the soil. *Journal of Atmospheric Sciences*, 14(4), 354-366. doi:[https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1957\)014%3C0354:EAMAHF%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1957)014%3C0354:EAMAHF%3E2.0.CO;2)
- Ramírez González, E. (1972). Caracterización climatológica e hidrológica del Salar de Atacama.
- RIDES (2005). Bienestar humano y manejo sustentable en San Pedro de Atacama, Chile Resumen Ejecutivo. Santiago, Chile: RIDES.
- Risacher, F., Alonso, H., & Salazar, C. (2003). The origin of brines and salts in Chilean salars: a hydrochemical review. *Earth-Science Reviews*, 63(3-4), 249-293. doi:[https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(03\)00037-0](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(03)00037-0)
- Rojas Calderón, C. (2016). La distribución de las aguas. Thomson Reuters.
- Salas, J., Guimera, J., Cornella, O., Aravena, R., Guzman, E., Tore, C., . . . Moreno, R. (2010). Hydrogeology of the lacustrine system of the eastern margin of the Salar the Atacama (Chile); Hidrogeología del sistema lagunar del margen este del Salar de Atacama (Chile). *Boletín Geológico y Minero*, 121.
- Servicio de Impuestos Internos (2021). Base de datos empresas locales.
- Sistema de Información Territorial (2022). Plataforma de datos georeferenciada.
- SQM. (2022). Proyecto Plan de Reducción de Extracciones en el Salar de Atacama - Anexo 5-6: Modelo Hidrogeológico Conceptual del Sistema Tilopozo.
- Suau, A. (2021). Territorialidad y desterritorialización: El Ayllu atacameño como etnoterritorio de adaptación frente a los impactos de la industria del turismo y la minería del litio en la cuenca del Salar de Atacama. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad de Chile. Santiago de Chile. Disponible en:

<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/181066/territorialidad-y-desterritorializacion.pdf?sequence=1>

- Talukder, M. W., & Hayashi, D. (2006). Numerical simulation of faults in Southern Bolivian and Northern Argentinean Orocline, Central Andes.
- Teillier, S., & Becerra, P. (2003). Flora y vegetación del salar de Ascotan, Andes del norte de Chile. *Gayana. Botánica*, 60(2), 114-122.
- Tejeda, I., Cienfuegos, R., Muñoz, J. F., & Durán, M. (2003). Numerical modeling of saline intrusion in Salar de Atacama. *Journal of Hydrologic Engineering*, 8(1), 25-34.
- USGS. (2019). El Ciclo del Agua - The Water Cycle, Spanish. Disponible en: <https://www.usgs.gov/media/images/el-ciclo-del-agua-water-cycle-spanish-png>
- Valero-Garcés, B. L., Delgado-Huertas, A., Navas, A., Edwards, L., Schwalb, A., & Ratto, N. (2003). Patterns of regional hydrological variability in central-southern Altiplano (18–26° S) lakes during the last 500 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 194(1-3), 319-338.
- Valero-Garcés, B. L., Grosjean, M., Schwalb, A., Geyh, M., Messerli, B., & Kelts, K. (1996). Limnogeology of Laguna Miscanti: evidence for mid to late Holocene moisture changes in the Atacama Altiplano (Northern Chile). *Journal of Paleolimnology*, 16, 1-21.
- Vásquez, C., Ortiz, C., Suárez, F., & Muñoz, J. F. (2013). Modeling flow and reactive transport to explain mineral zoning in the Atacama salt flat aquifer, Chile. *Journal of Hydrology*, 490, 114-125. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.03.028>
- Vergara Blanco, A (2014). Crisis institucional del agua. Thomson Reuters
- Vicuña, S., P. Aldunce, A. Stehr, F. Cid, A. Rivera, K. Alencar, C. Álvarez, J. Barton, J. J. Berger, C. Berroeta, J. P. Boisier, E. Bustos, S. Bustos, T. Correa, S. Cortés, L. Cubillos, F. De la Barrera, F. Donoso, L. Farías, D. Farías, R. Fuster, P. Gese, A. Godoy, L. Guerra, C. Guida, C. Ibarra, M. Jadrijevic, R. Jiliberto, G. Lillo, E. Medel, C. Meruane, F. Meza, M. Montedónico, J. C. Muñoz, L. Muñoz, M. Musalem, A. Navarro, C. Ovalle, R. Palma, C. Pelano, A. Pica, J. Piquer, D. Poblete, R. Ponce, P. Repetto, M. Rojas, A. Rudnick, G. Santis, J. I. Selles, C. Silva, M. Silva, D. Soto, S. Ureta, C. Vargas, G. Vida y P. Winckler (2019). Lineamientos para el desarrollo de planes de adaptación: Aplicación de recursos hídricos. Informe de las mesas

Adaptación y Agua. Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.

- Warren, J. K. (2006). *Evaporites: sediments, resources and hydrocarbons*: Springer Science & Business Media.
- Villar & Machado.(2019). El derecho en la construcción de la gobernanza de las aguas dulces. Disponible en: http://dspace.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2201/1/UNIDAD%201_El%20derecho%20en%20la%20construcci%C3%B3n%20de%20la%20gobernanza%20de%20las%20aguas%20dulces.pdf
- Whitman, D., Isacks, B. L., & Kay, S. M. (1996). Lithospheric structure and along-strike segmentation of the Central Andean Plateau: seismic Q, magmatism, flexure, topography and tectonics. *Tectonophysics*, 259(1-3), 29-40.