



**GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
DIVISIÓN DE ESTUDIOS Y PLANIFICACIÓN**

Plan Estratégico de Gestión Hídrica en la Cuenca de la Pampa del Tamarugal

RESUMEN EJECUTIVO

REALIZADO POR:

ICASS SpA

S.I.T. N°473

Santiago, abril 2021.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas
Sr. Alfredo Moreno Charme

Director General de Aguas
Sr. Óscar Cristi Marfil

Jefe División de Estudios y Planificación
Sr. Mauricio Lorca

Inspector Fiscal
Sr. Marcelo Aliaga Alvarado

Inspectora Fiscal Subrogante
Sra. Pamela García Serrano

Asesor Modelación Integrada
Sr. Pedro Sanzana Cuevas

Profesionales DGA
Ingeniera en Recursos Naturales Renovables María Victoria Aedo
Aedo

Ingeniero Civil Agrícola Abraham Arévalo Neira
Ingeniero Civil en Obras Civiles Pablo Costa Tapia
Geólogo Nicolás Lara Yañez
Cartógrafo Guillermo Tapia Molina

INGENIERÍA Y CONSULTORÍA EN AGUAS SPA

Bernardo Capino Díaz

Jefe de Proyecto

Ingeniero Civil

Profesionales:

Ingeniero Civil Adrián Lillo

Hidrogeólogo Kirk Heatwole

Ingeniero Civil Mauricio Zambrano

Hidrogeólogo Wolf von Igel

Antropóloga Social Kapris Tabilo

Especialista SIG Luis Acevedo

Economista Rodrigo Morera

Geóloga Begoña Urtubia

Ingeniera Civil Paulina Rodriguez

Equipo Complementario:

Hidrogeóloga Carolina Saavedra

Hidrogeóloga Tamara Vejar

Ingeniero Ambiental Felipe González

Geólogo José Bustamante

Ingeniero Civil Rodrigo Marinao

Economista Sebastián Barrios

Para citar bibliográficamente este estudio, se recomienda hacerlo de la siguiente forma:

Dirección General de Aguas (DGA), 2021. Plan Estratégico de Gestión Hídrica en las Cuencas de Lluta y Pampa del Tamarugal, SIT N°473, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación, Santiago, Chile. Realizado por: ICASS SpA.

Tabla de Contenido General

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2	OBJETIVOS.....	1
2.	CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA	3
2.1	GEOMORFOLOGÍA	5
2.2	GEOLOGÍA.....	5
2.3	SUELOS	7
2.4	HIDROLOGÍA Y CLIMA.....	7
2.5	HIDROGEOLOGÍA	14
2.6	ACTIVIDADES ECONÓMICAS	21
2.7	DIMENSIÓN AMBIENTAL	22
2.8	INFRAESTRUCTURA HÍDRICA.....	25
2.9	NUEVAS FUENTES	27
2.10	GOBERNANZA	27
3.	BALANCE DE AGUA EN LA CUENCA	32
3.1	OFERTA.....	34
3.2	DEMANDA	40
3.3	BALANCE	41
4.	PLAN DE ACCIÓN	50
4.1	EJES Y OBJETIVOS PARA EL PEGH.....	50
4.2	CARTERA DE INICIATIVAS DE INVERSIÓN VIGENTES	50
4.3	CARTERA DE INICIATIVAS PROPUESTAS	51
4.4	VALORIZACIÓN ECONÓMICA DEL PLAN.....	53
5.	IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN	57
5.1	ESTRUCTURA DEL PLAN DE GESTIÓN	57
5.2	PLAZOS DE IMPLEMENTACIÓN.....	57
5.3	ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN	57
5.4	GOBERNANZA DEL PLAN ESTRATÉGICO.....	58
5.5	ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN	61
6.	MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN.....	63
6.1	PLAN DE MONITOREO.....	63
6.2	MECANISMOS DE EVALUACIÓN, ACTUALIZACIÓN Y TOMA DE DECISIONES.....	66

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

Los Planes Estratégicos de Gestión Hídrica (PEGH) de la Dirección General de Aguas, se enmarcan dentro de una estrategia que propone un nuevo enfoque de gestión por cuenca, que proporcione conocimiento y diagnóstico para formular planes de acción a corto, mediano y largo plazo, de acuerdo a las necesidades propias de cada cuenca, para formular una hoja de ruta realizable y medible, para hacer frente a los desafíos que enfrenta Chile al gestionar el agua.

El presente PEGH se encarga de la cuenca de la Pampa del Tamarugal, en la Región de Tarapacá, y considera las materias de caracterización, demanda, oferta y balance hídrico, modelación de la cuenca, acciones, cartera de iniciativas e implementación de un plan estratégico de gestión.

1.2 Objetivos

El objetivo general del presente estudio es proponer un plan estratégico indicativo para la cuenca de la Pampa del Tamarugal, que permita conocer la oferta y demanda actual de agua, establecer un balance hídrico y sus proyecciones a 30 años, diagnosticar el estado de información, infraestructura e instituciones que toman decisiones respecto al recurso hídrico, y proponer una cartera de acciones DGA y de terceros (público-privados), que permitan suplir la demanda de agua y adaptación al cambio climático, con un portafolio de acciones que aseguren su abastecimiento en cantidad y calidad.

Los objetivos específicos del Plan de la cuenca son los siguientes:

- Conocer el estado actual de la cuenca de la Pampa del Tamarugal en cuanto a oferta, demanda, balance de agua (en cuanto a derechos y demandas de agua) y sus respectivas herramientas de cálculo (modelos), control de extracciones, calidad físico-química de fuentes de aguas superficiales y subterráneas, gobernanza, y red hidrométrica superficial, subterránea, de calidad, de glaciología y nieves.
- Construir y/o actualizar los modelos de simulación hidrológicos, e integrarlos a nivel superficial-subterráneo.
- Definir acciones para restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable rural y urbana, por tipo de usuario tanto para fuentes superficiales como subterráneas.
- Diagnosticar estado de la calidad de aguas de las fuentes superficiales y subterráneas. Definir acciones para proteger funciones ecosistémicas críticas relacionadas con los cuerpos de agua en el tiempo.
- Diagnosticar el estado de la infraestructura hidráulica actual y proponer acciones para mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial, subterráneo, de montaña y glaciares). Se deberá analizar el estado de funcionamiento, la antigüedad y confiabilidad de los sistemas en general.

- Identificar las brechas entre oferta y demanda de agua en distintos escenarios de cambio climático, sequía e inundaciones, estableciendo un portafolio de acciones (estrategias de gestión) para reducirlas. Se deberá establecer un caso base y distintos escenarios para la evaluación.
- Entregar estrategias para mejorar la toma de decisiones, mediante la utilización de modelos operativos de gestión, los cuales deberán tener escenarios de planificación a corto, mediano y largo plazo, y ser adaptativos en el tiempo.
- Entregar estrategias para promover y revitalizar la alianza público-privada, y así incrementar cualitativamente la inversión requerida en infraestructura e investigación.

2. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

La cuenca de la Pampa del Tamarugal (Figura 2.1) se ubica en la región de Tarapacá, tiene una extensión de una extensión de 15.887 km² y abarca la provincia del Tamarugal, y las comunas de Huara, Pozo Almonte y Pica. La cuenca de la Pampa de la Pampa del Tamarugal es una cuenca endorreica que se desarrolla desde la cordillera de Los Andes hasta la misma pampa que se ubica en la depresión intermedia. La cuenca no cuenta con cauces continuos y permanentes, sin embargo, drenan hacia ella una serie de quebradas que se activan en el periodo del invierno altiplánico.

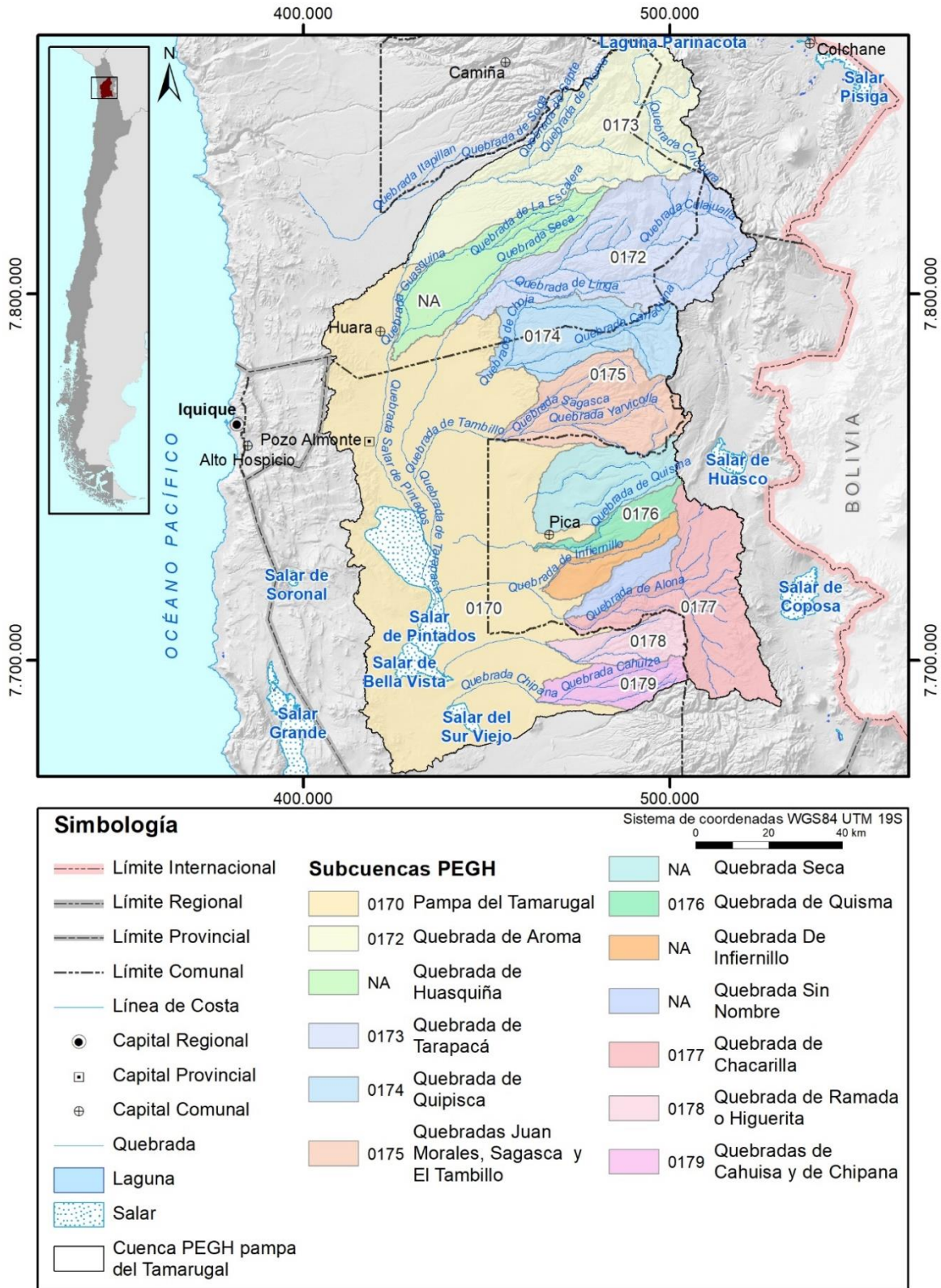
La delimitación de la cuenca presentada en la Figura 2.1 corresponde a una actualización de la cuenca del Banco Nacional de Aguas (BNA), basada en la cuenca definida por el Departamento de Administración de Recursos Hídricos (DARH), de 2015, corregida según los últimos modelos de elevación digital disponibles. La mayor diferencia se presenta en el borde norponiente, cuya dirección de drenaje superficial va hacia el norte. Junto con la nueva delimitación de la cuenca, se delimitaron las subcuencas, buscando definir las zonas aportantes a la Pampa y al sector acuífero (Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Subcuencas de la Pampa del Tamarugal (delimitación ICASS 2020).

Código Subcuenca BNA	Subcuenca	Área (km)	Provincia
0170	Pampa del Tamarugal	6.291	Tamarugal
0172	Quebrada de Aroma	1.951	Tamarugal
NA (*)	Quebrada de Huasquiña	817	Tamarugal
0173	Quebrada de Tarapacá	1.710	Tamarugal
0174	Quebrada de Quipisca	885	Tamarugal
0175	Quebradas Juan Morales, Sagasca y El Tambillo	919	Tamarugal
NA (*)	Quebrada Seca	648	Tamarugal
0176	Quebrada de Quisma	250	Tamarugal
NA (*)	Quebrada de Infiernillo	269	Tamarugal
NA (*)	Quebrada Sin Nombre	211	Tamarugal
0177	Quebrada de Chacarilla	1.233	Tamarugal
0178	Quebrada de Ramada o Higuera	328	Tamarugal
0179	Quebradas de Cahuisa y de Chipana	375	Tamarugal

(*) NA: No aplica. Subcuencas no delimitadas según base BNA, forman parte de la subcuenca Pampa del Tamarugal.

Fuente: elaboración propia en base a Mapoteca DGA.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.1 Cuenca y subcuencas de la Pampa del Tamarugal.

2.1 Geomorfología

En el área de estudio, las unidades geomorfológicas reconocibles de oeste a este son: la cordillera de la Costa, la depresión Central, la precordillera y la cordillera Principal.

- La cordillera de la costa está incluida parcialmente en la Pampa del Tamarugal, la que se ubica en su borde occidental, y corresponde a una franja elongada NS, que se presenta como una cordillera de baja altura.
- La depresión central corresponde una cuenca tectónica rellena de sedimentos acarreados por cursos de agua que bajan desde el macizo andino encauzados por las quebradas.
- La precordillera es considerada una divisoria de aguas entre un sistema de drenaje hacia el oeste y otro hacia el este.
- La cordillera occidental, es la parte occidental de la cordillera de Los Andes que corresponde a una sierra de grandes y variadas alturas, de disposición irregular y constituida fundamentalmente por edificios volcánicos.

2.2 Geología

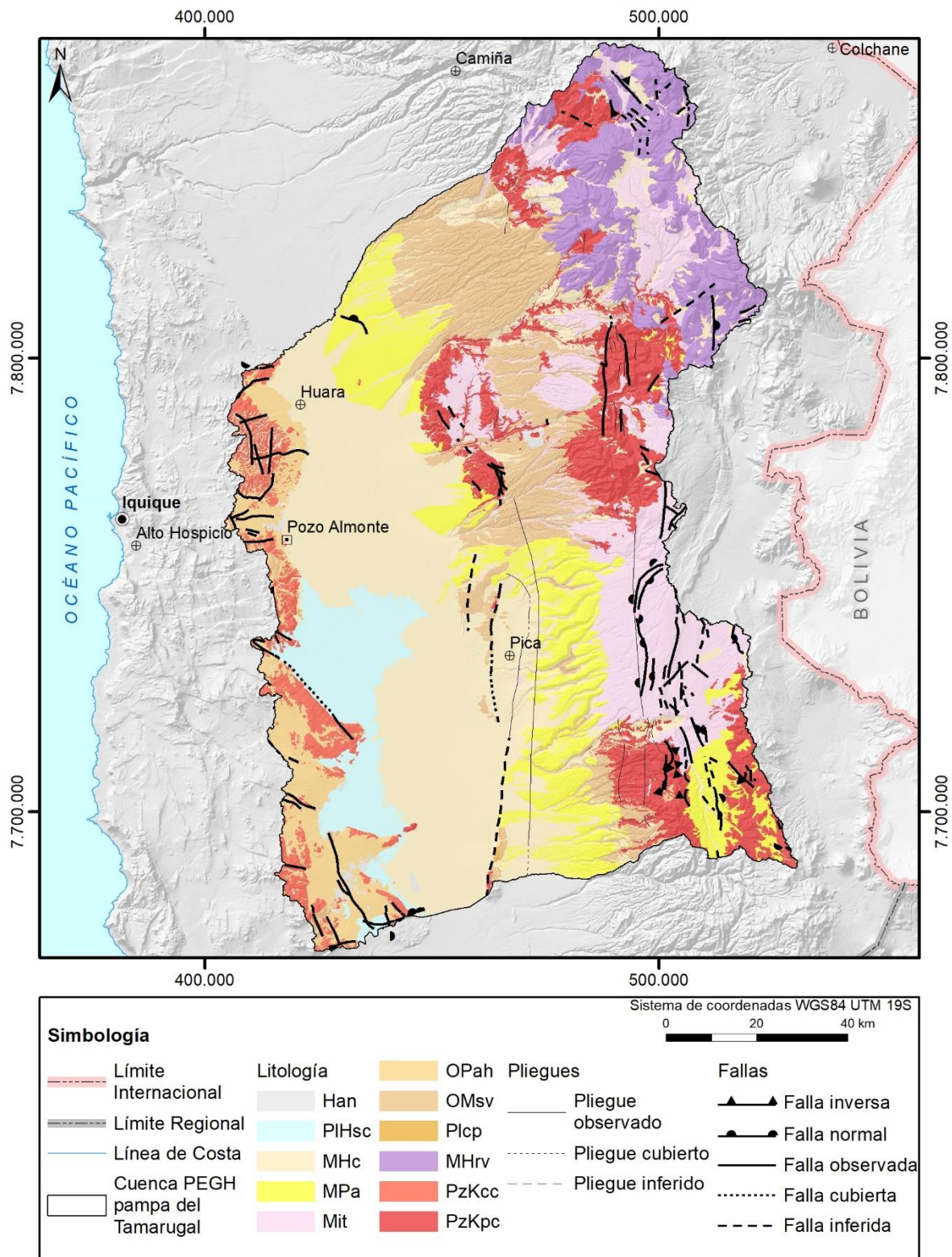
La Geología de la cuenca de la Pampa del Tamarugal ha sido caracterizada según la carta geológica de Chile, serie hidrogeología elaborado por SERNAGEOMIN (2017). Las unidades definidas informalmente se pueden observar en la Figura 2.2, la cual fue elaborada a partir de la recopilación de 11 cartas geológicas.

Litología

En el estudio de SERNAGEOMIN (2017) se definen de manera informal una serie de unidades litológicas, agrupando las unidades formales según características de permeabilidad similares, con el fin de facilitar luego la definición de unidades hidrogeológicas. Es así que se definen dos grandes tipos de unidades: 1) rocas, y 2) depósitos no consolidados a semiconsolidados y tobas.

Se denominan con el término de rocas a las unidades volcánicas y sedimentarias clásticas del Oligoceno al Holoceno y a las rocas de edad Paleozoico al Cretácico, entre las que se encuentran las rocas del Paleozoico-Cretácico indiferenciadas de la cordillera de la Costa (PzKcc), las rocas del Paleozoico-Cretácico indiferenciadas de la Precordillera (PzKpc), las rocas volcánicas (MHrv) y las rocas sedimentarias clásticas con precipitados carbonáticos (Plcp).

En el caso de los depósitos no consolidados a semiconsolidados y tobas se agrupan las unidades geológicas formadas entre el Mioceno y el Holoceno. Las unidades identificadas corresponden a depósitos sedimentarios clásticos con intercalaciones volcánicas del Oligoceno al Mioceno (OMsv), gravas de alto hospicio (OPah), tobas soldadas (Mit), depósitos aluviales del mioceno superior-plioceno (MPa), depósitos sedimentarios clásticos no consolidados (MHc), depósitos salinos con intercalaciones clásticas (PIHsc) y depósitos antropogénicos (Ha).



Fuente: elaboración propia a partir de las cartas geológicas referidas en la sección 2.2 del Anexo F, el Mapa Geológico de Chile 1:1.000.000 y (SERNAGEOMIN, 2017).

Figura 2.2 Litología y estructuras de la cuenca de la pampa del Tamarugal.

Estructuras

Una serie de pliegues, flexuras monoclinales y fallas inversas afectaron a la Formación Altos de Pica, localmente a la Ignimbrita Huasco (Mioceno Inferior alto) y a la Formación El Diablo (Mioceno Medio), las que se encuentran selladas por los Depósitos aluviales del Mioceno Superior-Plioceno.

Se reconoce, por su importancia regional, a las flexuras Longacho, Chintaguay (y la asociada Falla Challacollo) y Altos de Pica, además de conjuntos de pliegues, fallas inversas y flexuras menores. Estas estructuras afectan, principalmente, a formaciones que pertenecen a la unidad litológica definida informalmente como Depósitos sedimentarios clásticos con intercalaciones volcánicas del Oligoceno al Mioceno (OMsv), cuyas estructuras más importantes se pueden observar en la Figura 2.2.

Las zonas de fracturas y las fallas geológicas situadas en el piedemonte de la cordillera y en la Depresión Central han sido descritas como posibles zonas de descargas de las aguas subterráneas profundas.

2.3 Suelos

Según el estudio DGA (2004), la subcuenca de la Quebrada de Tarapacá posee tres unidades taxonómicas correspondientes a suelos del orden Histosoles, Molisoles y Entisoles. El tipo de suelo Histosol se encuentra alrededor de las quebradas, oasis y zonas húmedas en general. Generalmente se dan en la alta cordillera, sobre los 3.000 metros de altitud y corresponden a suelos derivados de tejidos vegetales. Los suelos del tipo Molisol son suelos en los que se han producido la descomposición y acumulación de grandes cantidades de materia orgánica que da origen a humus rico en calcio. Los suelos Entisoles se caracterizan por su carencia de horizontes bien desarrollados, poco evolucionados por la aridez de la zona. Pueden ser suelos jóvenes que no han tenido tiempo de desarrollarse o bien viejos, en sentido geológico, pero que no han desarrollado horizontes por corresponder a materiales resistentes a la meteorización. En el sector de la Pampa del Tamarugal este tipo de suelos derivan de sedimentos gruesos con alto contenido salino y pH elevado.

2.4 Hidrología y clima

La cuenca Pampa del Tamarugal corresponde a una cuenca hidrográfica endorreica, en la cual confluyen hacia la depresión Intermedia una serie de quebradas con flujos intermitentes y algunos permanentes provenientes de la precordillera y de cordillera. De acuerdo a la delimitación presentada en el al comienzo de este capítulo, la cuenca está definida por trece subcuencas. A nivel de escurrimiento, las subcuencas más relevantes de norte a sur corresponden a las quebradas de Aroma, Tarapacá, Quipisca, Juan Morales, y Chacarilla. Todos los escurrimientos se infiltran antes de desembocar en la depresión de la Pampa del Tamarugal salvo durante eventos hidrometeorológicos extremos de ocurrencia esporádica.

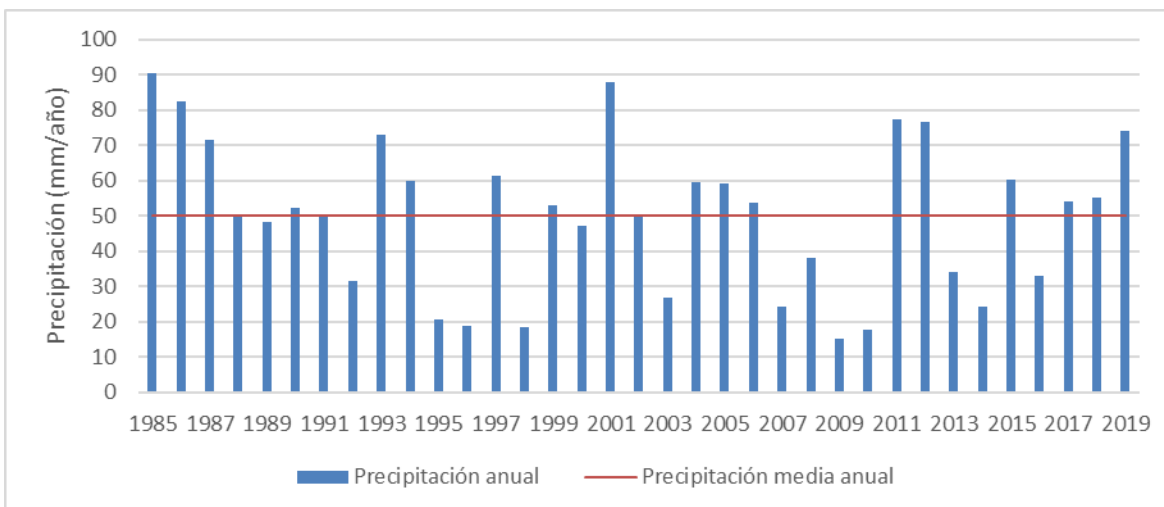
Desde el oeste al este de la Pampa se presentan variaciones climáticas dispuestas en franjas longitudinales, según la clasificación climática de Köppen. En primer lugar, el clima desértico frío se presenta en la mayor parte de la extensión de la Pampa del Tamarugal, caracterizado por una baja humedad relativa, cielos permanentemente despejados, grandes cambios de temperatura a escala diaria, con temperaturas que varían desde los 25°C en el día a los -15°C durante la noche, y la ausencia de precipitaciones. Cuando se tienen fuertes precipitaciones en época de verano, este clima toma el nombre de clima desértico frío de lluvia estival.

