



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

PLAN ESTRATÉGICO DE GESTIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA ENDORREICA ENTRE FRONTERIZAS Y SALAR DE ATACAMA

ANEXOS

REALIZADO POR:

Ingeniería y Gestión Ambiental Enlaces SpA

S.I.T. N° 499

Febrero 2022

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas
Ingeniero Civil Alfredo Moreno Charme

Director General de Aguas (s)
Ingeniero Civil Cristian Núñez Riveros

Director Regional de Aguas, Región de Antofagasta
Arturo Beltrán Schwartz (s)

Jefe División de Estudios y Planificación
Ingeniero Civil Mauricio Lorca Miranda

Inspectora Fiscal
Constructora Civil, Cecilia Roa Espinoza

Inspectora Fiscal Subrogante
Ingeniera Civil Andrea Osses Vargas

INGENIERÍA Y GESTIÓN AMBIENTAL ENLACES SPA

Jefa de Proyecto
Ingeniera Civil Hidráulica, María Angélica Alegría Calvo

Profesionales Equipo Especialistas

Ingeniera en Recursos Naturales Renovables, Pía Carolina García Peña
Ingeniera Civil Hidráulica, Camila Francisca Vega Alvarado
Ingeniera Civil Hidráulica, Antonia Arroyo Welkner
Ingeniero Civil Agrícola, David Osvaldo Pavez Pavez
Antropólogo, Ph.D. Felipe Arturo Maturana Díaz
Geógrafo, Javier Ignacio Fuentes Torrejón
Geólogo, Mauricio Andrés Claría Hofer
Hidrólogo - Ingeniero Forestal, Ph.D. Rodrigo Marcelo Valdés-Pineda
Ingeniero Civil (e), Felipe Alberto Durán Burnier
Ingeniera Civil Hidráulica, María Alejandra Isamit Faure

ANEXOS

ANEXO A ABREVIACIONES

ANEXO B REFERENCIAS

ANEXO C GLOSARIO

ANEXO D FIGURAS

ANEXO E ANTECEDENTES RECOPIADOS

ANEXO F TRABAJO DE TERRENO

ANEXO G SIG

ANEXO H MODELO HIDROLÓGICO

ANEXO I DETALLE ACTIVIDADES PAC

ANEXO J INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA DE LA CUENCA

ANEXO K INICIATIVAS

ANEXO A
ABREVIACIONES

El presente anexo contiene todas aquellas formas de expresión escritas que representan palabras o grupo de palabras específicas contenidas en este estudio.

ORGANISMOS

CBR	: Conservador de Bienes Raíces
CIREN	: Centro de Información de Recursos Naturales
CNR	: Comisión Nacional de Riego
CSIRO	: Commonwealth Industrial and Scientific Research Organization
CONADI	: Corporación Nacional de Desarrollo Indígena
CONAF	: Corporación Nacional Forestal
CONAMA	: Comisión Nacional del Medio Ambiente
CORFO	: Corporación de Fomento de la Producción
CPA	: Consejo de Pueblos Atacameños
DARH	: Departamento de Administración de Recursos Hídricos
DGA	: Dirección General de Aguas
DICTUC	: Dirección de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Pontificia Universidad Católica de Chile
DIDECO	: Dirección de Desarrollo Comunitario
DOH	: Dirección de Obras Hidráulicas
INDAP	: Instituto de Desarrollo Agropecuario
INE	: Instituto Nacional de Estadísticas
GORE	: Gobierno Regional
MINAGRI	: Ministerio de Agricultura
MINSAL	: Ministerio de Salud
MMA	: Ministerio de Medio Ambiente
MOP	: Ministerio de Obras Públicas
OCDE	: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
ONEMI	: Oficina Nacional de Emergencia del Ministerio del Interior
SAG	: Servicio Agrícola y Ganadero
SEA	: Servicio de Evaluación Ambiental
SEIA	: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental

SEREMI	: Secretario Regional Ministerio
SERNATUR	: Servicio Nacional de Turismo
SERNAGEOMIN	: Servicio Nacional de Geología y Minería
SERVIU	: Servicios de Vivienda y Urbanización
SISS	: Superintendencia de Servicios Sanitarios
SUBDERE	: Subsecretaría del Desarrollo Regional y Administrativo
UICN	: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

ABREVIATURAS TÉCNICAS

APR	: Agua Potable Rural
CC	: Cambio climático
CASEN	: Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional
CPA	: Catastro Público de Aguas
DAA	: Derechos de Aprovechamiento de Aguas
EIA	: Evaluación de Impacto Ambiental
ERNCC	: Energías Renovables No Convencionales
GIRH	: Gestión Integrada de Recursos Hídricos
IC	: Índice de Calidad
JV	: Juntas de Vigilancia
NCh	: Norma Chilena
OUA	: Organizaciones de Usuarios de Agua
PAC	: Plan de Participación Ciudadana
PEGH	: Plan Estratégico de Gestión Hídrica
PGC	: Plan de Gestión de Cuencas
PIB	: Producto Interno Bruto
PM	: Plan de Monitoreo
PTAS	: Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas
RCA	: Resolución de Calificación Ambiental
RPA	: Registro de Propiedad de Aguas
RPOU	: Registro Público de Organizaciones de Usuarios
RRHH	: Recursos hídricos

SHAC	: Sector Hidrogeológico de Aprovechamiento Común
SIG	: Sistema de Información Geográfica
SNASPE	: Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado
U.F.	: Unidad de Fomento
WEAP	: Water Evaluation and Planning System
ZOIT	: Zonas de Interés Turística

PARÁMETROS CALIDAD DE AGUAS

As	: Arsénico
Ca	: Calcio
CE	: Conductividad Eléctrica
Cd	: Cadmio
Cl	: Cloruro
Co	: Cobalto
CO ₃	: Carbonato
Cr	: Cromo
CT	: Coliformes Totales
Cu	: Cobre
Fe	: Hierro
HCO ₃	: Bicarbonato
Hg	: Mercurio
K	: Potasio
Mg	: Magnesio
Mn	: Manganeseo
Mo	: Molibdeno
Na	: Sodio
NH ₄	: Amonio
Ni	: Níquel
NO ₃	: Nitrato
Pb	: Plomo

PO ₃	: Fosfito
SDT	: Sólidos Disueltos Totales
Se	: Selenio
SO ₄	: Sulfato
T°	: Temperatura
Zn	: Zinc

ANEXO B
REFERENCIAS

El presente anexo contiene todas aquellas fuentes que se utilizaron de apoyo en el trabajo para sustentar los argumentos o los hechos mencionados en el presente estudio, presentado primero las referencias del documento "Plan estratégico de gestión hídrica en la cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama" y posteriormente las referencias del documento "Anexo F - Aspectos metodológicos del plan de cuencas".

Aceituno, P. (1988). On the Functioning of the Southern Oscillation in the South American Sector. Part 1: Surface Climate.

Aceituno, P. (1996). Elementos del Clima en el Antiplano Sudamericano.

Albemarle (2009). EIA Estudio de Impacto Ambiental. Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama. Capítulo 5 Línea de base y Observaciones Ciudadanas de las Comunidades Atacameñas de Toconao y Peine.

Allmendinger, R. (1997). The Evolution of the Altiplano-Puna Plateau of the Central Andes.

AMPHOS 21 CONSULTING CHILE Ltda. (2018). Estudio de modelos hidrogeológicos conceptuales integrados, para los salares de Atacama, Maricunga y Pedernales Etapa III. Informe Final Modelo Hidrogeológico Consolidado Cuenca Salar de Atacama. Comité de Minería No Metálica CORFO."

Andressen, R. (2007). Regímenes climáticos del altiplano sur de Bolivia: una región afectada por la desertificación. .

Aníbal Gajardo Cubillos (2014). POTENCIAL DE LITIO EN SALARES DEL NORTE DE CHILE. Sernageomin.

AquaTerra (2014). ANÁLISIS Y SISTEMATIZACIÓN DE INFORMACIÓN REGIONAL PARA PLAN ESTRATÉGICO PARA GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS REGIÓN DE ANTOFAGASTA. DGA.

Arcadis (2016). Plan Estratégico de Gestión de Recursos Hídricos de la Región de Antofagasta.

Arcadis (2016). PLAN ESTRATÉGICO PARA LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, REGIÓN DE ANTOFAGASTA. DGA.

Arcadis Geotecnia (2007). EIA Suministro de Agua Pampa Colorada . Minera Escondida.

Arrau Ingeniería E.I.R.L. (2012). Diagnóstico Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta.

Arriagada, A. (2020). Conversatorio OCAB: Gobernanza y Calidad de Agua Región del Biobío - 4/6/2020. CREA - Centro Regional de Estudios Ambientales de la Univ. Católica de la UCSC - Santísima Concepción UCSC. https://www.facebook.com/watch/live/?v=303619270803386&ref=watch_permalink

- Bailey, J. (2006). Discrimination of fluvial and eolian features on large ignimbrite sheets around La Pacana Caldera, Chile.
- Balhbarg, H. (1990). The Ordovician Puna Basin of NW Argentina and N Chile: From Back-Arc to Foreland Basin. .
- Balhbarg, H. (1995). Lithospheric modeling of the Ordovician foreland basin in the Puna of northwestern Argentina: on the influence of arc loading on foreland basin formation.
- Banco Mundial. (2011). CHILE Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos. Departamento de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Región para América Latía y el Caribe.
- Banco Mundial. (2021). Webinar "Gestión Integrada del Agua a Nivel de Cuenca". <https://www.bancomundial.org/es/events/2021/04/16/webinar-gesti-n-integrada-del-agua-a-nivel-de-cuenca-en-chile>
- Castro V. y J.L. Martínez. (1996). Castro V. y J.L. Martínez. (1996). Poblaciones indígenas de Atacama; en Hidalgo, J.; Schiappacasse, V.; Niemayer, H.; Aldunate, C. y P. Mege (Eds.): Culturas de Chile. Etnografía, sociedades indígenas contemporáneas y su ideología: 69-109; Ed. Andrés Bello, Santiago.
- CEAZA Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (2015). Memoria de Gestión ProEcoServ 2011-2015. GEF / PNUMA / Ministerio de Medio Ambiente.
- Cervetto, M. (2012). Caracterización hidrogeológica e hidrogeoquímica de las cuencas: Salar de Aguas Calientes, Puntas Negras, Laguna Tuyajto, Pampa Colorada, Pampa Las Tecas y Salar el Laco, II Región de Chile.
- Chamorro A. y C. Tocornal. (2005). Prácticas de salud en las comunidades del Salar de Atacama: Hacia una etnografía médica contemporánea. Estudios Atacameños N° 30, pp. 117-134.
- Charrier, R. (2007). Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile.
- Chernicoff, C. (2002). Crustal lineament control on magmatism and mineralization in northwestern Argentina: geological, geophysical, and remote sensing evidence.
- CINPRO Consultores. (1997). Ordenamiento Catastral de las Comunidades Indígenas del Altiplano de la II Región, Provincia del Loa. Ministerio de Bienes Nacionales.
- CIREN (2016). "Sistema de Información Territorial de Humedales Altoandinos". CIREN.
- CMN Consejo de Monumentos Nacionales (2011). Qhapac Ñan: Las rutas del Inca en el norte de Chile. Santiago, Chile.
- CMZ Compañía Minera Zaldívar (2018). EIA Estudio de Impacto Ambiental. Proyecto Continuidad Operacional Compañía Minera Zaldívar. Capítulo 3-18. Línea de Base Medio Humano y Observaciones Ciudadanas de las Organizaciones Atacameñas de Talabre, Coyo, Camar, Peine, Socaire, Toconao y el Consejo de Pueblos Atacameños.
- Cofré, E. (2018). Caracterización Hidrogeoquímica de la Cuenca del Salar de Atacama y Lagunas Salinas de la Cordillera Occidental, (22°50' - 24°00's), Región De Antofagasta, Chile.

- Comisión Nacional del Litio (2015). Informe de la Comisión Nacional del Litio, Ministerio Minería.
- CONADI Corporación Nacional de Desarrollo Indígena (2008). Informe sobre el Estado de Tramitación de Tierras y Aguas Indígenas en la Región de Antofagasta. Gobierno de Chile.
- Cook, P. (2005). Groundwater ages in fractured rock aquifers.
- Coreal Desarrollos Tecnológicos SPA (2021). Estudio de requerimientos y diseño conceptual de red de monitoreo en salares fase I. Ministerio de Minería.
- Coreal Desarrollos Tecnológicos SPA (2021). Estudio de requerimientos y diseño conceptual de red de monitoreo en salares fase II Informe final. Ministerio de Minería.
- CPA - Consejo de Pueblos Atacameños. (2016). Memoria Anual Consejo de Pueblos Atacameños 2015.
- Dai, A. (2000). Global Patterns of ENSO-induced Precipitation.
- DATURA Consultores. (1998). Delimitación de Territorios Comunitarios y Patrimoniales Indígenas de las Provincias del Loa y Patrones de Ocupación. CONADI.
- De Silva, S. (2006). Large-scale Silicic Volcanism - the result of thermal maturation of the crust.
- Delgado, F. (2010). Estructura interna de la Caldera La Pacana (II Región) mediante gravimetría.
- Delgado, F. (2015). New insights into La Pacana caldera inner structure based on a gravimetric study (central Andes, Chile).
- Demile, M. (2008). Major ion hydrochemistry and environmental isotope signatures as a tool in assessing groundwater occurrence and its dynamics in a fractured volcanic aquifer system located within a heavily urbanized.
- DGA - Dirección General de Agua (2001). Actualización Delimitación de Acuíferos de Vegas y Bofedales, Región de Antofagasta. Gobierno de Chile.
- DGA - Dirección General de Agua (2009). Evaluación De Los Recursos Hídricos Subterráneos De La Quebrada Carrizal.
- DGA - Dirección General de Agua (2009). Evaluación De Los Recursos Hídricos Subterráneos En Cuencas De La Región De Atacama Ubicadas Entre El Río Copiapó Y La Región De Antofagasta.
- DGA - Dirección General de Agua. (2010). Mapoteca Digital. Disponible en: <https://dga.mop.gob.cl/estudiospublicaciones/mapoteca> - <http://www.ide.cl/descarga/capas>
- DGA - Dirección General de Agua. (2012). Diagnóstico Plan Estratégico para la gestión de los recursos hídricos, Región de Antofagasta. Gobierno de Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas / Arrau Ingeniería E.I.R.L. Santiago, Chile.
- DGA-UCN-IRD (1999). Geoquímica De Aguas En Cuencas Cerradas: I, II y III Regiones - Chile: Estudio De Cuencas De La II Región. DGA.

- DGA-UCN-IRD (1999). Geoquímica De Aguas En Cuencas Cerradas: I, II y III Regiones - Chile: Estudio De Cuencas De La III Región. DGA.
- DICTUC (2009). Levantamiento Hidrogeológico Para El Desarrollo De Nuevas Fuentes De Agua En Áreas Prioritarias De La Zona Norte De Chile, Regiones XV, I, II y III. Campañas de Muestreo Geoquímicos e Isotópicos. DGA.
- DICTUC(PUC) (1997). Modelación de las reservas del salar de Atacama para su incorporación en un plan de manejo de la mina.
- División de Estudios y Planificación (2012). Estimación de Recargas en Cuencas Altiplánicas, Región de Atacama. DGA.
- Elena Rivera Cardozo et al (2021). Salares Andinos. Ecología de Saberes por la Protección de Nuestros Salares y Humedales. Observatorio Plurinacional de Salares Andinos.
- ESO - European Southern Observatory. (2016). Estudio de Impacto Ambiental. Ramal de distribución para abastecimiento de gas natural al observatorio ALMA.
- FUCOA - Fundación de Comunicaciones, Capacitación y Cultura del Agro. (2014) Atacameño. <http://www.fucoa.cl/>
- Fundación para la Transferencia Tecnológica, Pontificia Universidad Católica de Chile (2018). Aplicación de la Metodología de Actualización del Balance Hídrico Nacional en las Cuencas de las Macrozonas Norte y Centro. DGA.
- Games, C. (2013). Toconao, Arquitectura Bioclimática de Piedra, Madera y Barro. Estudio de la Adaptación al Medio Ambiente del Urbanismo y la Arquitectura en la Cuenca del Salar de Atacama.
- Gardeweg, M. y Ramirez, C. (1985). Hoja Río Zapaleri, Carta Geológica de Chile N°66, escala 1:250.000. Sernageomin.
- Garreaud, R. Pronóstico de la convección en el Altiplano Sud Americano empleo el modelo regional Eta/CPTEC.
- Garreaud, R. The climate of the Altiplano: observed current conditions and mechanisms of past changes.
- Garreaud, R. (1998). Interannual (ENSO) and Interdecadal (ENSO-like) Variability in the Southern Hemisphere Tropospheric Circulation*.
- Garreaud, R. (1998). Summertime Incursions of Midlatitude Air into Subtropical and Tropical South America.
- Garreaud, R. (2007). Atmospheric Circulation and Climatic Variability.
- Garreaud, R. (2007). Present Day South America Climate.
- Grebe M.E. y B. Hidalgo. (1988). Simbolismo atacameño: un aporte etnológico a la comprensión de significados culturales. Revista Chilena de Antropología no7, pp. 75-97.
- Gregory-Wodzicki, K. (2000). Uplift history of the Central and Northern Andes: A review.
- Grilli, A. Evaporación desde salares.

- Gundermann, H. (2003). Las poblaciones indígenas andinas de Chile y la experiencia de la ciudadanía. En: El debate en torno al reconocimiento y los derechos ciudadanos. Gundermann, H., R. Foerster y J. Vergara. Universidad de Chile; Programa de Estudios Desarrollo y Sociedad (PREDES), Ril Editores. Santiago, Chile.
- Gundermann, H. y H. González. (1995). Tierra, agua y sociedad atacameña, un escenario cambiante. En: Agua, ocupación del espacio y economía campesina en la Región de Atacama. Programa de investigación El desierto, el hombre y el agua. Pourrut, Pierre y Lautaro Núñez (Ed.). Pág. 78-106. Universidad Católica del Norte, ORMTOM, Antofagasta.
- Hardy, D. (1998). Annual and Daily Meteorological Cycles at High Altitude on a Tropical Mountain.
- Haschke, R. (2002). Evolutionary geochemical patterns of Late Cretaceous to Eocene arc magmatic rocks in North Chile: implications for Archean crustal growth.
- Helvacı, C. (2000). Borate Deposits of Turkey and Argentina; A Summary and Geological Comparison.
- Hernández, H. J., Galleguillos, M. y Estades, C. (2016). Mapa de Cobertura de Suelos de Chile 2014: Descripción del Producto. GEP-CFCN(UChile).
- Hernández, R. y C. Thomas. (2006). Identidad y frontera en el mundo atacameño del norte de Chile: visiones críticas y reflexiones AIBR. Revista de Antropología Iberoamericana 2(1): 287- 295.
- Herrera, C. (2019). Investigaciones hidrogeológicas en la laguna Tuyajto perteneciente a la Reserva Nacional de los Flamencos (Atacama, Chile).
- Hidalgo, J. (1978). Incidencias de los patrones de poblamiento en el cálculo de la población del Partido de Atacama desde 1752 a 1804: Las revisitas inéditas de 1787-1792 y 1804. Estudios Atacameños No 6, pp. 49-105.
- Hidrica (2018). Estudio de los recursos hídricos de la cuenca endorreica . DGA.
- Houston, J. (2005). Evaporation in the Atacama Desert: An empirical study of spatio-temporal variations and their causes.
- ICASS (2014). Análisis de los Mecanismos de Evaporación y Evaluación de los Recursos Hídricos del Salar de Atacama. DGA.
- IMSPA - Ilustre Municipalidad de San Pedro de Atacama. (2006). PLADECO Plan de Desarrollo Comunal 2006-2010.
- INE Instituto Nacional de Estadísticas. (1992). Base de Datos Excel y Cartografía XVI Censo de Población y V de Vivienda. Respuesta a solicitud de Transparencia.
- INE Instituto Nacional de Estadísticas. (2002). Base de Datos Excel y Cartografía XVII Censo de Población y VI de Vivienda. Respuesta a solicitud de Transparencia.
- INE Instituto Nacional de Estadística. (2017). Censo 2017. Resultados Preliminares.

- Ingeorec (2003). Hidrogeología y modelo de simulación Pampa Colorada. Soporte técnico de solicitudes de derecho de aprovechamiento de agua subterránea de los pozos PC 1, PC 2, PC 3, PC 4, PC 5. EMSA.
- Ingeorec (2003). Hidrogeología y modelo de simulación Pampa Loma Amarilla. Soporte técnico de solicitudes de derecho de aprovechamiento de agua subterránea de los pozos LA0, LA1, LA2 y LA 3. EMSA.
- Ingeorec (2003). Hidrogeología y modelo de simulación Pampa Loma Amarilla. Soporte técnico de solicitudes de derecho de aprovechamiento de agua subterránea de los pozos PA2 y PA4. EMSA.
- Ingeorec (2003). Hidrogeología y modelo de simulación Pampa Puntas Negras. Soporte técnico de solicitudes de derecho de aprovechamiento de agua subterránea de los pozos PN 1A, PN 2, PN 5, PN 6, PN 8 y PN 9. EMSA.
- Ingeorec (2003). Informe hidrogeológico de Pampa Las Tecas. Soporte técnico de solicitudes de derecho de aprovechamiento de agua subterránea de los pozos PT1, PT3, PT4, PT5 y PT6. EMSA.
- IAP2 - International Association for Public Participation. (2017). Core Values, Ethics, Spectrum – The 3 Pillars of Public Participation. www.iap2.org
- Jimenez, C. (2012). ESTUDIO DE CUENCAS ALTIPLÁNICAS ENDORREICAS DE LA SEGUNDA REGIÓN DE CHILE. CARACTERIZACIÓN, TIPOLOGÍA Y POTENCIALIDADES DE USO.
- Kampf, S. (2002). Evaporation and Land Surface Energy Budget at the Salar de Atacama, Northern Chile.
- Kampf, S. (2005). Evaporation and land surface energy budget at the Salar de Atacama, Northern Chile.
- Kampf, S. (2006). Spatial characterization of land surface energy fluxes and uncertainty estimation at the Salar de Atacama, Northern Chile.
- Kasemann, S. (2003). Boron isotope composition of geothermal fluids and borate minerals from salar deposits (central Andes/NW Argentina).
- Lagos, L. (2015). Hidrogeoquímica de fuentes termales en ambientes salinos relacionados con salares en los Andes del norte de Chile.
- Lagos, L. (2016). Hidrogeoquímica de fuentes termales en ambientes salinos relacionados con salares en los andes del norte de Chile - Memoria.
- Lamb, S. (2003). Cenozoic climate change as a possible cause for the rise of the Andes.
- Latorre, C. (). Late Quaternary history of the Atacama Desert.
- Lindsay, J. (2001). La Pacana caldera, N. Chile: a re-evaluation of the stratigraphy and volcanology of one of the world's largest resurgent calderas.
- Lindsay, J. (2001). Magmatic Evolution of the La Pacana Caldera System, Central Andes, Chile: Compositional Variation of Two Cogenetic, Large-Volume Felsic Ignimbrites.
- Lindsay, J. (2001). Magmatic evolution of the La Pacana Caldera System, Central Andes, Chile: Compositional variation of two cogenetic, large-volume felsic ignimbrites.

- Liu, M. (2013). Crustal Shortening and Extension in the Central Andes: Insights from a Viscoelastic Model.
- Luebert, F. Pliscoff, P. (2017). Sinopsis Bioclimática y Vegetacional de Chile. Editorial Universia.
- Martínez, J. L. (1998). Pueblos del Chañar y el Algarrobo. Los Atacamas en el siglo XVII. Dirección de Bibliotecas, Archivos y Museos.
- Maryška, J. (2005). Modelling of processes in fractured rock using FEM/FVM on multidimensional domains.
- Matteini, M. (2002). Geodynamical evolution of Central Andes at 24°S as inferred by magma composition along the Calama-Olacapato-El Toro transversal volcanic belt.
- Matteini, M. (2002). The geochemical variations of the upper cenozoic volcanism along the Calama-Olacapato-El Toro transversal fault system in central Andes (~24°S): petrogenetic and geodynamic implications.
- MAYCO (2009). Levantamiento Información Hidrogeológica Región de Antofagasta. DGA.
- MEL Minera Escondida Limitada (2007). EIA Estudio de Impacto Ambiental. Proyecto suministro de agua Pampa Colorada. Línea de Base, Anexo complementario Línea de Base Dimensión Antropológica y Observaciones Ciudadanas de las Organizaciones Atacameñas de Talabre, Toconao, Peine, Socaire, Solor, Coyo, Cucuter y el Consejo de Pueblos Atacameños.
- Melo, O. (2020). Conversatorio OCAB: Gobernanza y Calidad de Agua Región del Biobío - 4/6/2020. CREA - Centro Regional de Estudios Ambientales de la Univ. Católica de la UCSC - Santísima Concepción UCSC. https://www.facebook.com/watch/live/?v=303619270803386&ref=watch_permalink
- Ministerio de Minería (2016). Política del Litio y la gobernanza de los salares. Ministerio de Minería.
- Molina, R.; N. Yáñez y L. Peña. (2001). Programa de Apoyo Predial Kolla. Diagnóstico de Comunidades Colla. Informe de avance no2. Grupo de investigación TEPU. Santiago, Chile.
- MOP - Ministerio de Obras Públicas. (2020). Mesa Nacional del Agua. Consulta Ciudadana - Mesa Nacional del Agua. Taller Territorial Digital del Agua. Zona 1: Regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta. 15 de Octubre - 2020
- Morales, H. (2014). Génesis, formación y desarrollo del movimiento atacameño (norte de Chile). Estudios Atacameños (48).
- Morales, H. (2019). Crónica analítica de un triunfo etnoambiental en el Salar Atacama: Pampa Colorada.
- Mostny, G., F. Jeldes, R. González y F. Oberhauser. (1954). Peine un pueblo atacameño. Publicación No4 del Instituto de Geografía. Facultad de Filosofía. Universidad de Chile.

- Muñoz-Pardo, J. (2004). Funcionamiento hidrogeológico del acuífero del núcleo del salar de Atacama, Chile.
- Murra, J. (1975). Formaciones económicas y políticas del mundo andino. Instituto de Estudios Peruanos ediciones. Lima, Perú.
- Núñez, L. (1991). Cultura y conflicto en los oasis de San Pedro de Atacama. Editorial Universitaria, Santiago.
- Núñez, L. (1995). Evolución de la Ocupación y Organización del Espacio Atacameño. En: Agua, ocupación del espacio y economía campesina en la Región de Atacama. Programa de investigación El desierto, el hombre y el agua. Pourrut, Pierre y Lautaro Núñez (Ed.).Pág.: 18- 60. Universidad Católica del Norte, ORMTOM, Antofagasta.
- Núñez, L., J. Hidalgo, J. L. Martínez y H. Gundermann. (2004). Los Atacameños de los Oasis del Desierto. En: La memoria olvidada. Historia de los pueblos indígenas de Chile. Bengoa, José (Compilador). Cuadernos Bicentenario, Cap. IV. Pp.153-196. Santiago.
- Núñez, M. (2000). Movimientos y voces en Peine. Tesis para optar al grado de Licenciada en Antropología y al título de antropólogo social. UAHC.
- Núñez, M. (2015). Sociedad, Naturaleza y Territorialidad en el Desierto y Puna de Atacama, Siglos XX- XXI. Tesis para Obtener el Grado de Doctora en Antropología. Universidad Católica del Norte.
- Observatorio Plurinacional de Salares Andinos (2021). Salares Andinos. Ecología de Saberes por la Protección de Nuestros Salares y Humedales.
- OCDE. (2015). Principios de Gobernanza del Agua de la OCDE. Adoptados por el Comité de Políticas de Desarrollo Regional de la OCDE el 11 de mayo de 2015.
- Opazo, T. (2009). Modelo Hidrogeológico Conceptual De Las Cuencas Altiplánicas Fronterizas Mucar Y Sico, II Región De Antofagasta.
- Peine et al. (2007). Observaciones EIA "Suministros de Agua Pampa Colorada" Minera Escondida Limitada.
- Peña, H. (2020). Charla SOCHID: "Reforma Legal y Gestión de los Recursos Hídricos. Análisis Crítico" - 27/5/2020. SOCHID – Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica
- Piacentini, R. (2003). Extreme solar total and UV irradiances due to cloud effect measured near the summer solstice at the high-altitude desertic plateau Puna of Atacama (Argentina).
- Pourrut, P. y L. Núñez. (1995). Agua, ocupación del espacio y economía campesina en la Región de Atacama. Programa de investigación El desierto, el hombre y el agua. Universidad Católica del Norte, ORMTOM, Antofagasta.
- Quade, J. (2007). Paleowetlands and regional climate change in the central Atacama Desert, northern Chile.
- R.K. Pachauri & L.A. Meyer (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC.

- Ramirez, C. y Gardeweg, M. (1982). Hoja Toconao, Carta Geológica de Chile N°54, escala 1:250.000. Sernageomin.
- Ramos, V. (1988). The tectonics of the Central Andes; 30° to 33° S latitude.
- Retamal, R.; A. Andreoli; J.L. Arumi; J. Rojas y O. Parra. (2013). Gobernanza del Agua y Cambio Climático: Fortalezas y Debilidades del Actual Sistema de Gestión del Agua en Chile. Análisis Interno. En: Revista INTRECIENCIA. Enero 2013, VOL. 38 No 1. pp. 8-16.
- RIDES (2005). Evaluación Ecosistémica del Milenio: Bienestar humano y manejo sustentable en San Pedro de Atacama, Chile – Resumen ejecutivo.
- Risse, A. (2008). 40Ar/39Ar geochronology of mafic volcanism in the back-arc region of the southern Puna plateau, Argentina.
- Ropelewski, C. (1987). Global and Regional Scale Precipitation Patterns Associated with the El Niño/ Southern Oscillation.
- SAG Servicio Agrícola y Ganadero (2018). Declaraciones de Existencia Animal (DEA) en la comuna de San Pedro de Atacama entre Enero y Agosto 2018.
- Sanhueza, C. y H. Gundermann. (2009). Capitales, Estado Rentista y Cambio Social Atacameño en las Regiones Interiores de Antofagasta (1879 – 1928). Estudios Atacameños.
- Schmitt, A. (2002). Boron in central Andean ignimbrites: implications for crustal boron cycles in an active continental margin.
- Schmitt, A. (2002). U-Pb zircon chronostratigraphy of early-Pliocene ignimbrites from La Pacana, north Chile: implications for the formation of stratified magma chambers.
- Seggiaro, R. (1999). Influencia tectónica en el volcanismo Cenozoico del Noroeste Argentín.
- Socaire. (2017). Observación EIA "Proyecto Monturaqui" de Minera Escondida Limitada - MEL.
- Subsecretaria de Turismo. (2018). Informe de Intensidad Turística y Definición de Destinos Turísticos. Disponible en: <http://www.subturismo.gob.cl>
- Talukder (2006). Numerical Simulation of faults in Southern Bolivian and Northern Argentinean Orocline, Central Andes.
- Toconao (2009). Observaciones EIA "Planta de Producción de Sales de Potasio". Sociedad Legal Minera NX UNO de Peine.
- Valero-Garces, B. (1999). Holocene lacustrine deposition in the Atacama Altiplano: facies models, climate and tectonic forcing.
- Vallejos, J. (2020). Conversatorio OCAB: Gobernanza y Calidad de Agua Región del Biobío - 4/6/2020. CREA - Centro Regional de Estudios Ambientales de la Univ. Católica de la UCSC - Santísima Concepción UCSC. https://www.facebook.com/watch/live/?v=303619270803386&ref=watch_permalink

- Vilte J. y C. Pérez. (2004). Diccionario Kunza-Español /Español-Kunza. Lenguaje del Pueblo Lickan Antai o Atacameño.
- Vuille, M. (1999). Atmospheric Circulation Over the Bolivian Antiplano During Dry and Wet Periods and Extreme Phases of the Southern Oscillation.
- Vuille, M. (2005). Stable isotopes in precipitation recording South American summer monsoon and ENSO variability: observations and model results.
- Vuille, M. (2007). High-latitude forcing of regional aridification along the subtropical west coast of South America.
- Whitman, D. (1996). Lithospheric structure and along-strike segmentation of the Central Andean Plateau: seismic Q, magmatism, flexure, topography and tectonics.
- Yechieli, Y. (2001). Hydrogeologic processes in saline systems: playas, sabkhas, and saline lakes.

ANEXO C
GLOSARIO

El presente anexo contiene el catálogo alfabetizado de palabras y expresiones utilizadas a lo largo del informe, las cuales podrían ser difíciles de comprender, junto con su significado. El objetivo de este anexo es facilitar la comprensión al lector de términos técnicos fundamentales de uso no habitual para quienes no son especialistas en el área.

A

Agua potable rural

Programa destinado a dotar de agua potable a las localidades rurales del país, mediante la construcción, mantenimiento, operación y conservación de Sistemas de agua potable.

E

Estaciones fluviométricas

Estaciones destinadas a la medición de caudal que llevan los cursos de agua donde se ubican, ya sea un río o estero. Los caudales son medidos y procesados por la DGA, presentándolos en diferentes unidades de tiempo, como caudales instantáneos, caudales medios mensuales, entre otros.

Estaciones meteorológicas

Estaciones destinadas a la medición de parámetros meteorológicos, pudiendo incluir: temperatura, pluviometría, humedad relativa, evaporación, viento, horas de sol y radiación solar y presión atmosférica. La medición de estos parámetros se lleva a cabo mediante diversos sensores e instrumentos específicos.

Estaciones sedimentométricas

Estaciones destinadas a medir la cantidad de sedimentos (Gastos sólidos) que lleva un curso de agua.

Estaciones de calidad de agua

Estaciones destinadas a medir parámetros fisico-químicos de cuerpos de agua, como: aguas superficiales (ríos, esteros), aguas subterráneas o en lagos o embalses.

Estaciones de Aguas Subterráneas o Niveles

Pozos que disponen de un sensor que indica la profundidad de la napa subterránea. Se utilizan para monitorear los niveles del acuífero.

O

Obras hidráulicas

Corresponden a: obras de riego para asegurar la disponibilidad de agua en zonas agrícolas, obras de drenaje de aguas lluvias para mitigar posibles inundaciones, obras de manejo de cauces naturales y de control aluvional.

ANEXO D

FIGURAS

DISPONIBLE EN FORMATO DIGITAL

ANEXO E

ANTECEDENTES RECOPIADOS

DISPONIBLE EN FORMATO DIGITAL

ANEXO F
ASPECTOS METODOLÓGICOS

1. INTRODUCCIÓN Y ALCANCE DEL ESTUDIO

1.1. ALCANCES GENERALES DEL ESTUDIO

1.1.1. Descripción de la cuenca. Localización geográfica

La descripción de la cuenca consiste en una recopilación de antecedentes físicos, geográficos, administrativos, económicos, sociales, y otros aspectos en torno al recurso hídrico y su gestión actual.

1.1.2. Modelación hidrológica

La realización de la modelación hidrológica tiene por objetivo visualizar la dinámica de los flujos superficiales de la cuenca de estudio, a partir de los modelos numéricos existentes y facilitados por la DGA.

Mayor detalle del procedimiento de construcción y/o actualización de los modelos se entrega en el apartado Metodología aplicada a la modelación hidrológica.

1.2. ASPECTOS METODOLÓGICOS GENERALES

En el presente Anexo F se presentan las directrices metodológicas seguidas durante el estudio, abordando los siguientes aspectos:

- Revisión y análisis de antecedentes compilados a lo largo del estudio.
- Enfoque metodológico del estudio, considerando aspectos relativos a la caracterización y diagnóstico de la cuenca, procesos aplicados en el modelo hidrológico superficial-subterráneo, metodología ejecutada en el desarrollo de las actividades PAC, descripción metodológica de evaluación de las iniciativas del Plan, y finalmente, bases seguidas en la generación del SIG.

2. REVISIÓN Y ANÁLISIS DE ANTECEDENTES

La recopilación de antecedentes se enfocó en la búsqueda y análisis de antecedentes de estudios bibliográficos y otros soportes digitales relativos al objetivo del estudio. Dicha recopilación se aplicó tanto a los antecedentes presentados en las Bases Técnicas así como en otros estudios de interés.

2.1.RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

En el Anexo E se presentan las fichas resumen de cada uno de los antecedentes considerados en el presente trabajo, detallando el objetivo del documento revisado y los resultados relevantes.

3. ACTIVIDADES EN TERRENO

A continuación se presenta la programación original de las actividades de terreno. Se debe observar que estas sufrieron modificaciones debido a imprevistos tal como se detalla en el Capítulo 5 del informe.

3.1.Introducción

Los trabajos de terreno contemplados para este PEGH consisten en construcción de punteras, descripción de muestras de suelo, medición de niveles estáticos, registro de parámetros fisicoquímicos y muestreo de aguas superficiales y subterráneas. Además, de un reconocimiento hidrogeológico del área de estudio, identificando puntos con presencia de aguas subterráneas y superficiales, caracterizando las unidades de roca y relleno de acuerdo a sus capacidades de almacenar y transmitir aguas subterráneas, y realizando un levantamiento topográfico de todos los puntos en los que se registre información de interés para el modelo hidrogeológico conceptual y el modelo WEAP superficial.

Estas labores, originalmente, estaban programadas para realizarse entre los días 7 y 18 de junio de 2021; sin embargo, debido a las condiciones climáticas adversas y la acumulación de nieve en el área de trabajo, debieron ser pospuestos por un mes, en una primera instancia, y luego, al continuar estas condiciones, para ser realizados entre los días 16 al 27 de agosto de 2021.

El recurso humano, logística, materiales y equipos necesarios para llevar a cabo esta campaña de terreno, ya están disponibles por esta consultora y solo se está a la espera de que para el período programado para estos trabajos los caminos y huellas que conducen a los puntos definidos para estas labores y mediciones se encuentren transitables.

3.2.Programa de trabajo

Una vez definida la fecha para realizar la campaña de trabajos de terreno, y considerando que las condiciones climáticas en la zona han mejorado, en la Tabla 5-1, se entrega un programa y cronograma tentativo para estas labores con las fechas, actividades, personal y recursos disponibles.

Para este programa se contempla recorrer toda el área de estudio con labores concentrados en el mismo sector para todo el equipo de trabajo, vale decir, recorriendo cada una de las cuencas en dos vehículos, de manera de aumentar la seguridad y minimizar los riesgos inherentes al tránsito por huellas en mal estado y terreno inestables. Además, se unirá a este grupo de trabajo el equipo de topografía, conformado por tres personas, en otra camioneta, el cual acompañará las labores de construcción de punteras y mediciones, realizando el levantamiento de coordenadas y cotas de estos puntos.

Tabla 3-1: Programa de trabajo campaña de terreno

Día	Fecha	Actividad	Personal	Recursos
Lunes	16-08-2021	Retiro de camionetas y carga de materiales y equipos.	1 hidrogeólogo y 1 ayudante	2 camionetas, equipos (ahoyadora y extensiones, pozómetros, multiparámetros, bailers y kit de alcalinidad), materiales (tuberías y accesorios) y envases de muestras (hidroquímicas e isotópicas).
Lunes	16-08-2021	Viaje Santiago-La Serena. Se realizará una parada en Coquimbo para buscar a un técnico, ayudante y parte de los materiales (1 ahoyadora, bailer, pozómetro, gravilla y bomba peristáltica)	1 Hidrogeólogo, 1 Ayudante	2 camionetas con materiales y equipos para construcción de punteras, envases para toma de muestras e instrumental para medición de parámetros hidrogeológicos. Alojamiento reservado en La Serena.
Martes	17-08-2021	Viaje La Serena-San Pedro de Atacama. Se realizará una parada en Calama para buscar un tercer ayudante, llaves de los pozos MUNDO y bidones para combustible.	1 Hidrogeólogo, 3 Ayudantes y 1 Técnico	2 camionetas con materiales y equipos para construcción de punteras, envases para toma de muestras e instrumental para medición de parámetros hidrogeológicos.
Miércoles	18-08-2021	Construcción de Punteras, mediciones y toma de muestras de agua, salares de Pujsa, Aguas Calientes Norte y Quisquiro.	1 Hidrogeólogo, 3 Ayudantes y 1 Técnico	2 camionetas con materiales y equipos para construcción de punteras, envases para toma de muestras. Alojamiento reservado en San Pedro de Atacama (4 personas).
Sábado	21-08-2021			
Domingo	22-08-2021	Construcción de Punteras, mediciones y toma de muestras de agua, Lagunas Lejía, Tuyajto, Miscanti y Meñiques; salares Aguas Calientes Centro, El Laco, Aguas Calientes Sur-Talar y Capur.	1 Hidrogeólogo, 4 Ayudantes (uno de Socaire) y 1 Técnico	2 camionetas con materiales y equipos para construcción de punteras, envases para toma de muestras. Alojamiento reservado en Socaire (4 personas).
Miércoles	25-08-2021			

Jueves	26-08-2021	Viaje Socaire-La Serena. Detención en Calama para dejar ayudante y devolver llaves de pozos y bidones	1 Hidrogeólogo, 3 Ayudante y 1 Técnico	2 camionetas con equipos y envases con muestras de agua (muestras para isotopía y envases de muestras para análisis hidroquímicos sin tiempos críticos). Alojamiento reservado en La Serena (2 personas).
Viernes	27-08-2021	Viaje La Serena-Santiago. Entrega de muestras de agua en Hidrolab. Entrega de camionetas.	1 Hidrogeólogo, 1 Ayudante.	2 camionetas con equipos y envases con muestras de agua para ser entregadas en Hidrolab.

Fuente: Elaboración propia

3.3. Materiales, equipos e instrumental

Todos los materiales, equipos e instrumental requerido para la construcción de punteras, medición de parámetros hidrogeológicos y muestreo de aguas, ya se encuentran disponibles por esta consultora y en condiciones óptimas para comenzar los trabajos de terreno (Figura 5-1).

El listado de estos materiales se dispondrá como una lista de chequeo antes de comenzar la campaña y se entrega a continuación:

- 2 Ahoyadoras marca Stihl modelo BT130.
- 80 m de tubería de PVC Schedule 80 (30 m ranurados y 50 m lisos) y accesorios (21 puntas cónicas y 21 tapas).
- 250 litros de gravilla seleccionada y redondeada (tamaño entre 2 y 4 mm).
- 20 cajas de cutting.
- 2 Multiparámetros Hanna modelo HI9829.
- Soluciones de calibración (calibración rápida; pH 4,01, 7,01 y 10,01; C.E. 1.412 y 12.880 uS/cm).
- 1 Kit de alcalinidad Hanna modelo HI3811.
- 2 Bailers (tamaños 1 ½" y ½").
- 1 Bomba peristáltica.
- 55 set de muestras para análisis hidroquímicos.

- 60 envases para muestras isotópicas.
- 2 Pozómetros de 150 m.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-1: Materiales e instrumental para trabajos y mediciones de terreno.

3.4. Definición de puntos para construcción de punteras

Los puntos determinados para estos trabajos, y captura de información hidrogeológica, fueron definidos por esta consultoría, y luego fueron acordadas y aprobados por la IF. La definición de estos puntos se basó en el análisis de la información hidrogeológica e hidroquímica revisada en la primera etapa de este PEGH, en el cual se pudo comprobar, que gran parte de los antecedentes recabados en el área de estudio, se concentran en las cuencas endorreicas situadas en la parte central y sur de esta área, vale decir: sector sur Salar de Aguas Caliente Centro, Pampa Puntas Negras, Salar El Laco, Pampa Colorada, Pampa Las Tecas, Laguna Tuyajto y Salar de Aguas Calientes Sur.

Lo anterior, se explica por cuanto la información generada en esta zona es parte de la exploración y evaluación de recursos hídricos subterráneos del proyecto MUNDO y, con

posterioridad, las investigaciones realizadas por WMC y estudio de impacto ambiental de MEL en el proyecto Pampa Colorada.

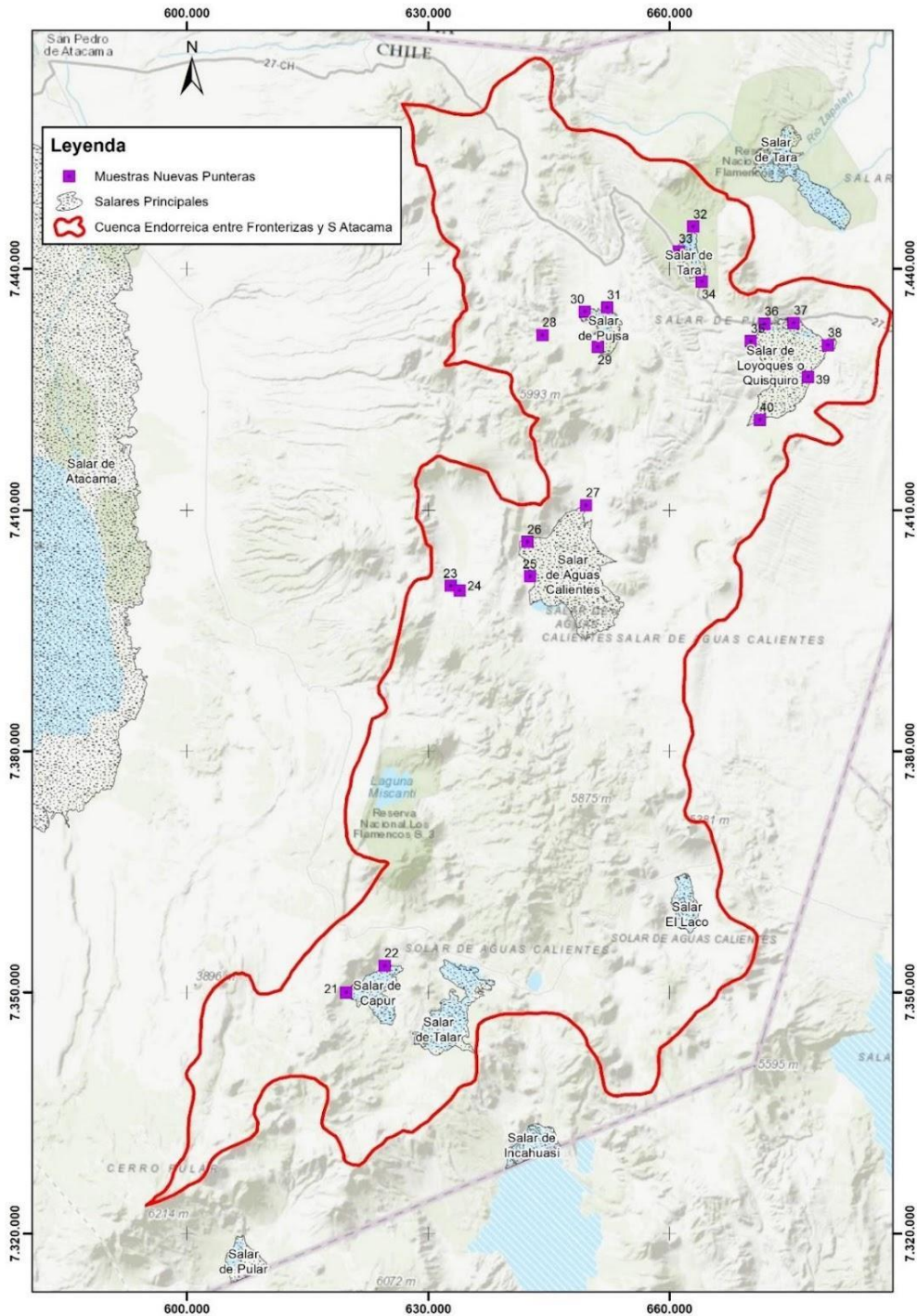
Por lo tanto, para la definición de la ubicación de las nuevas punteras a construir, como parte de este PEGH, se privilegió la generación de nueva información en sectores que no fueron investigados en los estudios mencionados anteriormente, vale decir: Salar de Capur, Laguna Lejía, sector centro-norte del Salar de Aguas Calientes Centro, Salar de Pujsa, Salar de Aguas Calientes Norte y Salar de Quisquiro (Figura 5-2).

En todas estas cuencas se hizo una distribución uniforme de los puntos, situándolos en las partes bajas, para asegurar la perforación de la zona saturada y en puntos con manifestación de afloramientos de aguas subterráneas, considerando un modelo clásico de la dinámica estas aguas, confluyendo hacia el centro de la cuenca.

No se consideraron punteras en las cuencas de Miscanti y Meñiques por tratarse de sectores con características geológicas y geográficas particulares, sitios protegidos por la Reserva Nacional Los Flamencos y, además, estar administradas y controladas por la comunidad de Socaire, lo cual reviste la necesidad de permisos y podría significar eventuales conflictos.

En particular en estas dos cuencas, la morfología de estas depresiones y sus características geológicas condicionan un relieve con bordes de fuertes pendientes, que para el caso de perforaciones someras (3 m) hacen poco probable la intersección del nivel saturado del acuífero (proyectado desde el borde las lagunas), por lo tanto, se dificulta el dar cumplimiento al objetivo perseguido, vale decir, estudiar y monitorear las aguas subterráneas del sector. Más aún, al tratarse de un terreno conformado, principalmente, por afloramientos de roca o roca cercana a la superficie, lo cual limita la acción del barreno considerado para estos trabajos. Este equipo no perfora en roca o clastos de gran tamaño.

Adicionalmente, el sector donde se ubican ambos cuerpos de agua se encuentra dentro de la reserva nacional de Los Flamencos, administrada por CONAF, por lo que, y en base de la experiencia de esta empresa consultora en los trabajos que realiza periódicamente en el Salar de Atacama en los paños de la reserva Los Flamencos de las lagunas de Quelana y Barros Negros, se requiere de la autorización de CONAF para su ingreso, lo cual en la actualidad no está exento de dificultades y demoras por la situación de pandemia, por lo que, al no justificarse mediciones en ambas lagunas, no se han incluido en el trabajo de terreno.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-2: Ubicación de punteras en cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama.

3.5. Metodología de construcción de punteras

Este estudio contempla la construcción de 20 punteras, definidas como un sondaje de diámetro pequeño y profundidad reducida, habilitados, en este caso, con tubería de pvc de 2", en los cuales se medirá la profundidad del techo de la zona saturada, los parámetros fisicoquímicos del agua subterránea y se tomarán muestras para análisis hidroquímicos e isotópicos.

Los puntos fueron definidos en una etapa previa a la campaña de terreno y se accederá a ellos en camioneta a través de caminos o huellas existentes. Todos los materiales y equipos requeridos para estos trabajos serán llevados caminando hasta el punto de perforación, por lo que, en este recorrido no se generarán nuevas huellas.

Las etapas consideradas en estos trabajos de terreno son las siguientes:

3.5.1. Perforación

Estas punteras serán perforadas hasta una profundidad de 3 m en un diámetro de 4", para lo cual se utilizará una ahoyadora Stihl modelo BT130 consistente en un barreno del tipo Auger accionado por un motor de 2 tiempos y manejado por 2 operadores (Figura 5-3). La perforación se realizará con avance de 10 cm, con el objeto de evitar el atrapamiento de la herramienta de perforación, recuperando muestra de suelo en este tramo, la cual será descrita y almacenada en una caja de cutting (caja plástica de 20 divisiones de tamaño 1" x 2").



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-3: Perforación de punteras en el borde sur del Salar de Atacama.

3.5.2. **Habilitación**

En el sondaje se instalará tubería de PVC de diámetro 2" Schedule 80 con ranuras slot 40 (abertura 1 mm), dejando en el fondo 1 m de tubería ranurada. El espacio anular entre la pared del sondaje y la tubería será rellenado con gravilla seleccionada y redondeada de tamaño de grano entre 2 y 4 mm, dejando el techo de filtro a una profundidad de 1 m de profundidad, rellenando este espacio, hasta el nivel de superficie, con el material original de terreno. El fondo de la tubería quedará sellado con una punta cónica y en superficie, la boca del piezómetro, quedará cerrada con una tapa, sobresaliendo a una altura de 30 cm sobre el nivel de terreno (Figura 5-4).



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-4: Habilitación de punteras en el salar El Laco.

3.5.3. Medición de nivel estático

Finalizada la construcción de la puntera se procederá a medir el nivel freático, es decir, la profundidad del nivel del agua o techo de la zona saturada. Para esto, se utilizará un pozómetro que consiste en un instrumento con un cable eléctrico paralelo, graduado al mm, en cuya punta se tiene un sensor que al tocar el agua emite en superficie una indicación de luz y sonido. Esta medición se realizará tomando como punto de referencia la boca de la puntera (Figura 5-5), dejando una marca en este punto para homologar futuras mediciones y levantando esta referencia con coordenada y cota geodésica.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-5: Medición de nivel estático puntera en el salar de Aguas Calientes Sur.

3.5.4. Purga

Una vez registrado el nivel estático en la puntera, se realizará la limpieza o purga de la misma, consistente en la extracción de, al menos, tres veces el volumen de agua contenida en la puntera con el objeto de asegurar que las muestras tomadas para medición de parámetros fisicoquímicos y análisis hidroquímicos e isotópicos sean representativos del agua subterránea del acuífero. Para lograr esta purga, se utilizará una manguera y bomba peristáltica, dispositivo con el que se extraerá agua desde la puntera hasta estabilizar los parámetros fisicoquímicos y, con esto, asegurar una muestra representativa de este punto del acuífero (Figura 3-6).



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-6: Purga de puntera en la vega Guanaco, cordillera de la región de Atacama.

3.5.5. Medición de parámetros fisicoquímicos

Esta labor consistirá en medir los parámetros fisicoquímicos generales (temperatura, conductividad eléctrica, pH y potencial redox) del agua del acuífero en el punto muestreado. Para esto se utilizará un multiparámetro, con su mantención de fabricante y debidamente calibrado (Figura 3-7). Además, se medirá en terreno la alcalinidad de la muestra, para lo cual se utilizará un kit de titulación con sus respectivos reactivos.

El registro obtenido en estas muestras será incluido en el documento de cadena de custodia que acompañará las muestras de agua al laboratorio, con excepción de los registros de las muestras que serán enviadas como réplicas para el control de calidad y reproducibilidad de resultados.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-7: Medición de parámetros fisicoquímicos en puntera de la vega Guanaco, cordillera de la región de Atacama.

3.5.6. Toma de muestra de agua

En cada una de las punteras se tomarán muestras de agua para análisis hidroquímicos, los cuales contemplarán aniones y cationes mayores, barridos de metales y compuestos nitrogenados. Así como también, se tomarán muestras para análisis de isótopos de oxígeno 18 y deuterio. Los envases para estas muestras serán entregados por el laboratorio, en el caso de los análisis hidroquímicos, y adquiridos por esta consultora, para el caso de los análisis isotópicos, siendo en ambos casos, debidamente llenados y etiquetados, tomando en cuenta los procedimientos idóneos para estas labores (Figura 5-8).



Fuente: Elaboración propia

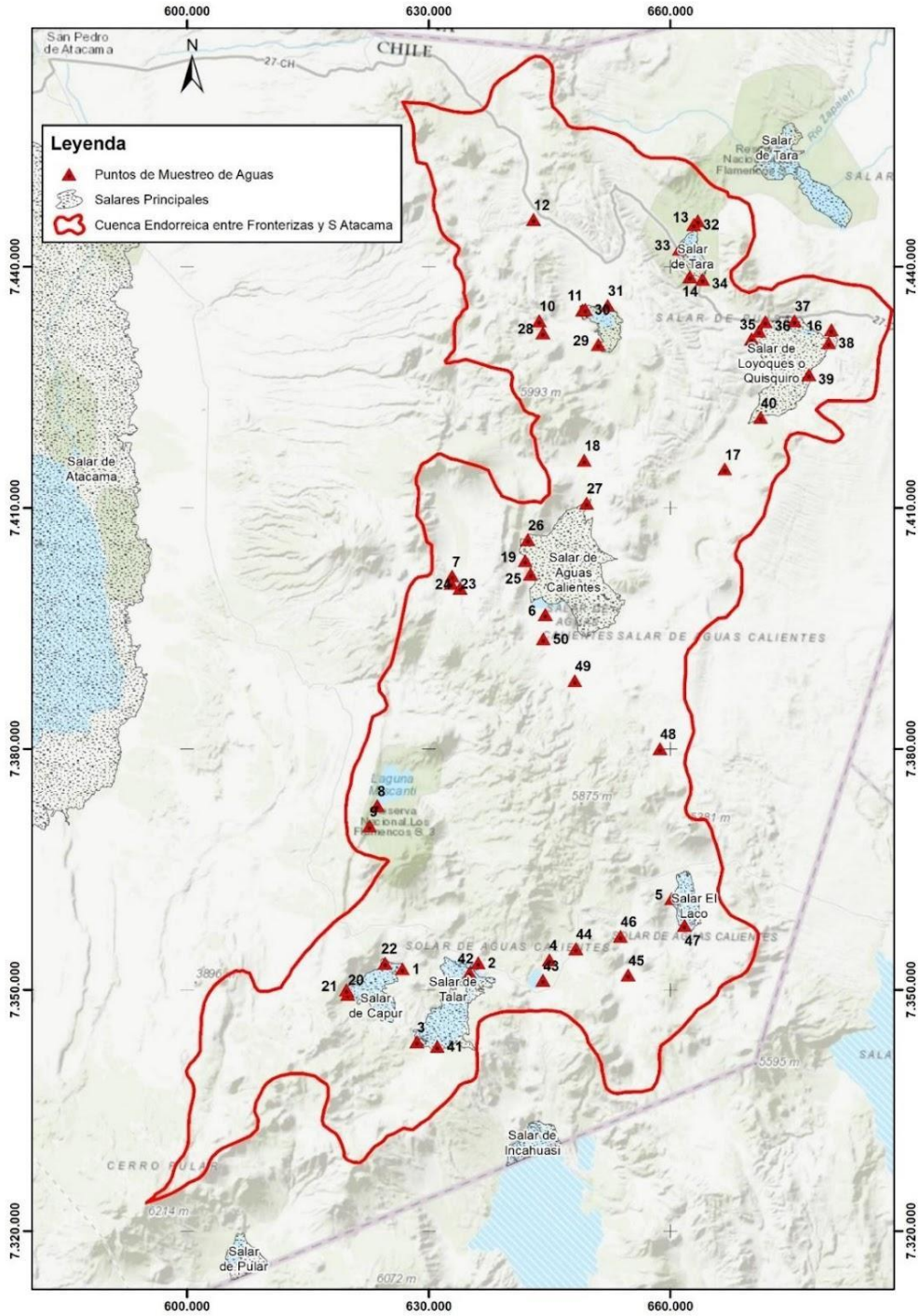
Figura 3-8: Toma de muestras para análisis hidroquímico e isotópico, pozo Cerro Pabellón, cordillera región de Antofagasta.

3.6. Muestreo de agua para análisis hidroquímicos e isotópicos

Para este plan estratégico de gestión hídrica se tiene contemplado realizar un total de 50 análisis hidroquímicos e isotópicos, de los cuales 20 de estos análisis serán realizados en las muestras de agua tomadas en las punteras realizadas como parte de este estudio y, las 30 muestras restantes serán distribuidas en punteras, pozos y afloramientos de agua superficial.

En forma adicional, se tomarán 5 muestras duplicadas y rotuladas con una identificación interna, para controlar la calidad y reproducibilidad de los datos entregados por los laboratorios.

En la Figura 5-9 se muestra la ubicación de los 50 puntos donde se realizará muestreo de aguas para análisis hidroquímicos e isotópicos. Los puntos 1 al 20 corresponden a muestras de aguas superficiales, situadas en las principales vertientes y lagunas de las cuencas endorreicas estudiadas, y coincidentes algunas de ellas con los derechos de aguas superficiales regularizados por las comunidades del borde oriental de salar de Atacama.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-9: Puntos de muestreo de aguas para análisis hidroquímicos e isotópicos

Por otra parte, los puntos 21 al 40 corresponden a las nuevas punteras a construir, como parte del desarrollo de este estudio, situadas en los salares y lagunas sin antecedentes hidrogeológicos; y finalmente, los puntos 41 al 50 corresponden a muestreo de aguas en pozos y punteras existentes, construidas durante el desarrollo de los estudios de exploración y evaluación de aguas subterráneas realizados por los proyectos Mundo y Pampa Colorada.

En todas estas muestras de agua se medirán, en terreno, parámetros fisicoquímicos generales (potencial Redox, pH, conductividad eléctrica, temperatura y alcalinidad, entre otros), para lo cual se utilizará un multiparámetro Hanna modelo HI9829 y, para la medición de alcalinidad, se utilizará un Kit de Alcalinidad Hanna modelo HI3811.

Las muestras de agua, para análisis hidroquímicos, serán tomadas en envases idóneos, debidamente rotulados, entregados por un laboratorio certificado, para este proyecto Hidrolab, con los preservantes necesarios para mantener los analitos en solución. Estas muestras serán enviadas diariamente al laboratorio Hidrolab (Santiago) para cumplir con los tiempos críticos requeridos por algunos analitos.

Los análisis hidroquímicos de estas muestras se realizarán según norma NCh409/1 of 2005, analizando los siguientes parámetros y elementos:

- Cationes y aniones mayores para el balance iónico y verificar electroneutralidad (Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄, HCO₃, NO₃).
- Alcalinidad total, TDS, pH y CE.
- Barrido ICP de metales y metaloides (Ag, Al, As, Ba, Be, B, Cd, Co, Co, Cr, F, Fe, Hg, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, V, Zn).
- Análisis de compuestos nitrogenados (NH₄, NO₂, NO₃, NT, NTK).

Por otra parte, para los análisis isotópicos, fueron adquiridas botellas transparentes de polietileno de alta densidad, con perfil curvo, doble tapa y 250 cc de capacidad. Para este caso, las muestras tomadas serán analizadas para determinar concentración de isótopos ambientales (deuterio y oxígeno 18), las cuales serán ensayadas, por una cuestión de tiempo de respuesta y confiabilidad, con el laboratorio de la Universidad de Arizona.

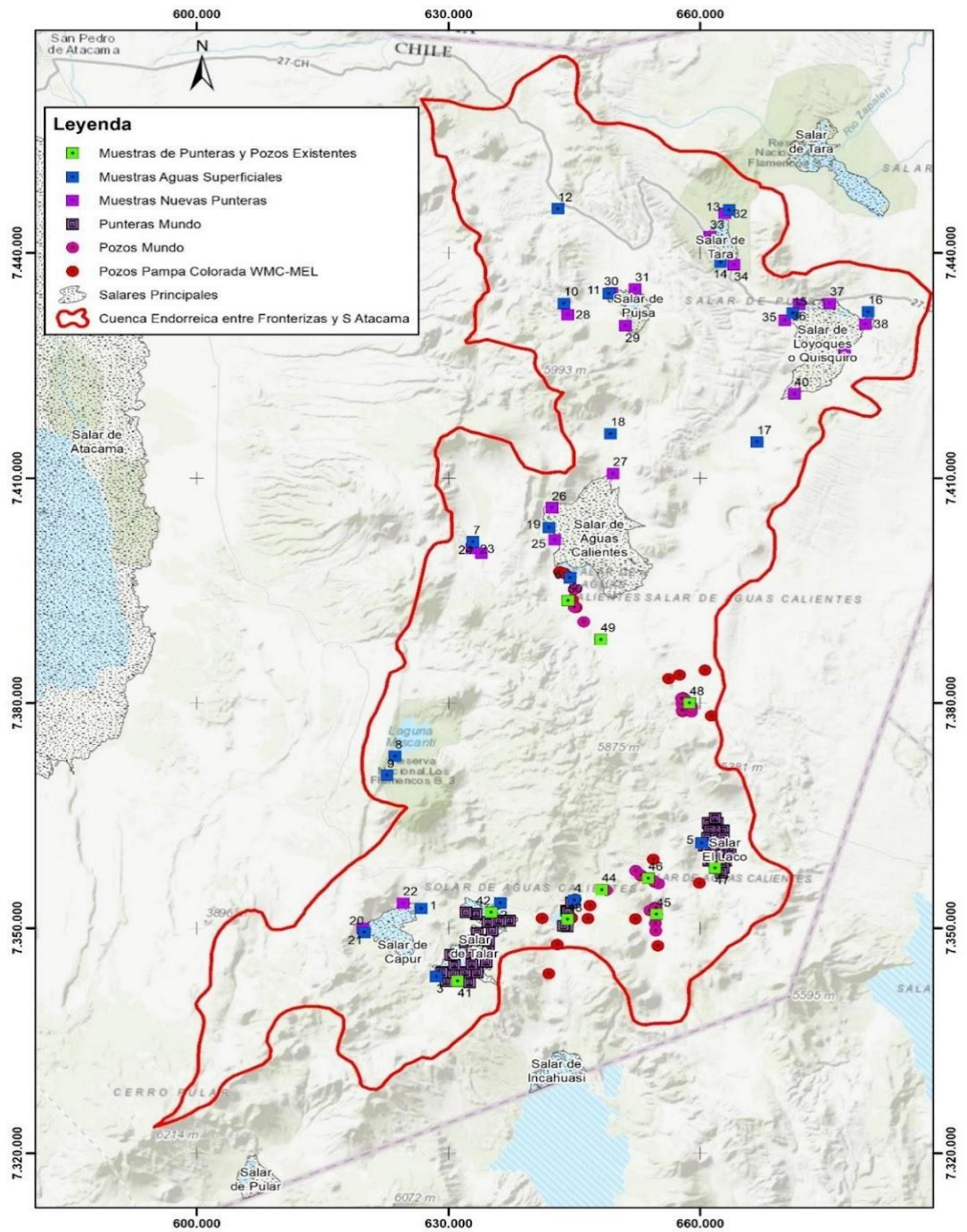
Todas estas muestras (hidroquímicas e isotópicas) serán enviadas con sus respectivas cadenas de custodia, en las cuales se registrará toda la información relevante de la muestra: identificación, fecha y hora de muestreo, tipo de muestra (agua superficial o subterránea), equipo de muestreo, parámetros fisicoquímicos de terreno, número y tipo de envases, etc.

Para la ubicación de los 30 puntos de muestreo a distribuir en cuerpos de agua superficial o pozos/punteras ya construidas en el área de estudio, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Al tener como objetivos de este PEGH elaborar un modelo hidrogeológico conceptual y un modelo hidrológico numérico, se debe proveer de información a estos modelos que nos permitan establecer las relaciones que existen entre las aguas subterráneas y superficiales, además de la dinámica de las aguas subterráneas entre las distintas cuencas endorreicas. Para esto, los análisis hidroquímicos e isotópicos de las principales vertientes del área de estudio, constituyen una valiosa información que apunta a entregar antecedentes acerca de estas relaciones, tomando en cuenta, además, que todos los cauces superficiales reconocidos en esta zona son alimentados por afloramientos de aguas subterráneas. Lo anterior, nos lleva a establecer para este estudio, de las 30 muestras, 20 muestras para análisis hidroquímico e isotópico de aguas superficiales asociadas a la escorrentía generada por las principales vertientes, distribuidas en todas las cuencas endorreicas que conforman el área de estudio y definidas con la ayuda de la imagen satelital y los antecedentes disponible por esta consultora.
- Las 10 muestras restantes, se destinaron a la investigación de aguas subterráneas, en las cuencas y sectores donde no se realizarán nuevas punteras, distribuyéndolas en pozos y punteras ya construidas en el área de estudio, como parte de los proyectos Mundo y Pampa Colorada. Estos puntos se distribuyeron de manera uniforme en toda la zona no cubierta con las nuevas punteras, con al menos 1 punto dentro de las cuencas que conforman esta zona, y teniendo en cuenta, además, que la existencia de información hidroquímica, de los proyectos anteriores, en estos puntos, de manera de comparar los resultados y conocer la evolución de la calidad de estas aguas.

En la Figura 3-10 se integra toda la información utilizada para definir la ubicación de los puntos de muestreo de aguas, pudiendo observar en ella, la ubicación de las nuevas punteras, los puntos de muestreo de aguas superficiales y los puntos de muestreo de aguas subterráneas en punteras y pozos existentes. Se incluyen también en esta figura, todos los

pozos y punteras construidos en el área de estudio, obras que se encuentran asociadas a los proyectos Mundo y Pampa Colorada.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3-10: Puntos de muestreo de agua e información de su naturaleza en la cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama.