En segundo lugar, el clima desértico cálido se presenta al sur de la cuenca en el sector del salar del Sur Viejo, caracterizándose por la nubosidad que se intensifica en invierno y la alta humedad que aporta el mar. De esta manera, la alta humedad por la proximidad del mar y el efecto moderador de la corriente de Humboldt, producen bajas amplitudes térmicas tanto diarias como anuales, manteniéndose durante el año temperaturas entre 20 y 25°C. En tercer lugar, el clima semiárido se presenta entre los 1.800 y 2.200 m s.n.m. El régimen de precipitaciones es mixto, observándose precipitaciones estivales y de origen ciclónico, aunque escasas en ambos casos. Debido a la altura, las temperaturas son relativamente frías, con un promedio no superior a los 10°C. Entre los 2.200 y 3.000 m s.n.m. se tienen mayores precipitaciones durante el verano, considerándose un clima semiárido de lluvia estival. En cuarto lugar, a partir de los 3.000 m s.n.m. se presenta el clima frío de tundra por altura de lluvia estival. La elevada altitud hace que las temperaturas sean muy frías, valores medios no superiores a 5°C, y que se produzca una gran amplitud térmica entre el día y la noche. La principal característica es el aumento de las precipitaciones, las más importantes durante las tardes de verano. Finalmente, a partir de los 5.700 m s.n.m., las temperaturas hacen que las nieves sean perpetuas, caracterizando las cumbres más elevadas de la región, con una humedad relativa en general baja, tipo de clima que se denomina glacial de lluvia estival.

Precipitaciones

Las precipitaciones en la cuenca fueron estimadas a partir del producto CR2MET (Boisier et al., 2018), conjunto de datos climáticos que ya ha sido utilizado en la Actualización del Balance Hídrico Nacional (DGA, 2017a). La última versión disponible (versión 2) abarca el período 1979-2019 a escala diaria¹. Para la cuenca Pampa del Tamarugal, se obtuvo un valor anual promedio de precipitación de 50 mm/año para el periodo comprendido entre los años 1985 y 2019, que equivale a 25.189 l/s para un área de 15.887 km². En la Figura 2.3 se presenta la evolución histórica de la precipitación anual.

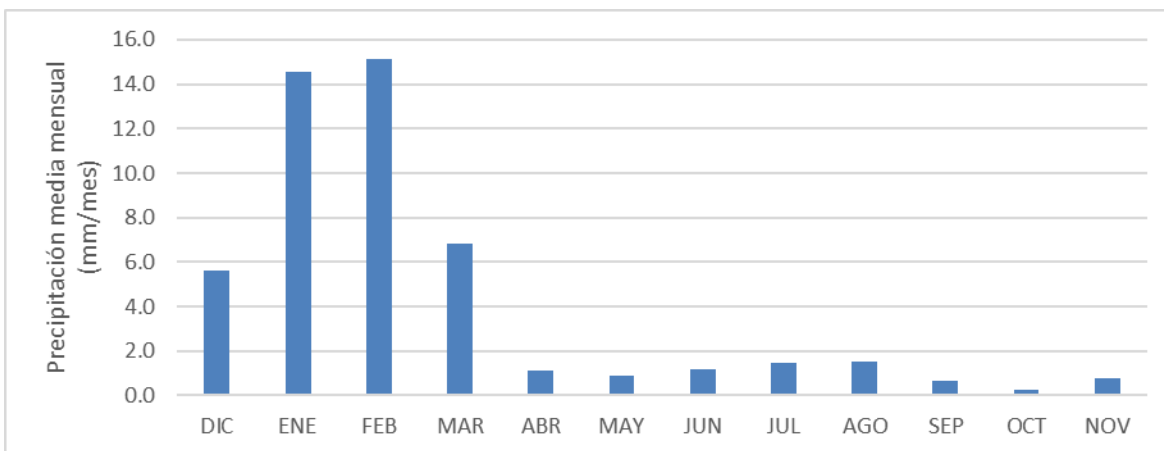
¹ Datos Productos Grillados CR2MET v2 [en línea] <http://www.cr2.cl/datos-productos-grillados/> (visitado por última vez el 30/04/2021)



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.3 Precipitación anual en la cuenca Pampa del Tamarugal para el periodo 1985-2019, mediante base de datos CR2MET.

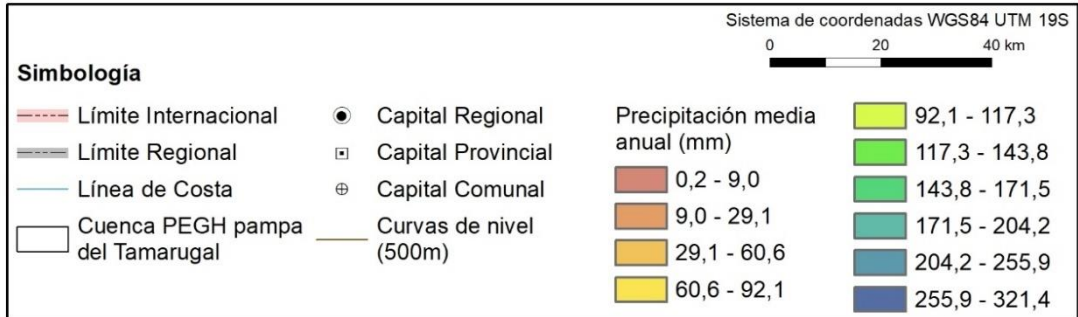
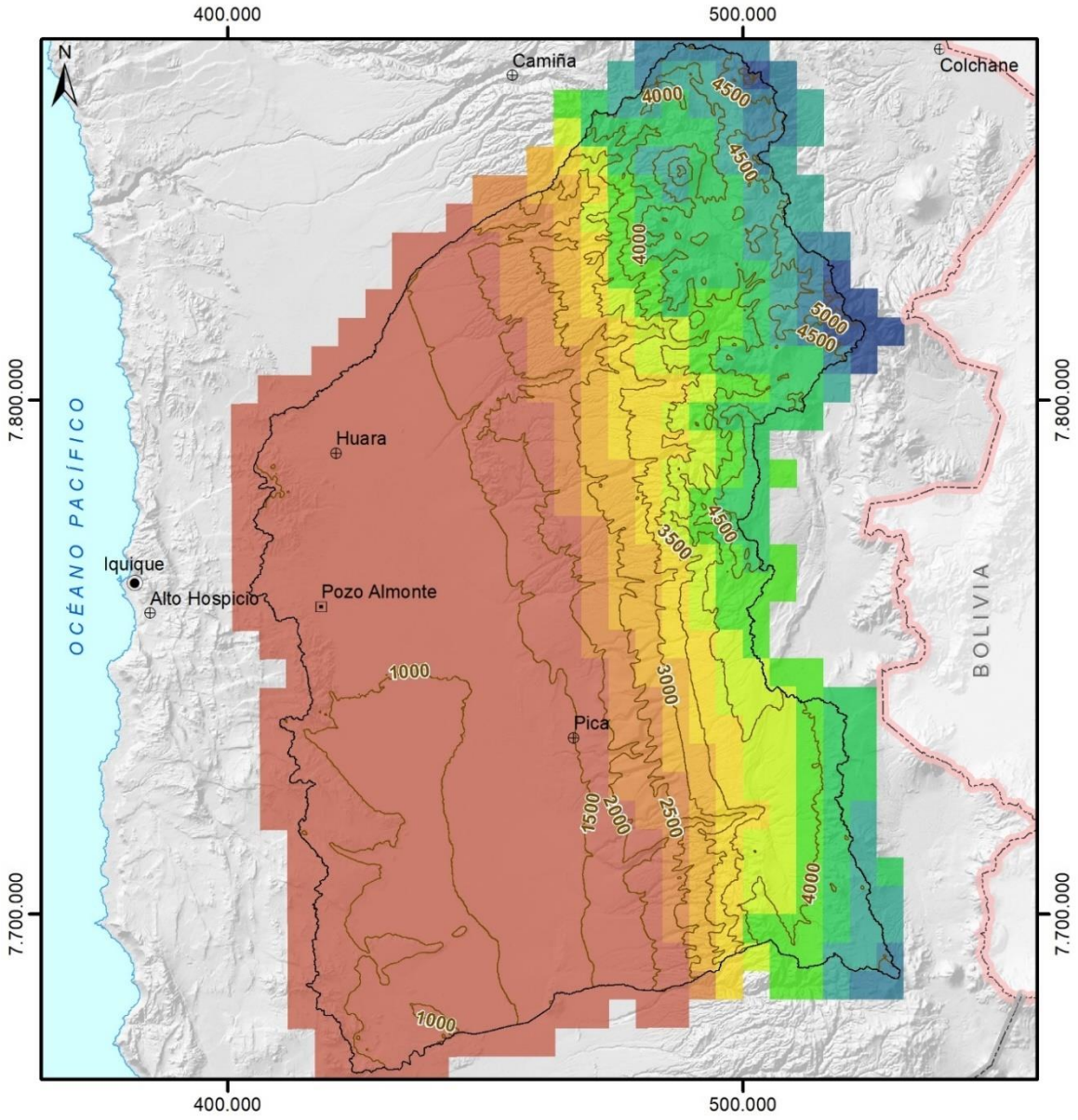
Al revisar los valores escala mensual (Figura 2.4), se destaca una marcada influencia del Invierno Altiplánico, con lluvias principalmente entre los meses de diciembre a marzo.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.4 Distribución mensual de precipitaciones en la cuenca Pampa del Tamarugal.

La distribución espacial de las precipitaciones en la cuenca varía entre valores cercanos a 0 mm en la parte baja de la cuenca, hasta valores cercanos a los 300 mm en las zonas de mayor altura (Figura 2.5).



Fuente: elaboración propia en base a antecedentes CR2MET.

Figura 2.5 Distribución de la precipitación media anual (mm) en la cuenca Pampa del Tamarugal.

Evaporación

En la cuenca, los salares de Pintados, Bellavista y Sur Viejo son las principales zonas donde ocurre la evaporación en el acuífero por las profundidades someras del agua subterránea. La tasa máxima de evaporación representativa para la Pampa del Tamarugal está medida en la estación meteorológica UNAP en Canchones por medio de un tanque evaporímetro, en el cual se calculó un valor promedio de 4,46 mm/día en la zona de Canchones, con una evaporación total de 162 l/s. El valor medio a anual de la evaporación calculado en la estación Cerro Colorado es cerca de 2.500 mm/año (CIDERH, 2013). Por otra parte, el estudio del SERNAGEOMIN (2017) estima una evaporación variable en el tiempo, desde 463 l/s en el periodo previo al año 1960, alcanzando valores de 226 l/s en el año 2019.

Evapotranspiración

Según se puede observar en la Tabla 2.2, varios autores han estimado valores de evapotranspiración. Cuyos resultados obtenidos entregan una evapotranspiración variable en el tiempo, desde 210 l/s en el periodo previo al año 1960, alcanzando valores de 173 l/s en el año 2019.

Tabla 2.2 Valores de evapotranspiración para los Tamarugos estimados por diversos autores.

Autor	Evapotranspiración (l/s)	Año de estimación o proyección
	210	1960
(Rojas, 2005)	690	1980 - 1985
	904	1985 - 1993
(DICTC, 2007)	224	2006
	440	2020
(DGA, 1995a)	1.190	1995
	1.523	2015
(SERNAGEOMIN, 2017)	750	2014

Fuente: elaboración propia, basado en CIDERH (2013) y SERNAGEOMIN (2017).

Por otra parte, se ha estimado la evapotranspiración natural en las quebradas o subcuencas aportantes a la Pampa del Tamarugal. Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 2.3, cuyos resultados muestran que la evapotranspiración representa entre un 90% y un 96% de la precipitación en cada subcuenca, con un valor medio de 93%.

Tabla 2.3 Evapotranspiración media anual en Subcuencas de la Pampa del Tamarugal.

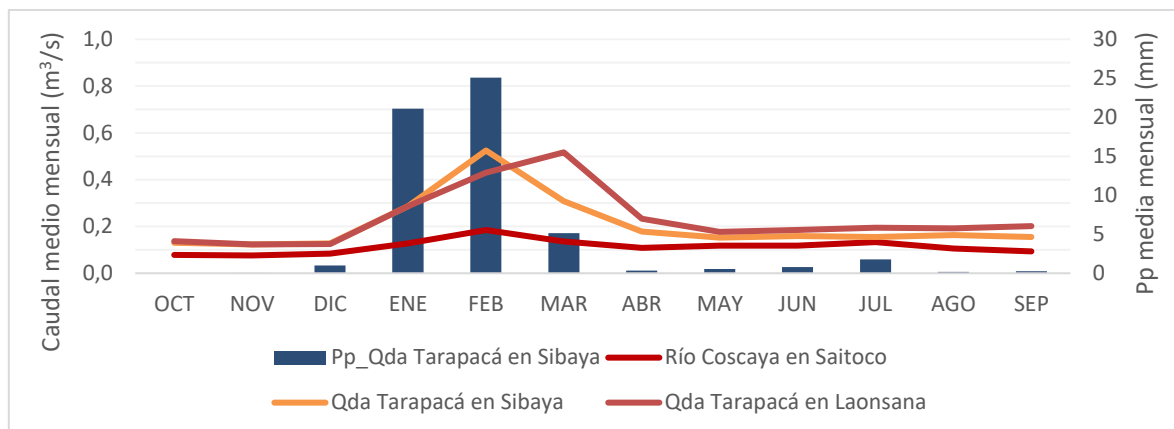
Subcuenca	ET media anual (mm)	ET media anual (% Pp)
Quebrada de Aroma	109,4	90%
Quebrada de Huasquiña	21,3	95%
Quebrada de Tarapacá	119,7	92%
Quebrada de Quipisca	62,2	93%
Quebradas Juan Morales, Sagasca y El Tambillo	68,8	96%
Quebrada Seca	42,4	95%
Quebrada de Quisma	51,6	95%
Quebrada de Infiernillo	31,9	96%
Quebrada Sin Nombre	36,6	96%
Quebrada de Chacarilla	111,7	95%
Quebrada de Ramada o Higuera	41,8	95%
Quebradas de Cahuisa y de Chipana	29,1	95%

Fuente: elaboración propia.

Caudales

En la cuenca existen tres estaciones fluviométricas vigentes, todas ellas ubicadas en la Quebrada de Tarapacá. Los caudales medios en dichas estaciones varían entre 114 y 297 l/s, siendo la estación Quebrada de Tarapacá en Laonzana la más cercana a la salida de la subcuenca Quebrada de Tarapacá, la que registra el mayor caudal que varía entre 0,09 y 0,47 m³/s y un caudal medio anual de 0,30 m³/s. A nivel general, diversos autores han estimado el caudal medio anual superficial de las subcuencas de la Pampa del Tamarugal que presentarían escorrentía (DGA, 1987, 1995b, 2018b; SQM, 2008), obteniendo caudales entre 842 l/s y 990 l/s.

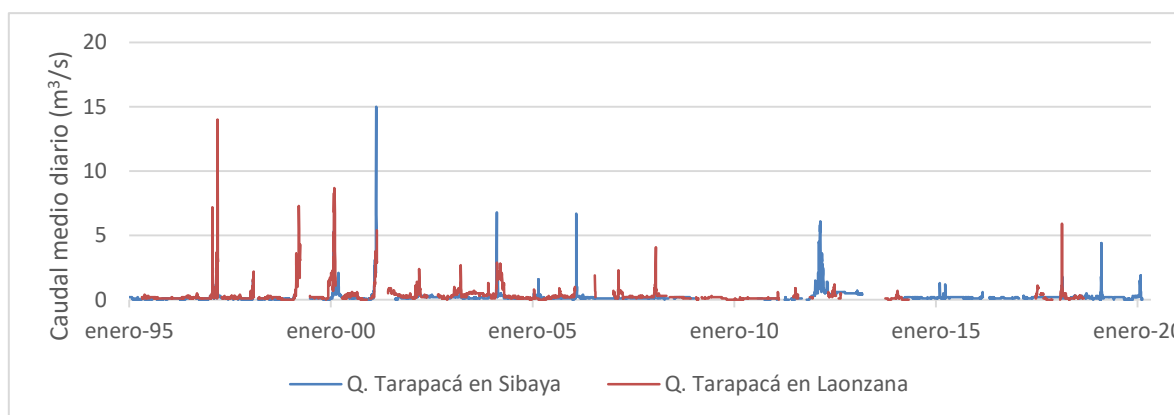
En la Figura 2.6 se presentan los caudales medios mensuales en las estaciones fluviométricas y su correlacionan con los datos pluviométricos de la estación Quebrada de Tarapacá en Sibaya (estación mixta). En cuanto a los caudales medios mensuales, se puede observar la marcada influencia estacional, encontrándose los mayores valores en los meses estivales de diciembre a marzo, lo que se correlaciona con las lluvias del Invierno Altiplánico.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.6 Caudales medios mensuales en estaciones y Pp media mensual en estación Quebrada Tarapacá en Sibaya.

La evolución temporal de los caudales registrados en las estaciones Quebrada Tarapacá en Sibaya y Quebrada Tarapacá en Laonzana se presentan en la Figura 2.7, donde se observan valores diarios que podrían superar los 10 m³/s y múltiples periodos donde las estaciones dejan de registrar datos, producto de posibles problemas ligados a eventos extremos.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.7 Caudales diarios registrados en las estaciones Quebrada Tarapacá en Sibaya y Quebrada Tarapacá en Laonzana.

Eventos extremos

La Pampa del Tamarugal cuenta con una serie de quebradas aportantes, en algunas de ellas se han presentado crecidas importantes. En este sentido, las quebradas que mayor captación de precipitación, propensas a tener aluviones, corresponden a la quebrada Aroma, Tarapacá y Chacarillas. De acuerdo a algunos autores, las crecidas en estas subcuencas determinan grandes magnitudes de recarga hacia el acuífero de la Pampa del Tamarugal (DGA, 2014). Algunos eventos identificados ocurrieron durante los años 2000, 2012 y 2019.

A partir de los datos fluviométricos de la estación Quebrada Tarapacá en Sibaya se realizó un análisis de frecuencia para el caudal máximo anual, obteniéndose un caudal de 26,35 m³/s para un periodo de retorno de 100 años.

Cambio climático

Para caracterizar las condiciones climáticas futuras se consideraron los Modelos de Circulación Global (*Global Circulation Model*, GCM) CSSM4, CSIRO, IPSL y MIROC, a partir de los datos del estudio de Actualización del Balance hídrico Nacional (ABHN) (DGA, 2017a, 2018a) para el periodo futuro (2020-2050).

Cada modelo climático utiliza un forzamiento radiativo particular asociado a alguna Trayectoria de Concentraciones Representativa (RCP, por sus siglas en inglés), las cuales representan una trayectoria de concentraciones (no emisiones) de gases de efecto invernadero adoptada por el IPCC. El forzamiento radiativo determina la magnitud del cambio para las variables atmosféricas de interés, las cuales normalmente son temperatura del aire y precipitaciones (DGA, 2017a). La reciente Actualización de Balance Hídrico Nacional (DGA, 2017a) utilizó trayectorias RCP 8.5, lo que indica que la radiación incidente aumenta en 8,5 W m⁻² hasta el año 2100, respecto de la era preindustrial. Los escenarios RCP 8.5 corresponden a los escenarios más desfavorables disponibles, pero que resultan ser lo más consistente con los actuales niveles de emisiones en el planeta (DGA, 2017a).

Las proyecciones en la cuenca muestran que existe una alta incertidumbre con respecto a la tendencia de las precipitaciones en la cuenca, con resultados que muestran un aumento, disminución o un valor que se mantiene a nivel medio anual, de acuerdo al GCM analizado. Del mismo modo, las proyecciones difieren en sus resultados según la zona de la cuenca analizada, pero con precipitaciones que en general disminuyen con la altura (exceptuando el GCM IPSL), y aumentan en algunos casos en las zonas de menor altura.

En cuanto a los valores de temperatura, las proyecciones muestran una tendencia con pendiente positiva para todos los escenarios, lo que equivale a un aumento de las temperaturas, continuando con la variación de la tendencia histórica observada. Esta proyección se manifiesta para todos los casos para el área total del territorio.

Por último, las proyecciones de escorrentía anual muestran una tendencia para todos los GCM con pendiente negativa, lo que equivale a una disminución de los caudales. Se observa que la variación es negativa para toda la cuenca, con especial fuerza en las zonas más elevadas.

2.5 Hidrogeología

Los recursos de agua subterránea de la cuenca de la Pampa del Tamarugal, han sido objeto de estudio por varios autores debido a la importancia para el desarrollo socio-económico de la Región. De acuerdo a la división de los Sectores Hidrogeológicos de Aprovechamiento Común (SHAC) de la DGA, estos recursos están distribuidos en dos

acuíferos principales: Acuífero de la Pampa del Tamarugal (dividido en dos sectores acuíferos, Sector Pampa del Tamarugal y Sector de Pica) y el Acuífero del Salar de Sur Viejo, en la parte sur de la cuenca (Figura 2.8).

Los límites del acuífero Pampa del Tamarugal, han sido redefinidos en varias oportunidades por diversos autores. Uno de los estudios más recientes en el sector, desarrollado por Viguier et al. (2019a), muestra parte de estas delimitaciones e incorpora, una nueva propone una nueva delimitación del acuífero en base a interpretación geofísica, y de las condiciones de borde de la parte norte del acuífero de la Pampa del Tamarugal, movilizándolo el límite este del acuífero hasta 50 km más al este en el piedemonte.

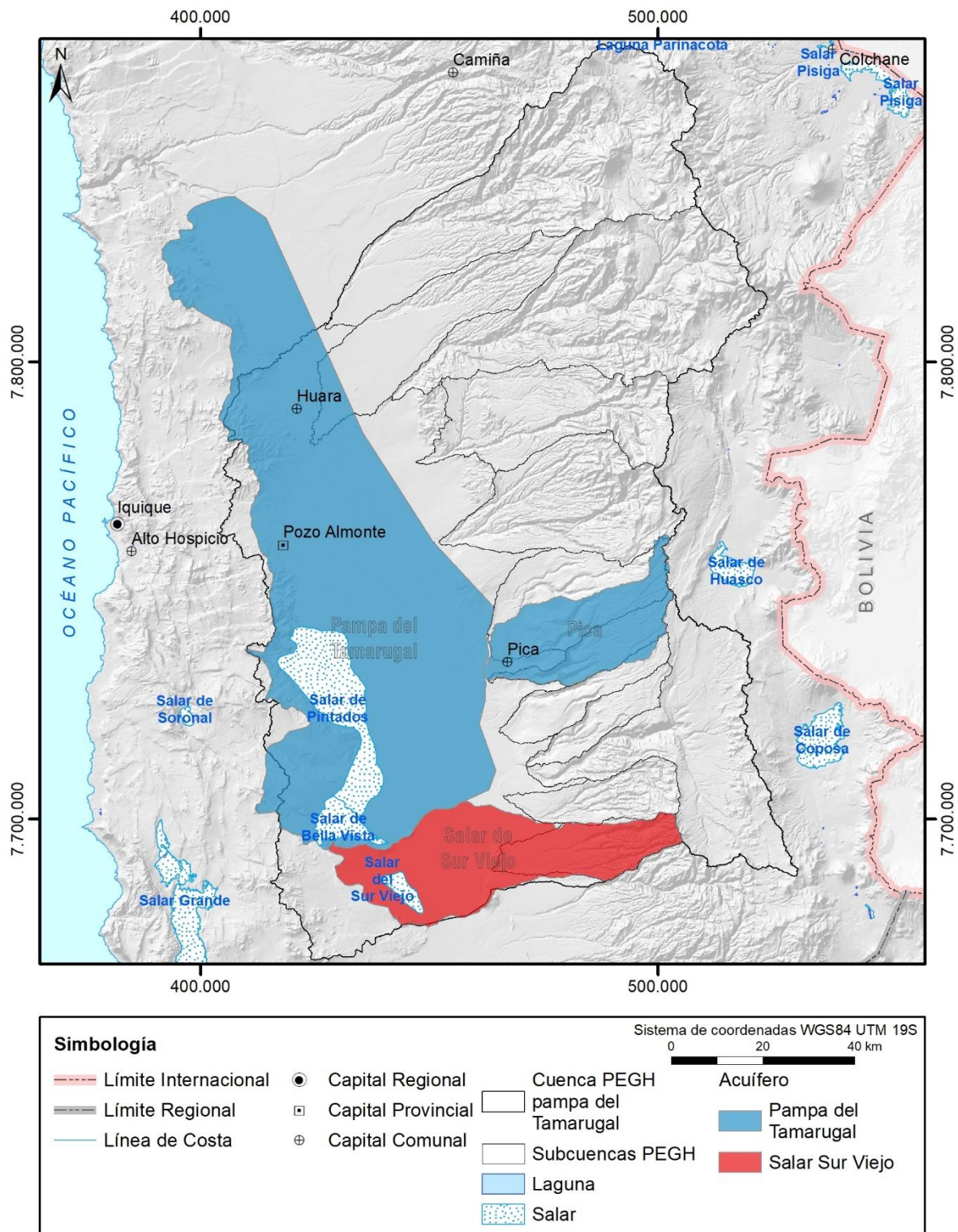
Acuíferos aledaños

Acuífero de Pica

El acuífero de Pica está situado en la subcuenca de Quisma y ha sido interés de numerosos estudios por la existencia del oasis de Pica y las vertientes que afloran en el sector. El estudio DGA (2012b) indica que en el sector de Pica existe un acuífero freático dentro del Miembro 5 (M1c) de la Formación Altos de Pica, con espesor entre 100 y 150 m y posiblemente múltiples capas confinadas más profundas. La gravimetría desarrollada en el área muestra un espesor de relleno de 200-300 m en la cuenca, siendo la Formación Longacho el basamento impermeable. La profundidad del agua subterránea estaría entre 15 y 30 m bajo el nivel de terreno y la dirección de flujo al oeste con un gradiente hidráulico promedio de 0,04. El acuífero tiene baja permeabilidad con valores de transmisividad $<2 \text{ m}^2/\text{día}$, incrementándose considerablemente estos valores en las zonas de fracturas (150 a 200 $\text{m}^2/\text{día}$).

Acuífero Salar de Sur Viejo

El acuífero del Salar Sur Viejo está ubicado en el extremo surponiente de la cuenca. Tendría un espesor saturado medio no inferior a 50 m y se extendería en una superficie aproximada de al menos 100 km^2 (SQM, 1998) y de 370 km^2 (DGA, 2000). La transmisividad media fue estimada en 500 $\text{m}^2/\text{día}$, el coeficiente de almacenamiento entre el 4 y 8% y una permeabilidad media de 10 $\text{m}/\text{día}$. Niveles estáticos entre 17 y 32 m de profundidad, con escurrimiento natural de este a oeste y volumen almacenado al menos de 300 millones de m^3 (SQM, 1998). Este acuífero se encontraría aislado, desconectado hidráulicamente del acuífero del Salar de Llamara, ubicado más al sur, no descartándose que exista conexión con el Salar de Bellavista, sin embargo, este último se encuentra a una cota piezométrica 30 m superior.

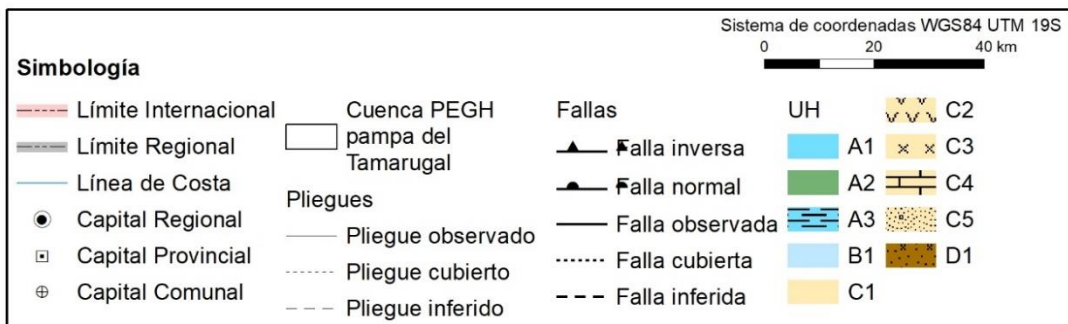
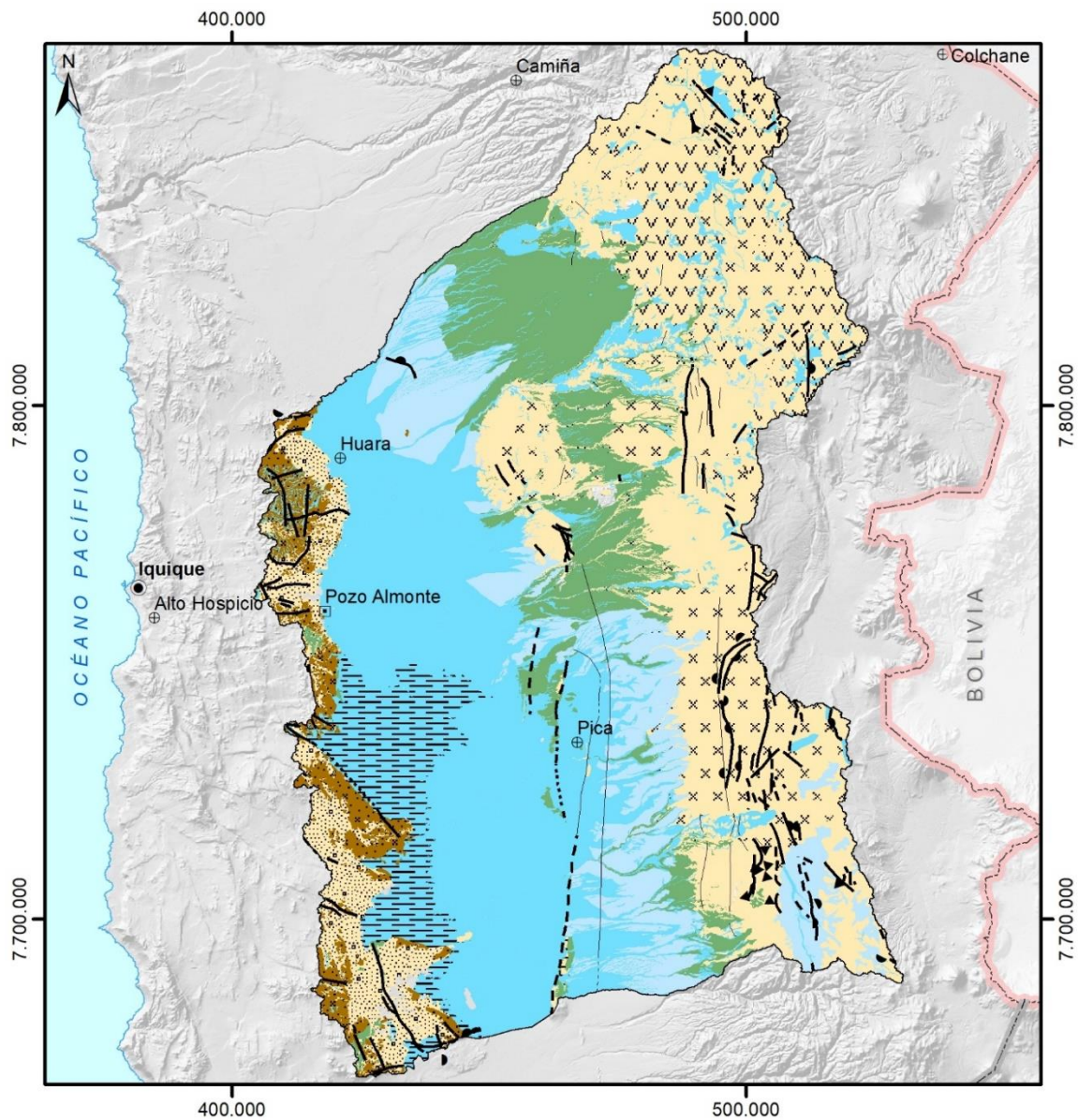


Fuente: elaboración propia, base DGA.

Figura 2.8 Acuíferos en cuenca Pampa del Tamarugal.

Unidades Hidrogeológicas

Las unidades hidrogeológicas han sido caracterizadas según la definición realizada por el SERNAGEOMIN (2017). En estas se describen 10 unidades, de las cuales 9 de ellas se encuentran dentro del área de la cuenca de la Pampa del Tamarugal definida por la DGA (Figura 2.9). De los cuales 3 unidades son consideradas de alto potencial relativo en depósitos no consolidados y rocas, 1 unidad es considerada de moderado potencial Relativo en Depósitos no Consolidados, 5 unidades son consideradas de Bajo Potencial Relativo en Rocas y Depósitos no Consolidados, y finalmente 1 unidad de Nulo Potencial Relativo en Rocas (acuífugos y acuicludos).



Fuente: elaboración propia, modificado de SERNAGEOMIN (SERNAGEOMIN, 2017).

Figura 2.9 Mapa de Unidades Hidrogeológicas de la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Parámetros hidráulicos

UChile (DGA, 1988), estimó valores de transmisividad entre 50 y 1.310 m²/día, y valores de coeficiente de almacenamiento entre 1 y 20%, mientras que SQM (1994), adopta un valor del 10% para este último, sólo por considerar al acuífero del tipo libre.

De acuerdo con las estimaciones realizadas por el SERNAGEOMIN (2017) de los parámetros recopiladas y reinterpretadas, la transmisividad varía ampliamente, definiéndose 4 zonas y valores entre 20 y 4.300 m²/día y un coeficiente de almacenamiento conservador de 10%. JICA (DGA, 1995) utiliza valores de coeficiente de almacenamiento entre 30 y 35% para las unidades hidrogeológicas compuestas por depósitos sedimentarios de grano medio a grueso, mientras que Geohidrología (DGA, 2012b, 2013a) consideran un valor S conservador de un 10% del volumen total de los rellenos saturados. En la Tabla 2.4 se resumen los valores de transmisividad para los 67 datos de la cuenca, los cuales se agrupan por unidad hidrogeológica y se presentan valores mínimos, máximos y un promedio.

Tabla 2.4 Resumen de valores de T (m²/día) por unidad hidrogeológica, recopilados por SERNAGEOMIN (2017).

Unidad Hidrogeológica	N° datos	Transmisividad (m ² /d)		
		Min	Max	Promedio
A1	47	8	4.280	1.109,7
A2	1	381		
A3	18	20	2.090	805,9
B1	1	1.590		

Fuente: elaboración propia.

Niveles freáticos y Piezometría

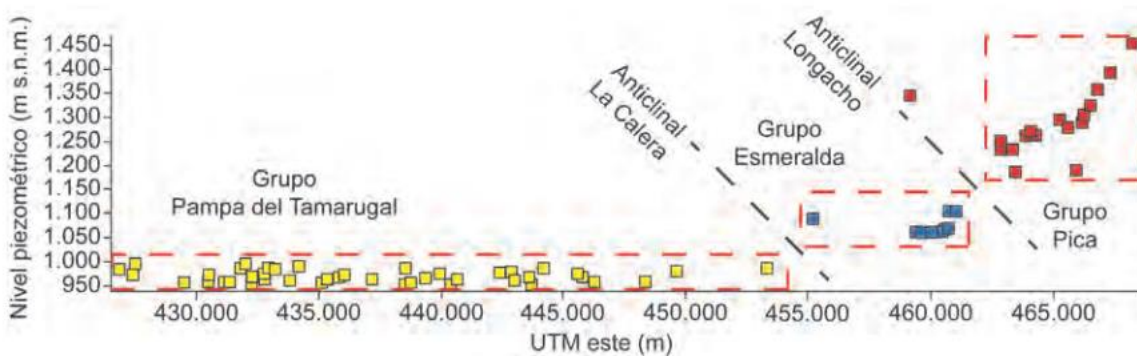
Evolución temporal niveles

La evolución de los niveles freáticos de los acuíferos de la Pampa del Tamarugal, ha sido analizada previamente por diversos autores, ente los cuales se destaca el análisis de CIDERH (2013a) y SERNAGEOMIN (2017). Según el estudio de CIDERH (2013a), en los 37 pozos de monitoreo de la DGA vigentes en el acuífero de la Pampa del Tamarugal, la mayoría de los pozos muestran un descenso generalizado de los niveles piezométricos, con valores comprendidos entre -0,46 m desde el año 2000 y -4,71 m desde el año 1988. No obstante, en 7 pozos se puede observar un ascenso en el nivel de 0,05 m desde el año 2000 y de 12,62 m desde el año 1992. La mayoría de estos pozos están situados en el sector sur y central, del sector oriental de la Pampa del Tamarugal (CIDERH, 2013a).

Piezometría

La piezometría más actualizada es la elaborada por SERNAGEOMIN (2017), ésta involucra los niveles históricos recopilados entre 1968 y 2016 y considera que los niveles medidos en terreno reflejan el nivel de un acuífero intergranular, libre y

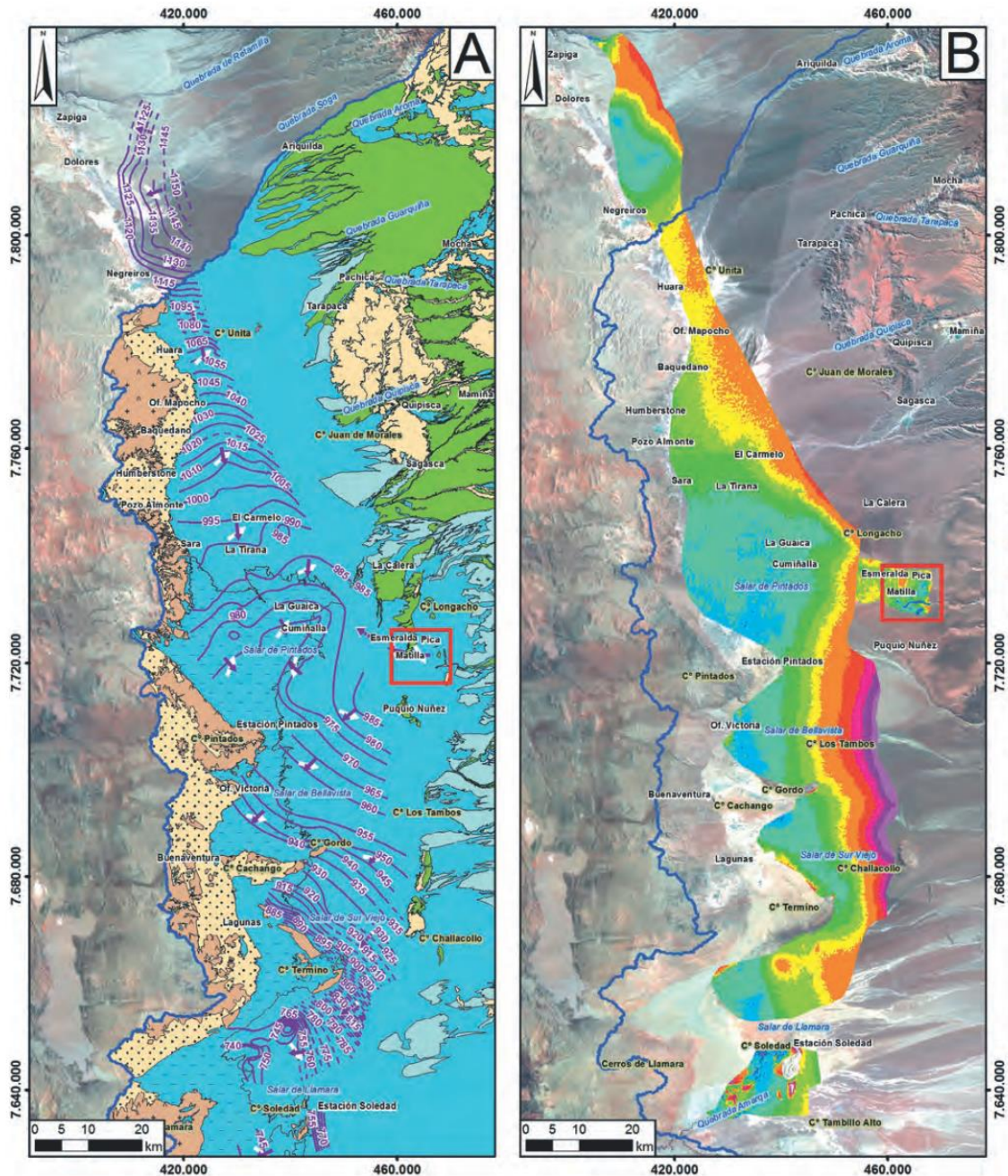
somero, alojado en las unidades hidrogeológicas A1, A2 y A3. Además, SERNAGEOMIN (2014b) reconoce 3 grupos cuyos gradientes hidráulicos (Figura 2.10) y direcciones de flujo difieren entre sí, asociando dichas diferencias con la disposición que presentan las estructuras mayores del área de estudio, como las flexuras Chintaguay y Longacho y el Anticlinal La Calera, las que causan un notorio escalonamiento de los niveles piezométricos de este a oeste, dirección que es coincidente con el flujo de agua subterránea en esta zona.



Fuente: SERNAGEOMIN (2017); modificado de SERNAGEOMIN (2014b).

Figura 2.10 Variación de nivel piezométrico a lo largo de la coordenada UTM Este con respecto a la ubicación de los anticlinales La Calera y Longacho.

En la Figura 2.11 se presenta la piezometría que representa los niveles piezométricos del acuífero intergranular, libre y somero de la cuenca de la Pampa del Tamarugal, representado por las unidades hidrogeológicas A1, A2 y A3 que elaboró el SERNAGEOMIN (2017). Este mapa muestra el comportamiento del acuífero para diciembre del 2016. Entre las localidades de Huara y Baquedano, el flujo subterráneo tiende a ser cada vez más norte-sur. Desde el extremo norte del Salar de Pintados hasta su límite sur, la dirección de flujo se caracteriza por tener un bajo gradiente general y puntualmente se pueden observar 3 importantes conos de depresión condicionados por las extracciones de agua subterránea de las empresas. La profundización de los niveles hacia el centro del salar sería representativa de una salida por evaporación. En el sector del salar de Bellavista el gradiente aumenta concordante con la altitud del basamento alzado. Desde las cercanías de Matilla hacia el salar de Bellavista, las líneas de flujo muestran un sentido NE-SW. En el sector del salar de Pintados, los niveles disminuyen hacia el centro del salar, indicando una salida por evaporación.



Fuente: SERNAGEOMIN (2017).

Figura 2.11 Mapa piezométrico de la cuenca de la Pampa del Tamarugal. (A) Mapa de isopiezas (m s.n.m.). (B) Mapa de isoprofundidades del agua subterránea (m b.s.t.).

2.6 Actividades económicas

Las actividades económicas más importantes de la cuenca de la Pampa del Tamarugal corresponden a la minería, servicios, agricultura, turismo y en menor medida a la industria.

Desde el punto de vista productivo, la Región de Tarapacá y Pampa del Tamarugal, ha sido una zona eminentemente minera, actividades mineras de índole no metálica, donde los principales recursos que se explotan son el yodo, el salitre y diatomita, como también de minería metálica, donde los principales recursos que se explotan son el cobre y en menor importancia el molibdeno. En relación al desarrollo agrícola y pecuario, la escasez de agua y la salinidad de los suelos limitan enormemente la agricultura, pero existen oasis donde la fertilidad es muy elevada. Del punto de vista del turismo la región ha tenido una variabilidad importante en el aspecto turístico, y con un número importante de visitantes al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas (SNASPE) que ha variado entre 3.000 y 17.000 personas por año.

2.7 Dimensión ambiental

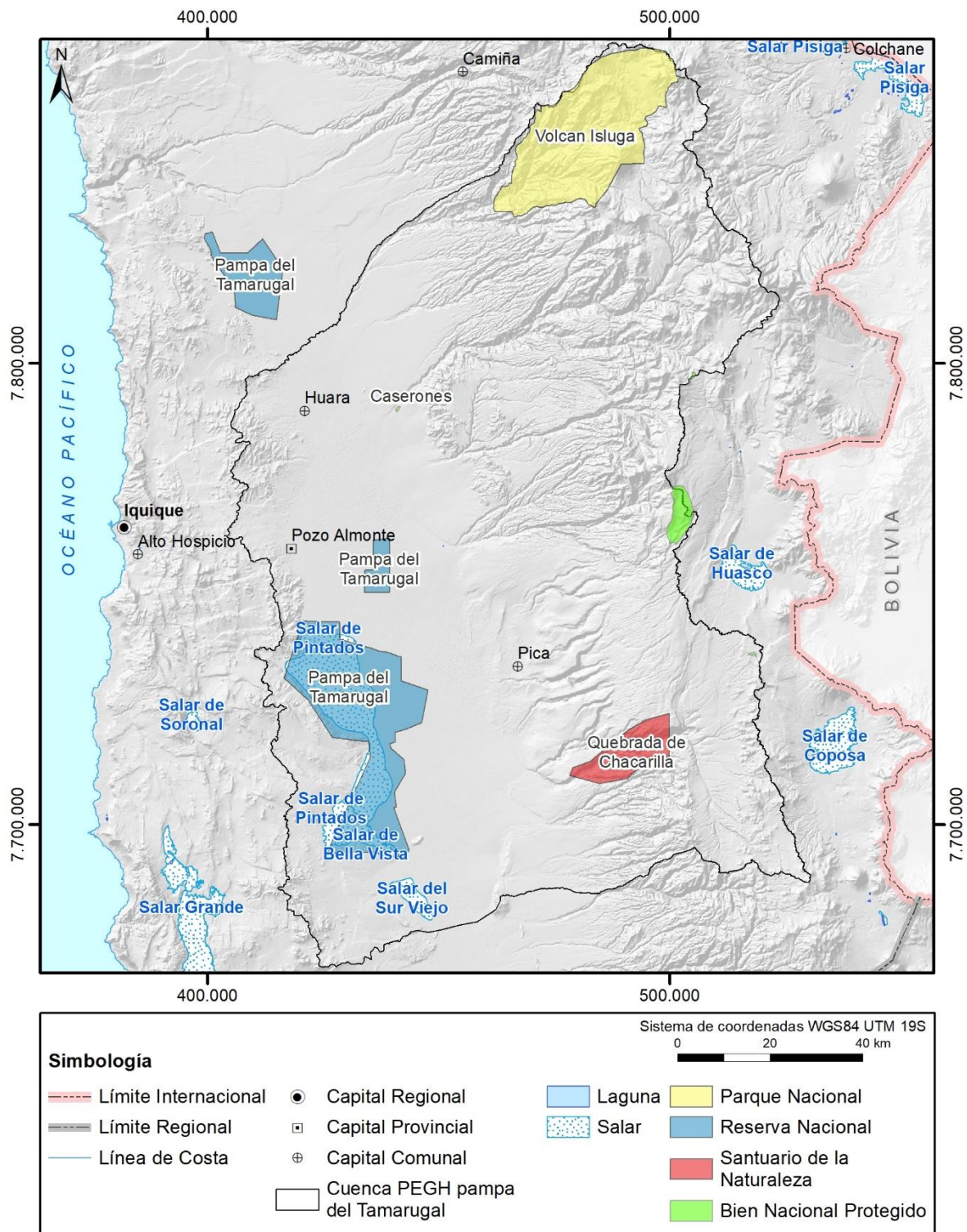
En la Pampa del Tamarugal existen zonas con condiciones de mayor aporte hídrico que permiten el desarrollo de dos ecosistemas característicos de las zonas desérticas, la vegetación de oasis y la vegetación de quebradas. La vegetación de oasis se desarrolla por la presencia de fuentes de agua subterránea, que aportan condiciones hídricas suficientes para el desarrollo de bosques de especies del género *Prosopis*. En las zonas de quebradas, especialmente en aquellas que poseen cursos de aguas permanentes, se desarrolla una vegetación boscosa y de matorral (CONAMA, 2008). Según la Estrategia Regional de Biodiversidad (ERB) la Pampa del Tamarugal es clasificada como Ecosistemas de Desierto y Quebradas (Depresión Intermedia), la que se caracteriza por la presencia de especies amenazadas, endemismos, áreas prístinas (sin intervenir) y áreas con funciones ecológicas clave para comunidades. Según el ministerio de Medio Ambiente (MMA, 2018), la Pampa del Tamarugal está en proceso de degradación por una mayor extracción de aguas subterráneas para consumo humano y para la industria.