ANEXO G

SIG

DISPONIBLE EN FORMATO DIGITAL

ANEXO H
MODELOS

Contenido

Capítulo 1.	11.1	11.1.1	11.1.2	91.1.3	91.1.4	121.1.5	141.1.6
191.2	201.2.1	201.2.2	31.2.3	31.2.4	71.2.5	71.2.6	91.2.7 iError!
Marcador no definido.1.3	111.3.1	iError!	Marcador no definido.1.3.2				
131.3.3	441.3.4	451.3.5	461.3.6	47	Capítulo 2.	512.1	
512.1.1	572.1.2	572.1.3	582.1.4	582.1.5	582.1.6		
592.2	602.2.1	iError! Marcador no definido.2.2.2	iError! Marcador no definido.2.2.3	iError! Marcador no definido.2.3	712.3.1	722.3.2	
722.3.3	732.3.4	742.4	76	Capítulo 3.	793.1	793.1.1	793.1.2
813.1.3	833.2	853.2.1	853.2.2	863.2.3	87	Capítulo 4.	
884.1	884.1.1	884.2	894.2.1	894.2.2	894.3	954.3.1	
954.3.2	954.3.3	974.4	994.4.1	994.4.2	100	Capítulo 5.	
1025.1	1025.1.1	1025.1.2	1035.1.3	1055.2	1055.2.1	105	

Capítulo 1. MODELO HIDROLÓGICO SUPERFICIAL

1.1 Introducción

En el marco del Programa Estratégico de Gestión Hídrica (PEGH) de las Cuencas Endorreicas entre Fronterizas y Salar de Atacama. Para el desarrollo del presente PEGH, se ha construido, calibrado y validado un modelo simulación de flujos hidrológicos superficiales. El modelo seleccionado por la Dirección General de Aguas ha sido el modelo WEAP (Water Evaluation and Planning). WEAP es una herramienta de modelación para la planificación y distribución de agua que puede ser aplicada a diferentes escalas, desde pequeñas zonas de captación hasta extensas cuencas hidrográficas (Yates et al., 2005). Este modelo ha sido implementado en varias cuencas de Chile (ver por ejemplo, Vicuña et al., 2011 and 2012; Henríquez et al., 2016; McNamara et al., 2020; Barría et al., 2021). En este contexto, el principal objetivo específico de este capítulo ha sido la construcción de un modelo superficial WEAP para las cuencas Endorreicas mediante la revisión de modelos superficiales (WEAP) existentes, considerando el periodo histórico de datos observacionales disponibles dentro de la cuenca. En el presente documento se realiza una descripción detallada de los modelos y de los resultados obtenidos.

La construcción del modelo WEAP ha permitido simular y evaluar la dinámica hidrológica de los flujos superficiales de las Cuencas Endorreicas, tomando en consideración la importancia de los Salares y Lagunas existentes en la estimación del balance hídrico final. La evaluación de la modelación WEAP ha permitido establecer los siguientes puntos principales: (1) Construcción de Modelo WEAP y Evaluación de Simulaciones Iniciales; (2) Calibración de Parámetros del Modelo WEAP; (3) Balance de Agua Histórico, Presente y Futuro; (4) Definición de Escenarios de Modelación y Gestión; y (5) Definición de Brechas de Modelación y de Sustentabilidad Hídrica para la Cuenca.

1.1.1 Revisión de Antecedentes y Datos Hidrológicos

Para la construcción, implementación y validación del modelo WEAP se compilaron diversas fuentes de datos hidro-climatológicos instrumentales y productos grillados. Un total de 12 estaciones meteorológicas se encuentran disponibles entre el salar de Atacama y las Cuencas Endorreicas. Debido a la alta cantidad de datos instrumentales perdidos y sospechosos, el producto climático grillado CR2MET v2.0 (Boisier et al., 2018) de aproximadamente 5 kilómetros de resolución espacial fue utilizado para suplir la falta de

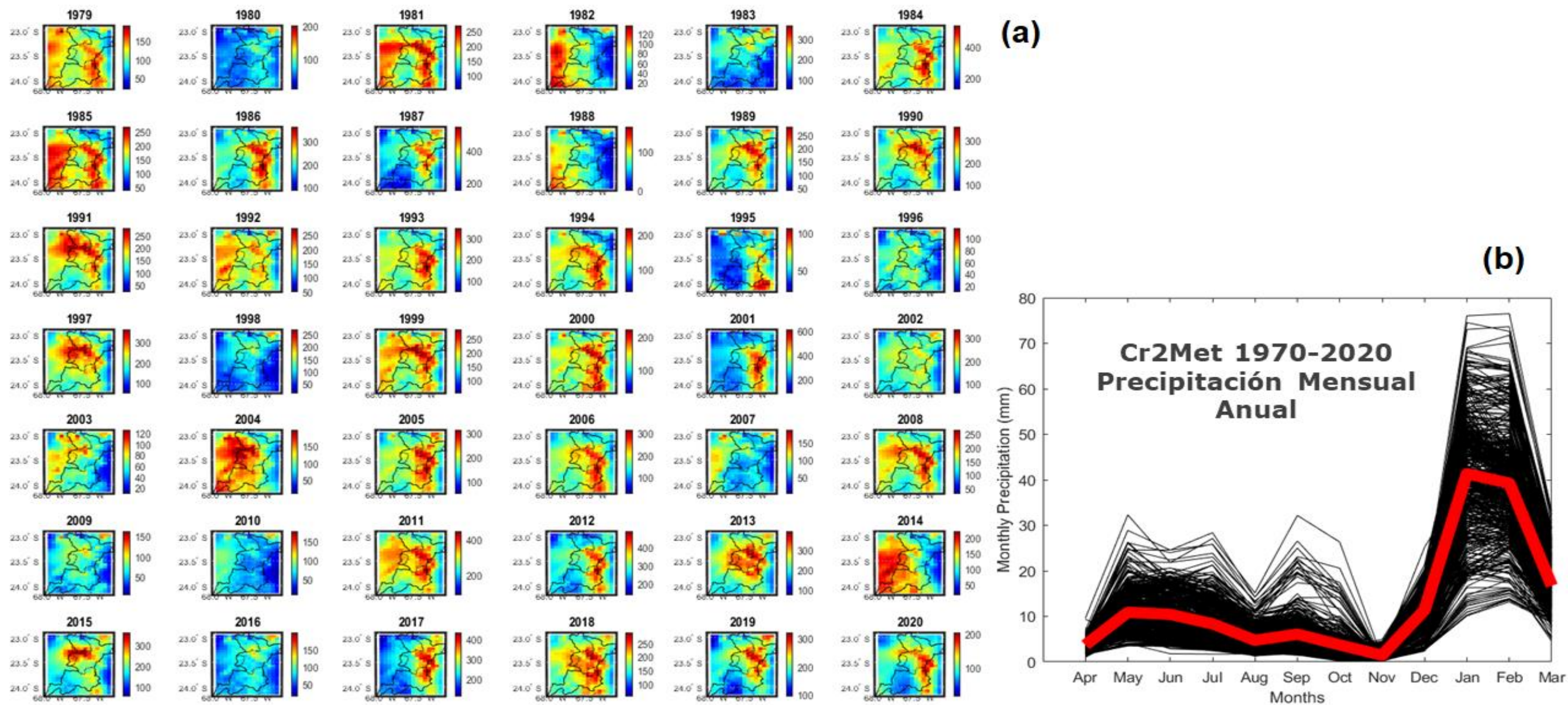
datos hidro-climáticos (ver detalles en Tabla 1-1 y Figura 1-1). La cubierta y uso de suelo utilizada en el modelo fue obtenida desde Zhao et al., (2016).

Tabla 1-1 Datos Hidro-climáticos utilizados en la simulación WEAP.

Tipo	Variable	Nombre	Resolución Temporal	Resolución Espacial	Periodo de Registro	Fuente
Instrumental	Precipitación	Red Hidrométrica DGA	Diaria	Puntual	2016-2020	Dirección General de Aguas
Grillado	Precipitación, Temperatura	CR2MET v2	Diaria	0.05x0.05 grados	1979-2020	Boisier et al., (2018)
Grillado	Cubierta y Uso de Suelo	LULC	N/A	30 metros	2014	Zhao et al., (2016)

Fuente: elaboración propia

Es importante mencionar que existen limitaciones en relación con el número de datos observacionales disponibles para llevar a cabo los procesos de corrección de sesgo para las cuencas endorreicas (Figura 1-2). De hecho, solo existe una estación pluviométrica dentro del dominio de modelación (Paso Sico). Esta estación y otras disponibles fuera del dominio de las cuencas endorreicas fueron utilizadas para llevar a cabo la corrección de sesgo de los datos climatológicos. El año hidrológico utilizado para esta cuenca corresponde al periodo de Abril a Marzo.



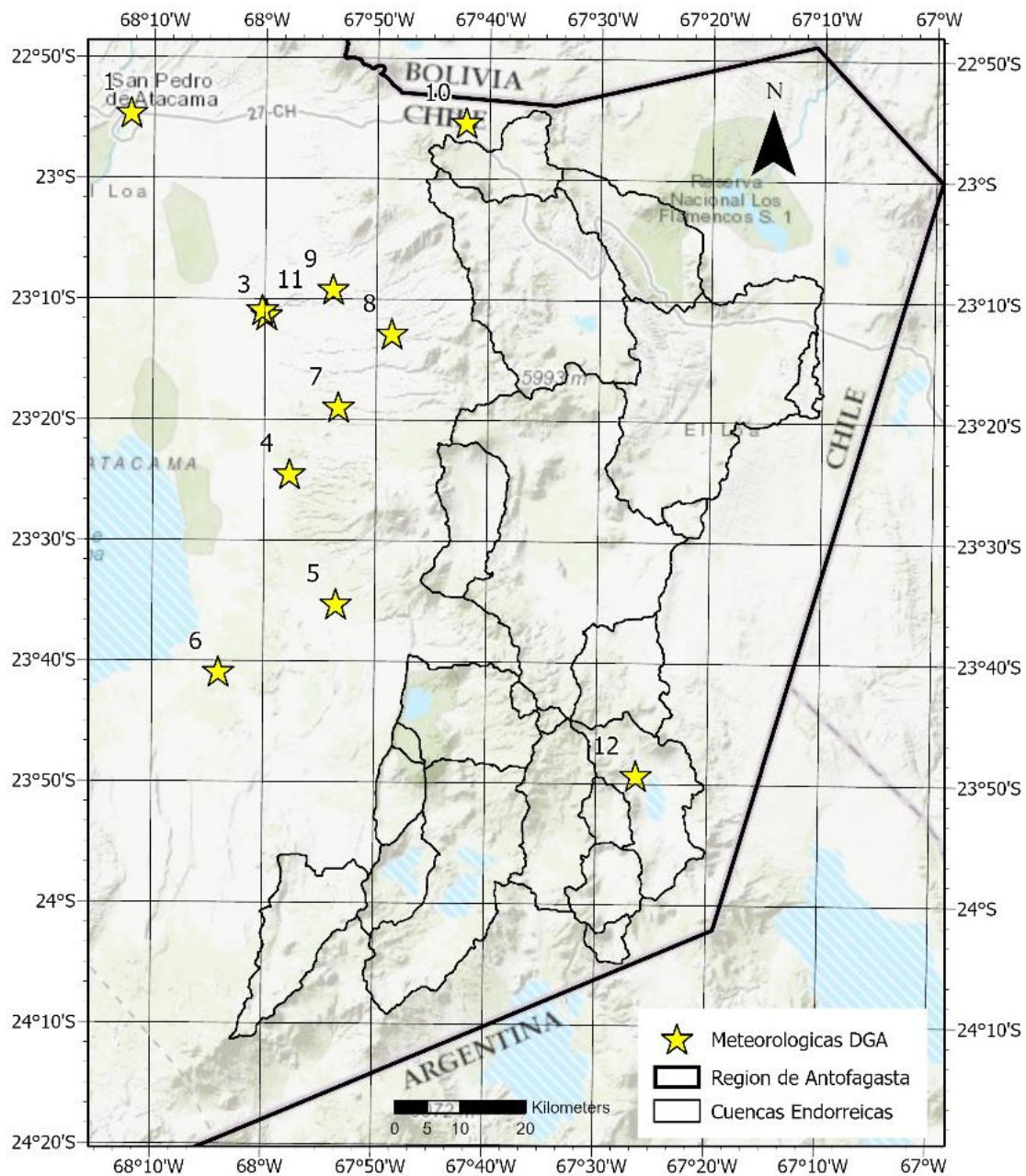
Fuente: elaboración propia en base a Cr2Met

Figura 1-1: Distribución espacial de precipitación anual acumulada (a) y precipitación mensual (b) obtenidas desde el grillado Cr2Met

Tabla 1-2 Estaciones meteorológicas cercanas y dentro de las Cuencas Endorreicas entre fronteras y Salar de Atacama.

ID Mapa	Codigo BNA	Nombre	Longitud O	Latitud S	Altura (m.s.n.m.)	Inicio	Fin	Años	Cuenca	Status
1	02510006-9	San Pedro de Atacama	-68.201	-22.910	2450	1/1/1959	12/31/2017	58	Salar de Atacama	Vigente
2	02510007-7	Rio Grande	-68.167	-22.652	3250	1/1/1977	12/31/2019	42	Salar de Atacama	Vigente
3	02500016-1	Toconao Experimental	-67.998	-23.189	2500	11/1/1975	2/28/2009	34	Salar de Atacama	Suspendida
4	02500017-K	Camar	-67.962	-23.409	2700	1/1/1979	12/31/2019	40	Salar de Atacama	Vigente
5	02500019-6	Socaire	-67.892	-23.588	3251	1/1/1979	11/30/2017	38	Salar de Atacama	Vigente
6	02500020-K	Peine	-68.067	-23.682	2460	1/11/1974	12/31/2019	45	Salar de Atacama	Vigente
7	02500021-8	Talabre	-67.890	-23.316	3300	1/1/1995	12/31/2019	24	Salar de Atacama	Vigente
8	02500025-0	Toconao Quebrada 1	-67.810	-23.214	3979	1/4/2016	12/31/2019	3	Salar de Atacama	Vigente
9	02500026-9	Toconao Quebrada 4	-67.898	-23.153	3465	1/4/2016	12/31/2019	3	Salar de Atacama	Vigente
10	02500027-7	Toconao Pueblo	-68.004	-23.182	2698	1/4/2016	12/31/2019	3	Salar de Atacama	Vigente
11	02300000-8	Paso Jama	-67.701	-22.922	4680	1/4/2016	12/31/2019	3	Fronterizas Salares Atacama-Socompa	Vigente
12	02450000-4	Paso Sico	-67.440	-23.822	4295	1/4/2016	12/31/2019	3	Endorreica entre Fronterizas y Salar Atacama	Vigente

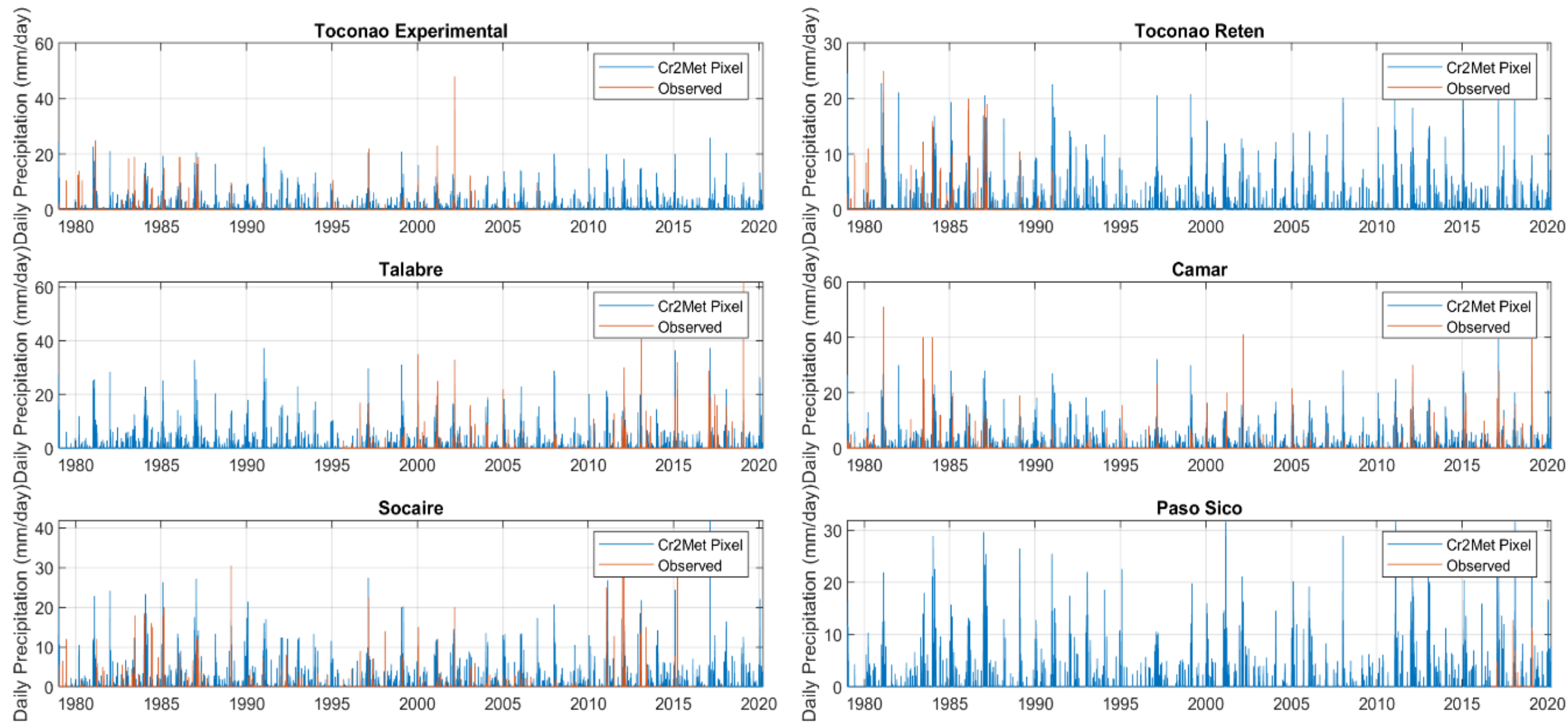
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-2: Distribución espacial de las estaciones meteorológicas disponibles en el dominio de simulación las Cuencas Endorreicas entre fronteras y Salar de Atacama.

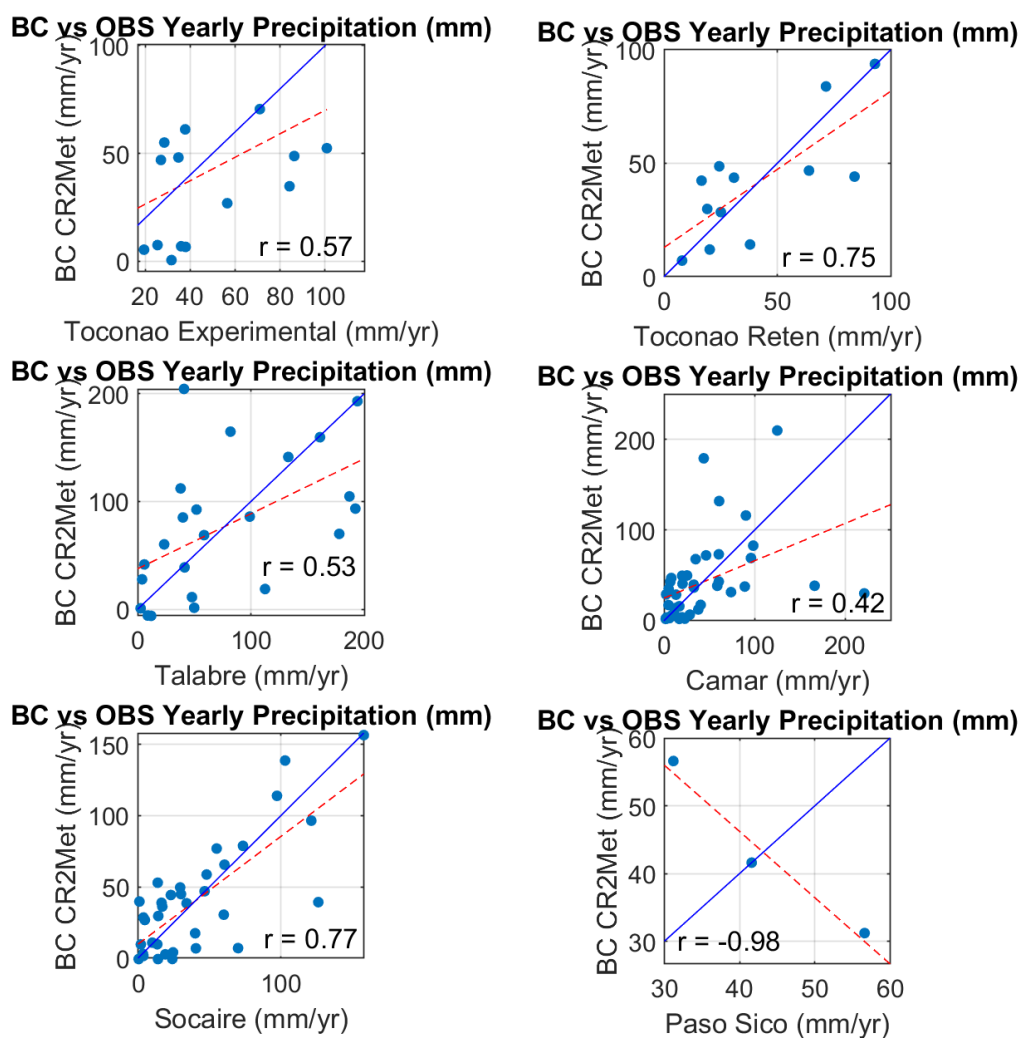
Adicionalmente, existen limitaciones derivadas desde la cantidad y calidad de los registros observacionales de la DGA (Figura 1-3). Estas limitaciones perjudican la aplicación de métodos de corrección de sesgo, dado a que se desconoce cuanta incertidumbre se podría estar propagando desde la medición de los datos observacionales.



Fuente: Elaboración propia.

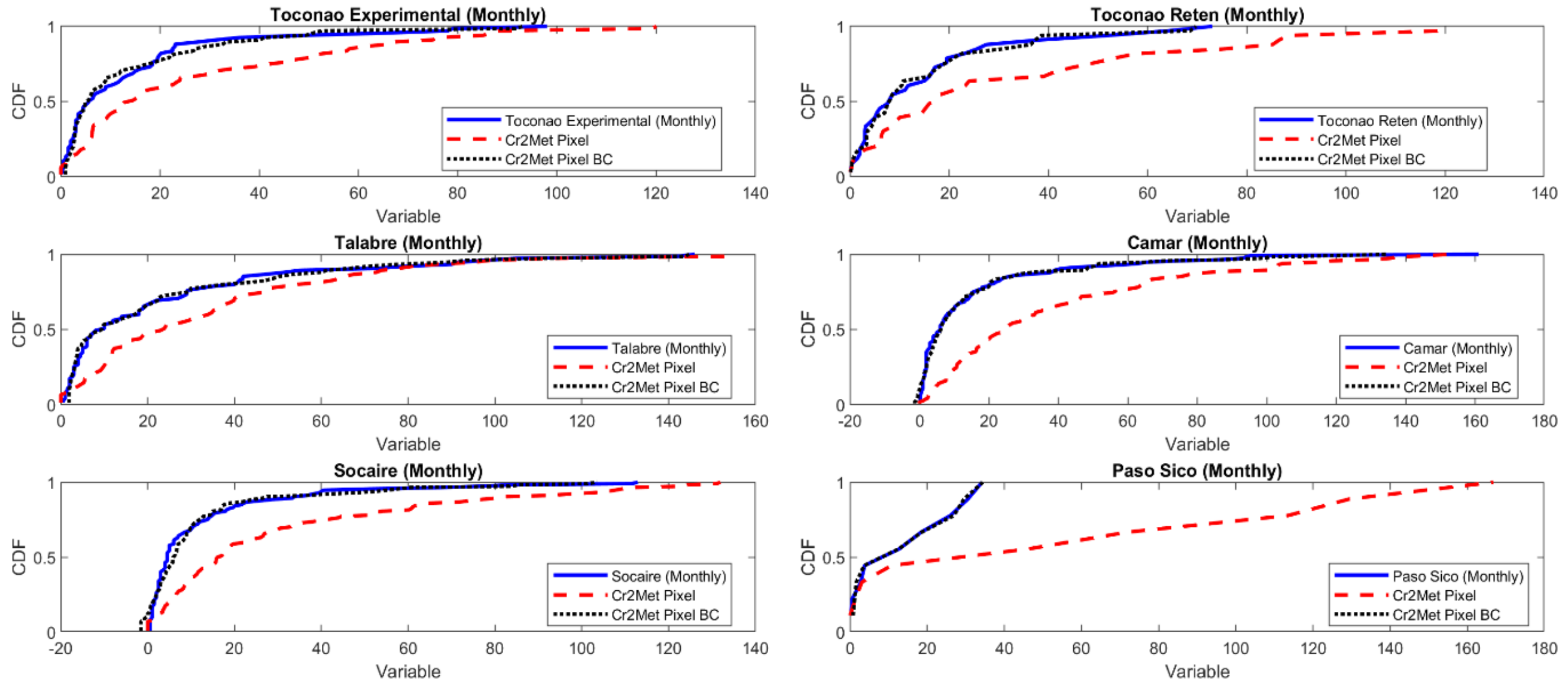
Figura 1-3: Comparación entre estaciones cercanas a la zona de estudio y su correspondiente píxel en Cr2Met.

La corrección de sesgo de los productos grillados es significativa a nivel anual mediante la aplicación de mapeo de cuantiles (Figura 1-5). Sin embargo, no es tan clara la viabilidad de poder extrapolar dichos mapeos hacia otras áreas de las cuencas debido a la alta variabilidad espacial de las lluvias convectivas propias de esta zona climática de Chile. De todas maneras, se recomienda corregir los datos del CR2Met debido a las altas diferencias encontradas a nivel de acumulación anual de lluvias, como se ve en la Figura 1-5. Asimismo, es importante mencionar proceso de corrección de sesgo se ha llevado a cabo con todas las variables hidro climáticas que tienen datos observacionales i.e. lluvias y temperaturas. Un ejemplo de la corrección de las lluvias acumuladas anuales se presenta en la Figura 1-4. Aquellas estaciones meteorológicas con un periodo de registro menor a 5 años presentan problemas para la corrección de sesgo (ver ejemplo de la estación Paso Sico en la Figura 1-4).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-4: Gráficos de dispersión entre los datos observacionales y los datos Cr2Met con corrección de sesgo (BC). Las series utilizadas corresponden a la lluvia acumulada anual.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-5: Comparación de Distribuciones de Probabilidad Acumuladas de lluvias acumuladas mensuales de datos Cr2Met (con y sin corrección) con datos de estaciones DGA.

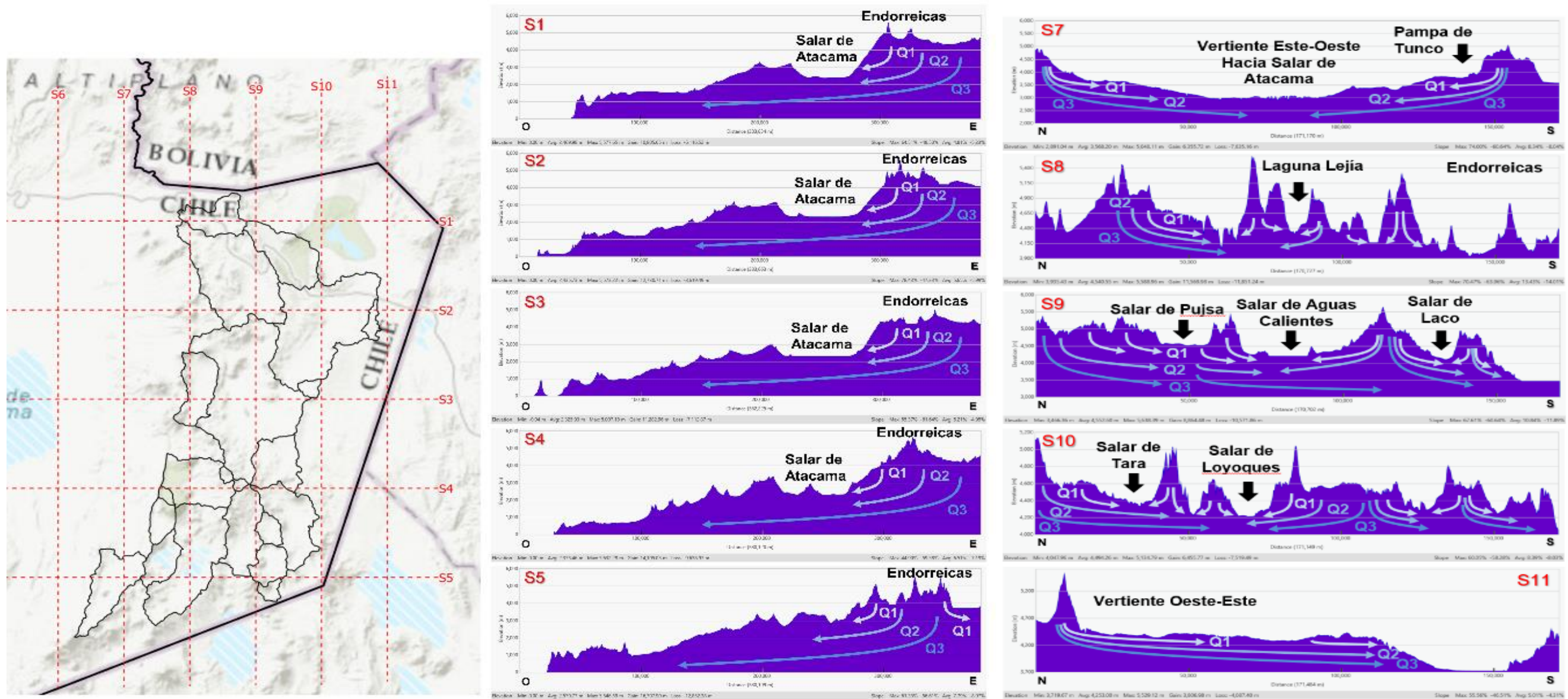
1.1.2 Revisión de Modelos Existentes

De la revisión de modelos existentes se tiene que no hay simulaciones WEAP previas en las cuencas endorreicas. Existen simulaciones de los flujos y los volúmenes de agua subterráneas desde los acuíferos regionales. Sin embargo, toda la información disponible corresponde a modelos hidrogeológicos pertenecientes a empresas privadas y consultoras, por lo tanto, no existe disponibilidad pública de los mismos. Una opción de datos públicos que permitan comparación establecer marcos comparativos para esta cuenca corresponden a los datos del Balance Hídrico Nacional (DGA,2018).

1.1.3 Modelo Hidrológico Superficial Conceptual

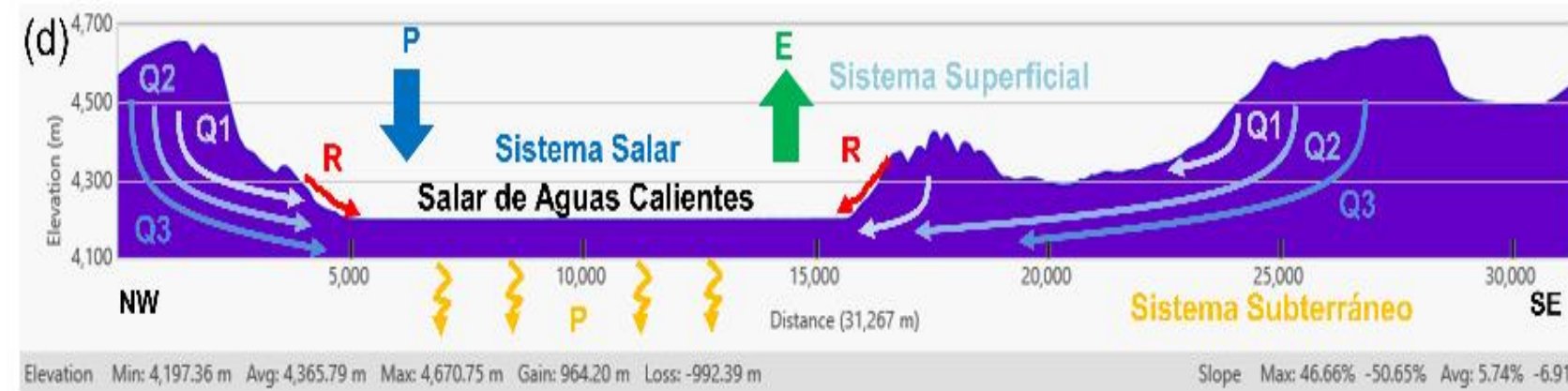
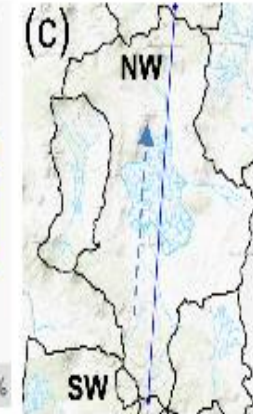
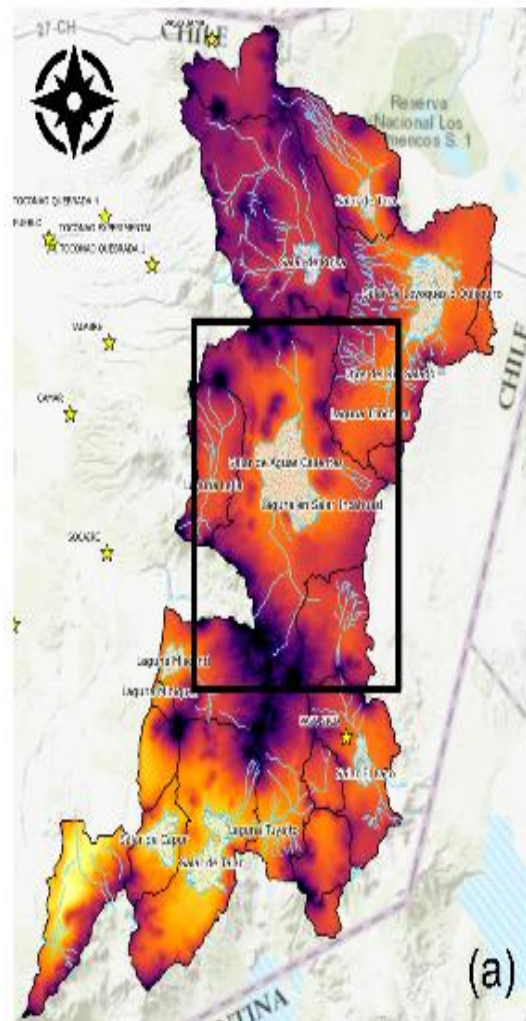
El modelo hidrológico conceptual se desarrolló tomando en consideración todos los antecedentes presentados en la sección 1.1.1. y también tomando en consideración los antecedentes proporcionados por el grupo de modelación que ha trabajado en el salar de Atacama (Corfo-DGA, 2020). Como una primera aproximación se estableció un modelo conceptual de flujos regionales, que fue definido mediante la caracterización de los flujos de aguas superficiales y subterráneas asociados al funcionamiento hidrogeológico de la región de Antofagasta. Para esto, la morfometría de cuencas y la geomorfología regional fueron construidas y utilizadas para definir la dinámica regional de los procesos hidrológicos de largo plazo. Como se observa en Figura 1-6, las cuencas Endorreicas se encuentran emplazadas en un área de recarga de flujos regionales los cuales descargan en las zonas bajas ubicadas hacia el oeste de la región. En la Figura 1-6, Q1 y Q2 corresponden a flujos subsuperficiales de infiltración o percolación poco profunda y Q3 corresponden a flujos regionales de percolación profunda o de recarga de agua. Dentro de las cuencas endorreicas el flujo regional se encuentra dominado por un gradiente hidráulico que tiene un sentido norte sur; sin embargo, las características propias del área de estudio, como por ejemplo la presencia de capas impermeables y estructuras geológicas de dominancia regional influyen sobre los flujos superficiales y subsuperficiales de carácter local que se podrían manifestar a velocidades de descarga y recarga diferentes en comparación con los flujos regionales.