Según Luebert & Pliscoff (2017) la pampa del Tamarugal cuenta con 7 formaciones vegetacionales, siendo el desierto absoluto con la mayor área en la cuenca. Destaca la formación Bosque Espinoso, que da origen al piso vegetacional de Bosque espinoso tropical interior de *Prosopis Tamarugo/Tessaria Absinthioides* (Chilquilla), siendo el *Prosopis Tamarugo* o Tamarugo de gran importancia por estar relacionado con el desarrollo de la economía en la cuenca durante la fiebre del salitre.

En la cuenca hay áreas que, sin tener el carácter de categoría de protección, se denominan Sitio Prioritario (Ley 19.300 art. 11, letra d) para la Conservación de la Biodiversidad. Estos sitios prioritarios nacieron de un trabajo realizado en cada una de las regiones de Chile, al amparo de los Comités Regionales de Biodiversidad, coordinados por la entonces Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), entre los años 2001 y 2002. Las áreas representadas en el Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado, además de otros instrumentos de conservación dentro de la cuenca de la Pampa del Tamarugal (Figura 2.12) corresponden a Parques Nacionales, Reservas Nacionales, Santuarios de la Naturaleza, Bienes Nacionales Protegidos y Acuíferos Protegidos.

De acuerdo al inventario de glaciares de la DGA, en la cuenca existen 27 glaciares, todos ellos correspondientes a glaciares rocosos los cuales cubren un área total de 1,3 km² y se encuentran distribuidos principalmente en el límite norte y oriental de la cuenca, en las subcuencas de la Quebradas de Aroma y Tarapacá.

Respecto a la existencia de aguas fósiles alojadas en el acuífero de la Pampa del Tamarugal, Magaritz (Magaritz et al., 1990) desarrolló la hipótesis mediante técnicas isotópicas e hidroquímicas que las aguas de Pica y Canchones son pre-Holocenas (>10.000 años), mientras que las aguas subterráneas en la parte central de la cuenca son más jóvenes y recargadas durante el Holoceno (<6.000 años).



Fuente: elaboración propia con datos de MMA (MMA, 2020).

Figura 2.12 Sitios o Áreas Protegidas en la Cuenca Pampa del Tamarugal.

2.8 Infraestructura hídrica

Obras hidráulicas

Las principales obras de infraestructura hidráulica en la cuenca corresponden canales de regadío e infraestructura de agua potable urbana y rural. Actualmente, la cuenca no cuenta con embalses materializados. La infraestructura de obras de riego se encuentra conformada por bocatomas, estanques y canales. En el caso de las bocatomas, corresponden principalmente a obras temporales que no poseen obras de protección, por lo que ante un evento de crecida se destruyen. Existen 77 km de canales en la Provincia del Tamarugal, correspondientes a 55 canales pertenecientes a las comunas de Huara (48) y Pozo Almonte (7). En relación a las obras de tecnificación, la cuenca cuenta con una fuerte tecnificación de riego en la zona de Pica, donde la mayoría de los nuevos predios cuentan con sistema riego de goteo, mientras que otros cuentan con pequeños tranques y sistemas de riego por aspersión.

A nivel de infraestructura de defensas fluviales y de protección de riberas, no existen en la cuenca obras de regulación y control de crecidas, pero si proyectos en las quebradas Tarapacá y Aroma.

En cuanto a los sistemas de Agua Potable Rural (APR), se contabilizan un total de 21 sistemas de APR operativos, de los cuales sólo 1 posee sistema de alcantarillado (Mamiña), 3 se encuentran con diseño de alcantarillado y 1 con estudio de prefactibilidad de un sistema de disposición de residuos.

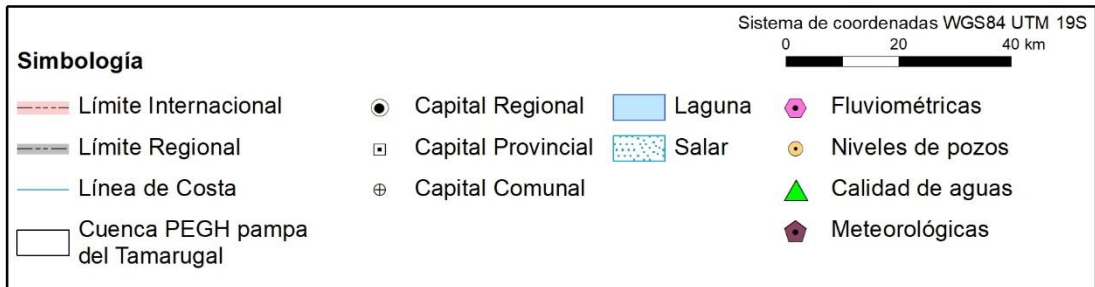
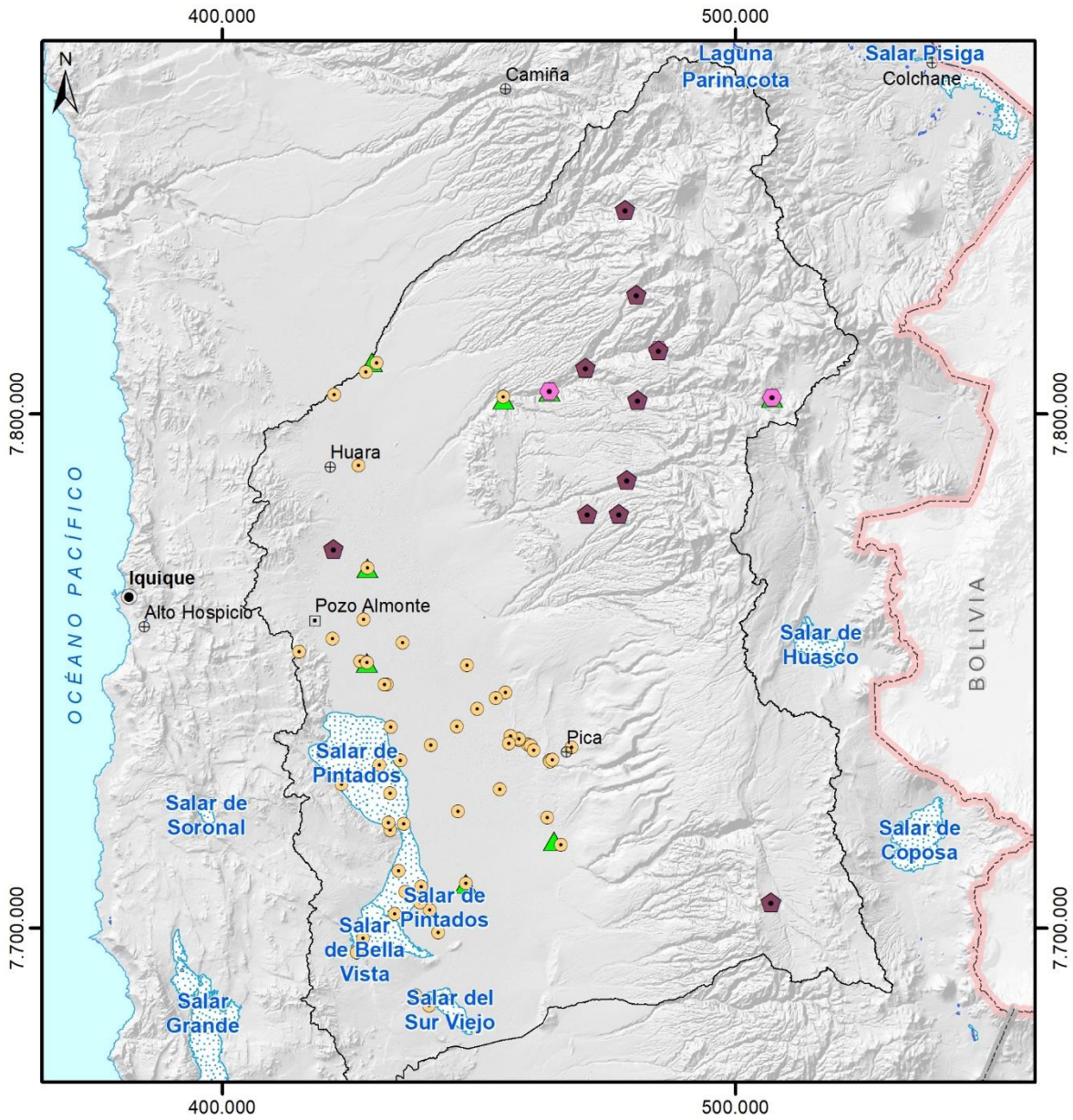
En relación a las redes de medición, en la cuenca hay un total de 81 estaciones, de las cuales 10 son meteorológicas, 3 fluviométricas, 55 de niveles de pozos, 1 sedimentométrica, 12 de calidad de agua (Figura 2.13 y Tabla 2.5).

Tabla 2.5 Número y distribución por subcuencas de las estaciones vigentes de la red hidrométrica DGA en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Red de medición	Número de estaciones (*)						
	Total	Quebrada de Aroma	Quebrada de Tarapacá	Quebrada Quipisca	Quebradas Juan Morales, Sagasca y El Tambillo	Quebrada Chacarilla	Pampa del Tamarugal
Meteorológica	10	1	4	2	1	1	1
Fluviométrica	3	-	3	-	-	-	-
Niveles de pozo	55	-	1	-	-	-	54
Sedimentométrica	1	-	1	-	-	-	-
Calidad de agua	12	1	5	-	-	-	6
	81	2	14	2	1	1	61

(*) No se incluyen otras subcuencas, ya que no existen en su interior ningún tipo de estaciones.

Fuente: elaboración propia a partir de datos Mapoteca DGA (abril 2020).



Fuente: elaboración propia, base Mapoteca DGA y estudio DGA (2016).

Figura 2.13 Red hidrométrica de la DGA en la cuenca Pampa del Tamarugal. Incluye solo estaciones vigentes.

2.9 Nuevas fuentes

En la cuenca se han identificado 4 tipos de nuevas fuentes, relacionadas a iniciativas o proyectos que buscan aumentar la oferta hídrica, que corresponden a recarga artificial de acuíferos, desalinización de agua, uso de aguas servidas tratadas y sistemas de atrapanieblas.

2.10 Gobernanza

La gobernanza del agua a nivel de cuenca da cuenta de las formas en la que los actores se vinculan, pensando en la gestión de un Plan que permita el manejo del recurso hídrico en este territorio.

Mapa de agentes

Se convocaron agentes y/o actores relevantes en la temática hídrica en la cuenca de Pampa del Tamarugal. El listado acotado de actores de esta cuenca se divide en cinco grupos, cuya definición está anclada en el territorio. Esto quiere decir que el tipo de actor señalado en el informe está determinado por su presencia y acción territorial, la que se presenta sintéticamente en el esquema de la Figura 2.14.



Fuente: elaboración propia, 2021.

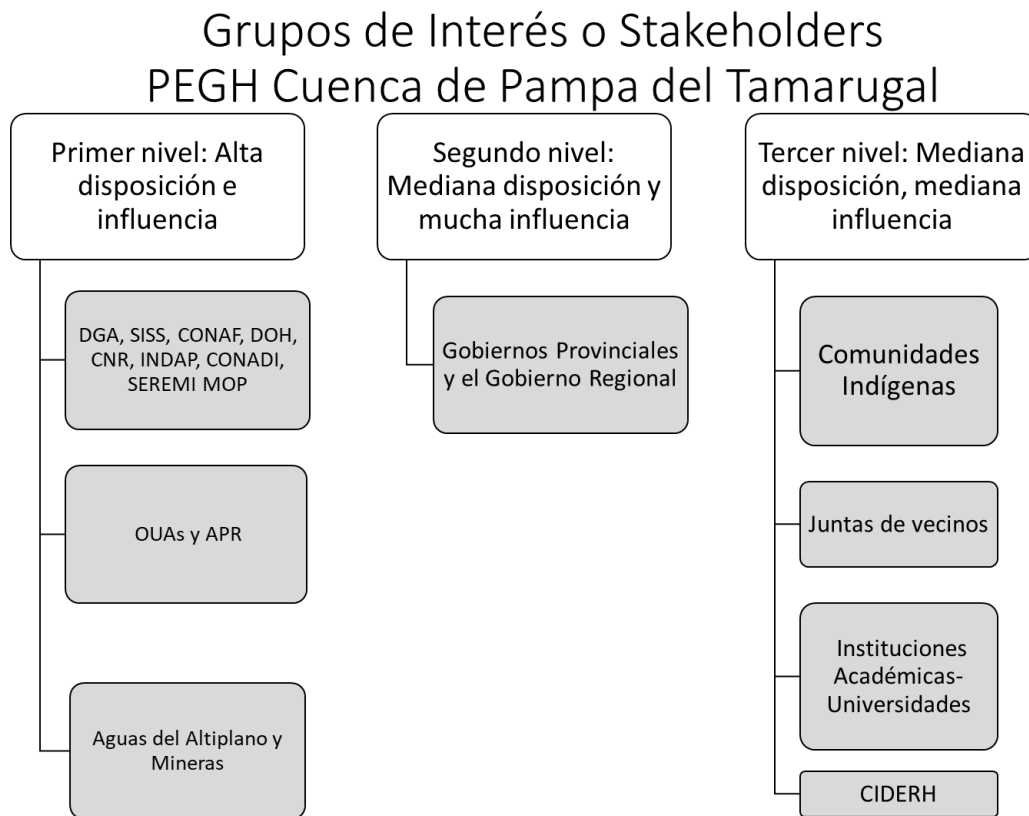
Figura 2.14 Representación general de actores/agentes vinculados al recurso hídrico, PAC Pampa del Tamarugal, 2021.

Relaciones de interés e influencia

Dentro de las herramientas que permiten establecer la posición de diversos actores frente a un tema específico, encontramos aquella que lo hace a partir de parámetros de influencia/interés de esos actores. Esta categorización queda dada por:

- El grado de influencia se establece a partir de su nivel de injerencia en temas hídricos, es decir, su grado de **poder** en este tema
- El grado de interés, acorde a CNR (2016) tiene que ver con la necesidad y/o beneficios, respecto de las determinaciones de inversión, en proyectos, estudios o programas, etc.

De este modo, la conformación de los actores como 'grupos de interés' o stakeholders, de esta cuenca, pensados como agentes que permiten la buena administración de este recurso, quedaría como se muestra en la Figura 2.15.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.15 Grupos de interés o Stakeholders PEGH de la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Identificación de principales problemáticas

En este punto se describen algunos de los problemas que los diversos actores identificaron en el proceso de PAC. La estructura vincula los problemas manifestados

por los distintos actores con los ejes y objetivos que son parte del Plan de Gestión de la Cuenca. Los ejes de trabajo en el Plan Estratégico de Gestión Hídrica, son los siguientes:

- EJE 1: uso estratégico del recurso hídrico: brechas entre oferta y demanda, riesgos hídricos
- EJE 2: información y monitoreo del recurso hídrico
- EJE 3: Gestión y gobernanza del agua
- EJE 4: Conservación y protección del recurso y del ecosistema hídrico

En relación al Eje 1, es posible observar que la disminución del recurso hídrico es un tema preocupante ante eventos como las sequías y el mal manejo del recurso en época de crecidas. Esta situación se complejiza debido a la mala calidad de la infraestructura de canales y riberas.

Con respecto al eje 2, de información y monitoreo del recurso hídrico, uno de los problemas más recurrente es la necesidad de mejorar la información que las comunidades reciben por parte de instancias técnicas, especialmente debido a la diferencia de capacidades de estas organizaciones; otra temática relevante es el mejoramiento de los sistemas de fiscalización del recurso hídrico. Sin embargo, las capacidades que deben instalarse en la comunidad para manejar y gestionar el recurso hídrico es el centro de este eje.

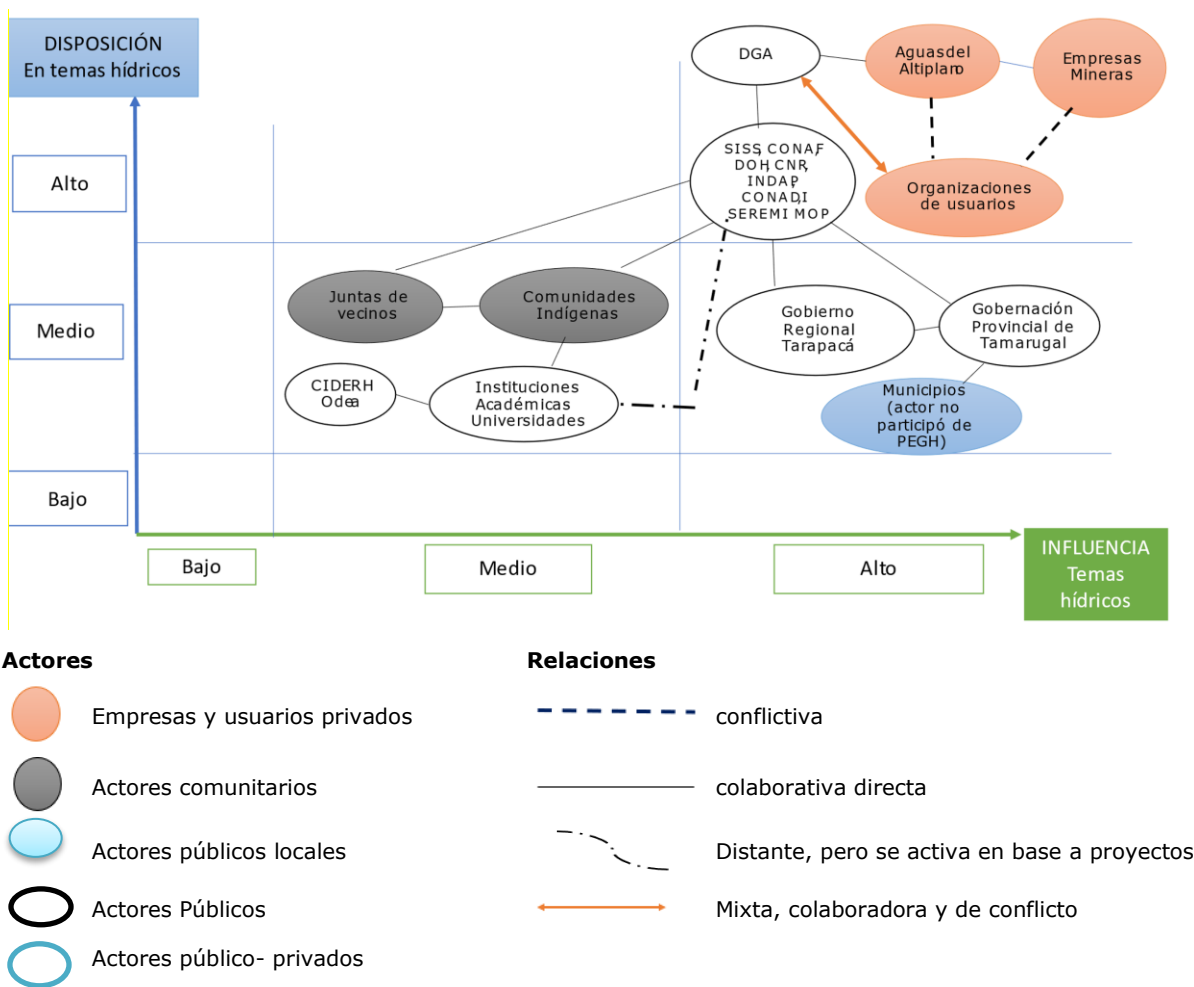
Bajo el Eje 3, de gestión y gobernanza del agua, se observa la necesidad de generar una buena coordinación entre los diversos actores y sectores a los que representan permitirá una buena gestión de un Plan Hídrico con posibilidad de generar gobernanza en la cuenca. Para esto se requiere una acción coordinada e integral de los actores y sus diversos intereses en la cuenca.

Por último, con respecto al Eje 4, de conservación y protección del recurso y del ecosistema hídrico, se observa la necesidad de cuidar y proteger el recurso hídrico bajo criterios ambientales, y no económicos.

Sociograma de redes de actores relevantes

El sociograma es una forma de poder visualizar las relaciones entre los distintos actores y poder representar la estructura a través de lo que se puede llamar una radiografía grupal a través de la observación y contextualización de las distintas relaciones entre sujetos que conforman un grupo.

Este sociograma (Figura 2.16) propone un esquema que resume los vínculos de forma general en este territorio y muestra que DGA debe ser la instancia que aglutine los esfuerzos por generar gobernanza en la cuenca de Pampa del Tamarugal. De este modo, es posible afrontar los conflictos que se observan, principalmente desde los actores comunitarios (en negrilla) con los actores privados (en amarillo), en vista de conflictos y la desconfianza existente.



Fuente: elaboración propia.

Figura 2.16 Sociograma de redes de actores.

Brechas de coordinación

- Hay diferencias en las capacidades técnicas y organizacionales entre OUAs, en particular de APR y comunidades de agua, que deben ser niveladas para mejorar la gestión del recurso.
- No existen instancias de participación y coordinación entre miembros de las OUAs y/o entre las organizaciones de usuarios, de forma macro-organizacional. En ese sentido, Australia, España, México, California, Asia Pacífico son países en se puede hablar de temas como seguridad hídrica, en un marco similar al chileno.
- Hay diferencias en las capacidades técnicas y organizacionales entre los distintos APR, sin elementos que permitan una buena gestión en la mayoría de éstas, que requiere la mirada que California ha establecido para nivelar estas capacidades, ya que se habla de entornos hídricos resilientes y sustentables, que permitan hacer frente a las presiones climáticas, económicas y sociales en el futuro.

- APR y OUA ven complejizadas sus relaciones y coordinaciones con los distintos organismos públicos y privados con los que deben vincularse en vista de distintas capacidades de gestión. Esto se vincula también con una necesaria acción por parte del Estado de vincularse con las APR y OUA del territorio desde la perspectiva española, de vinculación de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba (top down/top y bottom/up).
- Los distintos servicios públicos trabajan con las comunidades de forma fragmentada, sin una coordinación que permita una acción eficiente y con proyección, por lo que la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos toma fuerza en este contexto, de aridez e inseguridad hídrica, como postulan las experiencias californianas, mexicanas y de Asia Pacífico.