Cada sistema salar fue conceptualizado con el objetivo de definir los procesos hidrológicos e hidrogeológicos dominantes que posteriormente serán incluidos en la modelación hidrológica WEAP. Los flujos superficiales y subterráneos fueron definidos tomando en consideración la configuración morfométrica de las cuencas endorreicas (Figura 1-7).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-6: Conceptualización de flujos regionales mediante el análisis de perfiles morfométricos obtenidos desde distintas secciones transversales trazadas en las cuencas endorreicas.



Fuente: Elaboración propia.

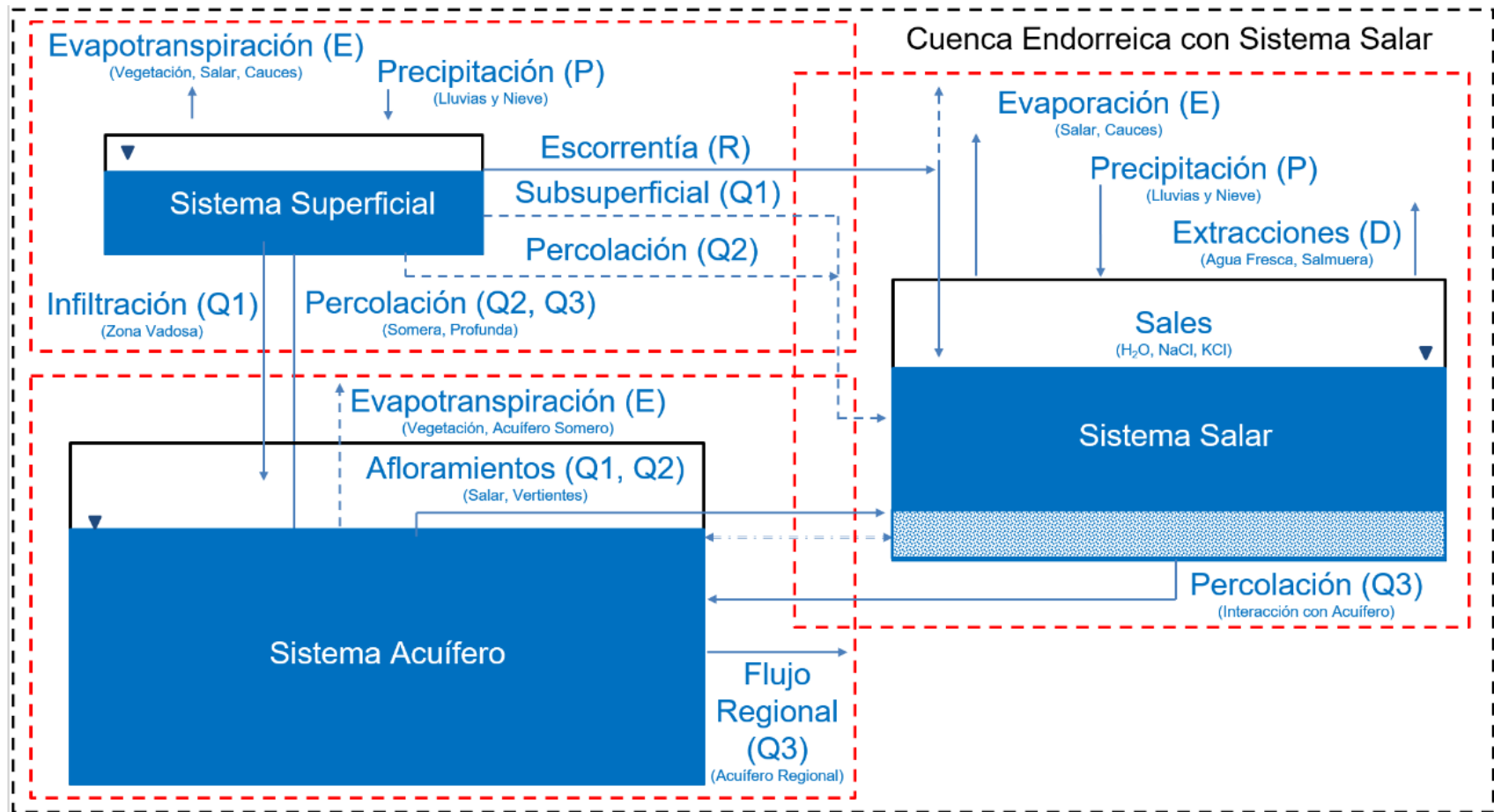
Figura 1-7: Conceptualización de procesos hidrológicos dominantes en los salares presentes en las cuencas endorreicas. El ejemplo presentado corresponde al Salar de Aguas Calientes. (a) ubicación del salar, (b) y (c) corresponde a la sección N-S, (d) y (e) sección E-O

1.1.4 Supuestos Generales de Simulación

Para la modelación utilizando el modelo hidrológico WEAP se han considerado distintos supuestos que han permitido simplificar y simular de la mejor manera posible los procesos hidrológicos dominantes de las cuencas endorreicas (Figura 1-7). En general se han definido supuestos que tienen que ver con las limitaciones del modelo WEAP, como, por ejemplo, la imposibilidad de poder simular procesos hidrológicos de lagunas o salares. Los supuestos más importantes son:

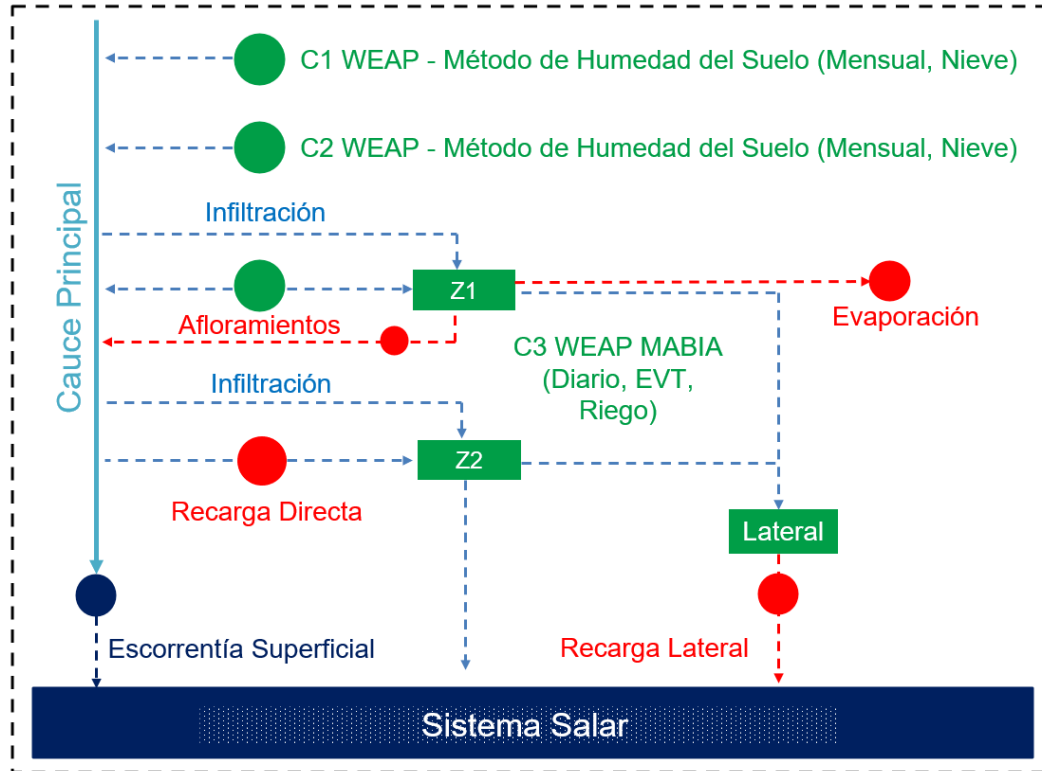
- i. Existe interacción hidrogeológica entre el sistema superficial, el sistema salar y el sistema acuífero.
- ii. El sistema superficial posee flujos hidrológicos de escorrentía superficial, flujos hidrogeológicos subsuperficiales de infiltración, percolación somera y profunda.
- iii. El sistema acuífero descarga hacia el sistema salar mediante afloramientos de agua.
- iv. El sistema acuífero también descarga mediante el flujo de evapotranspiración desde el acuífero somero, el cual esta principalmente dominado por la presencia de vegetación y por tasas de radiación elevadas propias de esta zona desértica.
- v. El sistema salar interactúa estrechamente con el sistema acuífero mediante flujos de percolación (descarga desde el salar) y flujos de afloramiento (recarga hacia el salar).
- vi. Todos los procesos hidrológicos e hidrogeológicos son dominados por un componente climático que incluye los flujos de evapotranspiración y precipitación en forma de agua o nieve.

El modelo hidrológico WEAP se construye basado en las recomendaciones de la modelación previa del Salar de Atacama y considera principalmente los módulos presentados en la Figura 1-9.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-8: Conceptualización de Sistema Cuencas Endorreica, Salar, y Acuífero para la implementación del modelo WEAP



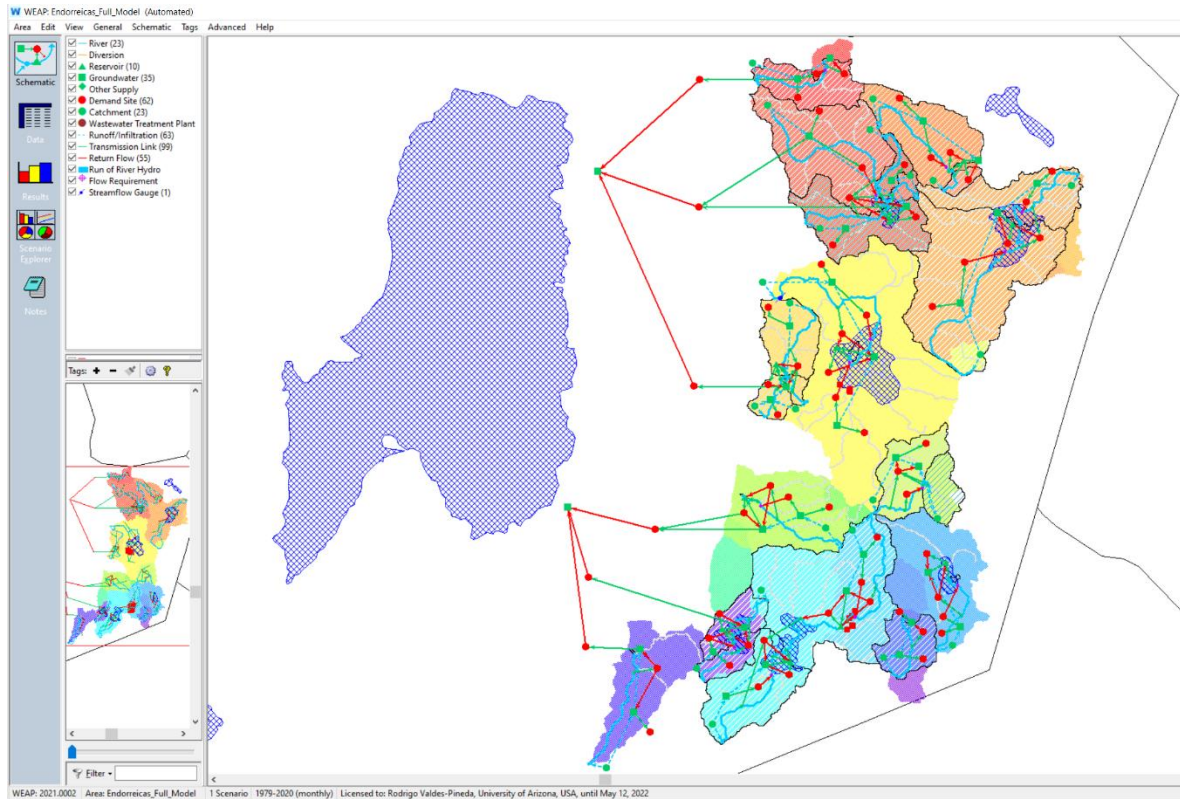
Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-9: Conceptualización de Sistema Cuencas Endorreica, Salar, y Acuífero para la construcción del modelo WEAP.

1.1.5 Visión General de la Simulación WEAP

1.1.5.1 Esquema General

El modelo diseñado para las cuencas Endorreicas incluye 23 subcuencas (Unidades Hidrológicas o *Catchment Node*), 35 sistemas acuíferos (*Groundwater Node*), 62 sitios de demanda para simular afloramientos y evaporación desde acuíferos poco profundos (*Demand Site Nodes*). Adicionalmente, se incluye la simulación del almacenamiento de agua en 10 lagunas de los sistemas salares existentes (*Reservoir Node*). Para la construcción inicial del Modelo WEAP se consideró la información de Cuencas Hidrográficas delimitadas por el DARH de la Dirección General de Aguas. En la Figura 1-10 se puede ver la interfaz gráfica asociada a la construcción del modelo incluyendo las cuencas y la red hidrográfica de las Cuencas Endorreicas.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-10 Diseño de modelo de simulación WEAP para las Cuencas Endorreicas entre Fronterizas y Salar de Atacama.

1.1.5.2 Horizontes de Simulación

Para la modelación WEAP se definió un horizonte temporal de modelación que considera el periodo 1970-2020 y que se ha basado principalmente en la resolución temporal disponible en los datos climáticos de CR2Met. El paso de tiempo se definió con el objetivo de poder determinar los procesos hidrológicos que dominan la partición hidrológica a escala mensual. Este paso de tiempo mensual sirvió para capturar la estacionalidad de esta zona climática e informar esquemas de manejo a escalas de tiempo anual (ver Figura 1-11).

Years and Time Steps

Time Horizon

Current Accounts Year: 1979

Last Year of Scenarios: 2020

Time Steps per Year

12

Add Leap Days?

Time Step Boundary

Based on calendar month

All time steps are equal length

Set time step length manually

Water Year Start

April

#	Title	Abbrev.	Length	Begins	Ends
1	April	Apr	30	Apr 1	Apr 30
2	May	May	31	May 1	May 31
3	June	Jun	30	Jun 1	Jun 30
4	July	Jul	31	Jul 1	Jul 31
5	August	Aug	31	Aug 1	Aug 31
6	September	Sep	30	Sep 1	Sep 30
7	October	Oct	31	Oct 1	Oct 31
8	November	Nov	30	Nov 1	Nov 30
9	December	Dec	31	Dec 1	Dec 31
10	January	Jan	31	Jan 1	Jan 31

Time Step Name Format: October / Oct

The study period will run from April, 1978 to March, 2020.

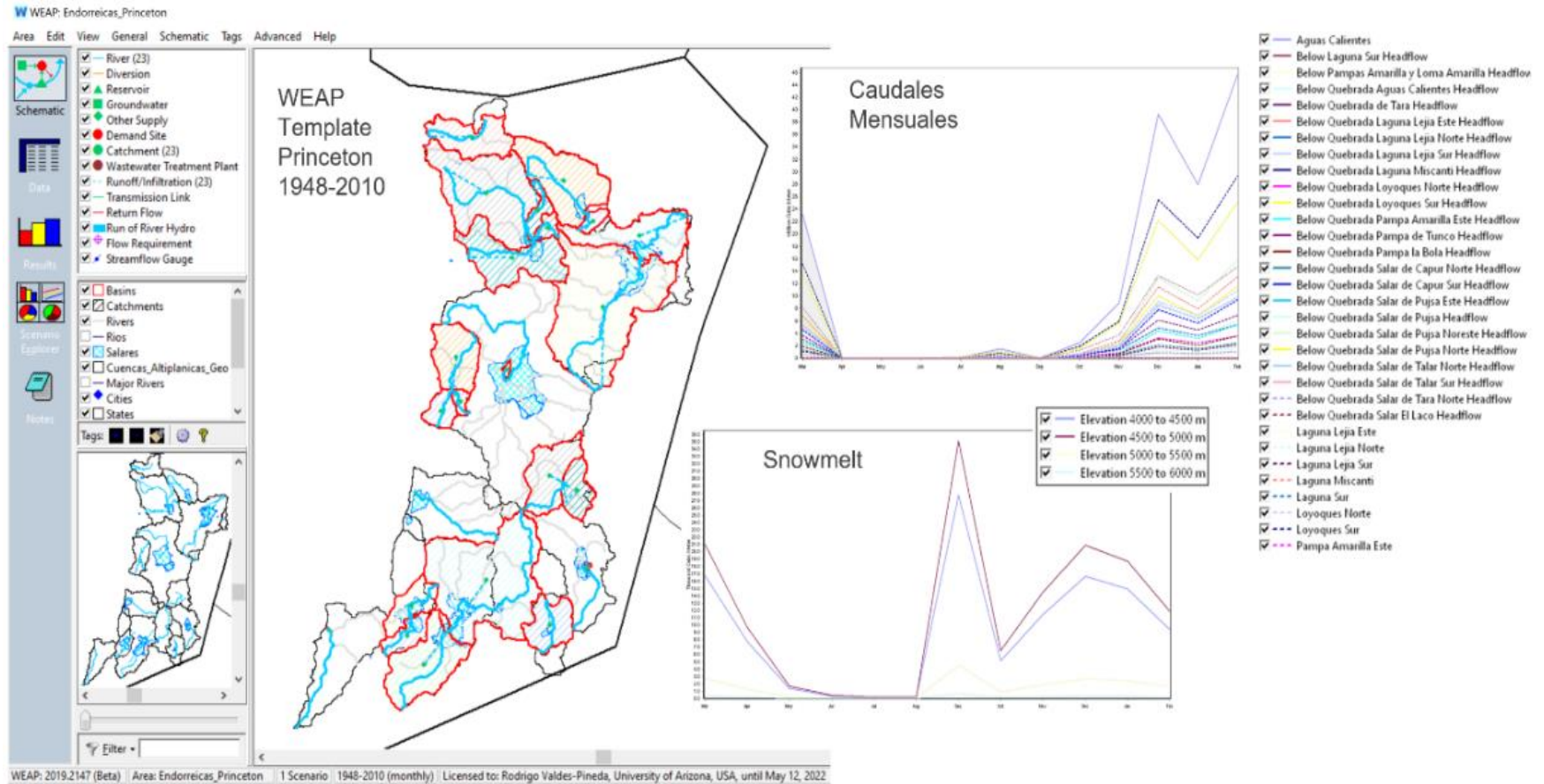
[? Help](#) Close

Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-11 Horizonte de simulación y paso de tiempo seleccionado para la implementación del modelo WEAP en Cuencas Endorreicas.

1.1.5.3 Módulo de Delineación Automática de Cuencas WEAP

WEAP fue utilizado para delinear automáticamente las cuencas endorreicas y ríos, utilizando datos digitales de elevación de Hydrosheds que vienen incorporados en el modelo. El módulo de Delineación Automática de Cuencas WEAP permite calcular el área de la cobertura de vegetación desglosada por banda de elevación. Asimismo, es posible descargar datos climáticos históricos para cada cuenca, por banda de elevación (ver Figura 1-12 y Tabla 1-3).



Fuente: Elaboración propia.

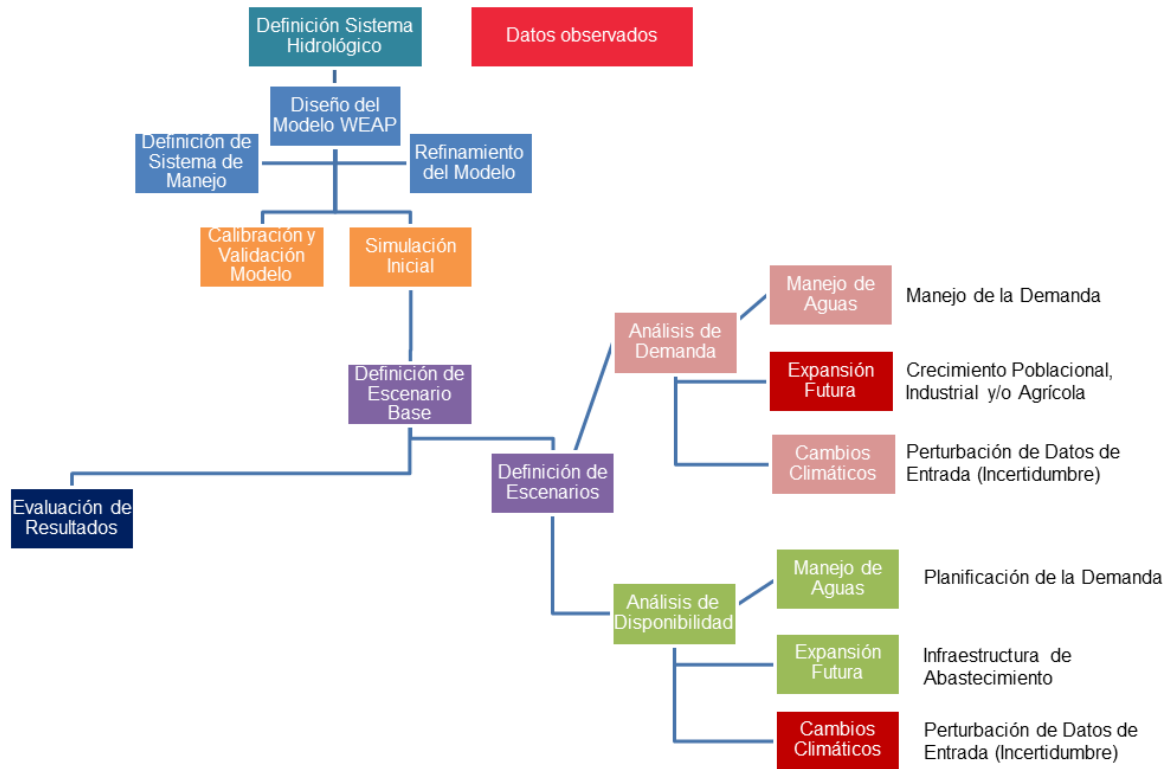
Figura 1-12 Simulación (1948-2010) de prueba con modelo hidrológico WEAP para las cuencas endorreicas.

Tabla 1-3 Datos utilizados en el módulo de “Delineación Automática de Cuencas” WEAP

Tipo	Variable	Nombre	Resolución Temporal	Resolución Espacial	Periodo de Registro	Fuente
Grillado	Precipitación, Temperatura, Velocidad del Viento	Princeton	Diaria	90 metros	1948-2010	Princeton University
Grillado	Modelo Digital de Elevación	Hydrosheds	Diaria	25 kilómetros	1979-2020	USGS
Grillado	Uso de Suelo	ESA-CCI-LC	N/A	300 metros	1992-2015	ESA-CCI-LC versión 2.0.7

Fuente: Elaboración propia.

Las actividades necesarias para la desarrollar una simulación WEAP en la cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama se establecen como una serie de actividades que consideran la definición del sistema hidrológico, el diseño del modelo WEAP, la calibración y validación del modelo, y la definición de escenarios base asociados a cambios en la demanda y/o la disponibilidad de agua (Figura 1-13). Todas estas actividades fueron ejecutadas tomando en consideración las recomendaciones del equipo de proyecto, así como las recomendaciones del IF.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-13: Principales pasos considerados para la implementación del modelo WEAP en las cuencas Endorreicas.

1.1.6 Construcción Inicial de Template WEAP

El primer diseño del modelo denominado “WEAP-Princeton” para el área de estudio fue construido mediante el módulo de “Delineación Automática de Cuencas” de WEAP. La simulación inicial (1948-2010) desarrollada con el modelo WEAP permitió definir la calidad de aproximación del modelo hidrológico conceptual. Asimismo, ha sido posible definir una línea base para la calibración de las simulaciones de los procesos hidrológicos. El modelo WEAP-Endorreicas-Princeton fue utilizado como estructura inicial para construir la versión “WEAP-Endorreicas-Full” en donde se agregaron todos los nodos de simulación de los procesos hidrológicos no considerados en la versión inicial, se cambió la climatología desde Princeton a Cr2met y se cambió el uso de suelo desde ESA-CCI-LC a LULC (Zhao et al., 2016).

La simulación inicial presentó resultados razonables que simulan de manera realista la estacionalidad de la escorrentía superficial y del balance de aguas en la cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama. Por ejemplo, la escorrentía superficial se activa durante los meses de mayor acumulación de lluvias (octubre o noviembre durante el

comienzo del Invierno Altiplánico) y puede continuar hasta el marzo o abril del año siguiente. Esto implica la presencia de un periodo de secamiento que ocurre principalmente entre los meses de mayo a septiembre, pero que podría reactivarse debido a la presencia de tormentas de invierno que son de menor frecuencia.

1.2 Construcción de Modelo de Simulación Hidrológica WEAP

1.2.1 Climatología del Área de Estudio

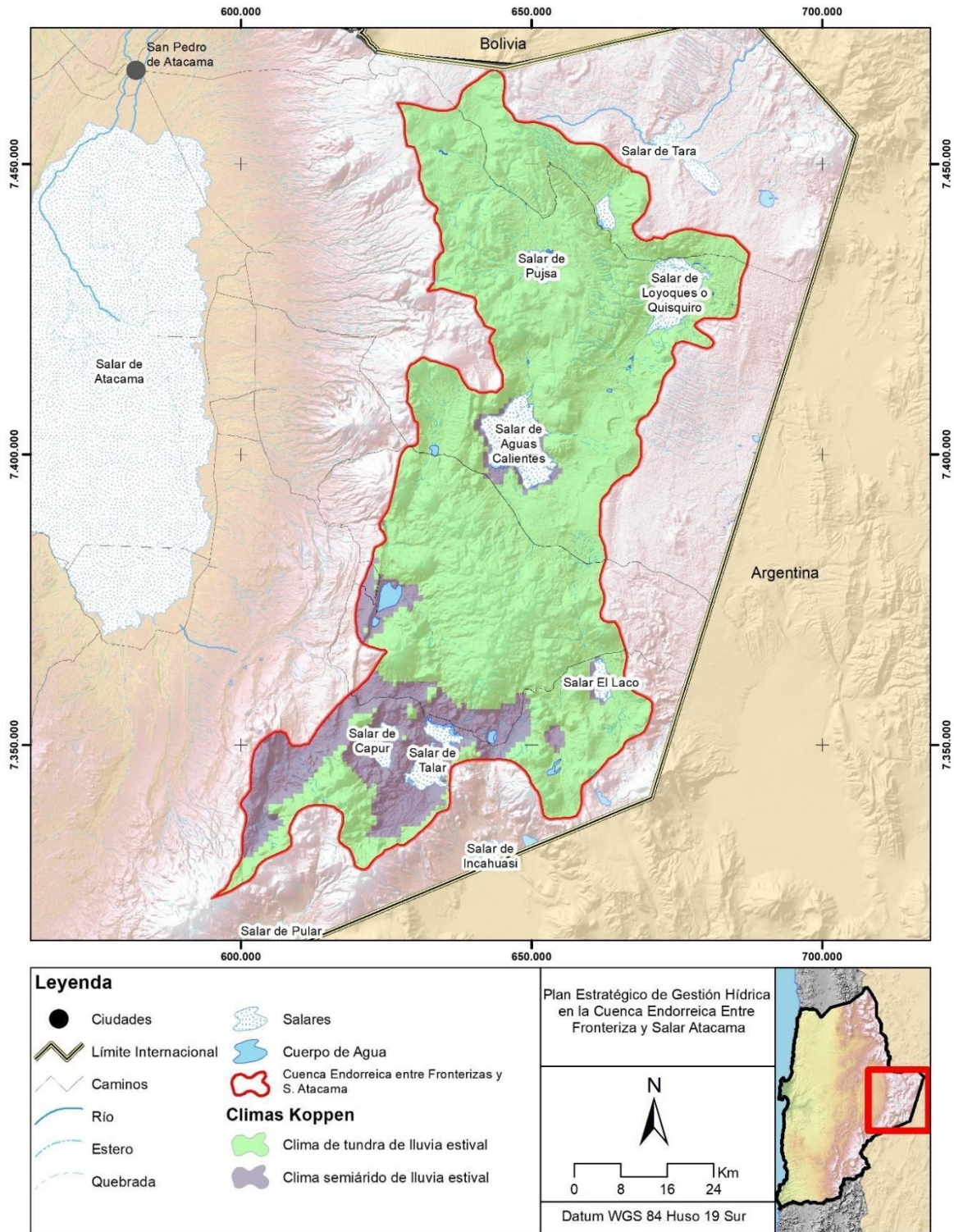
Este acápite describe, desde distintas fuentes, el clima presente en la zona de estudio.

En primer lugar, se tiene la división de zonas climáticas propuesta por Köppen-Geiger, y descrita para todo Chile por la Pontificia Universidad Católica de Chile en 2016. En la cuenca, se tiene la presencia de 2 clases de climas: Tundra de lluvia estival (ET (w)) y Semiárido de lluvia estival (BSk (w)), ambas zonas identificadas en la Figura 1-14.

La clase de clima de Tundra con lluvias estivales describe una temperatura media en los meses más cálidos entre 0 y 10°C, con una media anual de tan sólo 4°C. La precipitación estaría en torno a 120 mm anuales.

La clase de clima semiárido de lluvia estival se presenta en sectores acotados en la cuenca, con una precipitación media de 65 mm anuales y una temperatura media anual de 8,5 °C.

Por otro lado, en DICTUC (2008), se menciona que el clima de la cuenca es del **tipo tundra por efecto de altura con precipitaciones estivales**, caracterizado por bajas temperaturas y humedad relativa, aire muy seco y de baja densidad, relativo al aire a nivel del mar. La oscilación térmica diaria es importante debido a la baja capacidad del aire seco de retener calor.



Fuente: Elaboración propia en base a mapa "Zonas Climáticas de Chile según Köppen-Geiger, escala 1:1.500.000".

Figura 1-14. Climas presentes en la zona de estudio, según la clasificación de Köppen.

1.2.1.1 Eventos extremos y variabilidad climática

Este acápite pretende describir el comportamiento de las variables hidroclimatológicas en base a la información disponible, además de definir la presencia y magnitud de los eventos extremos, asociados principalmente al invierno altiplánico.

Con respecto a la información meteorológica in-situ disponible, se cuenta con 1 estación meteorológica DGA dentro de la cuenca en estudio, Paso Sico, con 3 años de data y a una altitud de 4.295 m.s.n.m. Su ubicación se presenta en la Figura 1-2. Existen otras estaciones fuera de la cuenca, pero a similares latitudes, como lo son Camar, Socaire y Talabre, entre otras, todas ubicadas bajo los 3.600 m.s.n.m.

Además, con motivo de la realización del estudio del DICTUC (2008), se establecieron y monitorearon 4 estaciones en la zona de estudio, presentando información entre los meses de octubre de 2007 y febrero de 2009. Finalmente, en DICTUC (2008) se analizaron 6 estaciones de particular, en especial GeoAguas, asociadas al proyecto Pampa Colorada. Estas estaciones tendrían no más de 2 años de data, registrada entre 2005 y 2006.

Dado la falta de información descrita anteriormente, lo que sigue se desarrolla en base a DGA (2018) y los productos grillados asociados al balance hídrico para el período histórico (1985-2015), basado en el producto grillado CR2MET.

1.2.1.2 Variabilidad intra-anual

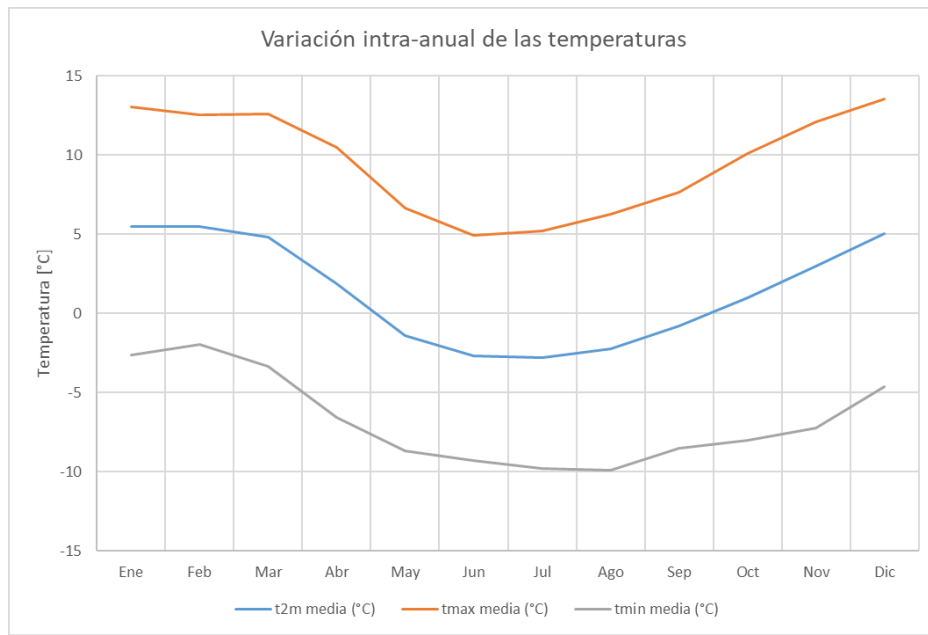
La cuenca presenta una precipitación media de 46,5 mm anuales, con una variabilidad intra-anual representada por la Figura 1-15. Se aprecia que la precipitación es significativamente mayor en los meses estivales (dic-mar), fenómeno explicado por el invierno altiplánico.

Por otro lado, las temperaturas medias mensuales (Figura 1-16) siguen el comportamiento normal para la latitud, con las mínimas presentes en los meses de invierno (may-jul) y las máximas en los meses de verano. La relación entre las 3 temperaturas (temperatura máxima diaria, temperatura mínima diaria y temperatura media a 2 m sobre el suelo) se mantiene constante a lo largo del año, con una amplitud media cercana a los 16 °C.



Fuente: Elaboración propia en base a Actualización del Balance Hídrico Nacional Macrozonas Norte y Centro DGA (2018).

Figura 1-15. Variabilidad intra-anual de la precipitación media mensual en la cuenca.



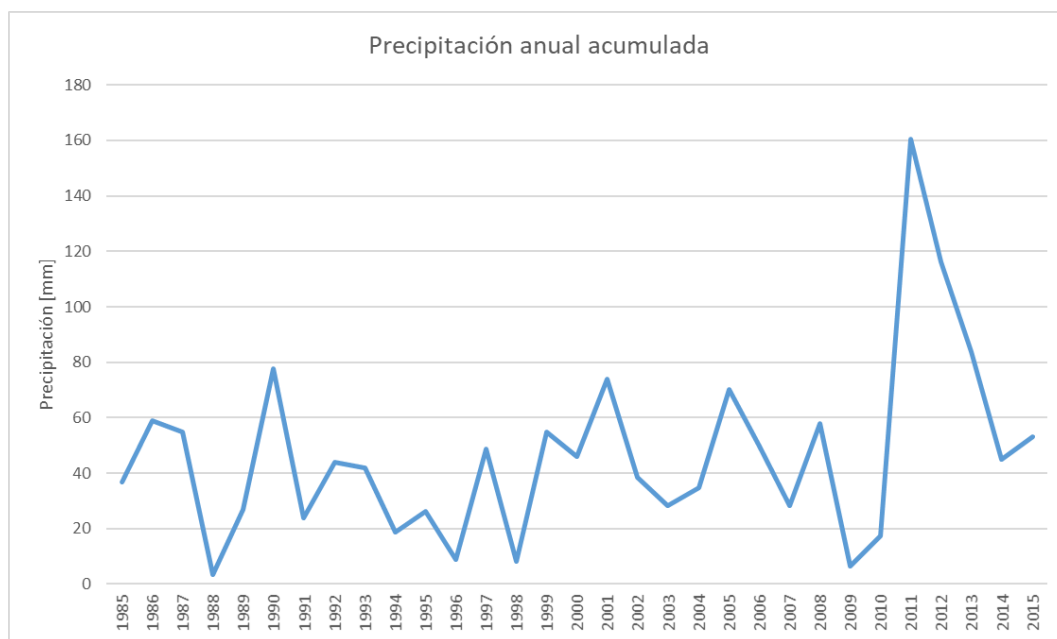
Fuente: Elaboración propia en base a Actualización del Balance Hídrico Nacional Macrozonas Norte y Centro DGA (2018). t2m: temperatura a 2 metros del suelo; tmax: temperatura máxima; tmin: temperatura mínima.

Figura 1-16. Variabilidad intra-anual de las temperaturas medias mensuales en la cuenca.

1.2.1.3 Variabilidad inter-anual

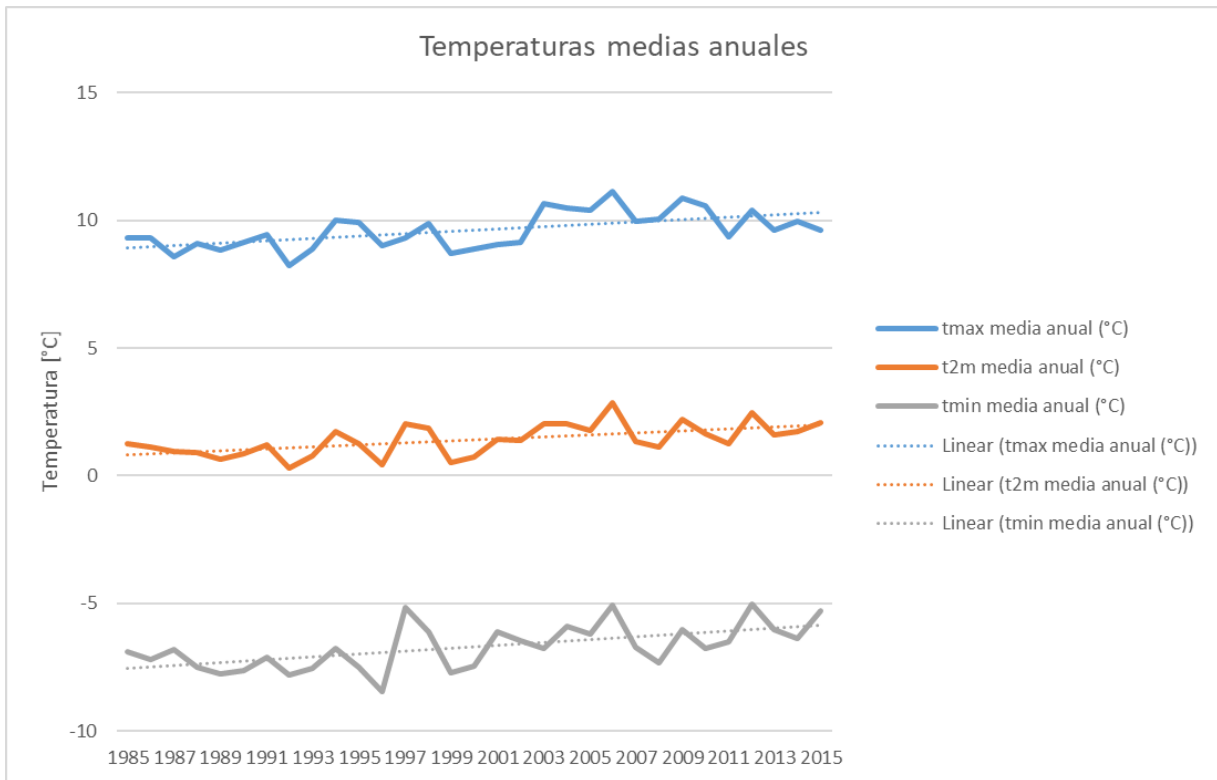
Con respecto a la variabilidad inter-anual de la precipitación, no se observan tendencias relevantes en el período de análisis. Destaca el año 2011, donde se registraron 160 mm caídos, justo después de 2 años particularmente secos.

La variabilidad inter-anual de las temperaturas sí evidencia un aumento sostenido a lo largo del período de análisis.



Fuente: Elaboración propia en base a Actualización del Balance Hídrico Nacional Macrozonas Norte y Centro DGA (2018).

Figura 1-17. Variabilidad inter-anual de la precipitación en la cuenca.



Fuente: Elaboración propia en base a Actualización del Balance Hídrico Nacional Macrozonas Norte y Centro DGA (2018).

Figura 1-18. Variabilidad inter-anual de las temperaturas en la cuenca.

1.2.1.4 Eventos extremos

Dado que el análisis se hace sobre información a nivel mensual, no es posible caracterizar eventos extremos de corta duración, tales como tormentas particulares u olas de calor. Por lo tanto, en lo que sigue se destacan aquellos meses en los que se presentaron fenómenos que resultan en que el valor medio mensual se aleje significativamente de la media total.

En la Tabla 1-4 se presenta la serie completa de las precipitaciones medias mensuales. La escala de color representa la relación de la celda con respecto a los demás valores. Como se adelantaba, las mayores precipitaciones se encuentran en los meses estivales y en febrero de 2011 se presentó la mayor precipitación de la serie, con 87,8 mm caídos, seguido de febrero de 2012 con 70 mm.

Tabla 1-4. Serie completa de precipitaciones medias mensuales.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1985	3,5	25,9	1,1	0,1	0,1	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4	1,0
1986	18,9	3,9	4,1	0,0	0,0	1,5	0,0	0,5	0,0	0,0	2,6	27,5
1987	20,5	11,8	11,0	0,0	4,8	0,0	2,1	0,1	4,4	0,0	0,0	0,0
1988	0,5	0,0	2,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1989	2,4	14,8	0,0	4,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1	0,4
1990	20,4	6,7	2,1	0,0	2,1	0,4	0,4	0,0	0,1	0,0	0,1	45,2
1991	12,7	3,9	3,0	0,8	0,0	1,6	0,4	0,3	0,0	0,1	0,6	0,2
1992	25,2	3,8	0,0	1,8	5,1	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	6,0
1993	32,3	0,8	0,0	0,0	1,1	0,0	0,1	7,4	0,0	0,0	0,0	0,1
1994	3,3	0,0	2,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,5	0,6	0,0	0,0	11,9
1995	20,2	0,0	2,4	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	1,0	0,0
1996	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	4,1	0,0	0,0	0,4	4,2
1997	10,1	33,2	3,4	0,1	0,3	0,4	0,0	0,4	0,8	0,0	0,0	0,0
1998	2,0	1,6	0,0	1,8	0,0	1,5	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,8
1999	0,5	29,2	19,9	0,0	0,9	0,2	0,7	0,0	0,0	0,6	0,0	2,6
2000	42,1	0,3	1,1	0,1	1,2	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8
2001	19,0	34,4	16,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,1	0,0	3,2
2002	0,0	6,1	22,0	0,0	3,1	0,7	4,7	0,1	0,0	1,2	0,3	0,1
2003	4,7	0,3	13,9	0,0	5,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	3,7
2004	6,0	24,9	0,5	0,0	0,0	0,0	0,3	2,7	0,0	0,0	0,0	0,2
2005	31,8	23,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	13,1	0,0	0,0	1,4
2006	30,6	11,3	5,6	0,7	0,0	0,8	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,1

Tabla 1-4. Serie completa de precipitaciones medias mensuales.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2007	10,3	14,1	0,7	0,0	0,2	2,3	0,2	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0
2008	52,8	2,8	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	2,0
2009	0,3	3,4	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
2010	1,4	9,6	0,0	0,7	5,3	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
2011	30,4	87,8	10,9	1,8	0,2	3,9	11,9	0,0	0,0	0,0	0,0	13,5
2012	16,4	70,0	13,5	2,9	0,0	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	10,1
2013	38,6	30,8	0,0	0,0	6,1	0,3	1,4	4,1	0,2	0,0	0,0	2,0
2014	24,2	13,1	0,0	1,0	4,9	0,0	0,2	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0
2015	14,7	16,5	17,8	0,8	0,8	0,0	0,5	0,8	0,0	1,1	0,1	0,0

Fuente: Elaboración propia en base a DGA (2018).

Con respecto a las temperaturas, se menciona que la media mensual a 2 metros máxima se registra en enero de 1998, con 9,3 °C, mientras que la mínima se presenta en agosto de 1992, con -4,6 °C.

La temperatura máxima media mensual máxima se presenta coincidentemente en enero de 1998, con 16,9 °C, mientras que la mínima se presenta en julio de 2011, con 2,3 °C.

La temperatura mínima media mensual máxima se presenta coincidentemente en febrero de 2010 y 2012, con 0,4 °C, mientras que la mínima se presenta en agosto de 1992, con -12,9 °C.

1.2.1.5 Escenarios de cambio climático

El escenario de cambio climático a estudiar es el RCP 8,5 (Representative Concentration Pathway), asociado a una forzante radiativa sobre la atmósfera igual a 8,5 W/m². Este escenario fue definido y utilizado en el quinto *Assessment Report* del IPCC en 2014. De entre los escenarios propuestos para la evaluación, este es el más pesimista, en donde la actividad humana, y por lo tanto el incremento de la concentración de gases de efecto invernadero, sigue en el tiempo con las tasas actuales y hacia un futuro próximo (2100), sin adopción de medidas de captura o reducción de las emisiones.

Para este y los otros escenarios, se han desarrollado diversas modelaciones climáticas que pretenden, a diferentes escalas espaciales y temporales, definir el comportamiento de la atmósfera y el clima en el futuro, y en particular las variables hidrometeorológicas.

A nivel local, la Dirección General de Aguas realizó la actualización del Balance Hídrico Nacional (entre 2017 y 2020), considerando distintos modelos de circulación general (GCM) para incorporar los efectos del cambio climático. En estos estudios se generaron series pasadas y futuras de variables hidrometeorológicas para un período futuro (2030-2060) basadas en modelos de circulación general escalados al territorio nacional. Se escalaron 4 GCM en todo el territorio y se presentaron productos grillados con información entre los años 1979 y 2060.

Cabe destacar que, en el mencionado estudio, además del escalamiento de los GCM, se realizó una modelación VIC, de la cual se obtuvieron algunas componentes del balance hídrico como la evapotranspiración y la escorrentía superficial. Esta información será utilizada a modo referencial en el desarrollo del presente estudio.

Las variables contenidas en el producto grillado utilizado presentan una resolución espacial de 5 km y una resolución temporal mensual.

En cuanto a la situación en la cuenca, en el Anexo F de DGA (2018), se presentan tablas resumen de los principales flujos del balance hídrico, adaptados para el presente estudio en la Tabla 1-5.

Tabla 1-1 Precipitación para distintos períodos, y modelos de circulación general.

Modelo	Precipitación (mm)				
	85-15	30-40	40-50	50-60	30-60
CSIRO	45,1	22,6	30,0	28,5	27,0
CCSM	45,0	41,6	48,8	54,9	48,4
MIROC	43,1	47,8	43,2	33,8	41,6
IPSL	44,1	43,7	40,4	53,9	46,0

Fuente: Adaptado de DGA (2018).

Tabla 1-2 Escorrentía para distintos períodos, y modelos de circulación general.

Modelo	Escorrentía (Régimen Natural, VIC) (mm)				
	85-15	30-40	40-50	50-60	30-60
CSIRO	1,6	0,8	0,8	0,8	0,8
CCSM	1,3	1,1	1,0	1,3	1,1
MIROC	1,4	1,2	1,2	0,8	1,0
IPSL	1,3	1,1	1,1	1,4	1,2

Fuente: Adaptado de DGA (2018).

Tabla 1-3 Evapotranspiración para distintos períodos, y modelos de circulación general.

Modelo	Evapotranspiración (Régimen Natural, VIC) (mm)				
	85-15	30-40	40-50	50-60	30-60
CSIRO	43,9	22,1	29,4	27,8	26,4
CCSM	44,2	40,8	47,9	53,6	47,4
MIROC	42,4	46,7	42,4	33,2	40,8
IPSL	43,3	42,8	39,6	52,9	45,1

Fuente: Adaptado de DGA (2018).

En la Tabla 1-5 se aprecian distintos comportamientos. En primer lugar y el más relevante para los usos que se les darán a estos productos en el presente trabajo, el modelo CSIRO adelanta una disminución importante en las precipitaciones medias anuales en la zona

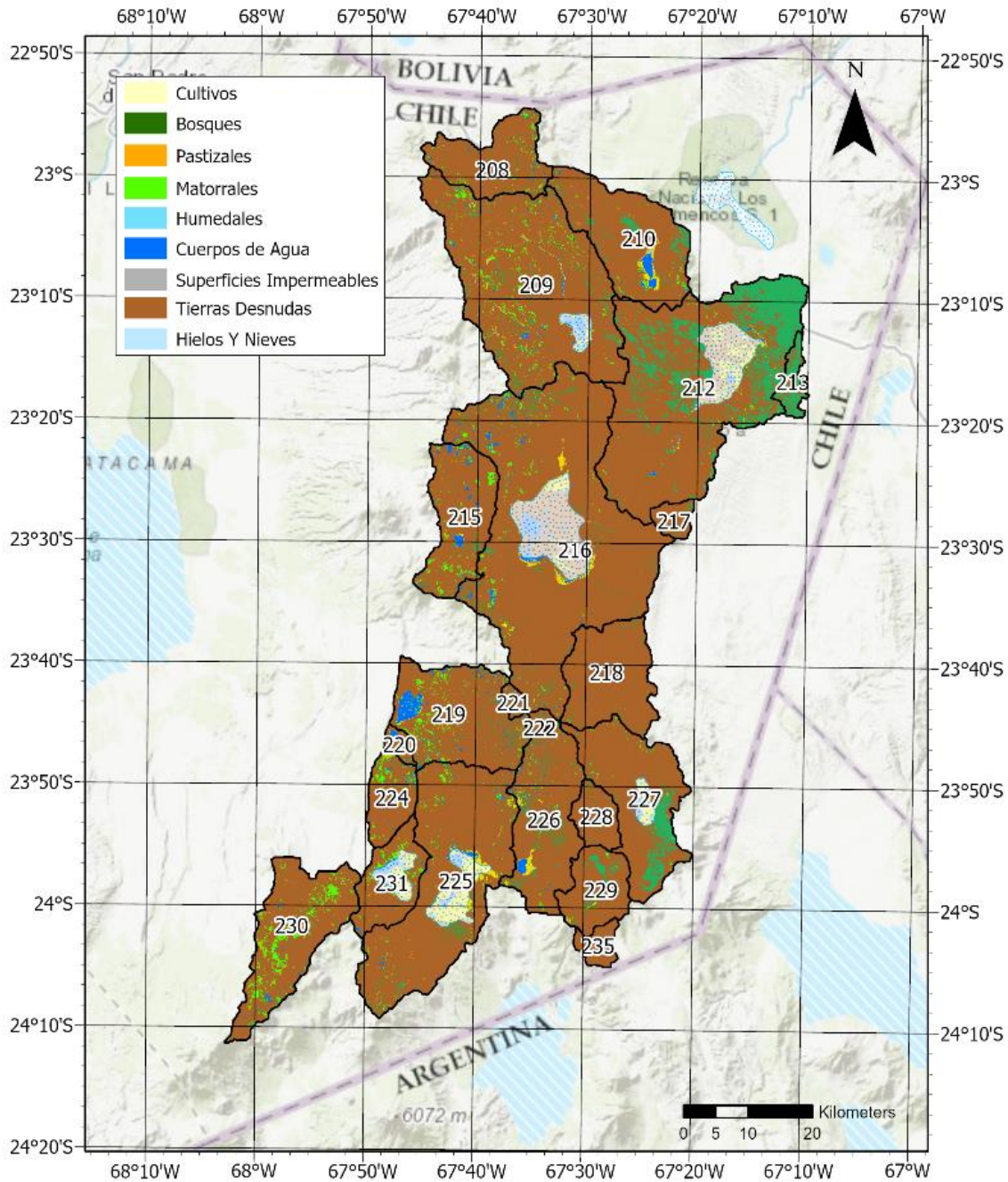
de estudio, de en torno a un 40% entre el período histórico (1985-2015) y el período futuro (2030-2060). Este modelo difiere de sus semejantes, en donde la variabilidad no pasa de $\pm 7,5\%$, aun cuando la misma precipitación para el período histórico se presenta en torno a 44 mm anuales.

Los otros dos flujos hidrológicos presentados en la tabla presentan un comportamiento acorde a la precipitación y sus anomalías ya descritas, toda vez que son salidas de un modelo que fue forzado con dicha variable.

1.2.2 Uso de Suelo y Evapotranspiración

Las cuencas Endorreicas poseen un área de aproximadamente 5235 km². Un total de 22 unidades hidrológicas fueron identificadas para la modelación WEAP.

La cobertura y uso de suelo establecida por Zhao et al. (2016) fue utilizada para representar la variabilidad espacial de la evapotranspiración y de la recarga dentro de cada zona localizada en las Cuencas Endorreicas. El producto grillado se encuentra disponible en alta resolución espacial (~ 30 metros) y es considerado una alternativa más confiable para Chile en comparación con el producto grillado ESA-CCI-LC de 300 metros, perteneciente a la agencia espacial europea. La cobertura de suelo dominante en la cuenca son las tierras desnudas (83.8%) con suelos rocosos mezclados con gravas (ver Figura 1-19).



Fuente: Elaboración Propia en base a Zhao et al. (2016).

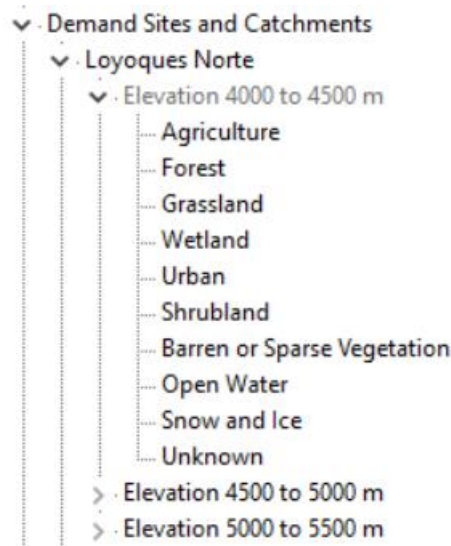
Figura 1-19: Cobertura y uso de suelo del producto grillado LCLU de Zhao et al. (2016) utilizado en la modelación WEAP de las Cuencas Endorreicas.

1.2.3 Unidades Hidrológicas/Catchments

Las unidades hidrológicas definidas en el modelo corresponden a la delimitación de cuencas del DARH. Se adoptó esta delimitación por representar de mejor forma las condiciones reales de la zona al incorporar información de modelos digitales de elevación y análisis en

terreno de la red de drenaje y la topografía, en comparación a la delimitación de cuencas del BNA.

A cada una de estas cuencas se le asignó un elemento "Catchment" con bandas de elevación cada 500 metros, que permiten definir distintos usos de suelo y por lo tanto diferentes parámetros asociados. El árbol de elementos tipo para cada *catchment* se muestra en la Figura 1-20, que muestra la vista original en WEAP. Las cuencas definidas se muestran en la Tabla 1-6.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-20. Captura de pantalla de definición tipo para elemento *Catchment*.

Tabla 1-6. Cuencas definidas en el modelo.

Loyoques Norte	Loyoques Sur	Salar de Tara	Salar de Pujsa
Salar de Pujsa Norte	Salar de Pujsa Noreste	Salar de Pujsa Este	Aguas Calientes
Laguna Lejía Norte	Laguna Lejía Sur	Laguna Lejía Este	Salar El Laco
Laguna Sur	Salar de Tara Sur	Laguna Tuyajto	Salar de Capur Norte
Salar de Capur Sur	Laguna Miscanti	Pampas Amarilla y Loma Amarilla	Pampa Amarilla Este
Pampa de Tunco	Pampa La Bola	Salar de Aguas Calientes 1	

Fuente: Elaboración propia.

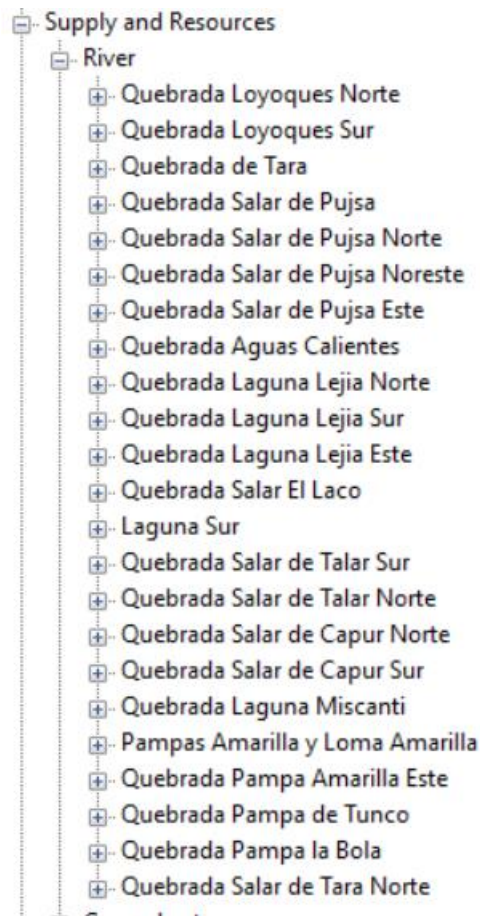
A cada una de las bandas de elevación, se le asignó una distribución de uso de suelo, asociada a los coeficientes de cultivo *kc* específicos, proveniente de los *key assumptions* en

WEAP. Los datos climáticos que se le asignó a cada *catchment* corresponden al producto CR2Met con sus correcciones respectivas.

El método de solución considerado para los nodos de cuenca es el de precipitación-escorrentía (*Rainfall Runoff*).

1.2.4 Ríos/Rivers

Se definieron los principales brazos de ríos esporádicos que aportan a cada laguna salar. Cada río tiene en su nacimiento la conexión con la cuenca aportante. A cada uno de estos ríos se les definió, cuando correspondía, tramos o “reaches” que representan una subdivisión de los ríos en su recorrido hasta su desembocadura en algún cuerpo salar o acuífero.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-21. Captura de pantalla de definición tipo para elemento *river*.

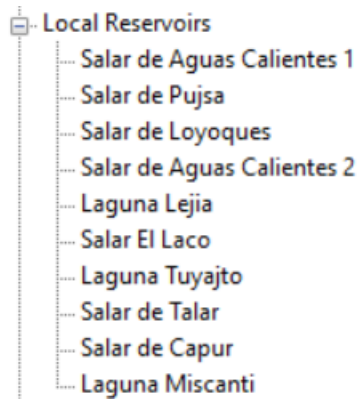
Tabla 1-4. Elementos "river" definidos en el modelo.

Quebrada Loyoques Norte	Quebrada Loyoques Sur	Quebrada de Tara
Quebrada Salar de Pujsa	Quebrada Salar de Pujsa Norte	Quebrada Salar de Pujsa Noreste
Quebrada Salar de Pujsa Este	Quebrada Aguas Calientes	Quebrada Laguna Lejía Norte
Quebrada Laguna Lejía Sur	Quebrada Laguna Lejía Este	Quebrada Salar el Laco
Laguna Sur	Quebrada Salar de Talar Norte	Quebrada Salar de Talar Sur
Quebrada Salar de Capur Norte	Quebrada Salar de Capur Sur	Quebrada Laguna Miscanti
Pampas Amarilla y Loma Amarilla	Quebrada Pampa Amarilla Este	Quebrada Pampa de Tunco
Quebrada Pampa La Bola	Quebrada Salar de Tara Norte	

Fuente: Elaboración propia.

1.2.5 Cuerpos lagunares

Los cuerpos lagunares fueron definidos utilizando reservorios con dos nodos de demanda que representan la evaporación y la infiltración de vuelta al acuífero respectivo por un lado, y la recarga desde tramos superiores en los ríos definidos por nodos de retiro. Estos nodos llevan el nombre "Discharge *Salar correspondiente*". Los reservorios por su parte reciben agua desde nodos de retiro desde los cauces y desde el acuífero. Se definieron 3 categorías de descarga, cada una de las cuales representa una serie anual de la evaporación distinta en su magnitud, no así en su distribución.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-22 Captura de pantalla de definición tipo para elemento Local Reservoir.

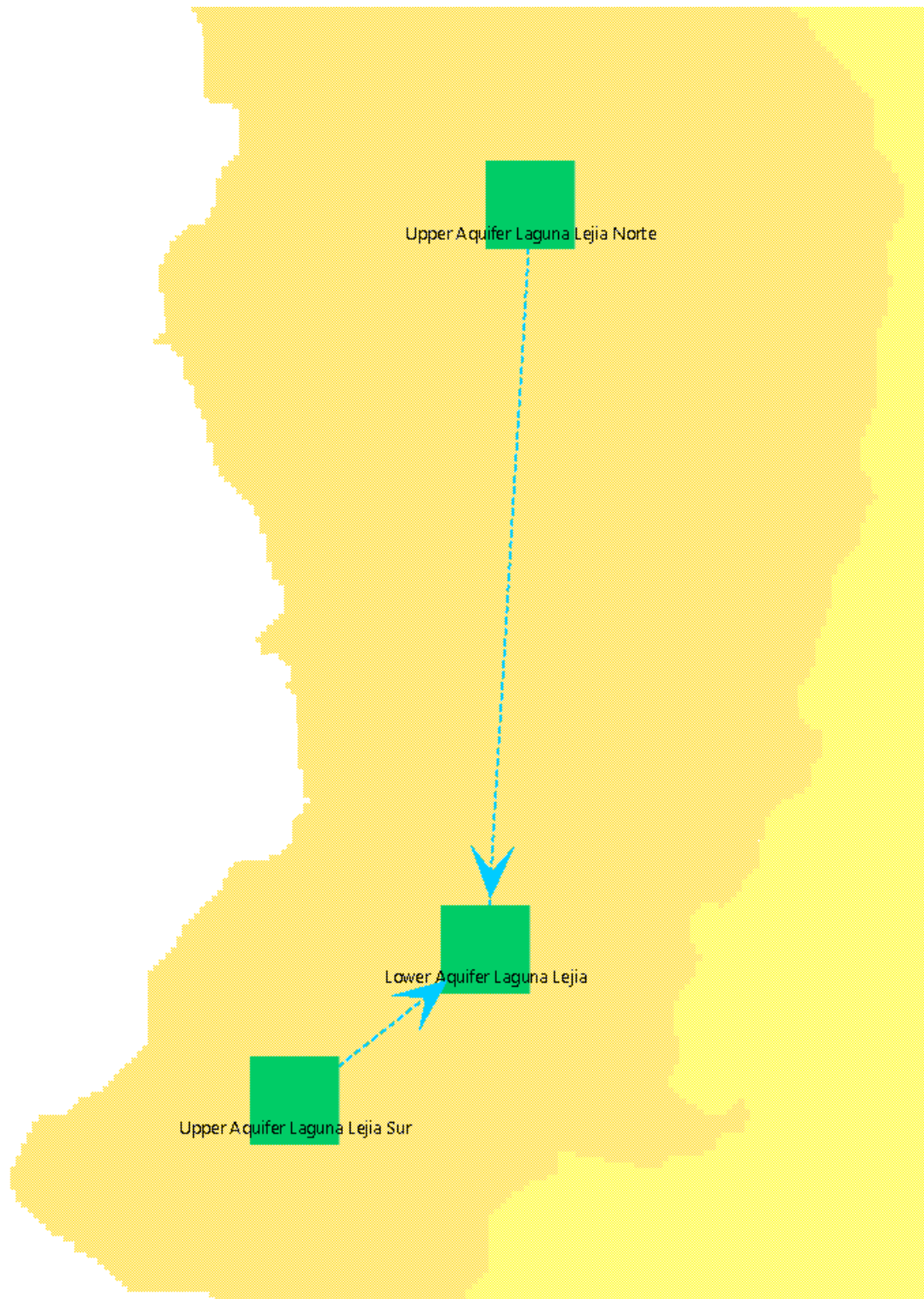
Tabla 1-5. Cuerpos salares definidos como "reservoir" en el modelo.

Salar de Aguas Calientes 1	Salar de Aguas Calientes 2
Salar de Pujsa	Salar de Loyoques
Laguna Lejía	Salar El Laco
Laguna Tuyajto	Salar de Talar
Salar de Capur	Laguna Miscanti

Fuente: Elaboración propia.

1.2.6 Agua Subterránea/Groundwater

Se definieron cajas acuíferas para distintas zonas en cada cuenca. Uno o más acuíferos denominados "Upper" que representan los acuíferos distintos a los acuíferos de las lagunas salares y otros denominados "Lower" que representan los acuíferos en las zonas de las lagunas. La Figura 1-23 muestra esta representación.



Fuente: Elaboración propia.

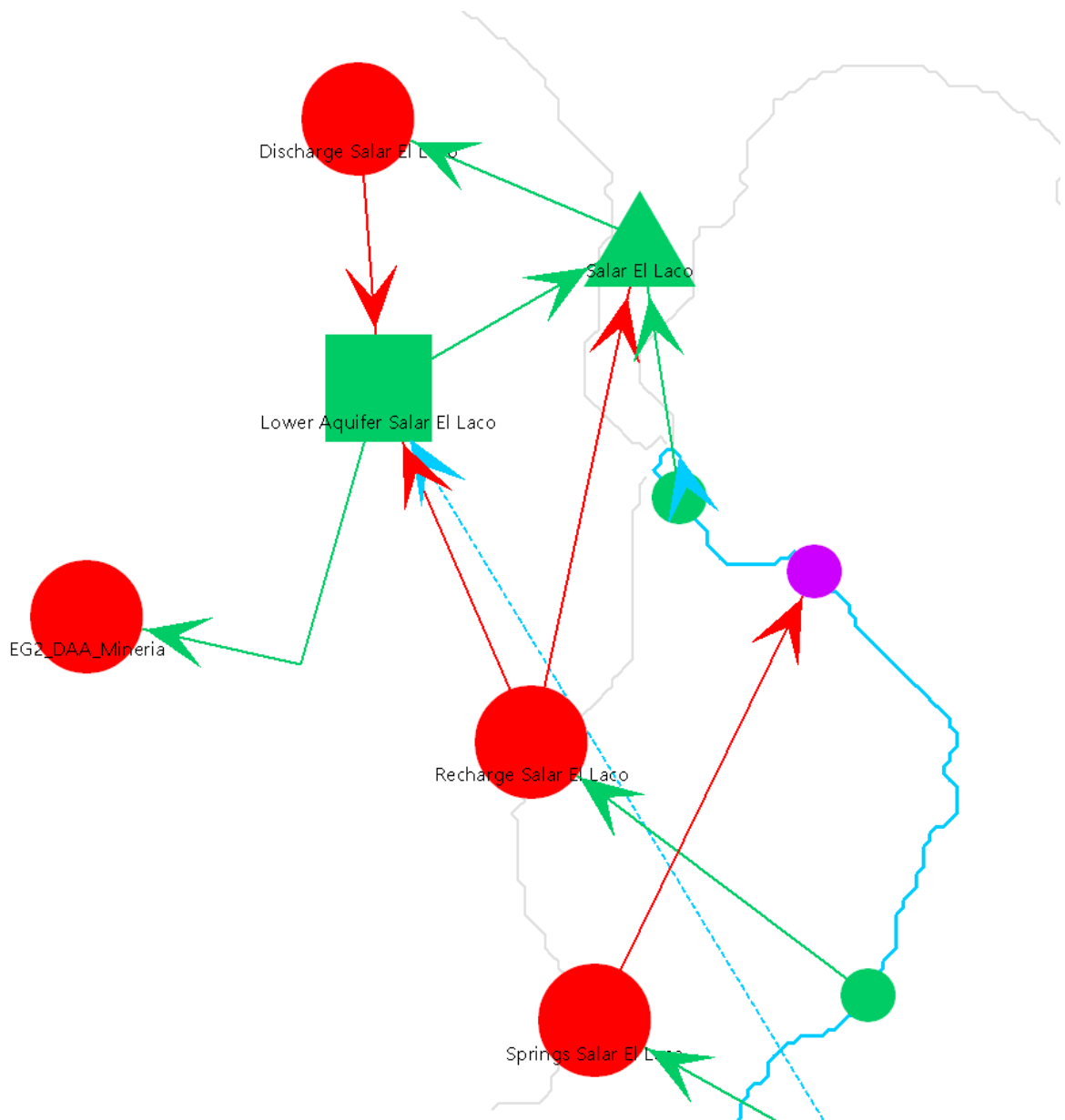
Figura 1-23. Uso de elementos *Groundwater* en el modelo.

1.2.7 Nodos de Demanda/Demand Sites

Además de los nodos de demanda utilizados para la modelación de la evaporación desde las lagunas salares, se definieron nodos de demanda para los afloramientos ("Spring"), para la evaporación desde los acuíferos y la recarga proveniente de partes altas de cada río.

Además, se usaron nodos de demanda para la definición de los escenarios de gestión que se definieron en el estudio: la activación de los derechos concedidos en la zona suroriente de la cuenca y nodos de demanda asociadas al consumo de agua de las comunidades al poniente de la cuenca, para evaluar disponibilidad futura.

En la Figura 1-24 se presenta la distribución tipo de los elementos WEAP en el modelo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-24. Distribución del uso de nodos de demanda en el modelo.

1.3 Calibración

El proceso de calibración ha considerado la parametrización clásica WEAP basada en la perturbación de los parámetros que definen la estructura general del modelo. Para este propósito, se desarrollaron dos esquemas principales de calibración de parámetros que consideran procedimientos de calibración manual y calibración automática. Detalles de la calibración del modelo WEAP-Endorreicas se presentan en las siguientes secciones.