Brechas de información

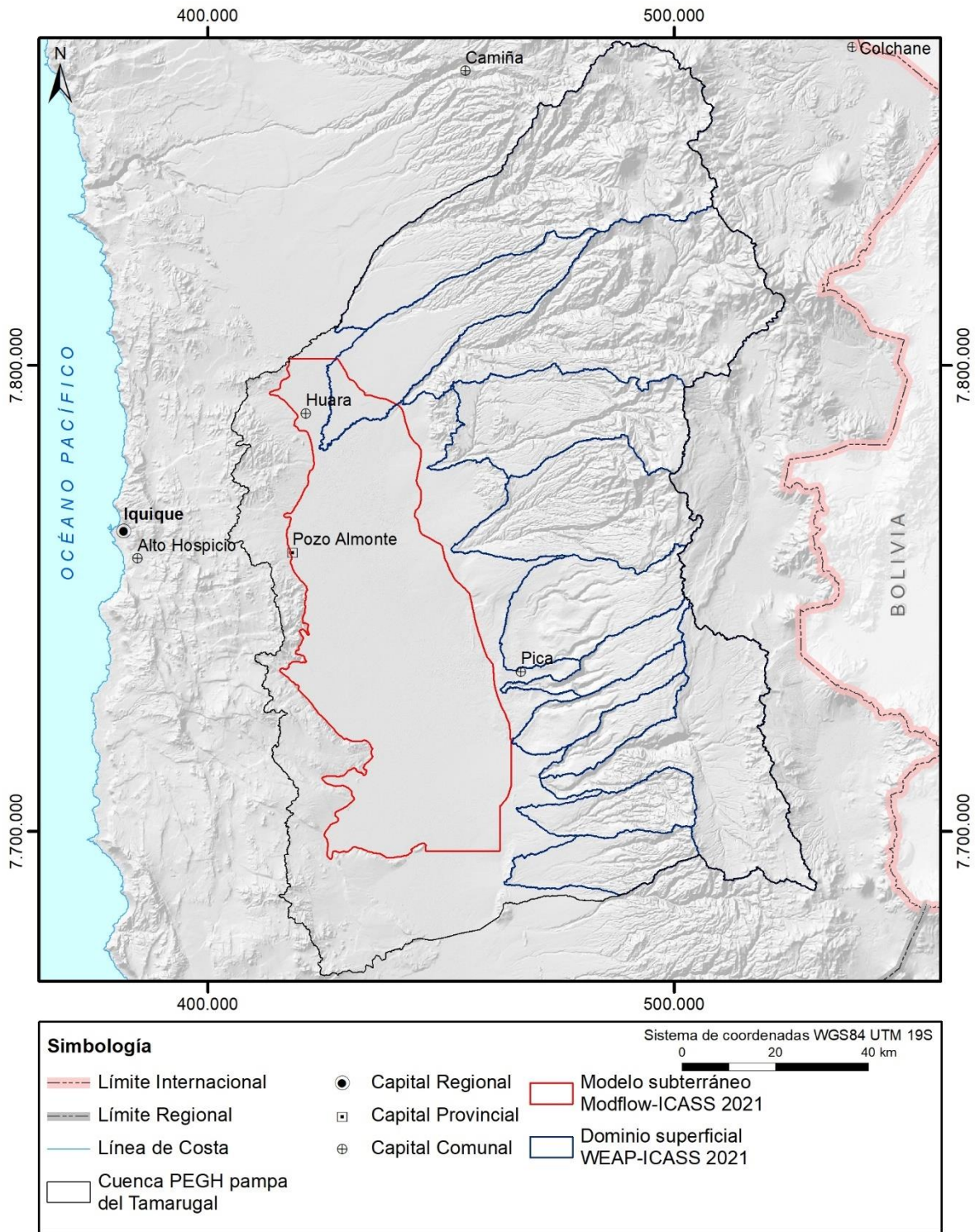
- Existe una brecha de información respecto a la calidad de las aguas y respecto al cumplimiento de la norma de calidad de agua para consumo humano y para la producción agrícola.
- La información pública disponible sobre las transacciones de DAA es insuficiente y los registros para esto tienen diversos objetivos y formas de registrar dicha información.
- No hay información de todos los usuarios de recurso hídrico de la cuenca en vista de que no han registrado sus DDAA.
- Hay brecha de capacidades entre las distintas OUA respecto al manejo de información por parte de las OUA, así como su tipo y sus fuentes. En ese sentido, sería positivo aplicar la estrategia española de entrega de información: estrategia top-down en donde el sector público provee información a la ciudadanía por intermedio de boletines, informes, etc., principalmente a través de internet y una estrategia bottom-up en donde la ciudadanía, dentro de procedimientos establecidos por ley, solicita información a las autoridades correspondientes.
- Se requiere un sistema de información en referencia a los recursos hídricos de la cuenca, el que esté integrado y validado, que pueda ser comprendido y operado por todos los actores de la Cuenca.
- La situación de pandemia influyó en la falta de información de primera mano de los propios actores, en vista de la dificultad de contacto con varios de éstos, debido a números de teléfonos corporativos no operativos a causa de su trabajo fuera de oficina o que algunos de éstos estaban desactualizados.
- La situación de pandemia impactó, además, en la actitud de los actores comunitarios frente al proceso, el que consideraron poco pertinente, lo que generó una brecha de información en relación a la situación actual de las OUA.
- Otra situación influyente en las brechas de información es la desconfianza que muchos actores presentan ante la acción de DGA y demás servicios públicos, que suponemos se debe a la falta de información adecuada a estas OUA.

3. BALANCE DE AGUA EN LA CUENCA

En el presente capítulo se presentan los resultados del balance hídrico de la cuenca de la Pampa del Tamarugal en base a los modelos elaborados para el PEGH de Pampa del Tamarugal. La modelación de la cuenca de la Pampa del Tamarugal considera un modelo WEAP que simula los escurrimientos y recarga de las quebradas aportantes hacia la Pampa mientras que los flujos de aguas subterráneas de la Pampa del Tamarugal se han modelado a con el modelo MODFLOW (Figura 3.1). Esta definición se basa en que los recursos superficiales y subterráneos de la Pampa Tamarugal ocurren en áreas distintas e independientes de la cuenca, y debido a que los procesos subterráneos quedan mejor representados a través de la herramienta MODFLOW. La interacción superficial-subterránea queda representada por medio de una condición de borde lateral de inyección en el modelo subterráneo, representando la recarga.

A modo de síntesis, se indican las principales características de la modelación:

- Modelación Superficial
 - Nombre: Modelo WEAP quebradas de la Cuenca de la Pampa del Tamarugal
 - Área de modelación: 9.600 km².
 - Escala temporal de modelación: Diaria.
 - Periodo de simulación: 1979 - 2019
 - Motor de modelación superficial: WEAP (Yates et al., 2005).
- Modelación Subterránea:
 - Nombre: Modelo MODFLOW acuífero de la Cuenca de la Pampa del Tamarugal.
 - Área de modelación: 3.300 km².
 - Escala temporal de modelación: Anual.
 - Periodo de Simulación: 1960 - 2019
 - Motor de modelación subterránea: MODFLOW-2005 (Niswonger et al., 2011).

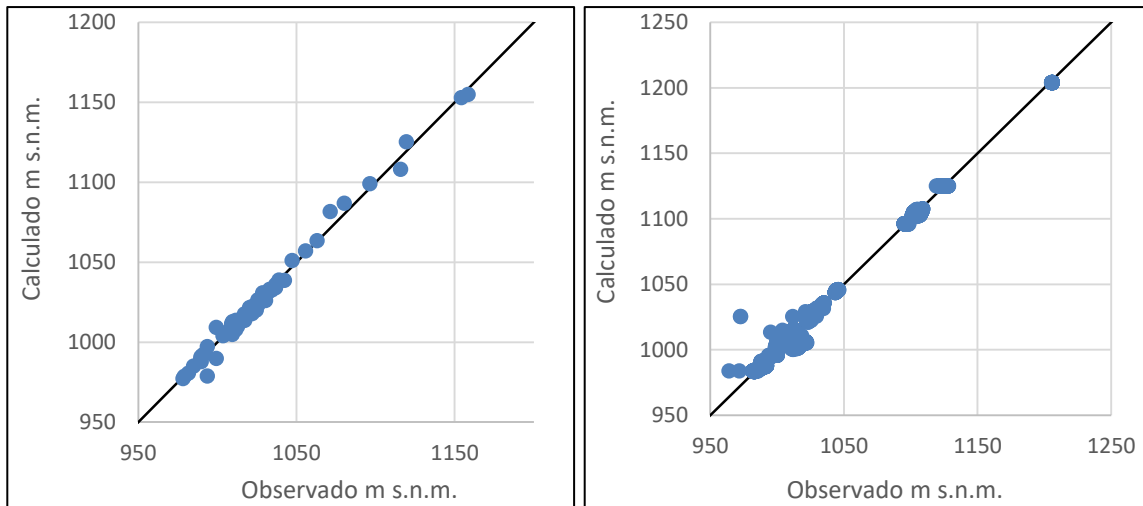


Fuente: elaboración propia.

Figura 3.1 Dominios modelación WEAP y MODFLOW en la cuenca de la Pampa del Tamarugal.

El modelo superficial fue calibrado únicamente en la Quebrada de Tarapacá, única subcuenca con control fluviométrico, realizando luego una transferencia de parámetros hacia las otras subcuencas aportantes. Si bien algunos eventos quedan subestimados por el caudal simulado, en general se obtiene una buena simulación de los caudales base y de otros eventos de menor magnitud, y en general una buena representación de los caudales de probabilidad de excedencia mayor a 20%. Las diferencias pueden estar dadas tanto por limitaciones en la modelación, como por problemas de los datos fluviométricos observados (grandes eventos generan problemas de medición o daño en las estaciones) o las precipitaciones (eventos locales no identificados en el producto CR2MET v2).

El modelo subterráneo fue calibrado en régimen estacionario al año 1960, Condición Natural Permanente (**CNP**), que representa la situación cuasi natural del acuífero posterior a las extracciones de las oficinas salitreras y previo al inicio de las grandes extracciones para agua potable. Además, el modelo se calibró para régimen transiente, Condición Actual Transiente (**CAT**). En ambos casos la calibración entrega un buen ajuste de los niveles observados (Figura 3.2), con un error medio (EM) de 0,36 m, un error medio absoluto normalizado (nEMA) de 1,4% y error cuadrático medio normalizado (nRMS) de 2,1% para la CNP; y con un EM de 0,11 m, nEMA de 0,8% y nRMS de 1,4% para la CAT.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3.2 Ajuste modelo subterráneo estacionario CNP, y transiente CAT.

3.1 Oferta

La oferta de agua en la cuenca corresponde, en calidad y cantidad, tanto a los recursos superficiales como subterráneos.

Agua superficial

La oferta de agua superficial hace referencia tanto a la cantidad como a la calidad del recurso hídrico superficial, obtenido a escala de fuente en puntos específicos de la cuenca, y a escala de cuenca.

Oferta en la fuente

La oferta en la fuente ha sido estimada a partir de los resultados de la modelación numérica. El caudal superficial medio anual generado por las quebradas corresponde a 897 l/s, para el periodo histórico 1985 – 2019 (Tabla 3.1). Se destaca que estos valores representan un promedio histórico en cuencas que durante ciertos meses pueden encontrarse secas y solo responder a la ocurrencia de eventos extremos.

Tabla 3.1 Caudales medios anuales estimados en periodo histórico (1985-2019) y proyectado (2020-2050).

Quebrada	Caudal Histórico (1985-2019)	Caudal Proyectado (2020-2050)	
	l/s	l/s	Δ (%)
Quebrada de Aroma	356	276	-23%
Quebrada de Huasquiña	15	13	-19%
Quebrada de Tarapacá	247	200	-19%
Quebrada de Quipisca	31	27	-15%
Quebradas Juan Morales, Sagasca y El Tambillo	36	30	-17%
Quebrada Seca	26	21	-18%
Quebrada de Quisma	11	10	-15%
Quebrada De Infiernillo	8	5	-33%
Quebrada Sin Nombre	6	5	-24%
Quebrada de Chacarilla	138	121	-12%
Quebrada de Ramada o Higerita	14	11	-17%
Quebradas de Cahuisa y de Chipana	10	8	-15%

Fuente: elaboración propia.

Oferta en la fuente proyectada

La oferta proyectada en la fuente ha sido estimada bajo condiciones de cambio climático. El caudal superficial medio anual generado por las quebradas corresponde a 727 l/s para el escenario futuro en el periodo 2020-2050 (Tabla 3.1), lo que representa una disminución en torno a un 19%.

Oferta de agua superficial

La oferta de agua superficial se basa principalmente en la precipitación que cae en las partes altas de las subcuencas. Para obtener una estimación de oferta de agua superficial se ha considerado únicamente el área de las subcuencas aportantes a la Pampa, de la misma forma que las pérdidas relacionadas a la evapotranspiración natural y recarga desde el río hacia el acuífero.

- La precipitación media en la cuenca (área quebradas), obtenida a partir del producto CR2MET v2 es de 87 mm/año, que equivale a 26.395 l/s, considerando un área para las quebradas de 9.596 km².
- La evapotranspiración natural en la cuenca alcanza un valor medio anual de 79 mm/año, que equivalen a 24.492 l/s para el área de las quebradas.
- El flujo neto de recarga desde las quebradas corresponde a 1.006 l/s. De este valor, 796 l/s corresponden a recarga hacia el acuífero de la Pampa del Tamarugal, mientras que el resto, correspondiente al 50% de la recarga desde la Quebrada de Aroma y de la Quebrada de Cahuisa y Chipana, recarga hacia otros sectores.

Finalmente, la oferta media de agua superficial de la cuenca de la Pampa del Tamarugal sería de unos 897 l/s, considerando la diferencia entre las precipitaciones y las salidas por evapotranspiración y recarga al acuífero.

Calidad del agua superficial

En la cuenca, las aguas superficiales presentan variaciones en su composición de aniones (cloruradas- sulfatadas y bicarbonatadas), mientras que en cuanto a cationes se mantienen dentro del tipo sódico-potásico (Tabla 3.2). Las aguas superficiales de origen meteórico localizadas en la zona precordillerana preferentemente están compuestas por aguas frescas a salobres de composición bicarbonatadas, cloruradas y sulfatadas. La salinidad aumenta por procesos de evaporación y disolución de sales en la pampa pudiendo encontrar aguas superficiales salobres preferentemente de composición clorurada a sulfatada (CIDERH, 2013).

Tabla 3.2 Clasificación química aguas superficiales Cuenca Pampa del Tamarugal.

Nombre Sector	Clasificación química	Salinidad
Soga	clorurada sódica	dulce mineralizada a salobre
Aroma	clorurada sódica	salobre
Tarapacá	sulfatada sódica ± cálcica	dulce moderadamente mineralizada a salobre
Pica	mixta/sulfatada cálcica/sódica	dulce moderadamente mineralizada a salobre
Chacarilla	clorurada sódica	salobre a salada
Bellavista	clorurada sódica	dulce mineralizada a salmuera

Fuente: elaboración propia en base a SERNAGEOMIN (2016).

En la Pampa del Tamarugal la calidad de las aguas superficiales se ve mermada especialmente por elementos como el boro y el arsénico, los cuales se encuentran en concentraciones superiores a las permitidas según las normas de calidad. Además, el pH excede el rango permitido para ambas normas en las dos estaciones antes mencionadas, con valores medidos de pH superiores a 9. Según el Mapa Hidroquímico de Chile (DGA, 2019b), la concentración de boro en la estación Quebrada de Tarapacá en Pachica supera casi en 10 veces la concentración permitida en según NCh 1.333.

Debido a la alta concentración de elementos nocivos para la salud, como el arsénico, boro y pH, que superan las normas NCh. 409 y NCh. 1333, las aguas superficiales de la cuenca no se consideran aptas para consumo humano sin un tratamiento previo.

Agua subterránea

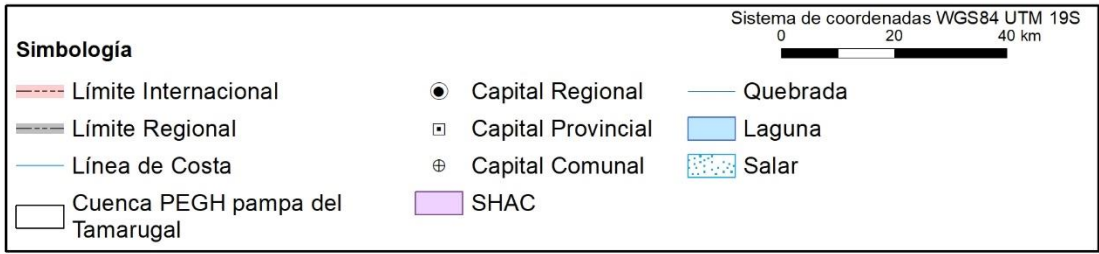
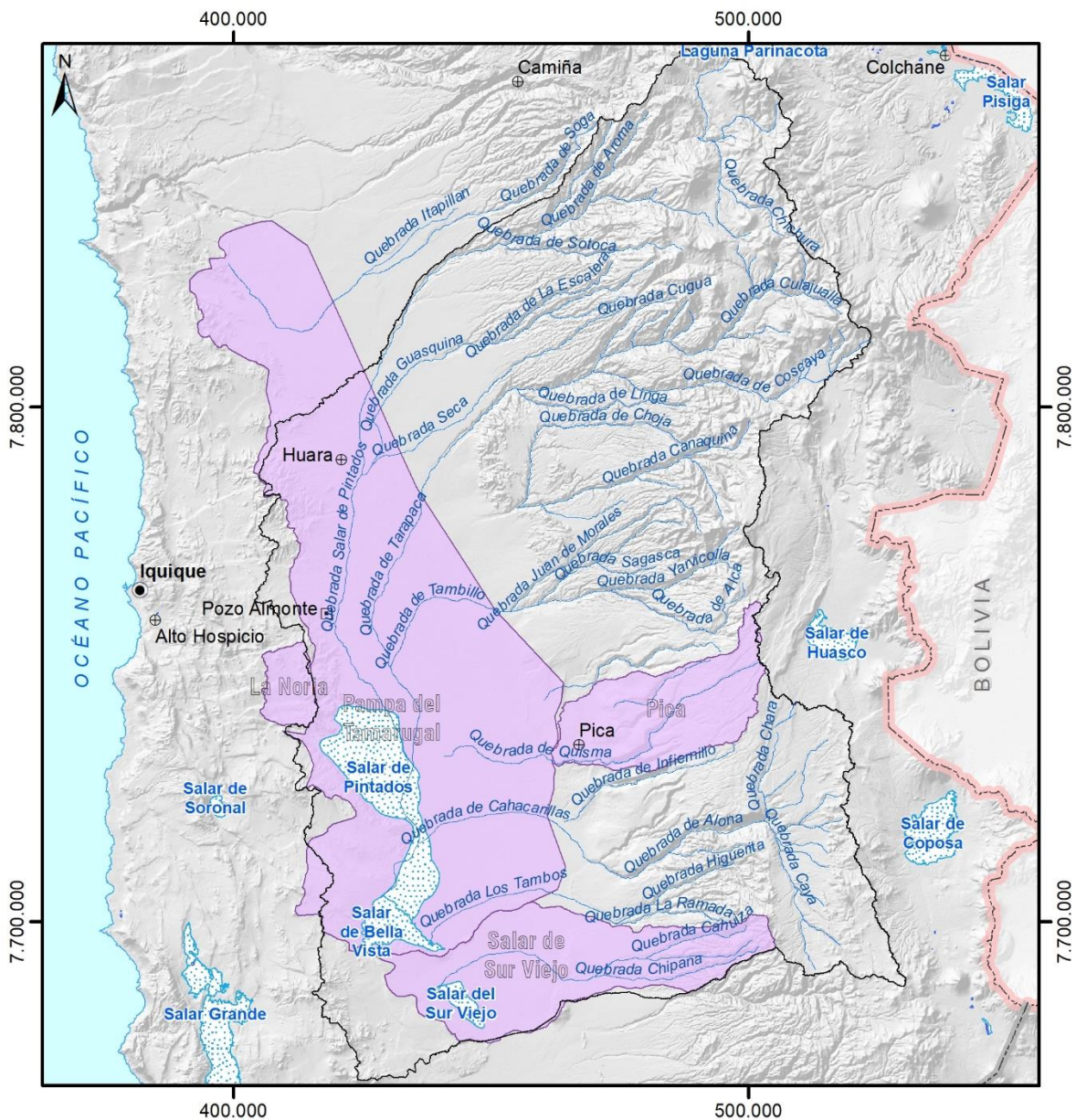
En la cuenca de la Pampa del Tamarugal se han definido 4 sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común (SHAC). En la Tabla 3.3 se presentan los SHAC, su superficie y estado de explotación. Su distribución geográfica se presenta en la Figura 3.3.

Tabla 3.3 Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común en la cuenca de la pampa del Tamarugal.

Región	Subcuencas	SHAC	Área (km²)	Situación de explotación de aguas subterráneas según DGA
Tarapacá	Pampa del Tamarugal	Pampa del Tamarugal	4.845	Área de restricción
Tarapacá	Pampa del Tamarugal y Quebradas de Cahuisa y de Chipana	Salar de Sur Viejo	1.093	Área de restricción
Tarapacá	Pampa del Tamarugal y <i>Pampas El Carmen y De La unión*</i>	La Noria	137	Zona de Prohibición
Tarapacá	Pampa del Tamarugal y Quebrada de Quisma	Pica	671	Zona de Prohibición

*Fuera de la cuenca de la Pampa del Tamarugal, en cuencas costeras.

Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia a partir de datos DGA.

Figura 3.3 Sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común en la cuenca de la pampa del Tamarugal.

Oferta de agua subterránea

La oferta de agua subterránea está dada por la recarga al acuífero, lo que se produce principalmente por la infiltración de las precipitaciones en las zonas más elevadas, por la infiltración de las quebradas que presentan escurrimiento y, en menor proporción por el agua que se infiltra del retorno del regadío en los campos de cultivo que se da en algunas subcuencas. La recarga desde las quebradas ha sido estimada a través de la modelación hidrológica, lo que entrega un flujo medio anual de 796 l/s hacia el SHAC Pampa del Tamarugal, que es el único modelado.

En cuando a la evaporación desde los salares, el valor varía en el escenario histórico 1960 – 2019 ente 463 l/s y 226 l/s. Esta disminución queda explicada por el aumento de la demanda antrópica, su influencia sobre los niveles y, por ende, sobre la evaporación de los salares en la cuenca. Por otra parte, la evapotranspiración varía en el escenario histórico 1960 – 2019 ente 216 l/s y 173 l/s. Nuevamente, la disminución, aunque menor, queda explicada por el aumento de la demanda en la cuenca.

De esta forma, la oferta de agua subterránea al año 2019 en el acuífero sería de 394 l/s, considerando la diferencia entre la recarga y la evapotranspiración y evaporación. Adicionalmente, la DGA estima el volumen embalsado, de acuerdo con los criterios presentados en DGA (2008), que permite explotar el 5% del volumen embalsado en 50 años en acuíferos de estas características. En base a este manual, la DGA (2011b) actualiza la estimación de la oferta del acuífero de la Pampa del Tamarugal, obteniendo un valor de oferta por este concepto de 874 l/s.

Finalmente, la oferta total de aguas subterráneas en el acuífero corresponde a la suma de la oferta y el volumen embalsado, lo que entrega un total 1.268 l/s.

Calidad del agua subterránea

En relación a la caracterización química de las aguas subterráneas, de acuerdo a los cationes principales presentes, son principalmente sódicas y en menor medidas cálcicas, mientras que, según los aniones, son principalmente sulfatadas a mixtas y cloruradas (SERNAGEOMIN, 2017).

En el sector de la depresión Central, el acuífero somero tendría aguas dulces mineralizadas a dulces moderadamente mineralizadas, en las unidades hidrogeológicas A1, A3 y posiblemente A2, y el acuífero profundo contenido en la unidad hidrogeológica A2 sería de aguas salobres. En el sector de Pica, las aguas del acuífero somero en la unidad hidrogeológica A1, son sulfatadas sódicas y salobres, mientras que en el acuífero profundo son mixtas y bicarbonatadas sódicas, dulces a moderadamente mineralizadas, en la unidad A2 (SERNAGEOMIN, 2017). En el sector de Sur Viejo, las aguas serían cloruradas sódicas y saladas. Las aguas más dulces y menos mineralizadas se encontrarían en la quebrada de Tarapacá, sector Colonia, Pica y Puquio Nuñez, mientras que las aguas más saladas a salmueras se presentarían en la quebrada Chacarilla y Bellavista.

Para la Pampa del Tamarugal la calidad de las aguas es muy variable, con iones metálicos de origen natural por la presencia de la franja metalogénica. Elementos como el Cl, B y As se relacionan con aguas de elevada salinidad (DGA, 2004). Debido a la alta concentración de elementos nocivos para la salud, como el arsénico, boro, litio y cloruro, que superan las normas NCh. 409 y NCh. 1333, las aguas subterráneas de la cuenca no se consideran aptas para consumo humano ni para riego sin un tratamiento previo.

El análisis de la evolución temporal de algunos parámetros fisicoquímicos realizado para las 6 estaciones de monitoreo de agua subterráneas de la DGA, indica que en términos generales que la calidad química de las aguas de la cuenca se ha mantenido más bien estable en el tiempo, a excepción de las aguas subterráneas del Pozo Quebrada de Aroma y Pozo en Pachica.

3.2 Demanda

En esta sección se cuantifica la demanda de agua por los diferentes sectores productivos y otros usos del recurso, tanto actual como su proyección futura, para uso humano, necesidades mínimas ambientales, demandas agrícola, minera, industrial u otras.

Demandas de agua

El estudio de la DGA "Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización de la calidad de los recursos hídricos en Chile" elaborado el 2017 por la unión temporal de proveedores Hídrica Consultores y Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d), estimó en todo el territorio nacional, y en particular para la cuenca de la Pampa del Tamarugal, la demanda hídrica para distintos usos (Tabla 3.4). De los resultados presentados se desprende que las demandas por agua potable urbana representan el 50,9% del total del consumo del recurso hídrico, en segundo lugar la minería con un 28,1%, y en tercer lugar la agricultura con un 17,9%, por lo que el resto de actividades juegan un rol menor.

Tabla 3.4 Demanda hídrica cuenca de la Pampa del Tamarugal.

Código subcuenca	Nombre Subcuenca	Demanda hídrica consuntiva 2015 (Mm ³ /año)							
		APU	APR	AGR	PEC	MIN	IND	ELE	TOTAL
0170	Pampa del Tamarugal	34.252	33	7.801	25	17.073	0	0	59.184
0171	Quebrada de Soga	0	1	254	1	0	0	0	256
0172	Quebrada de Aroma	0	17	387	5	0	0	0	409
0173	Quebrada de Tarapacá	0	67	1.272	4	0	0	0	1.343
0174	Quebrada de Quipisca	0	1	752	1	1.586	0	0	2.340
0175	Quebradas Juan Morales, Sagasca y El Tambillo	0	59	647	1	207	0	0	914
0176	Quebrada Quisma	0	0	346	1	0	0	0	347
0177	Quebrada de Chacarilla	0	0	468	1	0	0	0	469
0178	Quebrada de Ramada	0	0	40	0	0	0	0	40
0179	Quebradas Cahuisa y de Chipana	0	0	68	0	0	0	0	68
TOTAL CUENCA									
017	Pampa del Tamarugal	34.252	178	12.035	39	18.866	0	0	65.369

APU/APR: Agua potable urbana/rural, AGR: Agrícola, PEC: Pecuaria, MIN: Minera, IND: Industrial, ELE: Eléctrica.

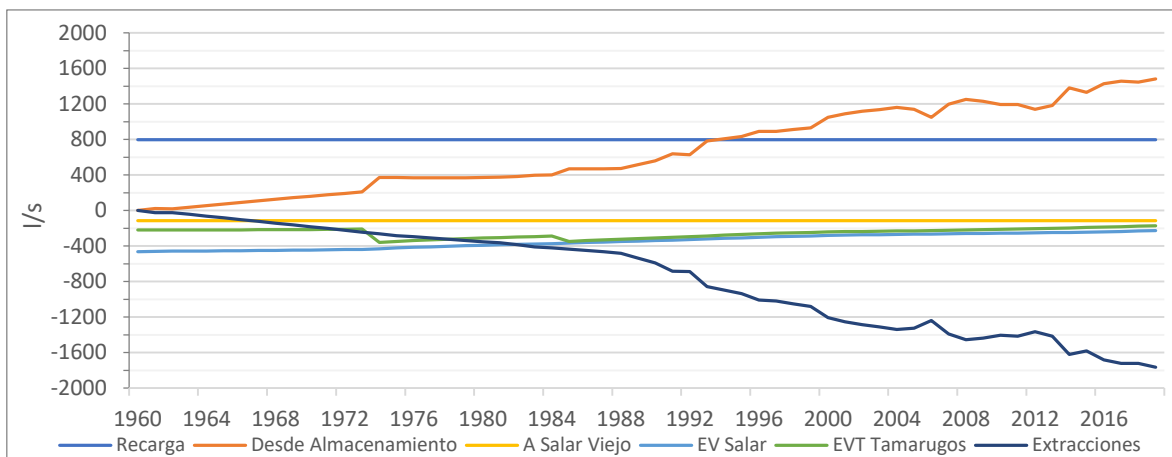
Fuente: elaboración propia a partir de datos de Hídrica Consultores & Aquaterra Ingenieros (DGA, 2017d).

3.3 Balance

A partir de los resultados de los modelos hidrológico e hidrogeológico, se ha construido un balance para la situación histórica (1960-2019) y proyectada (2020-2050).

Situación histórica (1985 – 2019)

El balance subterráneo muestra que para CNP, la recarga desde las quebradas aportantes alcanza los 796 l/s, y la mayor salida del sistema acuífero corresponde a la evaporación desde los salares de Pintados y Bellavista, seguida por la evapotranspiración desde las zonas de tamarugos (Tabla 3.5). Respecto a la evolución del balance subterráneo, se puede observar como en el periodo 1960-2019 (Figura 3.4) las extracciones han aumentado sostenidamente en el tiempo, con un promedio cercano a los 1.700 l/s los últimos años. Así, las extracciones han inducido un aumento sostenido del aporte desde el volumen almacenado, con un desembalse total estimado en 1.278 millones de m³, equivalentes a 675 l/s promedio para el periodo 1960-2019. Así también, las extracciones han producido la disminución sostenida de la evaporación y evapotranspiración desde salares y bosques de tamarugos, respectivamente.



Fuente: elaboración propia.

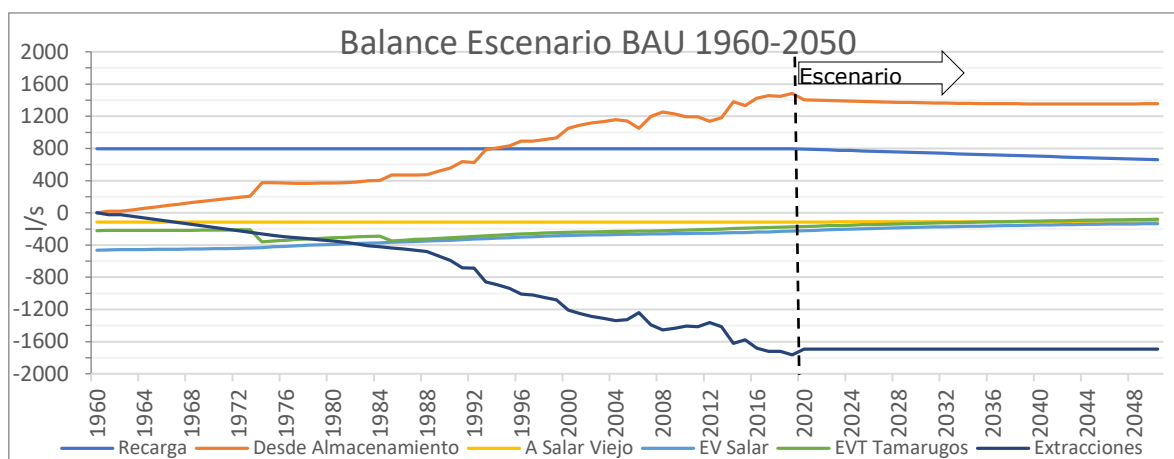
Figura 3.4 Evolución del balance hídrico subterráneo, CAT 1960-2019.

Situación futura (2020-2050)

Se proyecta la situación del sistema para el periodo 2020-2050 bajo un escenario "business as usual" (**BAU**): se mantiene el nivel de extracciones de los últimos años, promedio 1.696 l/s, y disminuye la condición de recarga debido al cambio climático, de 796 l/s a 656 l/s. Todo el resto de las condiciones de borde se mantienen constantes. La estimación de la nueva recarga se realiza utilizando el modelo WEAP, y proyectando las condiciones climáticas de precipitaciones y temperaturas.

Como se puede apreciar en la Figura 3.5 y Tabla 3.5, el caudal aportado desde el volumen almacenado se estabilizaría en 1.350 l/s, equivalentes a un volumen desembalsado de 1.337 millones de m³ para el periodo 2020-2050. Por otro lado, la evaporación y evapotranspiración disminuirá respecto a lo estimado para el año 2019.

Al comparar la situación de la superficie freática simulada al 2050 con la situación año 2019, los descensos serían superiores a 5 metros focalizados en el entorno de las plantas de agua potable El Carmelo y Canchones, y batería de pozos SQM (Figura 3.7). Así mismo, el descenso de los niveles mantendría la tendencia observada los últimos años.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3.5 Evolución del balance hídrico subterráneo, CAT 1960-2050.

Tabla 3.5 Comparación balance hídrico subterráneo histórico y proyectado.

Entradas (l/s)	Histórico 1960	Histórico 2019	BAU (2050)
Recarga Quebradas	795,7	795,7	658,9
Almacenamiento	1,6	1.486,9	1.355,3
Total	797,3	2.282,6	2.014,2
Salidas (l/s)			
Extracciones	0,2	1.765,6	1.694,1
Descarga Sur Viejo	114,6	112,9	106,2
EV Salares	463,0	226,9	134,3
EVT Tamarugos	219,4	172,5	80,2
Almacenamiento	0,3	4,7	0,0
Total	797,5	2.282,6	2.014,8

Fuente: elaboración propia.

Sustentabilidad

En la Tabla 3.6 se presenta un resumen de los resultados obtenidos para los 4 criterios de sustentabilidad evaluados. Se destaca que dos de estos criterios no estarían siendo cumplidos, de acuerdo a los resultados de la modelación, los cuales corresponden a la afectación al río, que supera el 20% del caudal anual de 85% de probabilidad de excedencia, medido en el punto de salida del SHAC, y el criterio de pozos secos, que entrega un valor superior al 5%. Todos estos resultados son estimados a partir de las demandas efectivas, y no de los derechos otorgados, motivo por el cual no deben compararse directamente con los criterios definidos por del DARH.

Tabla 3.6 Resumen criterios de sustentabilidad.

Criterio	Valor Límite	Estado	Observaciones
Descensos sustentables	0,56% < 5%	Cumple - No concluyente	Diferencia de volumen estimada entre 1960 y 2019. Los resultados se consideran no concluyentes dado que existe una incerteza con respecto al volumen almacenado y la definición del basamento, junto a las limitaciones de un modelo monocapa.
Afectación al río	–	No aplica	No existen cauces superficiales permanentes sobre el acuífero.
Satisfacción de la demanda	100% > 95%	Cumple	El modelo considera pozos completamente penetrantes, y no presenta secado de celdas en ninguno de los pozos durante de ejecución
Pozos secos	–	No aplica	No se dispone de información completa y sistematizada de la profundidad de los pozos de bombeo en el acuífero. Sin embargo, la gran mayoría de los pozos presentan descensos menores a 10 metros, que conservadoramente se puede considerar como una variación de nivel que no afecta en gran medida a los pozos

Fuente: elaboración propia.

Escenarios de gestión

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los 3 escenarios de gestión, implementados utilizando el modelo hidrogeológico. Cabe destacar que estos 3 escenarios se construyen considerando como recarga el valor proyectado desde el modelo superficial, bajo condiciones de cambio climático.

Escenario Gestión 1: Según lo informado por Aguas del Altiplano, la empresa evalúa el incremento de las extracciones en la planta de agua potable El Carmelo. Acorde al EIA del proyecto (en preparación) la empresa proyecta incrementar sus extracciones al 100% de sus derechos en el sector El Carmelo (807 l/s). Así, el objetivo de este escenario es evaluar la respuesta del sistema acuífero para el periodo 2020-2050 bajo este mayor estrés hídrico.

Escenario Gestión 2: Este escenario se desarrolla con el objetivo de evaluar la posible recuperación del acuífero, considerando un eventual cese de las extracciones de los mayores usuarios de agua subterránea (uso minero y plantas de agua potable Canchones y El Carmelo, por un total de 1.400 l/s). Así las extracciones disminuyen a 295 l/s. Este escenario se simula al muy largo plazo, hasta el año 2550.

Escenario Gestión 3: Según lo informado por DGA, es posible que a futuro sean solicitados derechos de extracción de agua subterránea en las diversas quebradas aportantes al acuífero de la Pampa, lo que podría impactar directamente sobre la recarga que ingresa al acuífero de la pampa. Así, el objetivo de este escenario es

evaluar el impacto que tendría esta disminución del flujo que ingresa producto de la recarga desde las quebradas para el periodo 2020-2050. Debido a la incertidumbre respecto al volumen de derechos a solicitar sobre las quebradas, se definió un caudal correspondiente al 15% de la recarga calculada en cada quebrada aportante.

A partir de los resultados obtenidos para los 3 escenarios de gestión, se puede destacar que al largo plazo, año 2050, salvo que las extracciones disminuyan considerablemente (Escenario 2), todos los escenarios indican que el abatimiento del acuífero continuará, con una tasa de descenso similar a la observada durante la última década (ver niveles de pozos El Carmelo 2 y Jica 7 en Figura 3.6). Ahora bien, estos descensos son mayores en torno a las baterías de pozos más importantes en la zona: Carmelo, Canchones, SQM, con descensos entre 5 y 15 metros respecto a la situación año 2019 dependiendo del nivel de extracciones considerado (Figura 3.7). El comportamiento descrito es esperable, ya que las extracciones proyectadas representan entre 2,4 y 2,9 veces la recarga estimada al sistema, e imposibilitan al acuífero alcanzar una situación de equilibrio (aporte del almacenamiento igual a cero) (Tabla 3.7).

Tabla 3.7 Comparación balance subterráneo para diferentes años modelados.

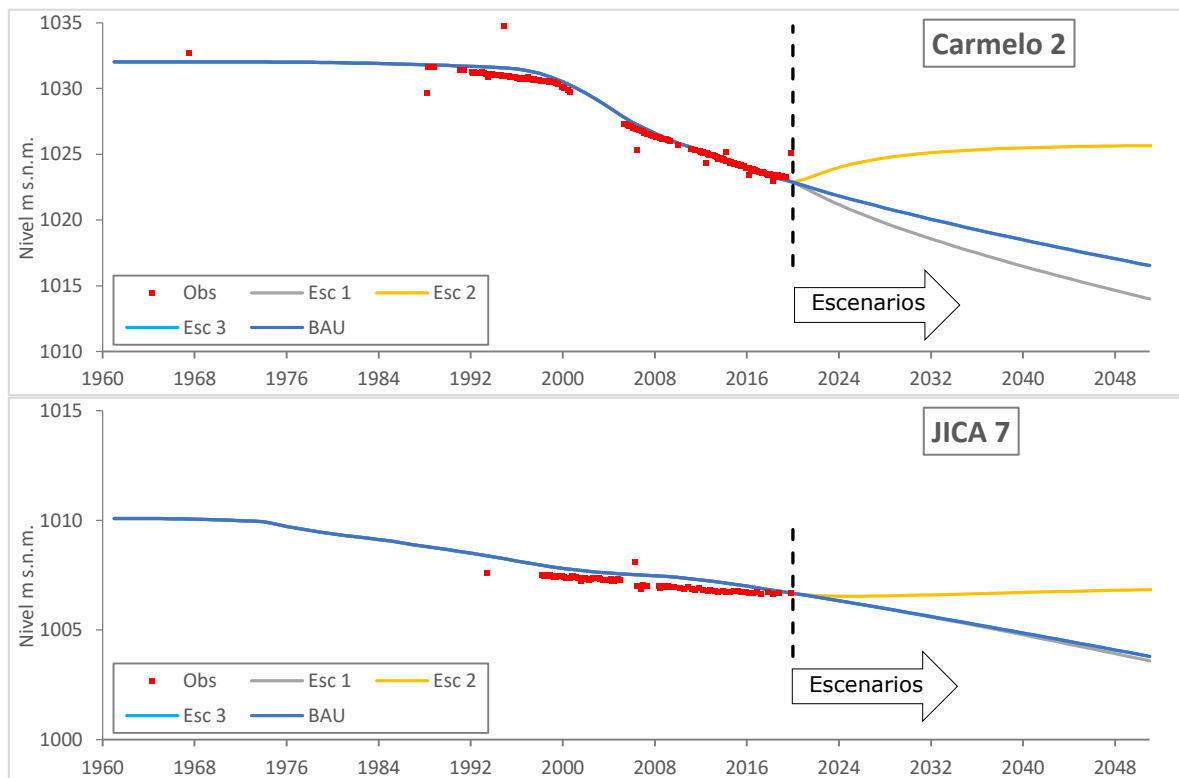
Entradas (l/s)	Histórico 1960	Histórico 2019	BAU (2050)	Esc. 1 (2050)	Esc. 2 (2050)	Esc. 3 (2050)	Esc. 2 (2550)
Recarga Quebradas	795,7	795,7	658,9	658,9	658,9	560,1	658,9
Almacenamiento	1,6	1.486,9	1.355,3	1.547,2	303,6	1.454,1	149,1
Total	797,3	2.282,6	2.014,2	2.206,1	962,5	2.014,6	808,0
Salidas (l/s)							
Extracciones	0,2	1.765,6	1.694,1	1.889,4	295,1	1.694,1	295,1
Descarga Sur Viejo	114,6	112,9	106,2	106,2	112,2	105,9	106,8
EV Salares	462,9	226,3	134,3	134,0	259,1	134,2	243,2
EVT Tamarugos	219,3	173,0	80,2	76,9	201,0	80,2	163,4
Almacenamiento	0,3	4,7	0,0	0,0	95,5	0,0	0,0
Total	797,5	2.282,6	2.014,8	2.206,5	962,9	2.014,4	808,5

Fuente: elaboración propia.

En el caso particular del Escenario 2, el cese de las mayores extracciones en el acuífero, generaría una súbita disminución del caudal aportado desde el volumen almacenado durante los primeros años, para estabilizarse en torno a los 150 l/s, muy en el largo plazo. Respecto a la evolución de la superficie freática, se produciría al largo plazo (año 2050), una recuperación en los sectores cercanos a las extracciones cesadas, alcanzando niveles comparables a la situación al año 2010, tal como se

observa para los pozos El Carmelo 2 y Jica 7 en la Figura 3.6. En los sectores más alejados, se observa una estabilización de los niveles comparable al año 2019, según lo presentado en la Figura 3.7 (panel inferior izquierdo). Pese a lo anterior, el sistema no se encontraría en una situación de equilibrio, ya que se tiene el aporte neto desde el almacenamiento antes mencionado, en torno a 150 l/s.

Ahora bien, a muy largo plazo (año 2550), se proyecta un abatimiento general de todo el sector próximo a las quebradas aportantes, de entre 5 a 10 metros, según se muestra en la Figura 3.8. Esto estaría fuertemente influenciado por los menores valores de recarga que deberían llevar al sistema hacia un nuevo punto de equilibrio, muy probablemente distinto al equilibrio histórico. Este comportamiento dual, de recuperación durante los primeros años posterior al cese de las mayores extracciones, y luego un descenso paulatino de los niveles producto de la disminución de la recarga se refleja en el pozo El Carmelo 2, de acuerdo a lo presentado en la Figura 3.9.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3.6 Evolución de niveles en los 4 escenarios (incluye registro histórico).

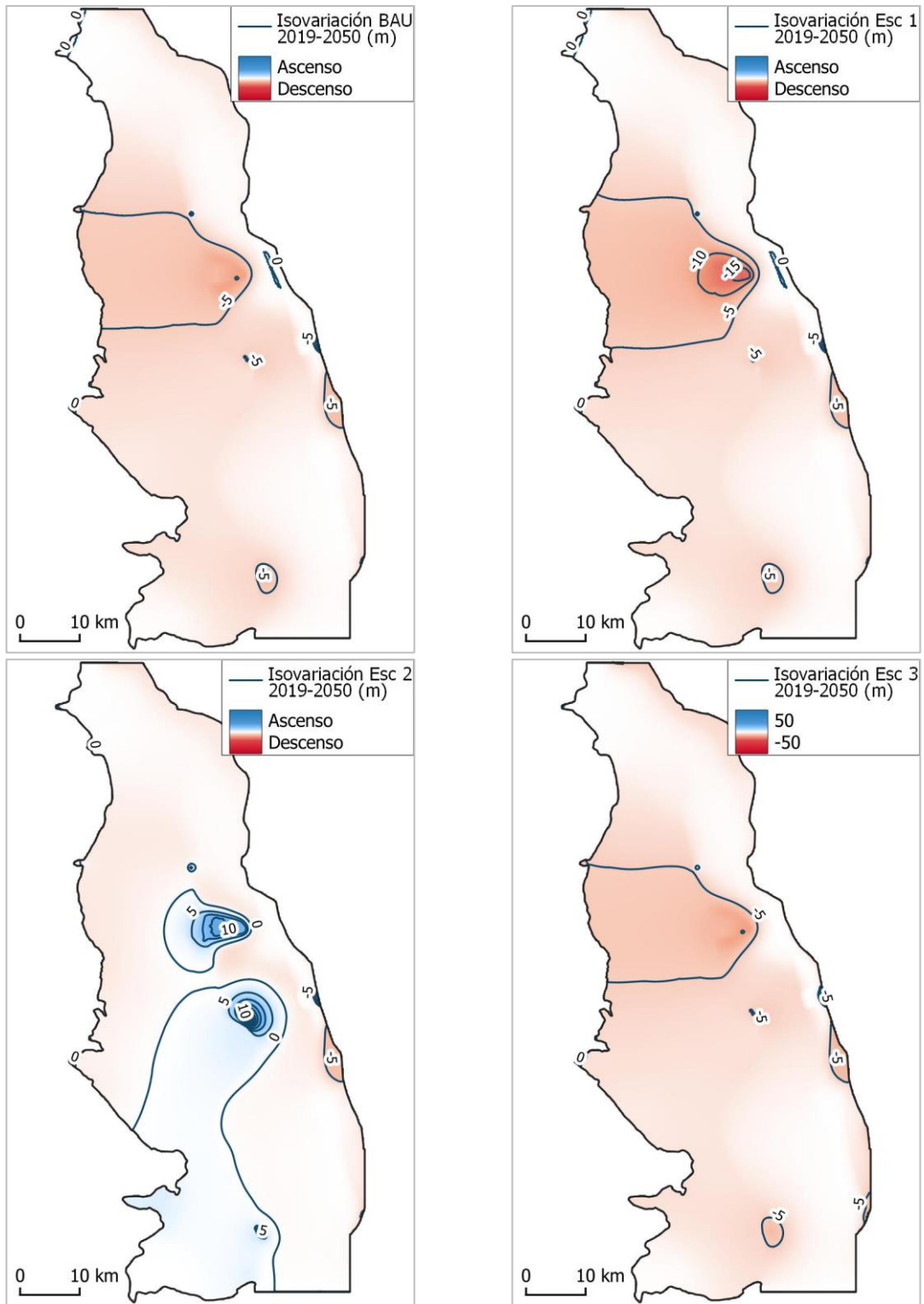
Finalmente, para todos los escenarios, excepto el 2, los volúmenes desembalsados pronosticados para los próximos 30 años son superiores entre un 4 y 18% superiores

respecto al volumen desembalsado en los 60 años del periodo histórico 1960-2019 (Tabla 3.8), lo que permite prever una explotación no necesariamente sustentable en el tiempo, y que debe por tanto llamar la atención frente a la importancia de este recurso para la cuenca y la Región.

Tabla 3.8 Comparación de volumen desembalsado histórico versus escenarios.

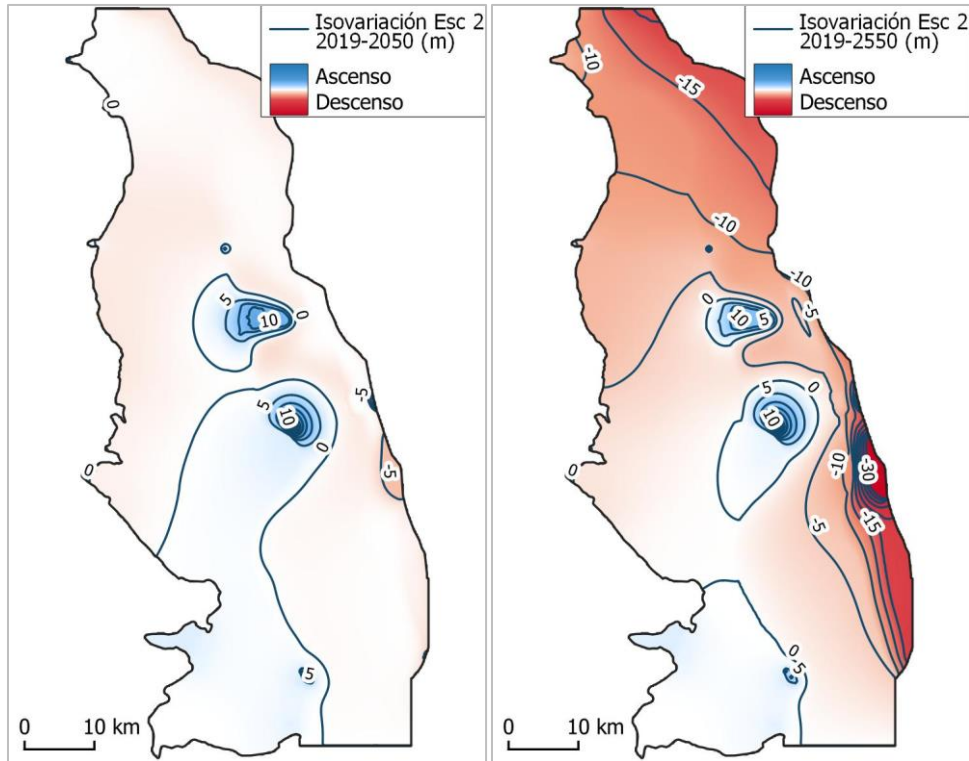
Escenario	Histórico 1960-2019	BAU 2020-2050	Escenario 1 2020-2050	Escenario 2 2020-2050	Escenario 3 2020-2050
Desembalse (millones m ³)	1.278	1.337	1.526	107	1.387

Fuente: elaboración propia.