1.3.1 Datos Observados para Calibración

Para el proceso de calibración se utilizaron tres grupos de datos observados o datos de referencia:

- 1) **Escorrentía superficial:** obtenidas desde las simulaciones del modelo simplificado WEAP-Endorreicas-Princeton.
- 2) **Datos observados instantáneos de los afloramientos:** obtenidos desde estudios previos desarrollados en las Cuencas Endorreicas.
- 3) **Datos Satelitales:** utilizados para caracterizar las lagunas existentes en los sistemas salares de las Cuencas Endorreicas.

Cada conjunto de datos observados (ver detalles en Tabla 1-7) fue utilizado para desarrollar calibraciones manuales y automáticas en el ambiente WEAP.

Tabla 1-7 Resumen de los datos observados disponibles para la calibración del Modelo WEAP Endorreicas.

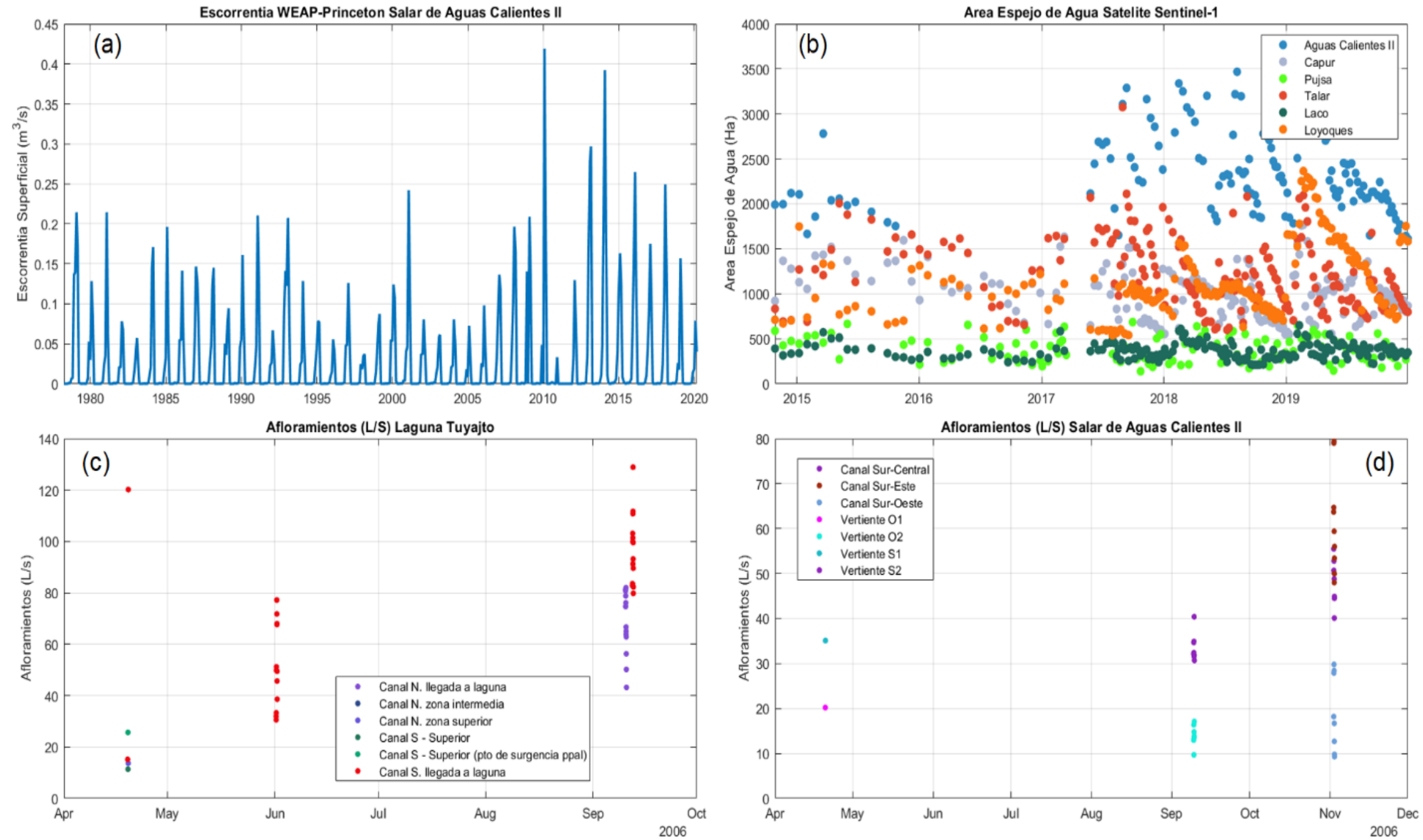
Fuente	Tipo de Flujo	Fuente	Periodo de Registro	Resolución Temporal	Resolución Espacial	Cuenca / Area
Escorrentía Superficial	Escorrentía simulada	Modelo Simplificado WEAP-Princeton	1979-2020	Diaria	Puntual	Endorreicas
Vertientes o Afloramientos	Caudal instantáneo	WMC (2006)	04/2006-11/2006	Instantáneo	Puntual	Salar El Laco, Laguna Tuyajto
Lagunas	Área instantánea	ESA, European Space Agency (2019)	2014-2019	Instantáneo	Área	Salares

Una descripción detallada de los datos de referencia y observados utilizados en la modelación WEAP-Endorreicas se presenta a continuación:

- i. **Datos Simulados de Escorrentía Modelo WEAP-Princeton.** La construcción del modelo simplificado WEAP-Princeton permitió el desarrollo de simulaciones iniciales de los flujos hidrológicos (1979-2020) para las cuencas Endorreicas (Figura 1-25 (a)). Dichas simulaciones fueron validadas por la inspección fiscal y fueron utilizadas como datos de referencia para llevar a cabo la construcción

de la versión final del modelo WEAP Endorreicas. El modelo simplificado fue construido utilizando la opción de delineación automática de cuencas y la climatología de la Universidad de Princeton ([Sheffield et al., 2006](#)). Ambas opciones se encuentran disponibles para implementar simulaciones como parte de la interfaz gráfica de WEAP.

- ii. **Espejo de Agua de las Lagunas localizadas en los Sistemas Salares.** El satélite Sentinel-1 de la agencia espacial europea ([ESA, 2019](#)) fue utilizado para caracterizar la distribución espacial y temporal del espejo de agua (hectáreas) en las lagunas existentes de los sistemas salares (Figura 1-25 (b)). El procesamiento digital del sensor fue llevado a cabo utilizando un script de Google Earth Engine, el cual permitió obtener las máscaras de agua para cada una de las Lagunas existentes en las cuencas Endorreicas. Datos adicionales de áreas de los espejos de agua de la Laguna Tuyajto y Aguas Calientes II (1985-2006) fueron obtenidos desde [WMC \(2006\)](#).
- iii. **Caudales de Afloramientos.** Mediciones instantáneas de caudales de afloramientos (L/S) en las cuencas de la Laguna Tuyajto y el Salar de Aguas Calientes II fueron obtenidas desde [WMC \(2006\)](#). Las mediciones fueron efectuadas entre abril y noviembre del año 2006. Estos datos observados (Figura 1-25 (c) y (d)) permitieron evaluar los rangos de variación de los afloramientos para desarrollar calibraciones realísticas de los parámetros del modelo WEAP utilizando los caudales de entrada hacia los sistemas salares.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-25 Datos de referencia y observados disponibles para las Cuencas Endorreicas. (a) Escorrentía superficial simulada desde el Modelo Simplificado WEAP-Princeton (1979-2020); (b) Áreas del espejo de agua de las lagunas existentes en los sistemas salares; (c)

1.3.2 Definición de Parámetros de Calibración

Todos los parámetros que componen la estructura de básica de WEAP fueron utilizados en el proceso de calibración del modelo WEAP-Endorreicas. Un total de nueve parámetros fueron asignados y calibrados de manera independiente para cada cuenca endorreica (D_w , F , K_c , K_d , K_s , RRF , Sw , Z_1 , Z_2). Cuatro parámetros fueron asignados y calibrados para cada cobertura de suelo (K_c , K_s , RRF , y Sw) dentro de las Cuencas Endorreicas. Adicionalmente, se implementaron parámetros auxiliares que permitieron mejorar la asimilación del modelo WEAP-Endorreicas. Primero, se implementó un factor de corrección de sesgo de las lluvias (Bias Correction Factor) que permite corregir problemas de escala propagados desde los errores del producto grillado Cr2Met. También se establecieron parámetros que permiten regular la respuesta de los siguientes flujos hidrológicos: (1) afloramientos, (2) recarga lateral y (3) directa, (4) evaporación desde acuíferos poco profundos, y (5) descargas desde las lagunas existentes en los sistemas salares, y (6) descargas de agua desde el sistema de Cuencas Endorreicas hacia el salar de atacama. Estos parámetros fueron utilizados para analizar la sensibilidad del modelo y calibrados manualmente utilizando tres niveles de respuesta hidrológica (Alta, Media y Baja). En la Tabla 1-8 se presenta un ejemplo de los sets de parámetros utilizados para durante el proceso de validación del modelo WEAP.

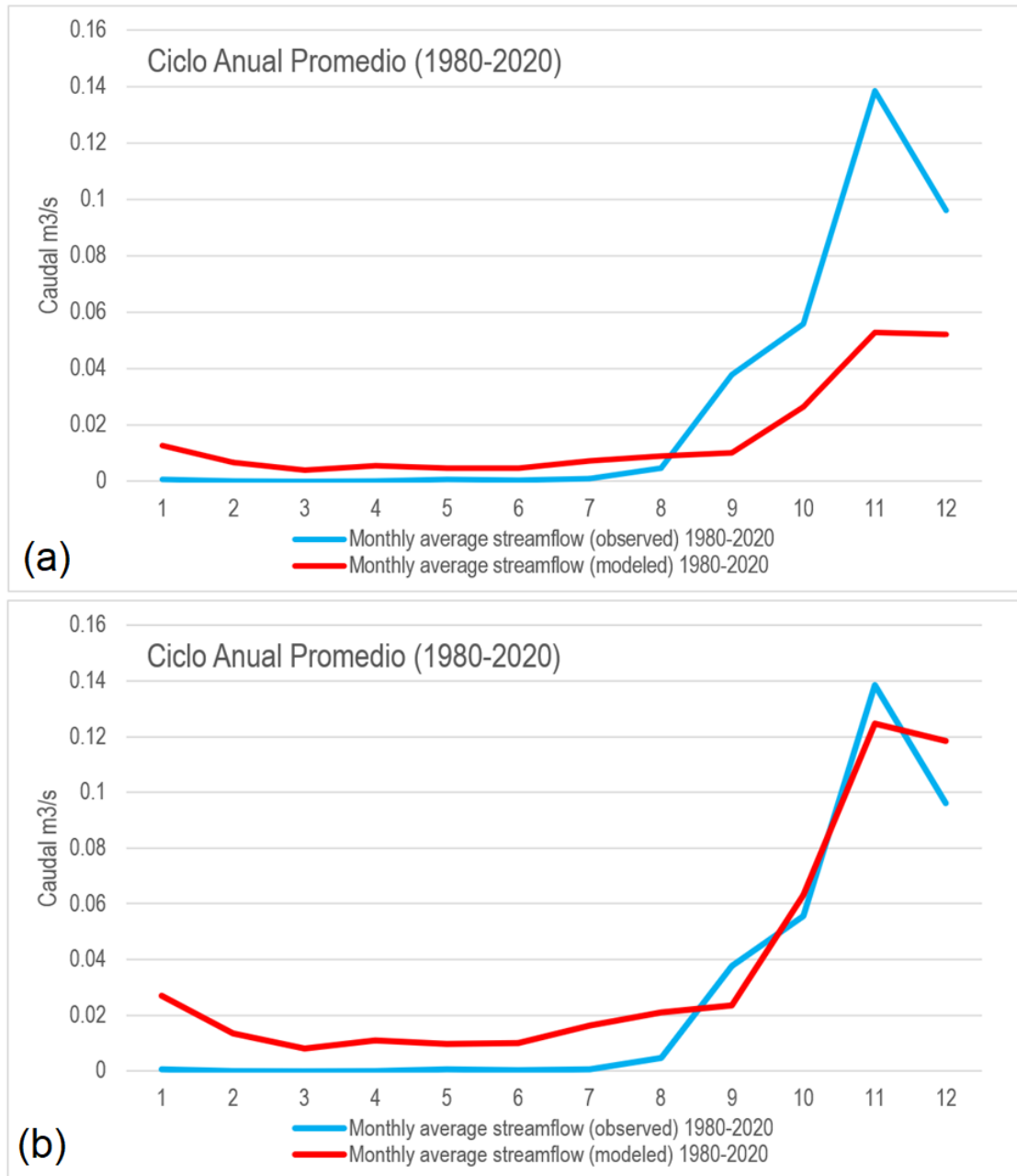
Tabla 1-8 Ejemplo de set óptimo de parámetros óptimos estimados y rango de variación permitido durante el proceso de calibración automática utilizando los resultados de escorrentía superficial del modelo WEAP-Endorreicas-Princeton.

Parámetro	Valor	Min	Max
Key\Hydrology\DW	3586.08	1000.00	4000.00
Key\Hydrology\F_Flux_Direction	0.65	0.50	0.90
Key\Hydrology\Kc\Urbanizadas	0.89	0.70	1.10
Key\Hydrology\Kc\Bosques	0.98	0.70	1.10
Key\Hydrology\Kc\Agrícolas Heterogéneas	1.09	0.70	1.10
Key\Hydrology\Kc\Abiertas sin o con poca Vegetación	0.95	0.95	0.95
Key\Hydrology\Kc\Pastos	1.07	0.70	1.10
Key\Hydrology\Kc\Cultivos Permanentes	0.92	0.70	1.10
Key\Hydrology\Kc\Vegetación Herbácea o Arbustiva	0.74	0.70	1.10
Key\Hydrology\Kd	216.9	50.00	300.00
Key\Hydrology\Ks_Root_Zone_K\Urbanizadas	454.21	100	700
Key\Hydrology\Ks_Root_Zone_K\Bosques	147.74	100	700
Key\Hydrology\Ks_Root_Zone_K\Agrícolas Heterogéneas	499.03	100	700
Key\Hydrology\Ks_Root_Zone_K\Abiertas sin o con poca Vegetación	522.83	100	700
Key\Hydrology\Ks_Root_Zone_K\Pastos	630.75	100	700
Key\Hydrology\Ks_Root_Zone_K\Cultivos Permanentes	531.3	100	700
Key\Hydrology\Ks_Root_Zone_K\Vegetación Herbácea o Arbustiva	129.85	100	700
Key\Hydrology\RRF\Urbanizadas	4.97	0.1	9
Key\Hydrology\RRF\Bosques	1.98	0.1	9
Key\Hydrology\RRF\Agrícolas Heterogéneas	7.82	0.1	9
Key\Hydrology\RRF\Abiertas sin o con poca Vegetación	6.06	0.1	9
Key\Hydrology\RRF\Pastos	5.47	0.1	9
Key\Hydrology\RRF\Cultivos Permanentes	8.79	0.1	9
Key\Hydrology\RRF\Vegetación Herbácea o Arbustiva	8.38	0.1	9
Key\Hydrology\Sw\Urbanizadas	1401.67	50	1500
Key\Hydrology\Sw\Bosques	450.89	50	1500
Key\Hydrology\Sw\Agrícolas Heterogéneas	901.37	50	1500
Key\Hydrology\Sw\Abiertas sin o con poca Vegetación	508.01	50	1500
Key\Hydrology\Sw\Pastos	401.51	50	1500
Key\Hydrology\Sw\Cultivos Permanentes	1463.33	50	1500
Key\Hydrology\Sw\Vegetación Herbácea o Arbustiva	700.73	50	1500
Key\Hydrology\Z1	42.86	30.0	60.0
Key\Hydrology\Z2	30.21	30.0	60.0
Key\Hydrology\Precipitation\Bias_Correction_Factor	0.7786	0.01	3

Finalmente es importante mencionar que todos los parámetros calibrados fueron establecidos en la interfaz del modelo WEAP-Endorreicas. El set completo se encuentra definido bajo los supuestos clave del modelo.

1.3.3 Calibración Manual

Este proceso se llevó a cabo mediante la perturbación manual de parámetros WEAP que son sensibles para la respuesta hidrológica del modelo, como, por ejemplo; el tamaño de los estanques utilizados en la simulación, o la capacidad de la cuenca para generar escorrentía superficial, un flujo que es altamente dominado por el factor de resistencia a la escorrentía. Asimismo, se perturbaron los parámetros que regulan la respuesta de los flujos hidrológicos mediante variaciones de los rangos establecidos para la conexión hidrológica (baja, media o alta). Otro parámetro de importancia fue el Factor de Corrección de Sesgo (Bias Correction Factor) el cual corresponde a uno de los parámetros más sensibles establecidos para el modelo WEAP-Endorreicas (ver ejemplo en Figura 1-26). La idea del proceso de calibración manual fue aproximar los parámetros del modelo hacia valores que permitieran facilitar el proceso de calibración automática.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-26 Comparación de la variación estacional promedio (1980-2020) entre los datos de referencia (WEAP-Princeton) y las simulaciones del modelo WEAP-Endorreicas, utilizando un factor de corrección de las lluvias de (a) 0.3 y (b) 0.8.

1.3.4 Calibración Automática

El proceso de **Calibración Automática** se desarrolló mediante la implementación de dos métodos. Primero, se implementaron simulaciones automáticas utilizando

variaciones aleatorias de los valores de los parámetros disponibles en el modelo WEAP. Para ello se utilizó una versión modificada de la herramienta “**WEAP Model Inspector (WMI)**” versión 1.0 (ver detalles en [Angarita y Mehta, 2016](#)). El WMI fue utilizado para encontrar un set de parámetros óptimos mediante 10.000 simulaciones WEAP con perturbaciones aleatorias (ver ejemplo en Tabla 1-9) de los parámetros definidos en la estructura del modelo WEAP-Endorreicas. Los mejores sets de parámetros fueron utilizados para aplicar un segundo método basado en la implementación de la herramienta **PEST (Parameter Estimation en inglés)**, la cual se encuentra disponible dentro de la interfaz gráfica del modelo WEAP.

La calibración automática con PEST (versión 11.8) fue realizada en varias etapas considerando inicialmente una calibración de los parámetros básicos que componen la estructura del modelo WEAP para todas las cuencas Endorreicas. Posteriormente, se calibraron los parámetros más sensibles del modelo de manera conjunta e independiente para continuar el refinamiento de la calibración. Los datos de referencia utilizados en esta etapa fueron las simulaciones del modelo WEAP-Princeton y los datos satelitales de referencia de las Lagunas de los sistemas salares (ver detalles en Tabla 1-7).

1.3.5 Validación de Resultados de la Calibración WEAP

Para la calibración y validación del modelo WEAP-Endorreicas se utilizaron dos periodos: **Periodo 1:** 1980-1997, en donde se calibraron los parámetros del modelo WEAP para mejorar las simulaciones hidrológicas, y **Periodo 2:** 1998-2020, en donde la estructura seleccionada para el modelo WEAP es validada con nuevos datos de referencia u observados que no fueron utilizados previamente en el proceso de calibración. En general la capacidad predictiva del modelo empeora cuando se utilizan datos que no fueron utilizados en el proceso de calibración (ver detalles en Tabla 1-9); sin embargo, los errores del modelo se pueden mantener bajo los márgenes considerados razonables para este tipo de modelos. Existen muchas formas de realizar este proceso, que van desde la selección aleatoria y evaluación de múltiples periodos de calibración y validación, hacia la evaluación basada sobre procesos hidrológicos ya conocidos a escala de cuenca. Para el caso del modelo WEAP-Endorreicas, no fue necesario desarrollar métodos más estrictos de calibración debido a que los datos observados o de referencia disponibles son muy escasos, lo cual dificulta y agrega incertidumbre al proceso de validación. Por ejemplo, los datos de las fluctuaciones de volumen de las Lagunas utilizados en el modelo WEAP-Endorreicas han sido obtenidos mediante supuestos de profundidad de las lagunas los cuales deben ser actualizados con estudios batimétricos que incluyan una toma de datos continua en el

tiempo. En este contexto, se recomienda el establecimiento de una red de monitoreo hidrológico que además de incluir la medición de las variables básicas precipitación, temperatura, viento, radiación, humedad, etc. incluya las fluctuaciones estacionales de los volúmenes almacenados en los cuerpos de agua presentes en las Cuencas Endorreicas. Todo lo anterior permitirá mejorar los procesos de calibración y validación de los procesos hidrológicos simulados en las Cuencas Endorreicas utilizando el modelo WEAP.

Tabla 1-9 Ejemplo de la sensibilidad del factor de Corrección de las lluvias en la respuesta hidrológica del modelo WEAP-Endorreicas utilizando la comparación entre WEAP-Princeton (datos de escorrentía simulados por el modelo Princeton) y WEAP-Endorreicas (datos de escorrentía simulados por el modelo completo) para los periodos de calibración (1980-1997) y validación (1998-2020).

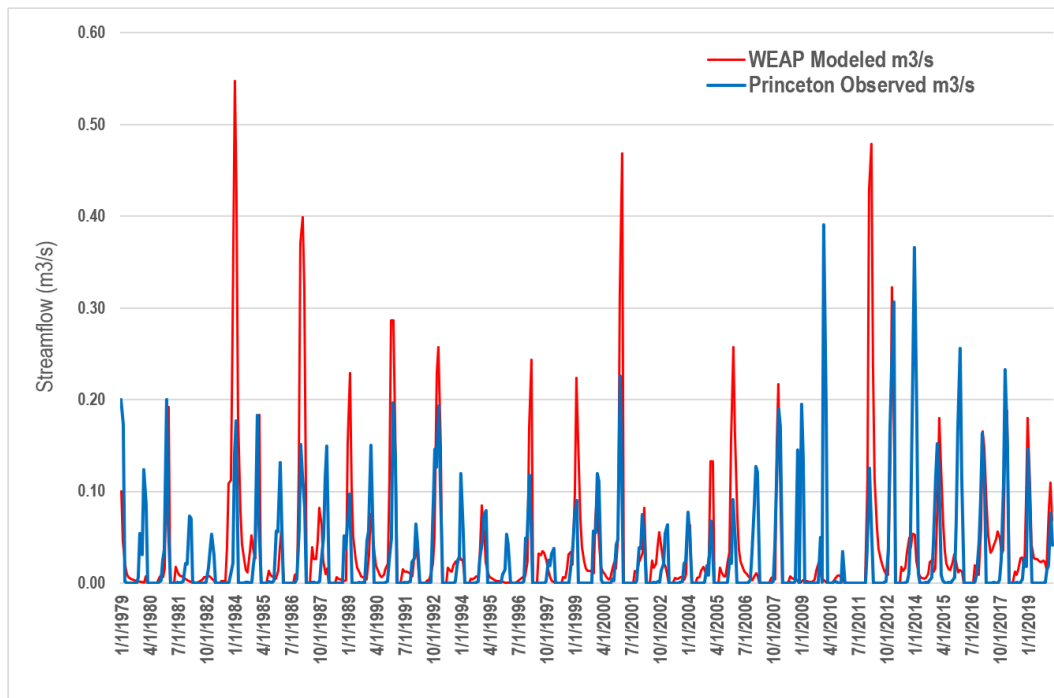
Proceso	Estadístico	BC=0.3	BC=0.5	BC=0.8	BC=1.0
Calibración 1980-1997	NSE	0.12	0.33	-1.07	-4.13
	RMSE	0.04	0.04	0.06	0.10
	PBIAS	-73.9%	-33.6%	52.1%	123.0%
	R2	0.38	0.39	0.40	0.41
Validación 1998-2020	NSE	0.01	0.17	-0.17	-1.19
	RMSE	0.06	0.06	0.07	0.09
	PBIAS	-79.4%	-47.4%	21.1%	78.1%
	R2	0.19	0.20	0.21	0.22

Fuente: Elaboración propia.

1.3.6 Simulación Inicial con Calibración Seleccionada

Los resultados de la calibración PEST fueron utilizados para establecer las simulaciones iniciales del modelo WEAP-Endorreicas. Las medidas de error clásicas utilizadas para la evaluación de modelos hidrológicos (NSE, RMSE, MSE, R2, Bias, etc.) fueron utilizadas para definir la estructura más apropiada para el establecimiento de las simulaciones iniciales desde el modelo WEAP-Endorreicas. Es importante mencionar que este proceso de calibración debe ser interpretado con cautela ya que el marco cuantitativo solo permite una comparación entre los datos de referencia disponibles, los cuales también provienen desde un modelo de simulación que posee distintos productos de climatología y uso de suelo (Modelo WEAP-Princeton). A pesar de lo mencionado, ambos modelos son consistentes y logran representar con buenos resultados la hidrología de las cuencas Endorreicas (ver ejemplo en Figura 1-27). Las fluctuaciones de los niveles de agua en las

lagunas de los sistemas salares, las cuales fueron simuladas utilizando nodos de reservorios, son asimiladas fácilmente por la parametrización automática PEST. En este contexto, los mayores desafíos de calibración estuvieron asociados a la asimilación de los caudales de escorrentía superficial y de los afloramientos disponibles para las cuencas Endorreicas.

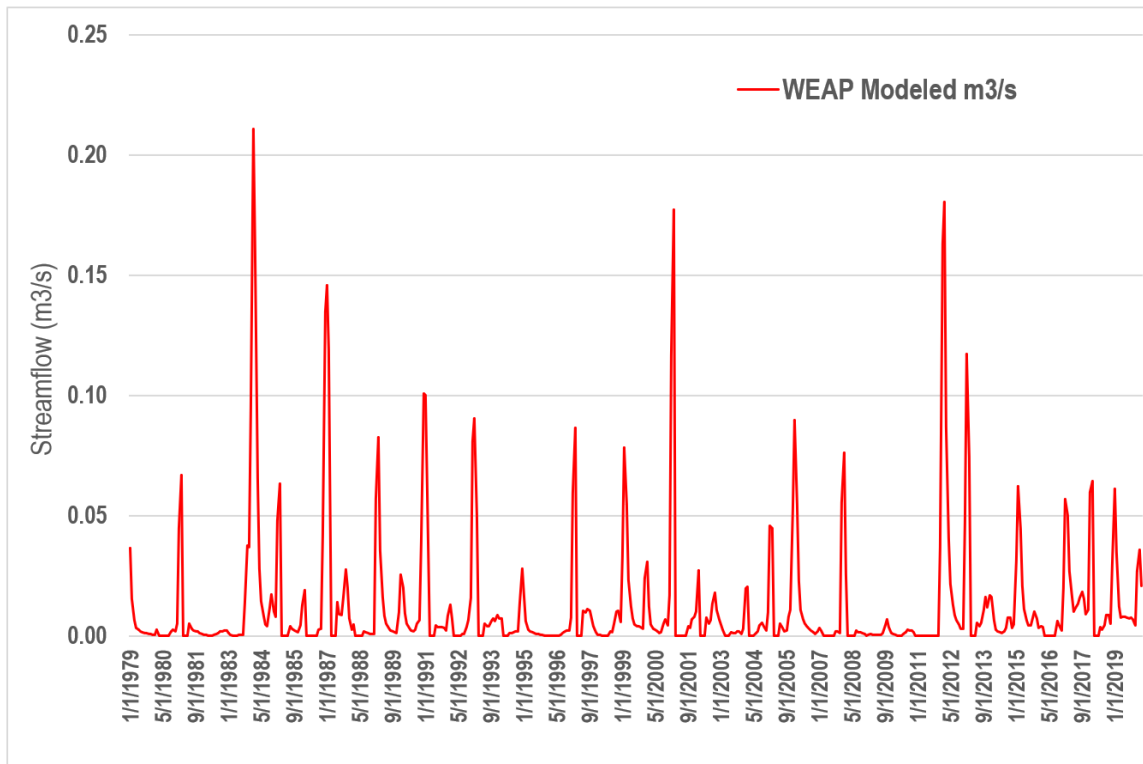


Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-27 Ejemplo de comparación entre los caudales simulados utilizando el modelo WEAP-Princeton y el modelo WEAP-Endorreicas. La hidrología representa la fluctuación estacional de la Escorrentía hacia el Salar de Aguas Calientes II, con secamientos durante el invierno y reactivación de caudales durante el verano que es cuando ocurren las lluvias altiplánicas estivales. El Factor de Bias Correction (BC) es de 0.67 y el Factor de Resistencia a la Escorrentía es de 0.05.

Las simulaciones presentadas en la Figura 1-27 corresponden a datos de referencia consensuados con la Inspección Fiscal. Tomando en consideración los resultados de estudios previos se consideró que el factor de Bias Correction se debería aproximar a un valor para las simulaciones iniciales de 0.44. Asimismo, el Factor de Resistencia a la Escorrentía fue ajustado en 0.05. Detalles de las simulaciones finales de escorrentía

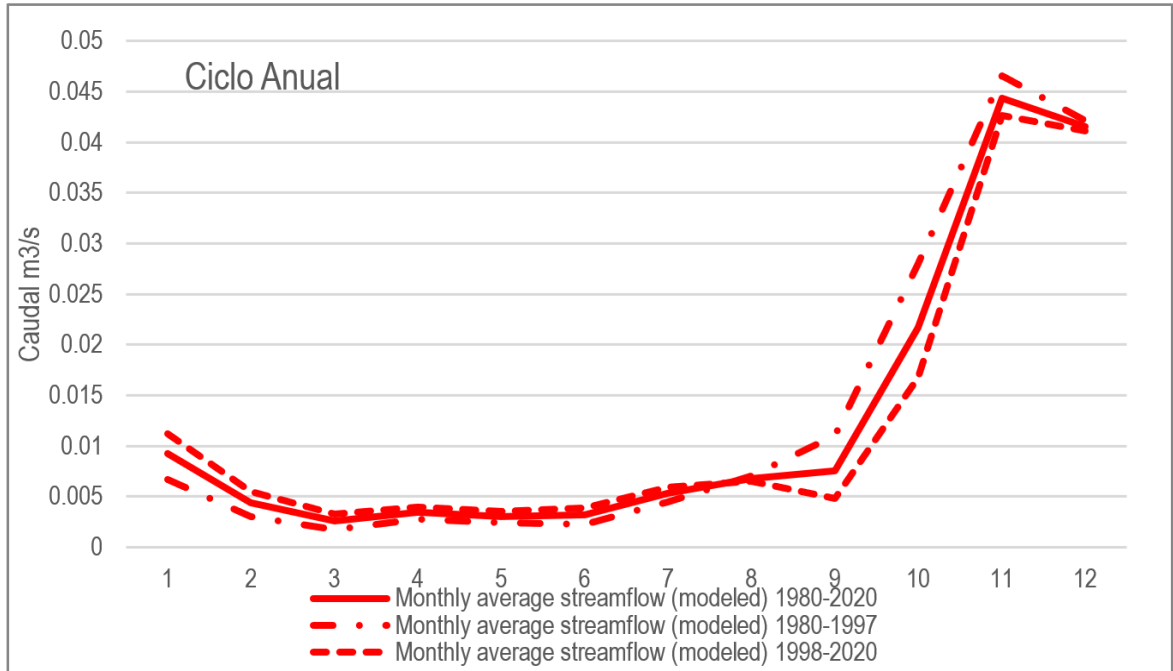
superficial entrante hacia el salar de Aguas Calientes II se encuentran disponibles en la Figura 1-28.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-28 Simulaciones de caudales seleccionadas para representar la escorrentía superficial en el Salar de Aguas Calientes II utilizando el modelo WEAP-Princeton. El Factor de Bias Correction (BC) es de 0.44 y el Factor de Resistencia a la Escorrentía es de 0.05.

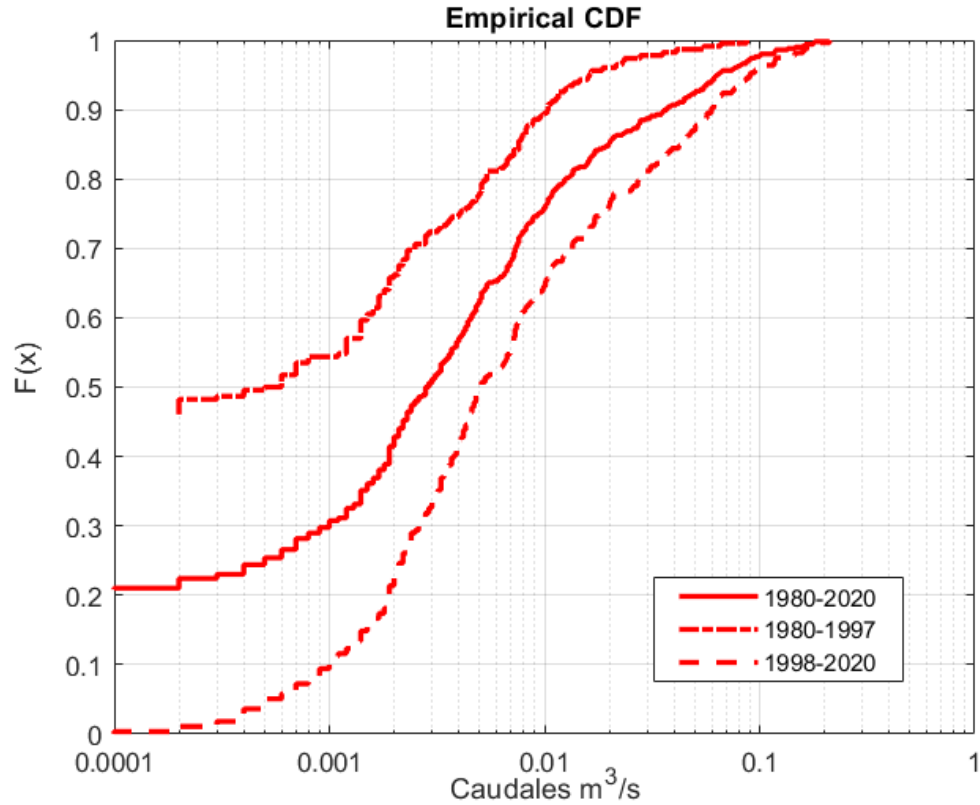
La variación estacional simulada para los caudales de escorrentía superficial en el Salar de Aguas Calientes II muestran los periodos de activación de los flujos superficiales principalmente durante el periodo estival (septiembre a febrero).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-29 Variación estacional promedio en el Salar de Aguas Calientes II, para los periodos 1980-1997, 1998-2020, y 1980-2020, simulada utilizando el modelo WEAP-Endorreicas con un factor de corrección de las lluvias de 0,44.

Los periodos simulados y evaluados de manera independiente utilizando las curvas de frecuencia de los caudales muestran diferencias en las probabilidades de excedencia y ocurrencia de los eventos hidrológicos. En general se observa que para el periodo 1980-1997 existe una mayor probabilidad de obtener caudales de al menos 10 l/s, en comparación con el periodo 1998-2020, y el periodo completo 1980-2020.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1-30 Curvas de frecuencia de los caudales de escorrentía simulados para el Salar de Aguas Calientes II utilizando los periodos 1980-1997, 1998-2020, y 1980-2020.

Los resultados que se desprenden desde las simulaciones seleccionadas desde el modelo WEAP-Endorreicas corresponden a una referencia para el manejo de los recursos hídricos a escala de cuenca. Tal como se menciona en las secciones previas es imperante comenzar la generación y colección de datos hidrometeorológicos en las Cuencas Endorreicas para mejorar las estrategias de modelación superficial y/o subterránea que se pretendan implementar en el futuro.

Capítulo 2. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

2.1 Unidades Hidrogeológicas

Los diferentes trabajos y estudios realizados en las cuencas endorreicas, ubicadas al este del salar de Atacama, reconocen la existencia de un sistema acuífero albergado en rocas volcánicas y volcanoclásticas fracturadas, con diferentes grados de permeabilidad primaria y secundaria.

Este sistema acuífero presenta conexión hidráulica entre algunas de las cuencas dando lugar a sectores hidrogeológicos, definidos por información de subsuperficie directa (estratigrafía, niveles estáticos, piezometría, hidroquímica, geofísica), en algunos casos, sector sur del área de estudio, y en otros, sólo con información de superficie (vertientes, escurrimiento superficial, salares, topografía).

Los trabajos y estudios hidrogeológicos realizados en esta zona se concentran en el sector sur del área de estudio, en particular, en las terrenos bajos y planos de las cuencas donde fueron explorados y evaluados recursos de agua subterránea por los proyectos Mundo (EMSA, 2004) y Pampa Colorada (Arcadis, 2007). Es así como, existen una gran parte del área de estudio que carece de información de subsuperficie, en particular, los sectores elevados, de relieves abruptos, que conforman los límites entre cuencas, y todas las cuencas donde no se han sido desarrollado estudios hidrogeológicos o proyectos de exploración de recursos hídricos subterráneos, los cuales conforman, aproximadamente, un 70% del área de estudio.

Sin embargo, aunque existe mucha incertidumbre acerca de la dinámica de las aguas subterráneas en esta región, los estudios realizados en el sector sur de la misma, y su nivel de detalle, permiten caracterizar el sistema acuífero en este ambiente volcánico, antecedentes que se entregan en extenso en el capítulo de modelo hidrogeológico conceptual de este informe, y que sirven para proyectar esta información, a todo el área de estudio, considerando que las cuencas que la componen se encuentran una unidad hidrológica y geológica común.

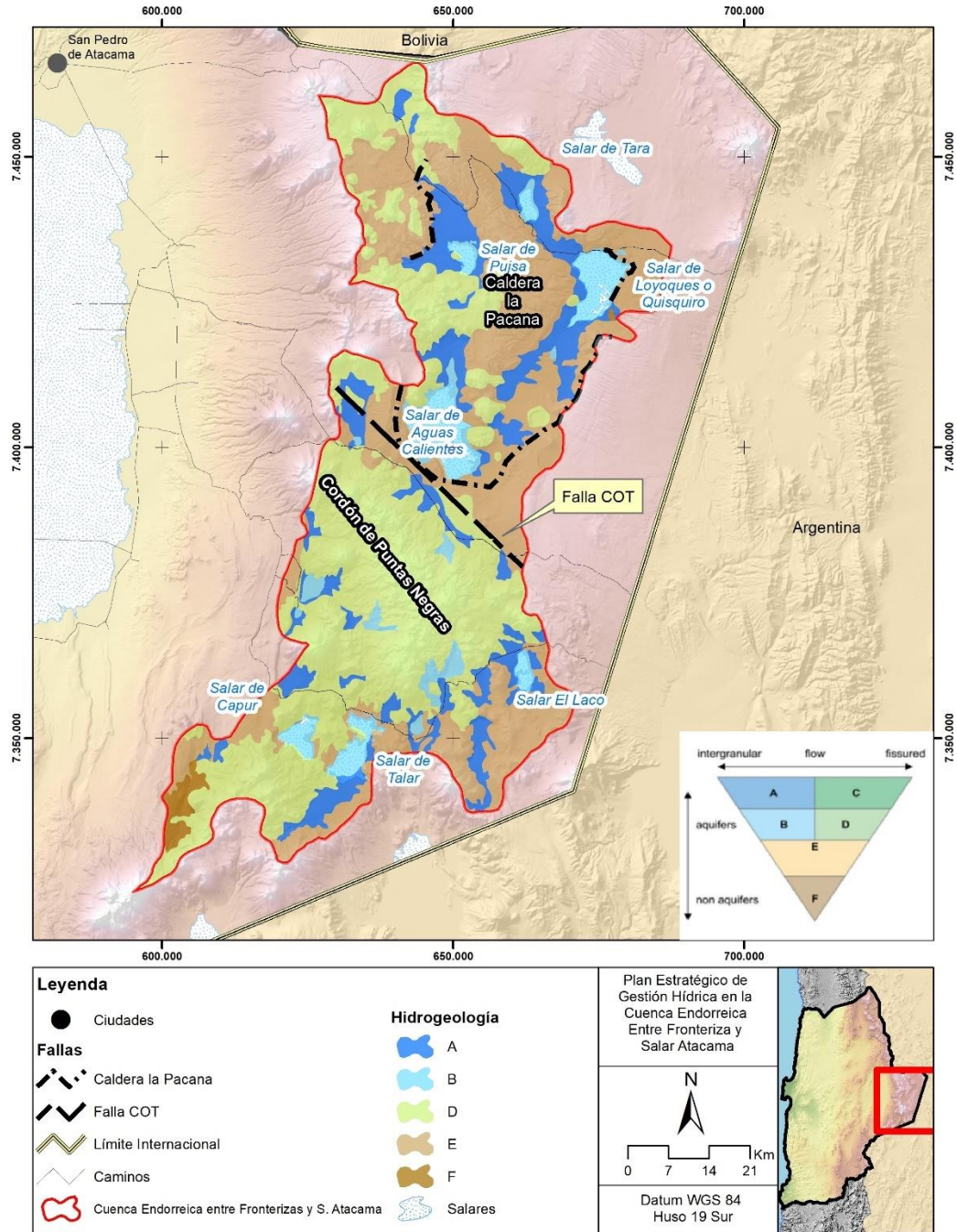
Las unidades hidrogeológicas reconocidas en el área de estudio pueden ser definidas en una primera dimensión, en una escala regional, con la distribución en planta de las unidades geológicas y su capacidad para albergar aguas subterráneas y conformar acuíferos. En este sentido, y siguiendo una definición amplia y general (Struckmeier & Margat, 1995), estas unidades pueden ser agrupadas de acuerdo a la ocurrencia de aguas subterráneas, productividad de acuíferos y flujos en distintos medios saturados (Figura pendiente).

Estas unidades se definen de acuerdo a su capacidad de conformar acuíferos, ligado a la permeabilidad del medio, y a las características de este, es así como en el área de estudio se reconocen, en planta, las siguientes unidades hidrogeológicas:

- i. Unidad A. Acuíferos porosos en medios granulares, de alta productividad y ocupando extensiones importantes dentro del territorio. Esta unidad se

reconoce en las pampas y sectores deprimidos de las cuencas, y está conformada por depósitos sedimentarios no consolidados de carácter aluvio-coluvial, dispuestos sobre rocas volcánicas y volcanoclásticas.

- ii. Unidad B. Acuíferos porosos en medios granulares de productividad moderada y extensión local o discontinua. Esta unidad se reconoce en los sectores más bajos de las cuencas o sitios terminales de depósitos aluviales, conformados por sedimentos de menor granulometría (arenas, limos y arcillas) lo que le otorga una menor permeabilidad. En el área de estudio, esta unidad se reconoce en los sectores de descarga, ubicados en los salares y bordes de lagunas.
- iii. Unidad C. Acuíferos fisurados en medios fracturados de alta productividad y extensión en el territorio. Esta unidad está conformada por rocas volcánicas (andesitas fuertemente fracturadas) y volcanoclásticas (tobas porosas y fracturadas) que se disponen en toda el área de estudio y constituyen la unidad con mayor ocurrencia de aguas subterráneas.
- iv. Unidad D. Acuíferos fisurados en medios fracturados de productividad moderada y extensión local. Esta unidad se encuentra asociada, en el área de estudios, a lavas y tobas medianamente fracturadas.
- v. Unidad E. Acuitardos o acuíferos de muy baja productividad, reconocidos en el área de estudio, en lavas y tobas con bajo fracturamiento, estratos arcillosos y tobas soldadas.
- vi. Unidad F. Acuífugos y basamento impermeable. Unidad basal de los acuíferos reconocidos en el área de estudio, conformadas por lavas antiguas (miocénicas), rocas metamórficas y volcánicas paleozoicas, intrusivos y cuellos volcánicos en los actuales centros eruptivos. Estas rocas presentan permeabilidades muy bajas a nulas, por consiguiente, no tienen la capacidad de almacenar o transmitir aguas subterráneas.



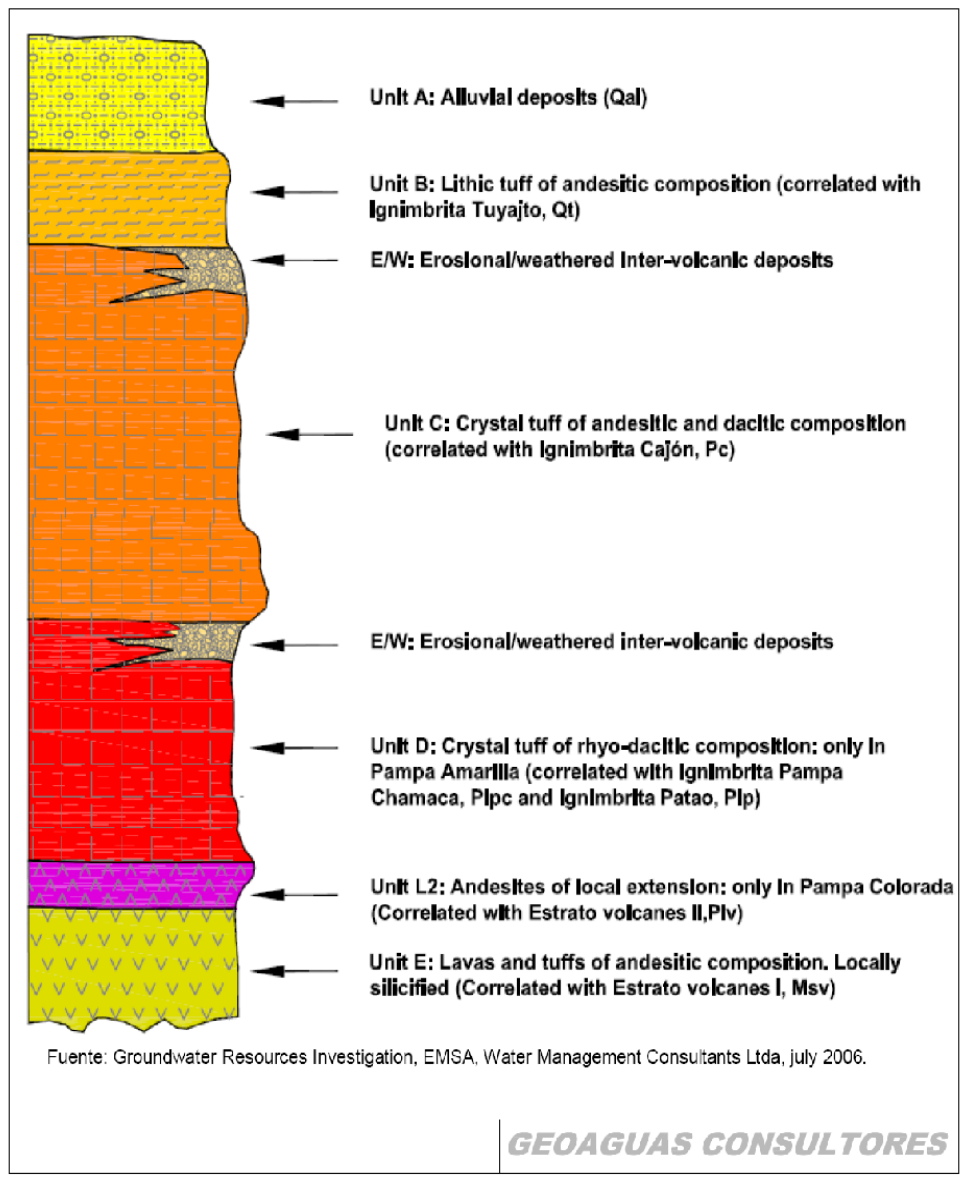
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-1 Mapa hidrogeológico.

En una segunda dimensión, y con la información de subsuperficie descrita en el capítulo del modelo hidrogeológico conceptual de este informe, vale decir, columnas estratigráficas de sondajes y pozos, perfiles geofísicos, niveles estáticos, composiciones hidroquímicas e isotópicas, entre otra, se han definido una serie de unidades hidrogeológicas, esta vez a nivel de cuencas, las cuales se presentan como perfiles, elaborados con información de subsuperficie y observaciones de terreno complementarias. Esta información, de carácter local, circunscrita al sector sur del área de estudio, nos permite conocer con mayor certidumbre la dinámica de las aguas subterráneas y proyectar este modelo a los sectores que carecen de antecedentes hidrogeológicos.

Para la definición de estas unidades hidrogeológicas, la información de mayor calidad se obtuvo de las perforaciones de pozos de monitoreo y bombeo, reconociendo en ellas, las unidades geológicas de subsuperficie y su capacidad de almacenar o transportar agua subterránea, midiendo en los pozos de aire reverso parámetros tales como: nivel saturado, caudal, velocidad de penetración, datos hidroquímicos, permeabilidad, entre otros; y en los pozos con recuperación de testigo parámetros como: frecuencia de fracturas, RQD y permeabilidad estimada, realizando en éstos, además, perfilajes geofísicos y medición de porosidad en muestras de testigo.

Las muestras tomadas durante la perforación de estos pozos permitieron reconocer una secuencia estratigráfica de hasta 500 m de potencia conformada por una cubierta aluvial con espesores entre 20 y 80 m, dispuesta sobre varios niveles de tobas con potencias variables, desde arriba hacia abajo, toba lítica andesítica, toba cristalina dacítica y toba cristalina rio-dacítica, las cuales sobreyacen a lavas andesíticas y brechas volcánicas. La columna estratigráfica generalizada para las áreas de Pampa Colorada, Las Tecas y Tuyajto, se presenta en la Figura 2-1, en ella a cada una de las unidades geológicas se le asignó una letra y además fue correlacionada con las unidades geológicas descritas en la geología regional.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-1 Columna estratigráfica generalizada para los sectores de Pampa Colorada, Pampa Las Tepas y Tuyajto.

Estas unidades geológicas presentan distintos grados de fracturamiento y porosidad, como se puede observar, principalmente en los testigos de roca, aumentando notablemente la permeabilidad en zonas de falla o intenso fracturamiento, y por otro lado disminuye con el grado de soldamiento de las tobas, por lo que no es posible encontrar una relación directa entre permeabilidad y litología, observando toda la secuencia de tobas y lavas saturadas, lo que sugiere la idea de un gran acuífero con distintos grados de permeabilidad.

De acuerdo a lo anterior, y como se puede observar en el Plano N°14/36, el cual contiene los esquemas de algunos de los pozos construidos en el área, esquemas donde se puede visualizar toda la información obtenida en los sondajes de aire reverso y diamantina, se pueden definir seis unidades hidrogeológicas que se describen a continuación.

2.1.1 Unidad Sedimentaria No Saturada

Esta unidad está conformada por sedimentos aluviales, arenas y gravas limo-arcillosas, no consolidadas, las cuales se encuentran relleno los sectores bajos de las cuencas, dispuestos sobre rocas volcánicas y volcanoclásticas, formando pampas, llanuras y conos.

Los materiales que conforman esta unidad no se encuentran saturados, sin embargo poseen una alta permeabilidad, permitiendo el paso a través de ella, del agua que precipita en la superficie y recarga las unidades inferiores.

La potencia de esta unidad varía entre 20 y 80 m, encontrándose los mayores espesores en los depocentros de las cuencas y adelgazándose hacia los bordes hasta desaparecer.

2.1.2 Unidad Volcánica No Saturada

Esta unidad hidrogeológica está conformada por tobas andesíticas y dacíticas, pertenecientes a los tramos superiores de las unidades litológicas B y C, correlacionadas con los flujos ignimbríticos más recientes.

Los niveles tobáceos que conforman esta unidad, infrayacen a los depósitos aluviales modernos, y al igual que ellos, no se encuentran saturados, estimando para éstos una permeabilidad media a baja, condicionada por el grado de fracturamiento que los afecta. De la misma forma que en la unidad sedimentaria superior, a través de esta unidad se infiltra el agua meteórica que recarga las unidades acuíferas inferiores. Esta recarga se produce, principalmente, en las zonas de fallas, las cuales actúan como conductos preferenciales para los flujos aumentando la permeabilidad vertical.

Esta unidad hidrogeológica se reconoce entre el relleno sedimentario y el sistema acuífero, identificándolo en subsuperficie en todas las pampas con espesores entre 5 y 40 m.

2.1.3 Unidad de Permeabilidad Baja

Esta unidad hidrogeológica tiene un escaso desarrollo en la zona, observándose sólo en algunos pozos ubicados en los sectores de pampa Colorada y pampa Las Tecas, y corresponde a tramos en las tobas de las unidades geológicas B y C con abundante arcilla, lo que le confiere características de acuitardo.

La unidad de permeabilidad baja presenta potencias del orden de 20 m y una permeabilidad del orden de 10^{-2} m/día.

2.1.4 Unidad de Permeabilidad Baja a Media

Esta unidad se reconoce en todos los sondajes perforados en la zona y se asocia a tramos de roca fresca con escaso fracturamiento en las tobas de las unidades geológicas C y D, y de las lavas de la unidad E.

En general, esta unidad se encuentra sobre y bajo la unidad de alta permeabilidad, presentando potencias del orden de 100 m, estimándose valores de permeabilidad entre 0.5 y 5 m/día, y midiendo en testigos de roca una porosidad efectiva del orden de 5%.

Se sugiere que esta unidad pudiera estar presente, en mayor medida, en las divisorias de cuencas y en las zonas de traspaso de agua subterránea entre ellas.

2.1.5 Unidad de Permeabilidad Media a Alta

Esta unidad hidrogeológica, al igual que la anterior, se reconoce en todos los pozos perforados en la zona, observándose un gran desarrollo en profundidad, en especial, en los sectores bajos de las cuencas y en las rocas afectadas por un fracturamiento intenso a moderado. Se asocia a las lavas y tobas de las unidades geológicas C, D y E, además de las andesitas de la Unidad L2 reconocidas sólo en el sector poniente de Pampa Colorada y brechas volcánicas.

Las pruebas de permeabilidad realizadas en esta unidad entregan valores entre muy variables entre 5 y 120 m/día, registrándose, en general entre 10 y 30 m/día, valores que son consistentes con las permeabilidades obtenidas en las pruebas de bombeo. Por otro lado, ensayos de laboratorio en muestras de testigo tomadas en esta unidad presentan valores de porosidad efectiva entre 10 y 25%.

Las potencias reconocidas para esta unidad son variables fluctuando entre 50 y 150 m, dispuestos en varios niveles superiores e inferiores separados por la unidad de

permeabilidad baja a media, o con delgados niveles de permeabilidad alta. En esta unidad se han realizado aforos mediante pruebas de airlift registrando caudales entre 2 y 6 l/s.



Figura 2-2 Fracturas abiertas por las cuales se canalizan importantes flujos subterráneos que afloran en sectores deprimidos de las cuencas (bordes de salares). Estos afloramientos permiten clarificar la importancia de las fracturas en la conducción de los flujos subterráneos. a) Borde oriental del salar de Talar (lavas andesíticas) y b) Borde norte del salar de Capur (toba dacítica).

2.1.6 Unidad de Permeabilidad Alta

Esta unidad se encuentra asociada a sectores de roca de todas las unidades geológicas descritas en la zona afectados por un intenso fracturamiento o delgados niveles sedimentarios ubicados entre depósitos volcánicos o volcanoclásticos, a través de los cuales se generan flujos preferenciales para el agua subterránea. Estos niveles lograr tener altos valores de permeabilidad, sobre 50 m/día, sin embargo, presentan potencias reducidas que no sobrepasan los 10 m.

Finalmente, existen zonas que no fueron exploradas con sondajes, pero que se asumen como sectores con permeabilidad muy baja a nula, éstas corresponden a los principales cerros que forman las divisorias de agua entre las cuencas, suponiendo que éstos corresponden a antiguos centros volcánicos donde predominan diques, filones, rocas hipabisales y cuerpos intrusivos, los cuales presentan una permeabilidad primaria nula.



Figura 2-3 Fotografías de muestras de testigos de los pozos PCDC-3 (arriba) y PADC-5 (abajo), para los tramos 207.10-219.74 m y 173.5-184.75 m, respectivamente. En estos tramos se observan sectores, muy fracturados y niveles sedimentarios, que presentan condiciones preferenciales para los flujos subterráneos.

2.2 Niveles Estáticos y Piezometría

El área de estudio de este PEGH está conformada por trece cuencas endorreicas, de las cuales se tiene información de niveles de agua subterránea en ocho de ellas. Casi la totalidad de esta información proviene de pozos y punteras construidas como parte de la exploración y evaluación de recursos hídricos subterráneos en el sector sur y central del área de estudio. Como parte de estas investigaciones, Exploraciones Mundo S.A. (EMSA) construyó entre los años 1998 y 2010, 22 pozos de bombeo ubicados en los sectores de Loma Amarilla (vertiente norte del Salar de Aguas Calientes Centro), Pampa Puntas Negras, Pampa Colorada, Pampa Las Tepas, Pampa Amarilla, además de 50 punteras de 2 metros de profundidad ubicadas en las inmediaciones de la Laguna Tuyajto y en los Salares El Laco y Aguas Calientes Sur.

Sumado a estos puntos de control de niveles estáticos, Water Management Consultant (WMC), consultor de Minera Escondida Limitada (MEL) para su proyecto Pampa Colorada, construyó en forma complementaria, 27 pozos de monitoreo.

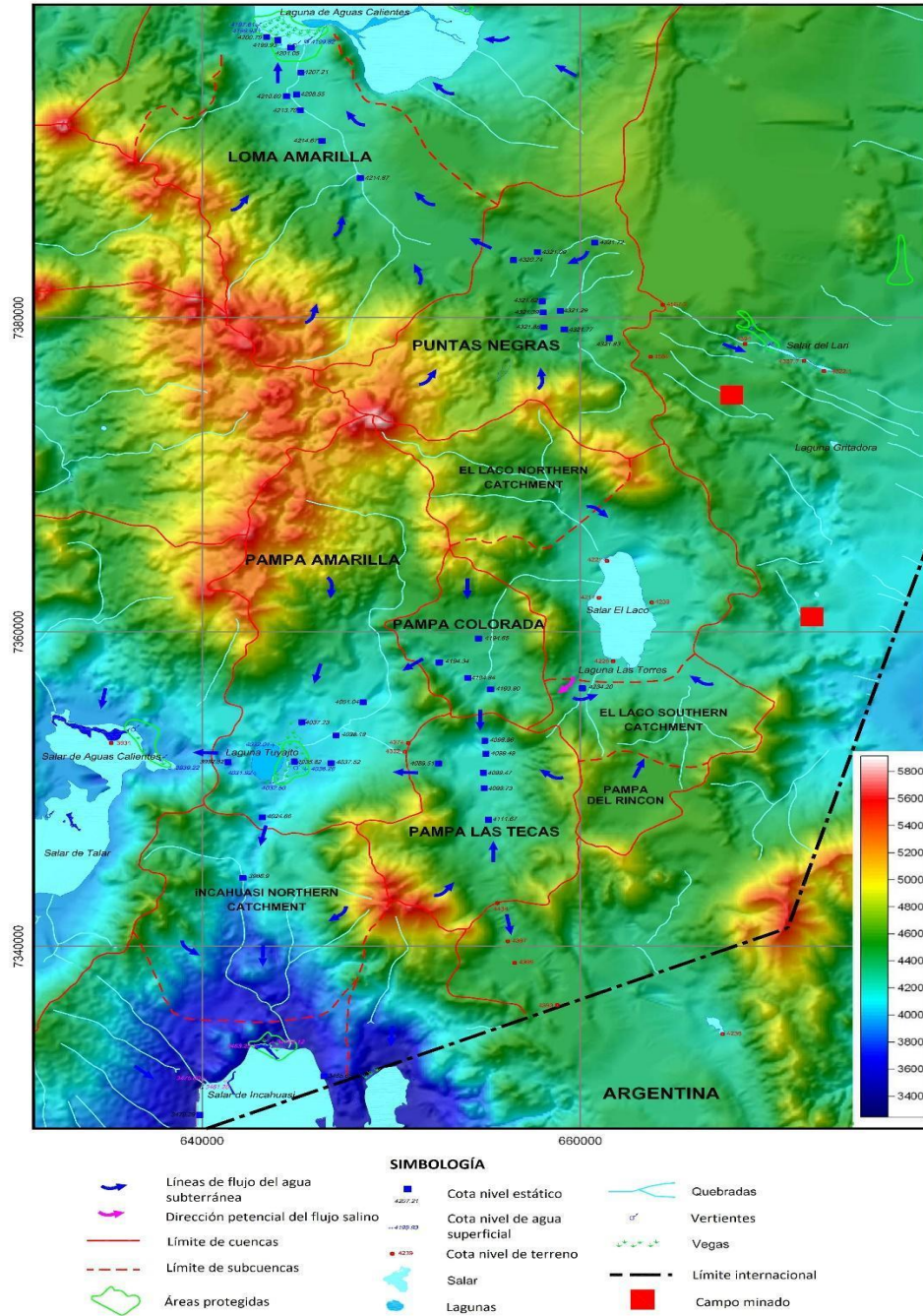
A esta red de pozos de monitoreo de niveles y calidad de aguas subterráneas, se le agregó como parte de este PEGH, 3 punteras, las cuales quedaron ubicadas en el borde y ladera occidental del salar de Pujsa.

De esta manera, el área de estudio dispone de una red 49 de pozos de monitoreo y 53 punteras, ubicadas casi en su totalidad, en las cuencas endorreicas de la porción sur, quedando una extensa zona sin información de la componente aguas subterráneas, asumiendo en estos sectores una dinámica de estos flujos similar a las zonas con información.

El modelo de la dinámica de estos flujos ha sido determinado por los niveles estáticos y la piezometría, correspondiendo a un trasvasije desde cuencas de mayor a menor cota con descargas finales en vertientes y salares por procesos de evaporación desde el suelo, vegetación y lagunas.

Las cotas del nivel de agua subterránea dentro de estas cuencas entrega como resultado una superficie plana, con muy bajo gradiente hidráulico, dando cuenta de un almacenamiento en material de alta transmisividad, formando un esquema de compartimentos o cajas, limitados por materiales de permeabilidad baja que explican las fuertes gradientes entre cuencas y las diferencias de cotas para el agua subterránea entre ellas.

Como se puede ver en la Figura 2-4, que corresponde a la zona dentro del área de estudio donde se tiene información de niveles estáticos, los flujos de agua subterránea ocurren entre cuencas hidrológicas cerradas, condicionado por las unidades hidrogeológicas que dan lugar a distintos sectores acuíferos con zonas de descarga en salares ubicados en las cotas más deprimidas de estos sistemas, generando en este caso, los sectores Endorreicas Sur conformado por las cuencas de Salar El Laco, Pampa Colorada, Pampa Las Tepas, Pampa Amarilla, Salar de Aguas Calientes Sur y Salar de Capur; y Endorreicas Centro conformado por la Pampa Puntas Negras y el Salar de Aguas Calientes Centro, además de otras cuencas que carecen de información de subsuperficie.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-4 Dinámica de los flujos de aguas subterránea entre cuencas en los sectores acuíferos.

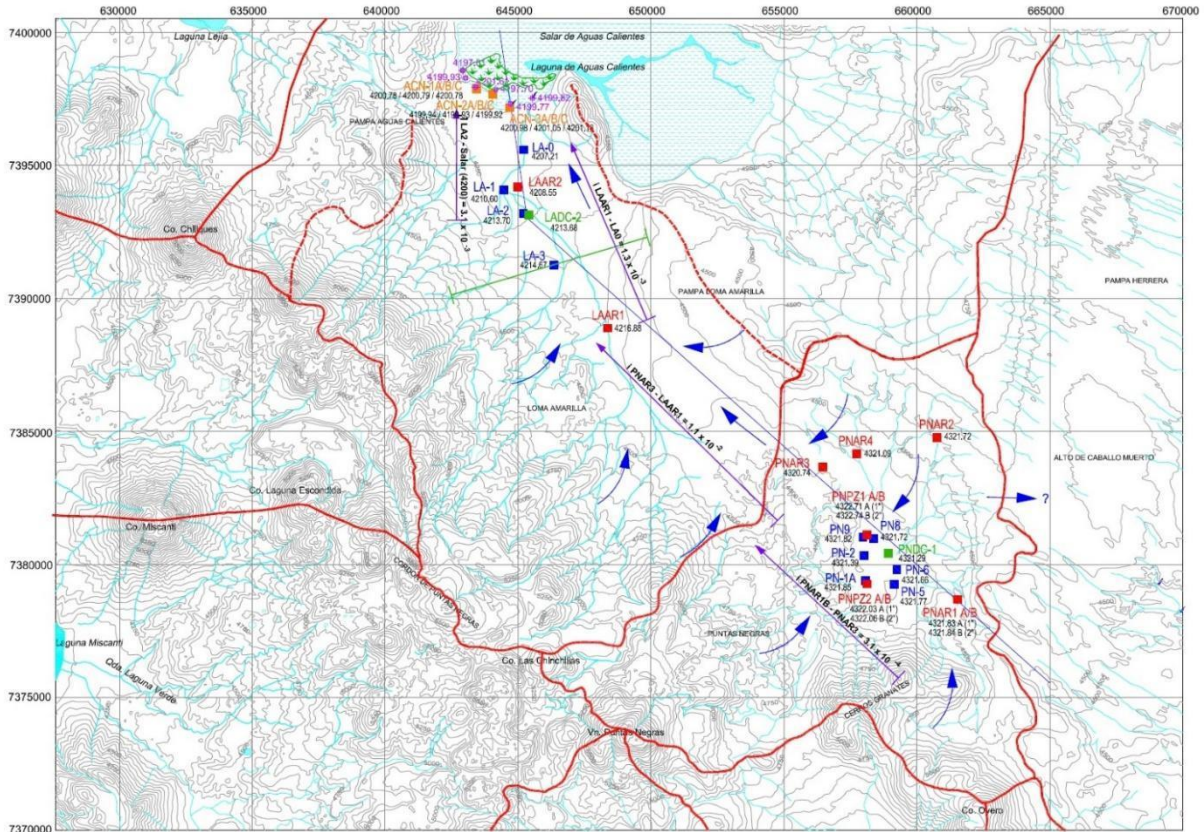
Para el caso del sector Endorreicas Centro, en la zona con información de niveles, se reconocen niveles piezométricos y direcciones de flujo desde Pampas Punta Negra hacia Loma Amarilla y con descargas en el Salar de Aguas Calientes Centro.

La piezometría indica que el flujo sigue la topografía local, con una dirección general del flujo de SE a NW, a lo largo del valle aluvial de Loma Amarilla hacia el Salar de Aguas Calientes, con componentes de flujo desde los cerros adyacentes.

La profundidad del agua subterránea en la Pampa Puntas Negras se encuentra entre 42-54 m en el centro de la cuenca y alcanza profundidades mayores a los 200 m en los márgenes, donde la cota del terreno se eleva en forma importante.

La superficie piezométrica en Pampa Puntas Negras es plana (4.321-4.322 msnm) lo que indica un área de muy alta transmisividad. Registrando una gradiente hidráulica de $3,1 \times 10^{-4}$ hacia Loma Amarilla, la cual aumenta a $1,1 \times 10^{-2}$ entre los PNAR3 y LAAR1. Este aumento de la gradiente sugiere la presencia de una zona de menor permeabilidad entre Pampas Puntas Negras y Loma Amarilla, existiendo, además, una diferencia piezométrica total de, aproximadamente, 100 m entre estas dos áreas.

En Loma Amarilla hay una clara dirección de flujo hacia el Salar de Aguas Calientes y la zona de descarga activa de Salar suroeste. En este sector se registra un gradiente de 1.3×10^{-3} entre LAAR1 y LA0 y de 3.1×10^{-3} entre LA2 y el salar (4.200 msnm) sugiriendo transmisividades más bajas que en Puntas Negras (Figura 2-5).



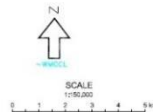
LEGEND

- PN-6 EMSA pumping well
- ACN-2A Vega multilevel piezometers
- LAAR-2 DTRC investigation borehole
- LADC-2 Core investigation borehole
- 421.72 Groundwater elevation measured In Dec 2004

- Flow direction
- Salar
- Vegas
- Horizontal hydraulic gradient
- Through-flow section
- Basin limit
- Sub basin / prospective zone catchment limit
- Surface water elevation

Notes:

- 1) Multilevel piezometers:
A: Shallow
B: deep
- Vega multilevel piezometers
A: shallow
B: intermediate
C: deep
- 2) Vega multilevel piezometers and LADC2 measured in March 2005



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-5 Flujos y gradientes sector hidrogeológico Endorreicas Norte

En el caso del sector Endorreicas Sur, la dirección principal del flujo de agua subterránea sigue la topografía local con algunas excepciones de flujo entre cuencas. La piezometría, junto a otros antecedentes, evidencia una continuidad hidráulica y flujo de agua subterránea entre cuencas de: Pampa Colorada a Pampas Las Tecas y Amarilla, Pampa Las Tecas a Pampa Amarilla y Pampa Amarilla al Salar de Incahuasi y Salar de Sur Cuenca de Aguas Calientes.

Las profundidades de las aguas subterráneas superan los 200 m cerca de los márgenes de la cuenca y en los centros de estas cuencas se encuentran a: 67-100 m de profundidad en Pampa Colorada, 82-100 m de profundidad en Pampa Las Tecas, 110-120 en Pampa Amarilla y nivel de superficie en las cercanías de la Laguna Tuyajto.

La superficie piezométrica es relativamente plana en Pampas Colorada y Las Tecas sugiriendo estar conformadas por materiales de muy alta permeabilidad. Por otra parte, los niveles de agua subterránea en Pampa Amarilla muestran una clara pendiente hacia el sur (Salar de Incahuasi) y también hacia el oeste (sur Salar de Aguas Calientes Sur / Talar), generando con esto, mayores gradientes hidráulicos dando cuenta de unidades de menor permeabilidad compara con los reconocidos en Pampa Colorada y Pampa Las Tecas.