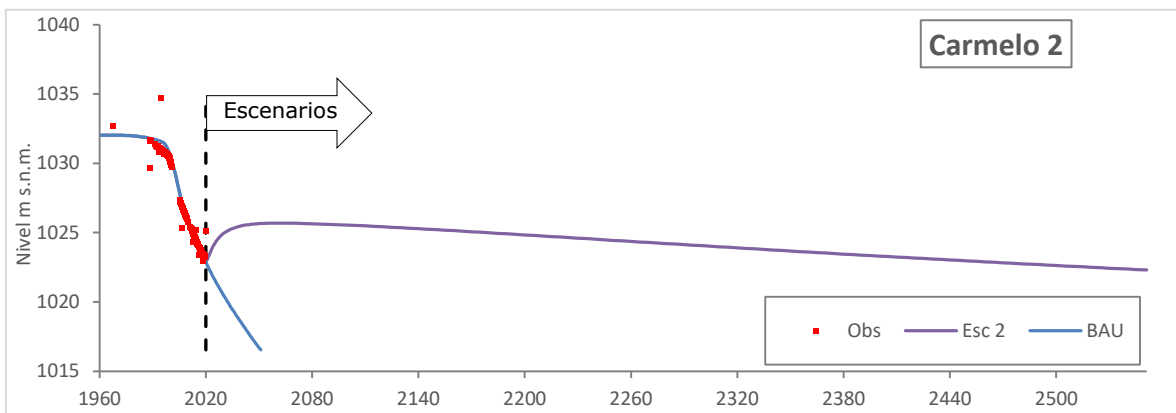
Fuente: elaboración propia.

Figura 3.7 Variación de la superficie freática al año 2050 respecto a año 2019, en negro ubicación referencial de las baterías de pozos El Carmelo, Canchones, y SQM, respectivamente de norte a sur.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3.8 Comparación de la evolución de la superficie freática escenario 2 respecto a 2019, para horizontes de simulación 2050 y 2550.



Fuente: elaboración propia.

Figura 3.9 Hidrograma representativo comportamiento del acuífero al muy largo plazo, escenario 2.

4. PLAN DE ACCIÓN

A continuación se presentan los ejes y objetivos del plan, así como un levantamiento de acciones e iniciativas a considerar en el PEGH para la cuenca.

4.1 Ejes y Objetivos para el PEGH

Los ejes y objetivos para la definición de acciones en el marco del PEGH de Pampa del Tamarugal fueron propuestos a partir de los objetivos del estudio y de la revisión de los principales antecedentes. En la Tabla 4.1 presenta los ejes y objetivos planteados para el plan.

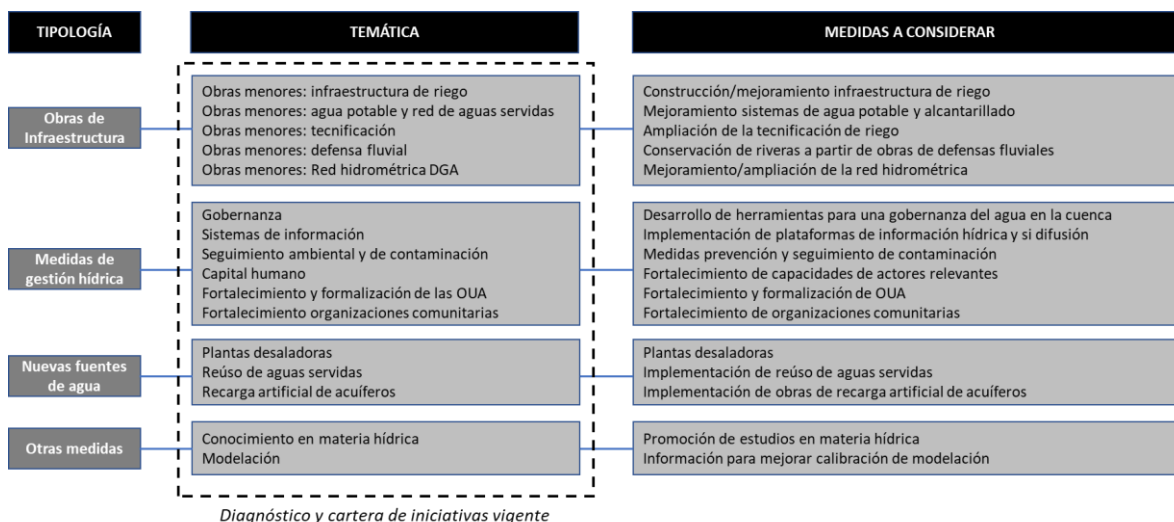
Tabla 4.1 Ejes y Objetivos propuestos para PEGH Cuenca de Pampa del Tamarugal.

Eje	Nombre de eje	N°	Objetivos para definición de Acciones del Plan
1	Uso estratégico del recurso hídrico: brechas entre oferta y demanda, riesgos hídricos	1	Reducir las brechas entre oferta y demanda de agua considerando cambio climático, sequía e inundaciones.
		2	Restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable urbana, tanto para fuentes superficiales como subterráneas.
		3	Restaurar condiciones de abastecimiento y calidad de las fuentes de agua potable rural, tanto para fuentes superficiales como subterráneas.
		4	Conservar y/o mejorar el estado de la infraestructura hidráulica actual.
		5	Gestión de riesgos
2	Información y monitoreo del recurso hídrico	1	Mejorar el monitoreo de las aguas de la cuenca (superficial, subterráneo, de montaña y glaciares).
		2	Gestión de información
3	Gestión y gobernanza del agua	1	Promover y revitalizar la alianza público - privada en materia hídrica.
4	Conservación y protección del recurso y del ecosistema hídrico	1	Conservar y/o mejorar el estado de la calidad de aguas de las fuentes superficiales y subterráneas.
		2	Proteger funciones ecosistémicas críticas relacionadas con los cuerpos de agua en el tiempo.

Fuente: elaboración propia.

4.2 Cartera de iniciativas de inversión vigentes

Para el análisis de objetivos, ejes e iniciativas, se levantó un total de 42 iniciativas de inversión vigentes para la cuenca de la Pampa del Tamarugal, las que se clasificaron según las tipologías que se grafican en la Figura 4.1. Esta información fue extraída desde el Banco Integrado de Proyectos del Ministerio de Desarrollo Social y Familia.



Fuente: elaboración propia.

Figura 4.1 Clasificación de las Iniciativas Hídricas Recopiladas.

4.3 Cartera de iniciativas propuestas

Para generar una cartera de iniciativas propuestas, se estableció una priorización de las acciones abordadas en las actividades de PAC, las que se muestran en la Tabla 4.2 y que presenta las 10 acciones priorizadas durante las reuniones PAC.

Tabla 4.2 Acciones priorizadas en la cuenca de Pampa del Tamarugal según criterio de corte.

Id	Tipo	Id2	Id Acc	Acciones
1	Obras de Infraestructura	1.3	3	Mejoramiento de sistemas y cobertura (APR, alcantarillado y sistemas tratamiento).
2	Medidas de gestión hídrica	2.1	5	Alinear organismos en una visión común en materia de regularización de derechos.
		2.5	9	Fortalecimiento de OUAs y APRs.
		2.8	12	Impulsar creación de nuevas juntas de vigilancia (fuentes superficiales) y comunidad de aguas en acuífero de la Pampa T.
		2.11	15	Plataforma ciudadana de información de aguas.
4	Otras medidas	4.4	21	Fortalecimiento y promoción de actividades productivas tradicionales.
		4.5	22	Incentivar y facilitar la aplicación de la Ley de Fomento al Riego (Mejoramiento de sistemas de riego en los ámbitos de infraestructura, eficiencia, ambiental y monitoreo).

Fuente: elaboración propia.

Como se presenta en el esquema de la Figura 4.2, esta priorización se complementó con acciones adicionales levantadas desde la PAC y con valor estratégico, para

finalmente hacer un cruce con la cartera de iniciativas vigentes y las propuestas de iniciativa de planes previos. A partir de esto, fue necesario agregar 2 nuevas acciones a la priorización.

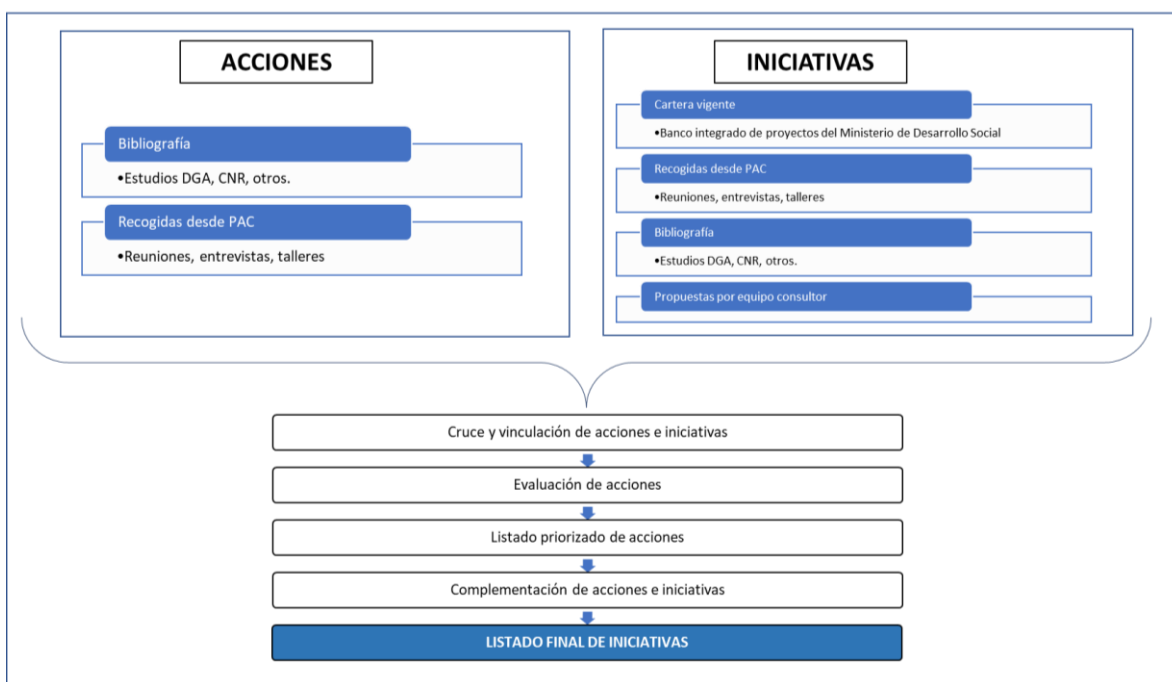


Figura 4.2 Esquema general para elaboración de Plan de acción.

A partir de lo anterior se definieron iniciativas asociadas a cada una de las acciones antes indicadas, donde en la Tabla 4.3 se presenta el listado de las acciones e iniciativas finalmente priorizadas. Dicho listado incluye tanto iniciativas previas, iniciativas de la cartera vigente, así como las de valor estratégico recogidas en PAC y en coordinación con la Insp. Fiscal.

Tabla 4.3 Iniciativas priorizadas PEGH cuenca del Pampa del Tamarugal.

Id	Tipo	Acciones priorizadas	N°	Iniciativas del Plan de acción
1	Obras de Infraestructura	Mejoramiento de sistemas y cobertura (APR, alcantarillado y sistemas tratamiento).	1	Estudio y diseño para la construcción de un sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas en sector Las Quintas y La Huayca (comuna de Pozo Almonte).
			2	Extensión de redes de AP en La Tirana, comuna de Pozo Almonte.
			3	Instalación, Cobertura y mejoramiento de Sistemas APR en diversas localidades.
2	Medidas de gestión hídrica	Alinear organismos en una visión común en materia de regularización de derechos para todas las organizaciones de la cuenca. Fortalecimiento de OUAs y APRs.	4	Programa de apoyo en la regularización de derechos de agua (DGA-Tribunales-CONADI).
			5	Capacitación(es) para el fomento de asociatividad entre OUAs.
			6	Programa de apoyo al fortalecimiento

Id	Tipo	Acciones priorizadas	N°	Iniciativas del Plan de acción
4	Otras medidas	Impulsar creación de nuevas juntas de vigilancia (fuentes superficiales) y comunidad de aguas en acuífero de la Pampa del Tamarugal.		organizacional.
			7	Mejorar Operación de los Sistemas de Agua Potable Rurales.
			8	Cumplimiento de la NCh 409 por parte de los sistemas de Agua Potable.
			9	Evaluación de alternativas para disminución de costos de tratamiento para abastecimiento de agua a APR.
			10	Programa DGA de incentivo a la formación de juntas de vigilancia en cuencas específicas.
			11	Programa DGA de formación de la comunidad de aguas del acuífero Pampa del Tamarugal.
			12	Transferencia para la Constitución de Junta de Vigilancia Quebrada de Tarapacá.
		13	Programa de constitución de comunidades de aguas sector de Aroma (Chiapa, Jaíña), comuna de Huara.	
		14	Plataforma ciudadana de información de aguas.	
		15	Gobernanza.	
		16	Fortalecimiento y promoción de actividades productivas tradicionales.	Acuerdo de Producción Limpia Sector Productores de Limón de Pica.
		17		Acuerdo de colaboración para promoción y puesta en valor de actividades productivas tradicionales agrícolas.
		18	Incentivar y facilitar la aplicación de la Ley de Fomento al Riego (Mejoramiento de sistemas de riego en los ámbitos de infraestructura, eficiencia, ambiental y monitoreo).	Transferencia para concursos complementarios Ley N°18.450 de Fomento al Riego y Drenaje.
		19	Estudios para mejorar conocimiento hídrico.	Evaluación histórica de extracciones de la Pampa del Tamarugal.
		29		Estudio hidrogeológico del acuífero profundo de la Pampa.
21	Estudio de actualización de la delimitación del acuífero, especialmente en sector oriental.			

Fuente: elaboración propia.

4.4 Valorización económica del plan

Las medidas contempladas en el presente Plan ascienden a un valor actual de costos de 5789 millones de pesos, de los cuales 858 millones corresponden a iniciativas propuestas y 4.931 millones de pesos a iniciativas previas. El financiamiento del PEGH se basa principalmente en la coordinación de las entidades públicas, reasignación de presupuesto público, y la gestión de los fondos y/o programas en forma consistente a

los objetivos y medidas del Plan. La Tabla 4.4 presenta el listado de iniciativas priorizadas junto con su presupuesto, costo, responsable financiero propuesto y horizonte de tiempo.

Tabla 4.4 Iniciativas del Plan con costos y plazos.

Id	Iniciativas del Plan de acción	Origen de iniciativa	Costo total (Millones de \$)	Plazo (meses)	Responsable financiero	Horizonte
1	Estudio y diseño para la construcción de un sistema de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas en sector Las Quintas y La Huayca (comuna de Pozo Almonte).	DGA (2013a)	93,32	24	SUBDERE	Mediano plazo
2	Extensión de redes de AP en La Tirana, comuna de Pozo Almonte.	DGA (2013a)	1100,00	24	DOH	Mediano plazo
3	Instalación, Cobertura y mejoramiento de Sistemas APR en diversas localidades.	DGA (2013a) / MOP (2021) / Consultor PEGH / PAC	1846,83	60	DOH-EXTRAMOP-PRIVADOS	Mediano plazo
4	Programa de apoyo en la regularización de derechos de agua (DGA-Tribunales-CONADI).	DGA (2013a)	7,00	6	CONADI	Corto plazo
5	Capacitación(es) para el fomento de asociatividad entre OUAs.	DGA (2013a)	4,00	2	INDAP	Corto plazo
6	Programa de apoyo al fortalecimiento organizacional.	CNR (2017)	851,59	24	CNR	Mediano plazo
7	Mejorar Operación de los Sistemas de Agua Potable Rurales.	DGA (2013a)	132,53	12	DOH-EXTRAMOP-PRIVADOS	Mediano plazo
8	Cumplimiento de la NCh 409 por parte de los sistemas de Agua Potable.	DGA (2013a)	116,67	6	DOH	Corto plazo
9	Evaluación de alternativas para disminución de costos de tratamiento para abastecimiento de agua a APR.	DGA (2013a)	18,76	3	DOH	Corto plazo
10	Programa DGA de incentivo a la formación de juntas de vigilancia en cuencas específicas.	DGA (2013a)	82,83	24	DGA	Mediano plazo
11	Programa DGA de formación de la comunidad de aguas del acuífero Pampa del Tamarugal.	DGA (2013a)	59,64	12	CNR	Corto plazo
12	Transferencia para la Constitución de Junta de Vigilancia Quebrada de Tarapacá.	DGA (2013a)	191,34	12	CNR	Corto plazo
13	Programa de constitución de comunidades de aguas sector de	CNR (2017)	121,66	12	GORE-FNDR	Mediano plazo

Id	Iniciativas del Plan de acción	Origen de iniciativa	Costo total (Millones de \$)	Plazo (meses)	Responsable financiero	Horizonte
	Aroma (Chiapa, Jaiña), comuna de Huara.					
14	Plataforma ciudadana de información de aguas.	DGA (2013a)	41,42	12	GORE-FNDR	Corto plazo
15	Diseño de una nueva gobernanza y acompañamiento técnico para su implementación.	Consultor PEGH / PAC	350,00	60	GORE-FNDR	Mediano plazo
16	Acuerdo de Producción Limpia Sector Productores de Limón de Pica.	DGA (2013a)	50,00	12	GORE-FNDR	Mediano plazo
17	Acuerdo de colaboración para promoción y puesta en valor de actividades productivas tradicionales agrícolas.	DGA (2013a)	30,00	24	CORFO	Mediano plazo
18	Transferencia para concursos complementarios Ley N°18.450 de Fomento al Riego y Drenaje.	DGA (2013a)	183,34	36	GORE-FNDR	Mediano plazo
19	Evaluación histórica de extracciones de la Pampa del Tamarugal.	Consultor PEGH / PAC	40,00	8	DGA	Corto plazo
20	Estudio hidrogeológico del acuífero profundo de la Pampa.	Consultor PEGH / PAC	300,00	12	CORFO	Corto plazo
21	Estudio de actualización de la delimitación del acuífero, especialmente en sector oriental.	Consultor PEGH / PAC	168,00	12	DGA	Mediano plazo

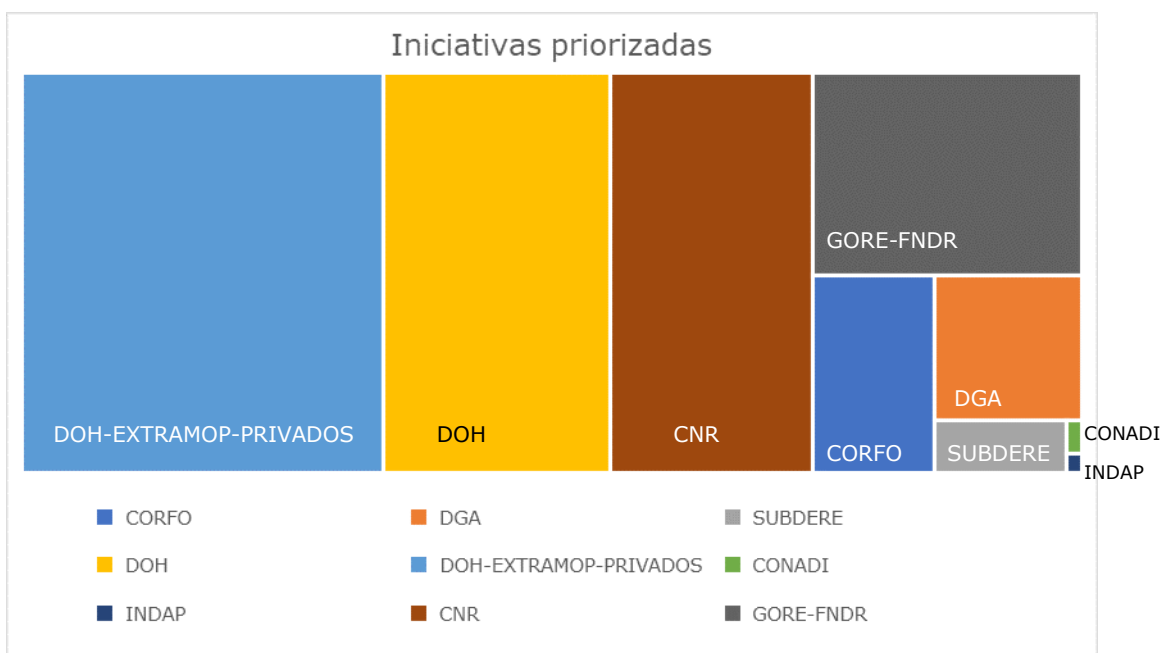
Fuente: elaboración propia.

En función de los resultados de la evaluación económica, y la responsabilidad en la ejecución de las iniciativas, se resume a continuación el VAC y CAE total por institución responsable en Tabla 4.5 y Figura 4.3.

Tabla 4.5 Distribución de costos según ejecutor: VAC y CAE [\$ Millones de Pesos] Iniciativas Propuestas.

Entidad financiera	CAE [\$Millones]	VAC [\$Millones]
CORFO	315,29	330,03
DGA	291,02	290,86
SUBDERE	46,73	93,34
DOH	686,30	1235,63
DOH-EXTRAMOP-PRIVADOS	503,03	1980,01
CONADI	7,01	7,00
INDAP	4,00	4,00
CNR	677,34	1102,35
GORE-FNDR	344,50	745,79
Total general	2875,22	5789,00

Fuente: elaboración propia.



Fuente: elaboración propia.

Figura 4.3 Distribución de VAC [\$ Millones de pesos] según ejecutor: Iniciativas Priorizadas.

5. IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN

En el presente capítulo se presentan las características necesarias para la correcta implementación del PEGH. Se incluye también un resumen con la identificación de las fuentes de financiación previstas.

5.1 Estructura del Plan de Gestión

La estructura del PEGH se ha establecido de acuerdo con 4 ejes, alineados según los objetivos del presente estudio:

- **EJE 1:** Uso estratégico del Recurso Hídrico: Brechas entre oferta y demanda, riesgos hídricos
- **EJE 2:** Información y Monitoreo del Recurso Hídrico
- **EJE 3:** Gestión y Gobernanza del Agua
- **EJE 4:** Conservación y Protección del Recurso y del Ecosistema Hídrico.

A su vez, en cuanto a su tipología, las iniciativas se clasifican en 4 tipos según:

- Obras de infraestructura (OI)
- Medidas de Gestión (MG)
- Nuevas Fuentes (NF)
- Otras Medidas (OM)

5.2 Plazos de implementación

Los plazos de implementación se muestran en la Tabla 7.7 del informe principal y los detalles de las iniciativas en Anexo F Apéndice Iniciativas.

5.3 Estrategia de Implementación

Para la lograr implementar las iniciativas del PEGH es necesario conocer los diferentes aspectos que puedan influir en la implementación de las acciones del plan, dentro de lo cual se pueden identificar aspectos institucionales, culturales, normativos, económicos, teniendo en consideración el rol de las mujeres y aspectos relacionados con el ciclo político. Este último aspecto guarda relación con el compromiso de las autoridades de los Servicios Públicos clave, ya que son estas autoridades las que validarán y priorizarán las iniciativas de inversión asociadas al Plan, destinarán personal para el seguimiento del PEGH y apoyarán en la convocatoria a reuniones futuras y tendrán un rol activo en el PEGH.

Proceso de implementación

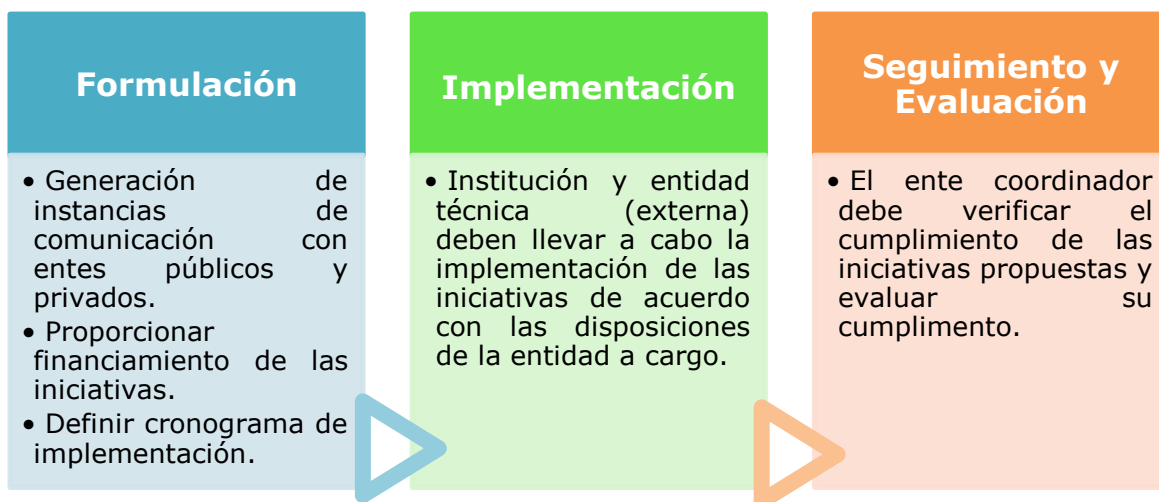
El Plan Estratégico es parte de un proceso de mejoramiento continuo en donde, es necesario ir incorporando constantemente a nuevos actores e iniciativas que puedan ir

surgiendo. Como ya se ha mencionado previamente existentes factores que influyen en la implementación del PEGH, y para el éxito de su implementación es necesario considerar al menos:

- Identificación y comunicación con instituciones responsables
- Generar una buena acogida las iniciativas por parte de los beneficiarios
- Disponer de financiamiento
- Identificar externalidades positivas y negativas de cada medida. En este caso, entre las externalidades positivas se cuentan la solución de problemas de APR, un mayor caudal ecológico y la recarga de acuíferos.

Debido a que los PEGH han sido impulsados por DGA, se considera que sea esta entidad la responsable de estar a cargo de esta herramienta a partir de la coordinación y articulación desde la Dirección Regional de Aguas. Esto, debido a que se considera a ésta como una entidad conocedora de la realidad territorial de una forma más próxima (que por ejemplo la DGA Nivel Central) y que mantiene vínculos con los actores territoriales, tanto públicos de otros servicios (DOH, CNR u otros) como actores.

En la Figura 5.1 se presenta un esquema básico de los pasos propuestos a seguir en la implementación de las iniciativas del PEGH.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.1 Esquema de implementación del PEGH.

5.4 Gobernanza del Plan Estratégico

De acuerdo al informe de la Mesa de Agua, del Comité Científico COP25 Chile (2019), se comprende por gobernanza del agua como el proceso a través del cual se deben adoptar las decisiones sobre la protección y gestión de un bien que tiene valor ambiental, social y económico, resguardando en todo el proceso que las decisiones

sean tomadas de manera informada, coordinada y participativa entre los actores relevantes, y de este modo, asegurar que las generaciones presentes y futuras puedan acceder al disfrute de todos los servicios ecosistémicos asociados al agua. Es decir, la gobernanza se orienta a responder las interrogantes: ¿quiénes toman las decisiones?, ¿cómo?, ¿sobre qué?, y ¿quién asegura el cumplimiento de los objetivos buscados?

En este marco, se plantea que el objetivo central de la gobernanza debe ser lograr la seguridad hídrica en el país, existiendo consenso en la necesidad de integrar criterios de sostenibilidad en la toma de decisiones ante el cambio climático, con el fin de ayudar a reducir y/o mitigar la incertidumbre que genera este. Al respecto, la Mesa del Agua ha considerado cinco aspectos o enfoques relevantes en materia de gobernanza, a saber:

1. **Gobernanza resiliente y ambientalizada:** dados los cambios observados y proyectados en las precipitaciones, se requiere una gobernanza (derecho y gestión) resiliente y ambientalizada, es decir, proteger el agua.
2. **Cambios al régimen legal de acceso al agua, usos prioritarios y medio ambiente:** toda vez que la realidad hídrica y climática es muy diferente a la pasada, se requieren cambios para lograr sostenibilidad y equidad social.
3. **Gestión integrada de cuencas y participación:** se debe avanzar hacia la gestión integrada de los recursos hídricos de la cuenca, en la que el agua es un valor ambiental, social y productivo, que incluya la gestión integrada del agua (superficial y subterránea) y entre ella y los usos del territorio. Gestión integrada que debe ser hecha por el Estado y todos los interesados, que incluye a los ecosistemas y las generaciones futuras, incentivando la constitución de organizaciones de usuarios.
4. **Autoridad de jerarquía superior:** se hace necesario contar con una autoridad política de jerarquía superior y que sea capaz de coordinar las múltiples instituciones con competencia en agua en Chile, recomendando crear una comisión nacional, altamente representativa de las instituciones y sectores públicos y privados interesados en el agua, la ciencia y la sociedad civil.
5. **Disminuir brechas en información y fortalecer la interfaz ciencia-política:** se debe generar mayor articulación y colaboración para la generación y difusión de la información que permita tomar decisiones.

Por su parte, el Plan Estratégico para la gestión de la cuenca es parte de un proceso de mejoramiento continuo, definido en tres etapas: Formulación, Implementación, y Seguimiento y Evaluación, en las cuales se propone integrar la dimensión de la gobernanza para su desarrollo.

De esta forma, en la etapa de formulación del plan se requiere la creación de una instancia que permita la participación de los distintos actores relacionados con la gestión de los recursos hídricos, usuarios directos e indirectos, considerando las problemáticas de desplazamiento y comunicación de algunos sectores de la cuenca, la diversidad de territorios y diversidad de actores vinculadas a ésta, que denominaremos Mesa del PEGH. En este sentido, la Mesa del PEGH podría evolucionar en su rol, adquiriendo una orgánica que le permita conducir en el tiempo los procesos

estratégicos del plan, en este caso, su formulación y actualización. Además, podría ser la instancia que dirima los vacíos o superposiciones que existen entre las funciones de los distintos servicios públicos y actores presentes en el territorio. Sin embargo, esta posibilidad requiere que las decisiones de la mesa sean vinculantes, al menos en alguna medida, por lo que se debe avanzar hacia niveles deliberativos en la gobernanza del agua, teniendo en cuenta los límites y reglamentación vigente para ello.

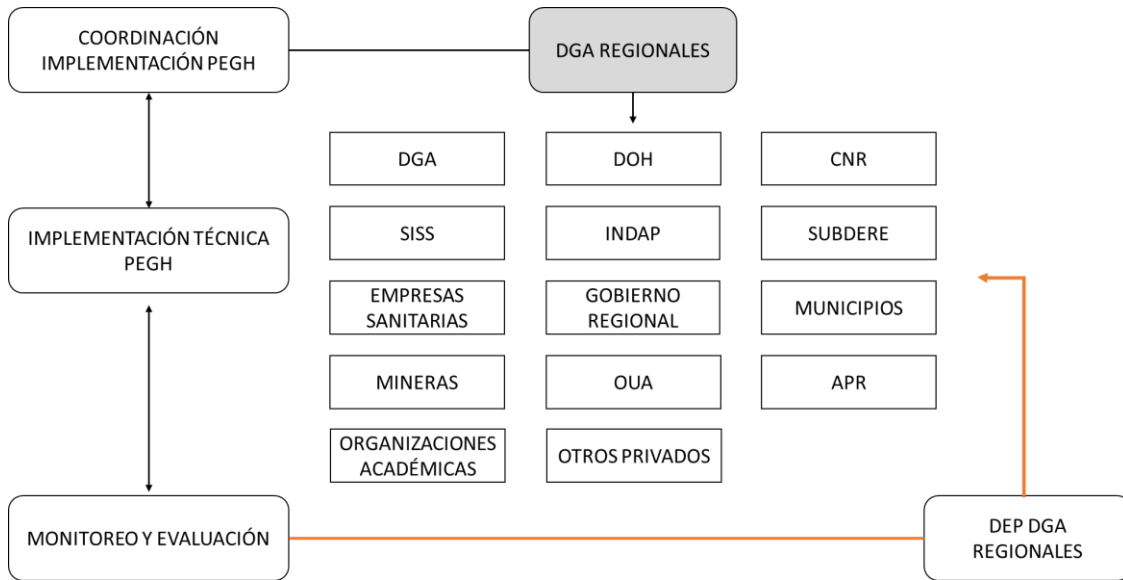
Para la implementación del PEGH se requiere atender a diversos factores que incidirán o afectarán su buen desarrollo, tales como la precisión de las responsabilidades institucionales, el interés y confianza de los actores involucrados en el plan, los recursos financieros disponibles, y los imponderables u otras externalidades positivas o negativas particulares de la o las iniciativas del plan.

Asimismo, la etapa de implementación del plan requiere contar con una instancia de coordinación, ausente actualmente en la cuenca, y que facilite el trabajo conjunto de las distintas entidades responsables de llevar a cabo las iniciativas ya identificadas. También, se hace necesaria dicha instancia de coordinación para las etapas de seguimiento y evaluación, que se haga cargo de llevar un registro permanente de los indicadores, y facilite las revisiones periódicas del Plan Estratégico formulado, permitiendo su actualización.

En particular, en la cuenca, los actores clave en la gobernanza de la misma son sin duda las organizaciones públicas vinculadas directamente a la gestión del recurso hídrico y las OUA y APR del territorio, las que, a pesar de presentar diversos grados de organización y desarrollo, son entidades de relevancia que se enlazan con la acción de las instituciones públicas. De este modo, no es posible una buena gestión del recurso sin el fomento de las relaciones entre organismos públicos y privados en este tema.

Considerando los diversos grados de organización y desarrollo de las distintas secciones de la cuenca, se requiere generar acciones para el fortalecimiento organizacional en el sector más bajo de esta, pues los niveles de acceso a tecnología y/o capacidades técnico-profesionales distan bastante de las ubicadas arriba de la cuenca.

En la Figura 5.2, se propone un modelo de gobernanza, consistente en una mesa técnica coordinada por DGA y Mesa del PEGH, cuyos miembros son los distintos grupos de actores que fueron mapeados y analizados en el estudio.



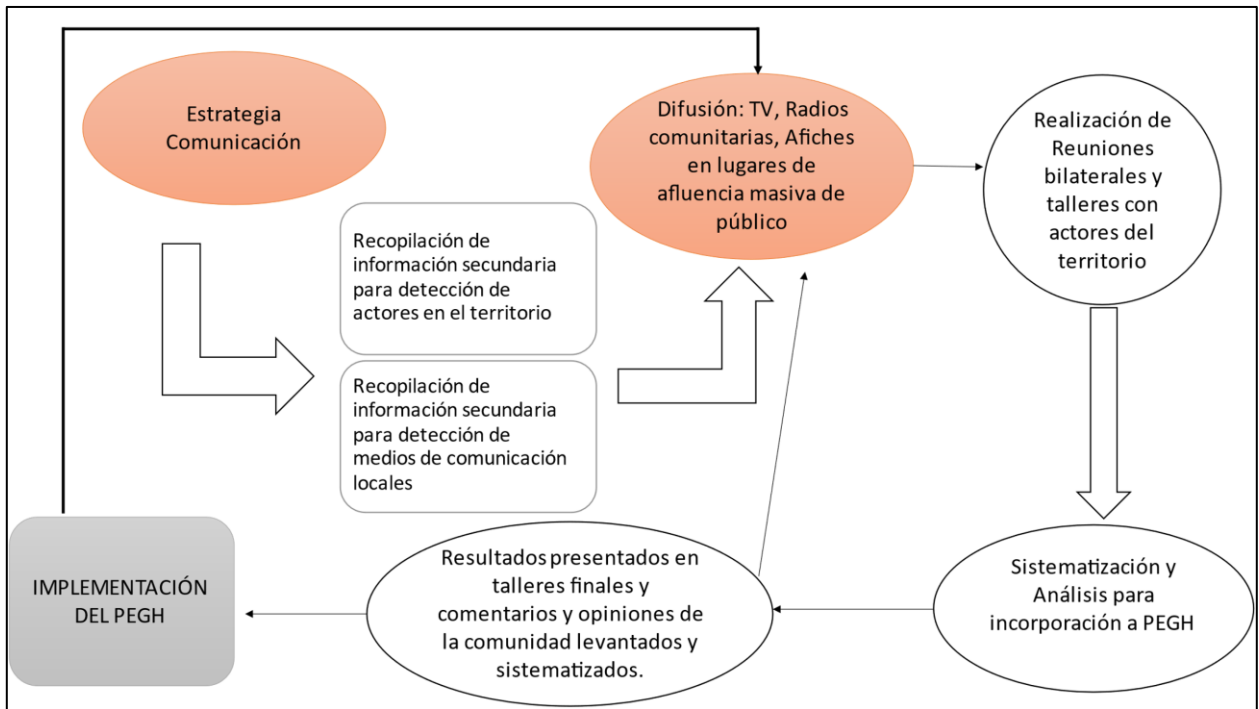
Fuente: elaboración propia.

Figura 5.2 Esquema de Gobernanza para el PEGH.

5.5 Estrategia de comunicación

La estrategia comunicacional del PEGH considerará a los actores que participaron de este proceso, en vista de que se vinculan con la necesidad de implementar una estrategia de Gobernanza pertinente a la Cuenca.

Para establecer esta estrategia, se presentan las actividades llevadas a cabo durante la consultoría, seguido de las propuestas futuras. El resumen las actividades de comunicación y difusión durante el proyecto en la Figura 5.3.



Fuente: elaboración propia.

Figura 5.3 Estrategia comunicacional PEGH.

Comunicación y difusión del PEGH en fases posteriores

En una propuesta de estrategia comunicacional a considerar para la adecuada implementación del PEGH en la cuenca, la estrategia deberá estar desarrollada en función de tres objetivos:

- Difundir el alcance y los contenidos del PEGH propuesto.
- Informar a los actores relevantes y otros actores del territorio acerca de los avances en la implementación del PEGH.
- Corroborar la aceptación de las iniciativas del PEGH por parte de los potenciales beneficiarios directos.

6. MONITOREO Y EVALUACIÓN DEL PLAN

En este capítulo se detalla el Plan de Monitoreo del PEGH de cuenca de la Pampa del Tamarugal, así como los mecanismos para análisis y toma de decisiones asociados, con el objetivo de evaluar la eficacia de la implementación del PEGH, estableciendo para ello indicadores que permitan seguir el grado de cumplimiento de las iniciativas y de los objetivos definidos para el PEGH.

6.1 Plan de Monitoreo

El Plan de Monitoreo del PEGH busca establecer el grado de cumplimiento en el tiempo de las iniciativas del PEGH, y así, evaluar el grado de avance para alcanzar los objetivos formulados por el plan a través de un modelo de seguimiento. Este programa de Monitoreo se basa en experiencias anteriores en materia de planes hídricos de cuenca.

La cartera de acciones del PEGH considera iniciativas vigentes e iniciativas nuevas. El Plan de Monitoreo se centrará como índice de cumplimiento, tanto las iniciativas propuestas como de otros planes; si bien estas últimas poseen sus propios tiempos de implementación establecidos y el plan de monitoreo no tiene injerencia directa sobre ellas, se considera importante, dada la coherencia que debe tener del plan en su totalidad, al aplicar el Monitoreo correspondiente.

La Tabla 6.1 muestra la distribución de las iniciativas contenidas en el PEGH, considerando el tipo de acción y los porcentajes en cada caso según su periodo de implementación.

Tabla 6.1 Cantidad de iniciativas del PEGH según plazo de implementación.

Plazo de implementación	Iniciativas vigentes		Iniciativas propuestas	
	Cantidad	%	Cantidad	%
Corto plazo	7	41%	2	50%
Mediano plazo	10	59%	2	50%
Largo plazo	-	-	-	-

Fuente: elaboración propia.

El PEGH centrará sus esfuerzos en dar seguimiento anualmente a los indicadores establecidos para los primeros 5 años. Para el periodo posterior (mediano y largo plazo) el Plan de monitoreo deberá ser evaluado, actualizado y rediseñado.

Entre los indicadores propuestos, se cuentan los indicados a continuación:

Indicadores Generales. Cuantifican el grado de avance del plan a nivel global, considerando la relación existente entre iniciativas comenzadas y/o finalizadas versus la programación planificada según la carta Gantt. Considera 4 indicadores:

- *Porcentaje de iniciativas comenzadas (PIC)*. Se calcula como el cociente entre el número de iniciativas comenzadas en el año *i* y el número de iniciativas planificadas en el año *i*.
- *Porcentaje de iniciativas comenzadas acumulada (PICa)*. Se calcula como el cociente entre el número de iniciativas comenzadas hasta año *i* y el número de iniciativas planificadas hasta el año *i*.
- *Porcentaje de iniciativas finalizadas (PIF)*. Se calcula como el cociente entre el número de iniciativas finalizadas en el año *i* y el número de iniciativas planificadas en el año *i*.
- *Porcentaje de iniciativas finalizadas acumulada (PIFa)*. Se calcula como el cociente entre el número de iniciativas finalizadas hasta año *i* y el número de iniciativas planificadas hasta el año *i*.

Indicadores Específicos. Dan cuenta del porcentaje de avance de la implementación de las iniciativas clave del PEGH.

- *Porcentaje de avance iniciativa*. El porcentaje de cualquier iniciativa analizada se calcula como el cociente entre el avance real y lo planificado. Este cálculo se obtiene a partir de la carta Gantt específica de la iniciativa, cronograma que debe confeccionarse al momento de comenzar el proyecto en particular. Adicionalmente este indicador tiene definido un tiempo máximo para su implementación.

Indicadores de metas. Este indicador busca analizar el porcentaje de avance de los objetivos y acciones propuestas en este PEGH.

- *Porcentaje de avance de objetivos (PO)*: El porcentaje de avance de los objetivos del plan se calcula como la ponderación del porcentaje de avance de las iniciativas (Indicador Especifico) vinculadas al objetivo (ver Tabla 4.3).
- *Porcentaje de avance de acciones (PA)*. El porcentaje de avance de las acciones del plan se calcula como la ponderación del porcentaje de avance de las iniciativas (Indicador Especifico) vinculadas a la acción (ver Tabla 4.3).

Parámetro de referencia. Para los indicadores generales representa el número de iniciativas totales por año que deben ser comenzadas o finalizadas para dar cumplimiento en un 100% a la planificación del PEGH. Para los indicadores específicos representa el tiempo al cual la iniciativa debe estar 100% implementada. Este parámetro es sólo referencial y ayudan a la determinación de los umbrales del Plan de Monitoreo.

Umbrales. Los umbrales corresponden a los valores de avance mínimos aceptados para cada tipo de indicador presentados en la Tabla 6.2.

Frecuencia de revisión: El plan de monitoreo considera el seguimiento de la implementación de las iniciativas durante los primeros cuatro años (2022-2025), a través de los indicadores descritos anteriormente. Y se contempla una evaluación y

rediseño del plan en su conjunto durante el quinto año, donde una de las variables a evaluar y rediseñar es el PEGH.

Plan de Acción. Si la evaluación realizada a través del Plan de monitoreo indica que no se ha cumplido con los umbrales definidos, es decir, existen desviaciones importantes respecto de lo planificado, se ejecutará un plan de acción, que tiene por objetivo replanificar el PEGH de modo de cumplir con los objetivos propuestos en los tiempos propuestos.

El Plan de Monitoreo del PEGH se muestra en la Tabla 6.2, detallando los indicadores generales y específicos, los parámetros de referencia en cada caso y el umbral establecido por indicador de seguimiento.

Tabla 6.2 Plan de Monitoreo de PEGH.

Tipo de indicador	Indicador de seguimiento	Umbral
General	PIC N° de iniciativas comenzadas/N° iniciativas planificadas al año	Umbral PIC 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a comenzar al año i hasta i+4
	PICa N° de iniciativas comenzadas acumuladas/N° iniciativas acumuladas planificadas al año	Umbral PICa 1) 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a comenzar al año i hasta i+3 (valor acumulado) 2) 100% de las iniciativas propuestas proyectadas a comenzar su implementación hasta el año i+4 (valor acumulado)
	PIF N° de iniciativas finalizadas/N° iniciativas planificadas al año	Umbral PIF 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a finalizar al año i hasta i+4
	PIFa N° de iniciativas finalizadas acumuladas/N° iniciativas finalizadas acumuladas planificadas al año	Umbral PIFa 1) 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a finalizar su implementación el año i hasta i+3 (valor acumulado) 2) 100% de las iniciativas propuestas proyectadas a finalizar su implementación hasta el año i+4 (valor acumulado)
Específico	Porcentaje de avance de cada iniciativa	Soluciones definitivas para APR (0%)
Metas	PO Porcentaje de avance de las iniciativas vinculadas al objetivo/ N° de iniciativas vinculadas al objetivo	Umbral PO 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a comenzar al año i hasta i+4 (valor acumulado)
	PA Porcentaje de avance de las iniciativas vinculadas la acción/ N° de iniciativas vinculadas la acción	Umbral PA 80% de las iniciativas propuestas proyectadas a comenzar su implementación hasta el año i+4 (valor acumulado)

Fuente: elaboración propia.

Según lo indicado anteriormente, el Plan de Monitoreo, en caso de incumplimiento de los indicadores requerirá un plan de acción, dependiendo del periodo de tiempo considerado:

- **Para los primeros 4 años (año i hasta i+4):** El objetivo del Plan de Acción sería reprogramar o replanificar las iniciativas atrasadas para el año siguiente al

originalmente programado. Si el valor de los indicadores PIC y/o PIF es menor al valor del umbral definido, entonces el PS activa el plan de acción, el cual determina el número total de iniciativas que deben reprogramarse para el año siguiente. Su valor corresponderá al número de iniciativas mínimas programadas para un determinado año (PIC, 80% anual) más las iniciativas retrasadas acumuladas.

- **Año 5 (año i+5):** El objetivo del Plan de Acción en este periodo es analizar si el PEGH ha cumplido en un 100% con su planificación. En caso que no se haya cumplido con la planificación, el PS entregará el número de iniciativas que no fueron ejecutadas, información que será una variable de entrada en la evaluación, actualización y rediseño del PEGH, a través de los mecanismos para el análisis, toma de decisiones y rediseño del plan de acción.

6.2 Mecanismos de evaluación, actualización y toma de decisiones

La planificación tiene una componente dinámica, más aun considerando iniciativas relativas a los recursos hídricos, los cuales van de la mano con la evolución del contexto climático, incidiendo sobre la oferta hídrica en la cuenca, y los cambios inherentes en la demanda de agua del territorio, así como las relaciones entre los actores (fortalecimiento, conflictos), y finalmente, en un contexto político donde la propiedad sobre el agua y el rol de las comunidades en la cuenca podría tornarse en un tema conflictivo. Lo anterior hace necesario que el PEGH sea evaluado para determinar si el diseño original sigue vigente al cabo de su primer ciclo de 5 años, así como en ciclos consecutivos del mismo periodo.

En el presente mecanismo de análisis y toma de decisiones se expone, la metodología a considerar, y luego cómo debe ejecutarse la etapa de reformulación del PEGH.

En relación al análisis del PEGH para su reformulación, se recomienda considerar los siguientes aspectos:

1. Actualización del diagnóstico en la cuenca en materia de recursos hídricos, con especial atención a las brechas entre oferta y demanda, el estado de la infraestructura, la situación de gobernanza en el territorio y el estado ambiental de los cuerpos de agua de la cuenca, solución de brechas de información identificadas en el desarrollo del PEGH. Considera recopilar, revisar y analizar los nuevos antecedentes generados durante los 5 años de implementación del PEGH.
2. Actualización de las problemáticas, brechas y cartera actual de acciones generadas en la cuenca a nivel público como privado.
3. Actualización del modelo hidrológico superficial-subterráneo con la nueva data disponible, resolviendo brechas de modelización que hubieron quedado no resueltas durante el diseño del PEGH original.
4. Evaluación de nuevos escenarios de gestión a través de la herramienta de modelación disponible
5. Evaluación de las condiciones habilitantes de las iniciativas no ejecutadas.

6. Evaluación del resultado del Plan de Monitoreo el año $i+4$, mediante la cuantificación de las iniciativas no comenzadas/finalizadas del PEGH.

En base a lo anterior, la DGA deberá definir cómo abordar la reformulación del PEGH, ya sea a través de medios propios o con apoyo externo al servicio, estableciendo:

- Revisión y/o actualización de los ejes y objetivos específicos del PEGH.
- Revisión y/o actualización de las iniciativas ya iniciadas, e incorporación de nuevas acciones, a corto/mediano/largo plazo.
- Si corresponde, actualización del Plan de Monitoreo asociado al PEGH.