Es probable que las descargas en Tuyajto vegas se produzcan principalmente debido a control topográfico, es decir, intersección de la topografía con el nivel del agua subterránea, ya que no se observa un flujo vertical ascendente. Esta laguna proporciona almacenamiento superficial de descargas de agua subterránea que ocurren en los humedales y vegas asociados. Considerando la diferencia de nivel de agua subterránea entre la laguna y el PAAR2 (~40 m), es posible que el margen occidental de la laguna se encuentre alzado y una posible infiltración de este cuerpo de agua contribuya a las descargas hacia el oeste.

Existe una gran diferencia de elevación de las aguas subterráneas entre las distintas cuencas, a saber:

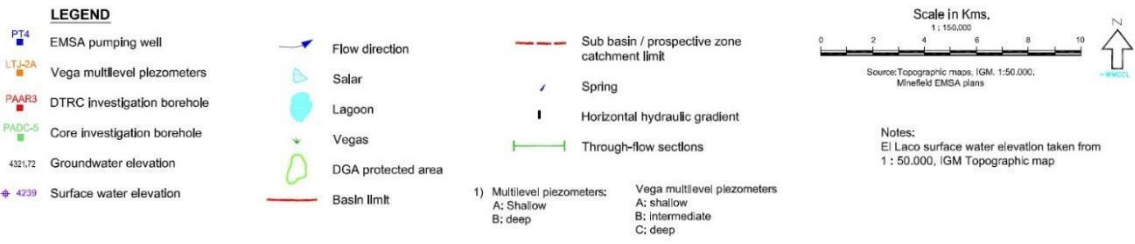
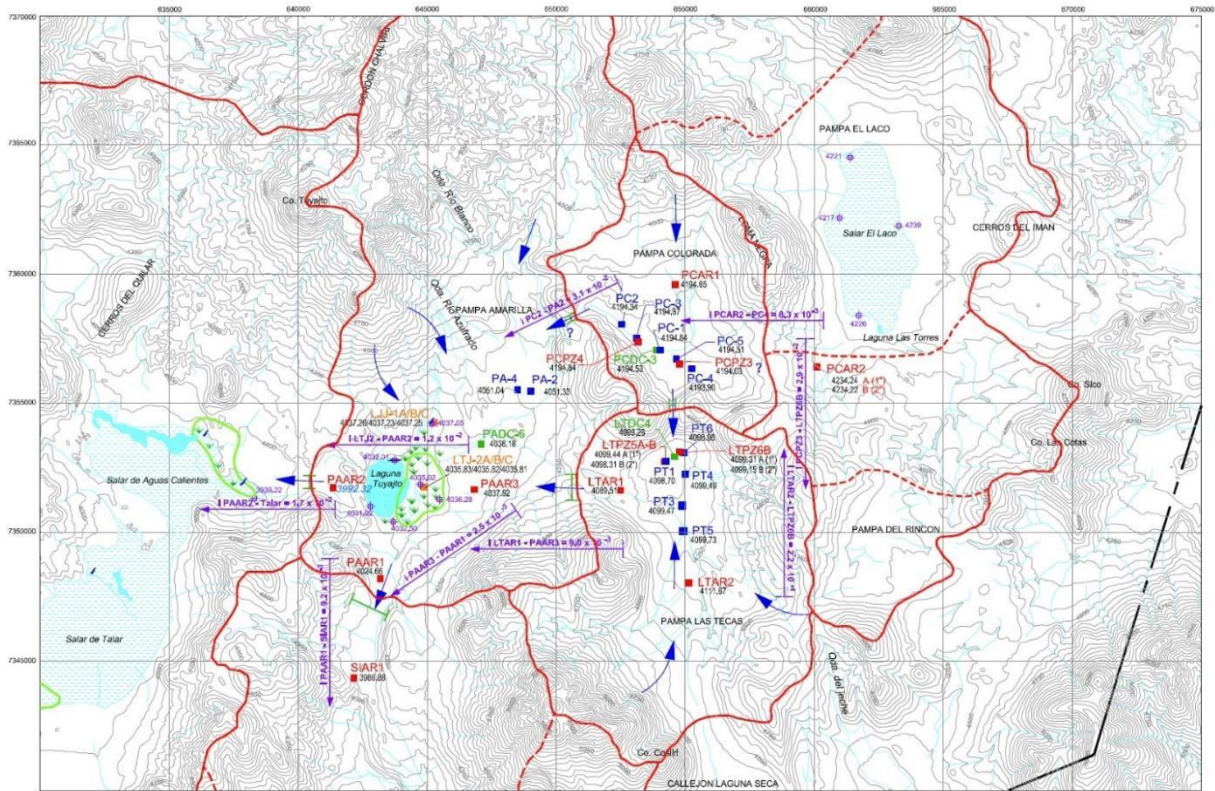
- ~ 150 m entre Pampas Colorada y Amarilla
- ~ 100 m entre Pampas Colorada y Las Tecas
- ~ 50 m entre Pampas Las Tecas y Amarilla
- ~ 50 m entre Pampa Amarilla y el sur del Salar de Aguas Calientes
- ~ 40 m entre Pampa Amarilla y la cuenca norte de Incahuasi (SIAR1)
- ~ 40 m entre Pampa Colorada y El Laco

Estas diferencias piezométricas entre cuencas, en contraste con los niveles de agua subterránea relativamente planos en los centros de las cuencas, indican que ocurre un flujo limitado entre cuencas y los bordes de las cuencas presentan materiales de menor permeabilidad. Si se producen altas tasas de flujo entre cuencas, los niveles de agua

subterránea serían más similares entre cuencas. Por lo tanto, los flujos entre cuencas ocurren a través de zonas de menor permeabilidad o a través de zonas discretas, por ejemplo, de mayor permeabilidad que forman planos de flujo preferencial.

Considerando la geología, estructuras, morfología e inter-cuenca locales perfiles geofísicos, es más probable que el flujo entre cuencas se produzca a través de depresiones marginales de permeabilidad relativamente alta generadas en el contacto de diferentes unidades geológicas. Entre Pampas Colorada a Las Tepas y Las Tepas a Amarilla existen características estructurales que pueden crear trayectorias de flujo preferenciales.

Finalmente, el flujo entre estas cuencas ocurre debido a la continuidad de las unidades hidroestratigráficas permeables.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-6 Flujos y gradientes hidrogeológico Endorreicas Sur.

Para este estudio se utilizó la red de pozos de monitoreo existe en la zona con el objeto de recabar información de niveles estáticos y calidad de agua subterránea. Esta información se entrega en la Tabla 2-1, donde es posible confirmar los resultados obtenidos en estudios anteriores y ratificar la dinámica definida para las aguas subterráneas en estas cuencas.

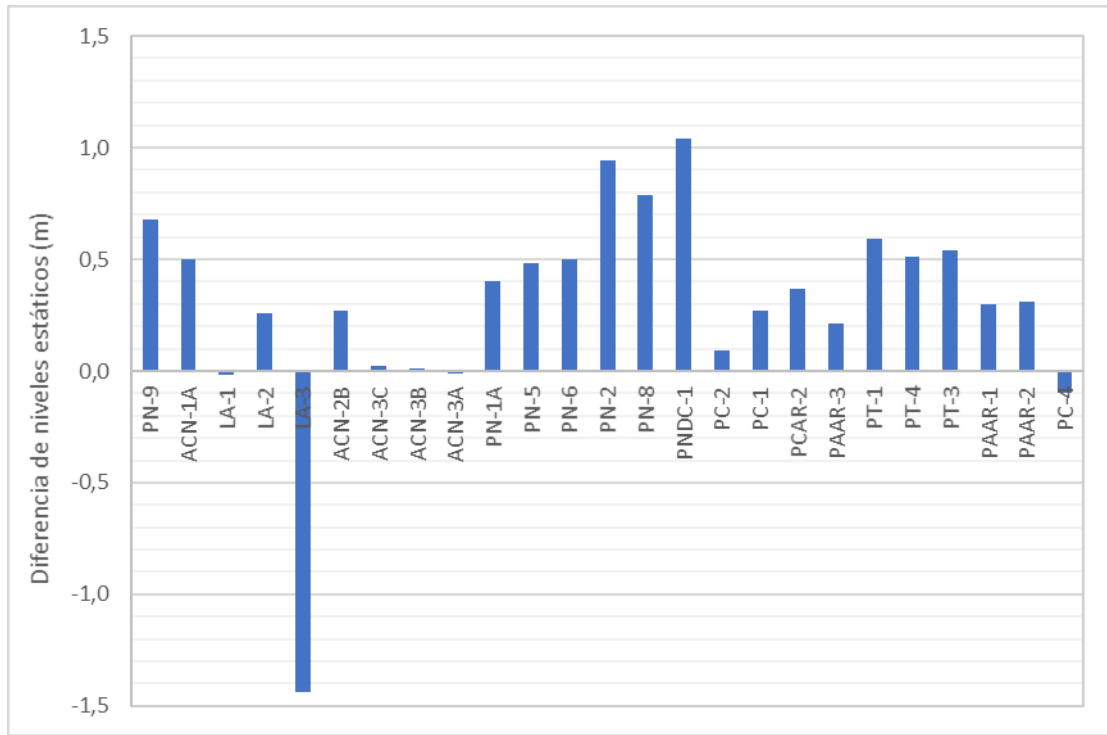
Tabla 2-1 Cotas de Niveles Estáticos de Pozos Profundos

POZO	COORDENADAS UTM (WGS84)		COTA (m s.n.m.)	FECHA	HORA	NIVEL ESTÁTICO (m)	PUNTO DE REFERENCIA
	ESTE (m)	NORTE (m)					
PU-1	644111,46	7431914,73	4533,55	18-08-2021	17:00	0,59	boca de pozo
PU-3	649377,05	7434802,74	4507,13	21-08-2021	15:15	0,40	nivel de terreno
PU-2	651017,51	7430684,69	4508,40	21-08-2021	16:00	0,37	boca de pozo
PN-9	657789,37	7380657,73	4374,06	23-08-2021	10:20	51,56	boca de pozo
ACN-1A	643246,38	7397521,38	4202,16	23-08-2021	12:30	0,88	boca de pozo
LA-1	644281,41	7393703,89	4234,36	23-08-2021	13:30	23,42	boca de pozo
LA-2	645010,14	7392814,36	4247,96	23-08-2021	14:30	34,08	boca de pozo
LA-3	646152,09	7390874,90	4304,94	23-08-2021	16:00	89,66	boca de pozo
ACN-2B	643854,80	7397311,58	4200,96	24-08-2021	10:30	0,93	boca de pozo
ACN-3C	644502,57	7396797,22	4201,86	24-08-2021	11:10	0,82	boca de pozo
ACN-3B	644507,00	7396800,00	4201,77	24-08-2021	11:15	0,71	boca de pozo
ACN-3A	644512,00	7396801,00	4201,87	24-08-2021	11:20	0,90	boca de pozo
PN-1A	657883,38	7379017,23	4361,18	24-08-2021	11:12	38,95	boca de pozo
PN-5	658962,76	7378870,94	4355,92	24-08-2021	11:50	33,67	boca de pozo
PN-6	659064,04	7379437,40	4366,14	24-08-2021	12:32	43,98	boca de pozo
PN-2	657833,87	7379953,38	4362,41	24-08-2021	13:09	40,09	boca de pozo
PN-8	658189,40	7380593,63	4374,61	24-08-2021	13:52	52,13	boca de pozo
PND-1	658746,96	7380051,05	4369,28	24-08-2021	14:30	46,95	boca de pozo
PC-2	652341,38	7357678,77	4262,97	01-09-2021	15:00	67,56	boca de pozo
PC-1	653843,54	7356684,22	4284,61	01-09-2021	16:00	88,53	boca de pozo
PCAR-2	659913,28	7356042,93	4313,37	01-09-2021	17:56	77,67	boca de pozo
PAAR-3	646635,85	7351280,13	4076,55	02-09-2021	9:00	38,07	boca de pozo
PT-1	654007,19	7352361,57	4182,13	02-09-2021	10:30	82,27	boca de pozo
PT-4	654815,40	7351873,22	4204,06	02-09-2021	11:00	103,48	boca de pozo
PT-3	654689,37	7350660,27	4214,22	02-09-2021	12:00	113,59	boca de pozo
PAAR-1	642985,66	7347837,21	4069,90	02-09-2021	13:45	44,09	boca de pozo
PAAR-2	641174,76	7351340,47	4018,11	02-09-2021	15:00	24,66	boca de pozo
PC-4	655068,53	7355965,25	4291,47	02-09-2021	16:20	97,72	boca de pozo
LACO-15	663595,00	7359928,00	4232,72	02-09-2021	18:15	1,10	boca de pozo
LACO-22	661789,22	7364681,66	4233,80	03-09-2021	9:30	1,14	boca de pozo
LACO-5	661142,96	7363055,69	4232,17	03-09-2021	10:10	1,20	boca de pozo

Fuente: Elaboración propia.

Además, estos resultados permiten comparar los niveles estáticos actuales con los registrados en otros estudios, de manera de conocer su evolución en el tiempo. Por ejemplo, se compararon estos niveles con los registrados en la campaña 2004-2005

realizada por WMC para MEL (Figura 2-7), comprobando que para estas 2 fotografías de la superficie equipotencial reciente se elevó en 22 de los 25 puntos de monitoreo con ascenso entre 1 y 104 cm. Esta elevación de la superficie piezométrica puede corresponder a un fenómeno puntual de recarga por infiltración de la nieve caída 3 meses antes de la campaña de medición.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-7 Grafica de diferencia de niveles estáticos entre las campañas de 2004-2005 (WMC) y 2021 (Enlaces SpA).

Para tener una idea del comportamiento de estos niveles estáticos en el tiempo, y de este modo, conocer las variaciones de la superficie equipotencial del acuífero, se recopiló la información de niveles de agua subterránea entre el 2003 y 2012, registrada en los proyectos Mundo y Pampa Colorada, agregando los puntos monitoreados en este estudio, generando con esto gráficas que muestran la estabilidad y equilibrio del sistema subterráneo, con niveles que se han mantenido constante, con muy pequeñas variaciones, en estos 18 años. Esto da cuenta de acuíferos sin estrés que mantienen un equilibrio entre las componentes de recarga y descarga del balance hídrico (Figura 2-8).

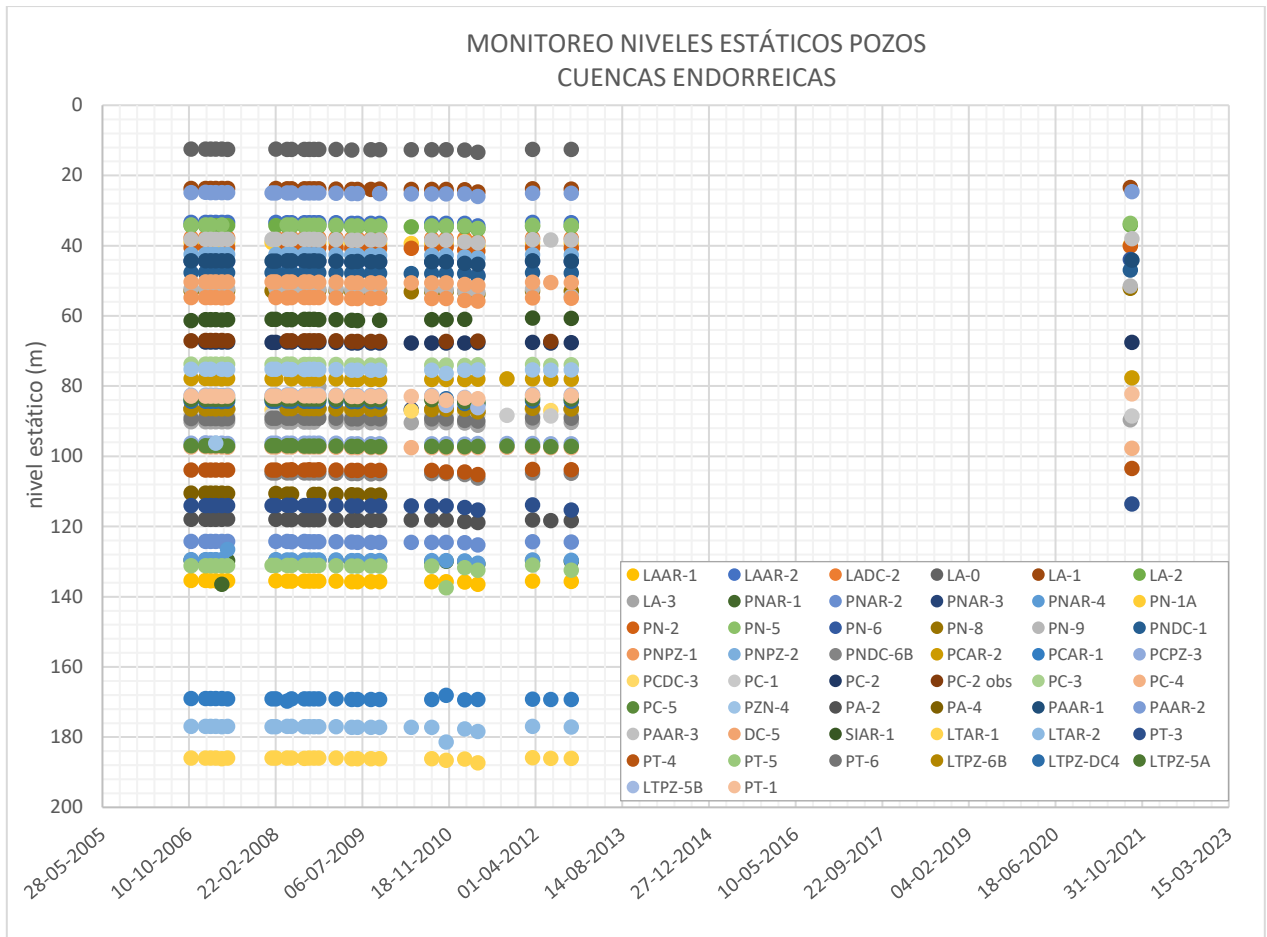


Figura 2-8 Evolución de niveles estáticos en pozos de las cuencas endorreicas.

2.3 Sectores Hidrogeológicos

La información geológica, hidrogeológica, geofísica e hidroquímica recopilada en la zona sur del área de estudio, además de la generada en este PEGH, permiten definir un modelo hidrogeológico conceptual que es consistente con una dinámica del agua subterránea representada por flujos locales, intermedios y profundos con tránsitos extracuenas y descargas, principalmente, por evaporación y evapotranspiración en las zonas deprimidas de estos sistemas, donde se generan vertientes, vegas, salares y lagunas.

Al encontrarse toda el área de estudio en la misma unidad climatológica y en el mismo ambiente hidrogeológico, la información que caracteriza las aguas subterráneas en la zona sur puede ser aplicada a la zona centro o norte del área de estudio, donde se carece de antecedentes de subsuperficie. Además, se considera toda esta área como un sistema

endorreico, vale decir, sin conexión subterránea con cuencas vecinas, en particular con la cuenca del Salar de Atacama, lo cual se encuentra validados por estudios hidroquímicos, isotópicos y piezométricos (WMC, 2007), que establecen distintas composiciones y recorridos entre las aguas de las cuencas endorreicas y las analizadas en la vertiente oriental del salar de Atacama.

De esta forma, y tomado en consideración criterios topográficos, información de afloramientos de agua subterránea, escurrimiento superficial, identificación de cuerpos o zonas de descarga principales y aplicando el esquema de bloques saturados-comunicados hidráulicamente, se identifican en el área de estudio cuatro sectores hidrogeológicos, denominados:

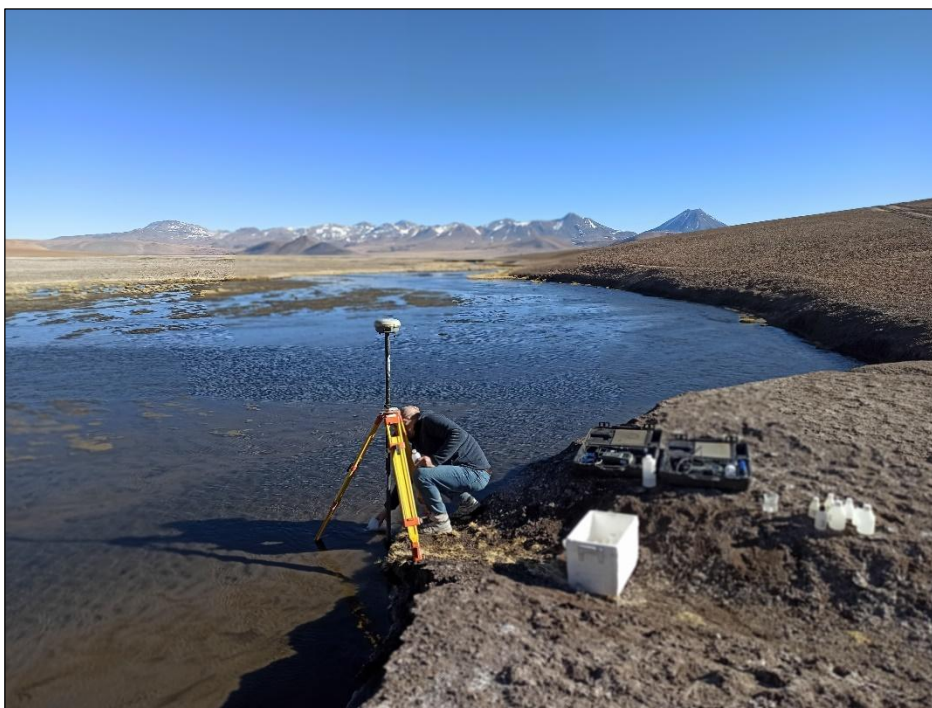
2.3.1 SHAC Endorreicas Norte

Este sector está conformado por las cuencas Salar de Pujsa, Salar de Aguas Calientes Norte y Salar de Quisquiro, y está caracterizado por un flujo subterráneo de dirección, general, NW-SE, con importantes afloramientos de agua subterránea en el borde occidental de este sector, vertiente oriental de la cordillera principal, que da lugar a escurrimientos de agua superficial permanentes, de varios kilómetros, que drenan hasta el salar de Pujsa, el cual representan la zona de descarga de mayor cota de este sistema (4515 m.s.n.m.), y por tanto, el bloque con agua subterránea almacenada de mayor altura en el sector. Desde este bloque, el agua subterránea escurriría, con distintos grados de conexión hidráulica, a través de materiales de baja permeabilidad o por estructuras, hacia la cuenca del Salar de Aguas Calientes Norte, situado a una cota de 4230 m.s.n.m., en el cual se observan afloramientos de agua en el borde occidental, tanto a nivel del salar, como en los cerros que limitan esta cuenca, así como también, en el borde norte que limita con la cuenca del Salar de Tara, salar que está fuera del área de estudio. Finalmente, el escurrimiento subterráneo desde los salares de mayor altura llega al salar de Loyoques o Quisquiro, ubicado a una cota de 4190 m.s.n.m. y con una superficie del sistema salino de 80 km² que lo convierte en la mayor fuente de descarga de este sector hidrogeológico. Los principales afloramientos de agua en este salar se reconocen en los bordes occidental, norte y sur, los cuales generan escurrimientos superficiales que terminan por alimentar un importante sistema de lagunas.

2.3.2 SHAC Endorreicas Centro

Este sector está conformado por las cuencas de Laguna Lejía, Salar de Aguas Calientes Centro y Pampa Puntas Negras, y está caracterizado por un flujo centrípeto, hacia

el Salar de Aguas Calientes Centro, situado a una cota de 4200 m.s.n.m., desde las cuencas situadas a mayor elevación, Pampa Puntas Negras (4370 m.s.n.m.), al este, y Laguna Lejía (4330 m.s.n.m.), al oeste. En todo el borde del Salar de Aguas Calientes Centro se reconocen afloramientos de aguas subterráneas, siendo los más importantes, los registrados al norte, sur y este del mismo, los cuales generan escorrentía superficial permanente y alimentan el sistema lagunar. Este cuerpo salino corresponde al de mayor superficie en el área de estudio, y a él confluyen los cauces superficiales de mayor caudal observados en la zona.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-9. Cauce permanente que fluye desde el norte hacia el Salar de Aguas Calientes Centro.

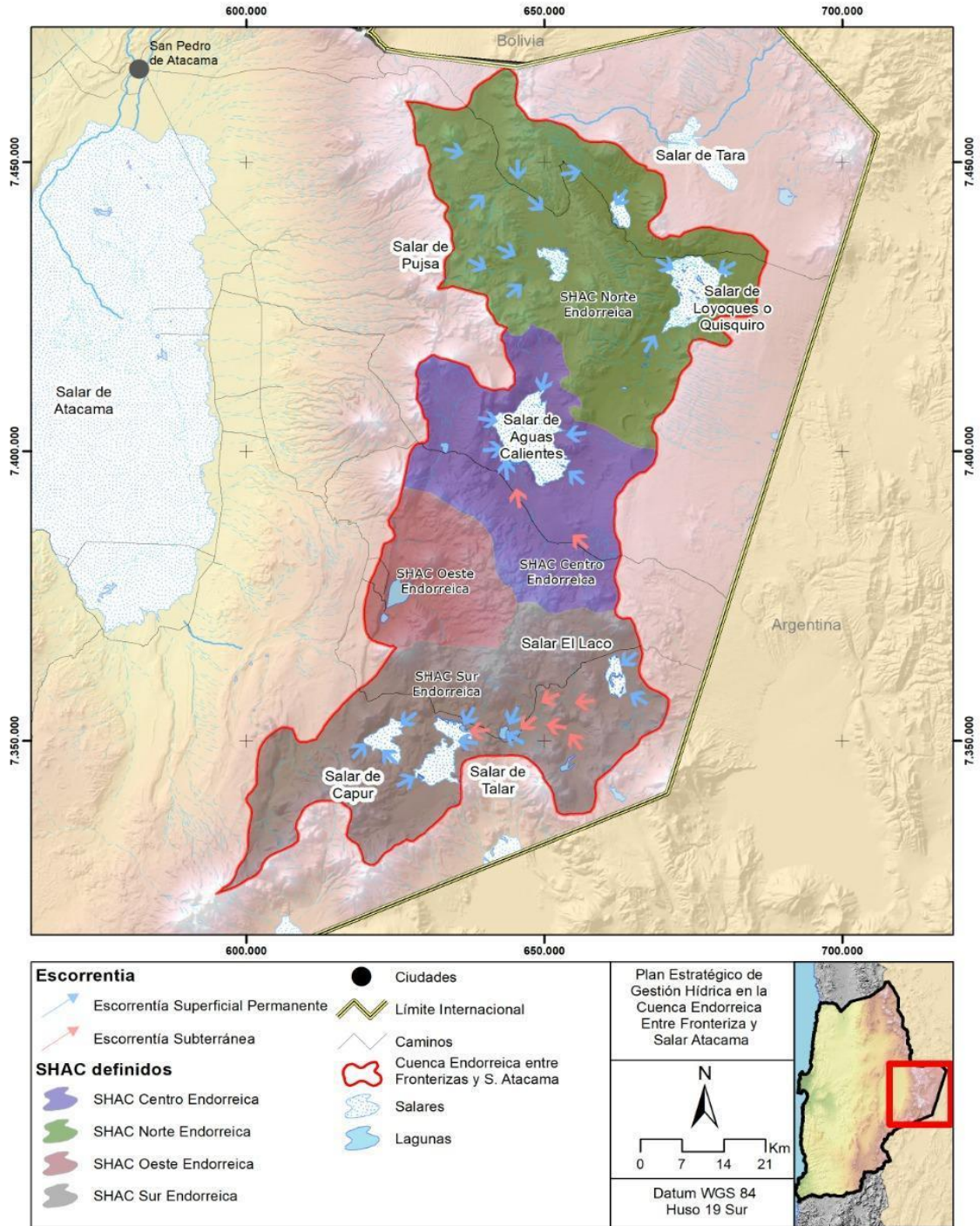
2.3.3 SHAC Endorreicas Oeste

Este sector está conformado por las cuencas de las lagunas Miscanti y Meñiques, y se encuentra limitado al norte y este por el cordón volcánico de Puntas Negras, al sur por el aparato volcánico del Cerro Meñiques y al oeste por los cuerpos volcánicos (tobas y lavas) que conforman la vertiente oriental del Salar de Atacama. Este sector es el único que no presenta salares, confluyendo todas las aguas subterráneas hacia las lagunas, observando en el borde norte y oriental una serie de afloramientos puntuales y difusos que alimenta

estas lagunas, las cuales representan a los mayores cuerpos de agua del área de estudio, y es donde se produce la principal descarga de este sistema.

2.3.4 SHAC Endorreicas Sur

Este sector está conformado por las cuencas de Salar El Lago, Pampa Colorada, Pampa Las Tepas, Pampa Amarilla, Salar de Aguas Calientes Sur y Salar Capur, y corresponde al sector hidrogeológico más investigado del área de estudio. Los antecedentes geológicos, hidrogeológicos, geofísicos, hidroquímicos e isotópicos, han permitido reconocer un flujo regional de dirección, general, EO, que comienza en la cuenca del Salar El Lago, con un flujo salino profundo, hacia la cuenca de Pampa Colorada, para luego definir un modelo de compartimentos, con flujos que van desde Pampa Colorada (4290 m.s.n.m.) hacia Pampa Las Tepas (4200 m.s.n.m.) y Pampa Amarilla (4180 m.s.n.m.), desde Pampa Las Tepas y Pampa Amarilla hacia la Laguna Tuyajto (4040 m.s.n.m.), primera zona deprimida de descarga, para luego drenar, subterráneamente, hacia el Salar de Aguas Calientes Sur (3940 m.s.n.m.) y el Salar de Capur (3930 m.s.n.m.), constituyendo estos dos cuerpos salinos y sus sistemas lagunares, la zona de descarga final de este sector.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-10 Sectores hidrogeológicos definidos en el área de estudio.

2.4 Modelo Cuenca Endorreica y Estimación de Recarga

El área de estudio está conformado por 13 cuencas hidrológicas cerradas, las cuales forman un gran sistema endorreico, con el supuesto de desconexión hidráulica subterránea desde y hacia las cuencas vecinas, supuesto que fue estudiado hacia la vertiente oriental del Salar de Atacama (WMC, 2007), comprobando esta hipótesis con información de niveles y comparación química e isotópica entre las aguas subterráneas de las cuencas endorreicas y los afloramientos ubicados en el margen oriental del Salar de Atacama entre las localidades de Talabre y Tilomonte (al sur de Peine).

Cabe destacar que la química de las aguas subterráneas en las cuencas endorreicas no ha variado en los últimos 20 años, como se puede ver en la Tabla 2-5, donde se comparan algunos pozos muestreados como parte de esta PEGH y análisis realizados en estos mismos puntos el año 2004 por WMC en el desarrollo del proyecto Pampa Colorada, confirmando que se trata del mismo tipo de aguas (sódico-cálcicas cloruradas) y con la misma calidad (mantienen valores de salinidad), por lo tanto los análisis realizados en investigaciones anteriores mantienen su vigencia y dan cuenta de la estabilidad del sistema.

Tabla 2-2 Comparar de elementos mayores y parámetros fisicoquímicos de muestras tomadas los años 2004 y 2021.

PARÁMETRO	UNIDAD	LAAR-2		LA-2		PN-2		PN-9		PC-2		PT-3		PA
		2004	2021	2004	2021	2004	2021	2004	2021	2004	2021	2004	2021	2004
Na	mg/l	556	424	487	442	333,1	405	380,6	454	807	562	201	132	146
K	mg/l	72,7	65,6	59,6	73,5	8,4	69,2	6,7	84,2	47,4	82,6	7,4	13,9	89
Ca	mg/l	534	390	469	376	297	234	294	236	90,39	107	31,3	80,2	35
Mg	mg/l	55	40,3	20,2	29,3	114,8	19	122,6	24,5	32,2	47,1	14,8	31,5	18
Cl	mg/l	1340	1106	1241	1143	1131,6	1139	1084,5	1160	1209	910	332	350	311
SO4	mg/l	597	537	413	582	377,5	245	375	237	314	509	2,5	21,7	62
HCO3	mg/l	87	83,6	43,3	28,8	90	49,4	72,5	32,7	176	119	128	29,8	20
TDS	mg/l	3242,4	2696	3498	2484	3050	2584	3090	2468	2400	2180	780	742	596
CE	uS/cm	5100	4380	4600	4480	4200	4040	3700	4000	4000	3870	1420	1212	800
pH	un. de pH	7,8	7,3	8,4	8,05	6,6	7,78	6,8	7,8	7,4	7,14	7,2	6,15	7

Dentro de este gran sistema endorreico se definen sectores hidrogeológicos donde existe conexión hidráulica subterránea entre cuencas, caracterizado por flujos profundos, de mayor salinidad, con mayor permanencia y tránsito dentro del acuífero, recorriendo el área desde distintas cajas de almacenamiento subterráneo, de mayor a menor cota, descargando en su viaje hacia cuerpos de agua superficial (vertientes) y luego hacia la atmósfera en importantes cuerpos de evaporación (salares y lagunas).

La recarga en estos sectores hidrogeológicos se produce por la infiltración de las precipitaciones caídas dentro de estas cuencas, y flujos subterráneos entre acuíferos y laterales.

Las precipitaciones registradas en la zona tienen un carácter pluvionival, produciéndose precipitaciones del tipo nieve durante el invierno, abarcando toda el área de estudio, y del tipo lluvia en verano, con precipitaciones sólidas sobre los 5,000 m.s.n.m. (observación visual durante todas las campañas de terreno realizadas por EMSA y WMC entre los años 2000 y 2007).

Estas precipitaciones, principalmente líquidas, caen en los sectores de pampas infiltrándose rápidamente en los depósitos sedimentarios, produciendo una recarga directa al sistema, por otro lado, el agua y nieve caída en los sectores altos de las cuencas, se encuentran con una superficie conformada por rocas volcánicas intensamente fracturadas, con gran acumulación de bloques, favoreciendo esta condición a la infiltración, como se ha podido observar en visitas realizadas al terreno (comunicación verbal EMSA). En invierno y primavera se ha podido constatar como los cursos de agua producidos por la fusión de los cuerpos de nieve, descienden y se infiltran a través de los planos de fracturas y cobertura sedimentaria.

El agua que se infiltra y se incorpora al acuífero se canaliza principalmente a través de fallas, saturando una serie de unidades con diferentes permeabilidades, dadas por el grado de fracturamiento y la porosidad primaria, que en algunas rocas sobrepasa el 20%.

Las unidades profundas y de mayor permeabilidad de este sistema acuífero, tienen una recarga adicional provenientes desde las cuencas vecinas, a través de zonas de traspaso evidenciadas por la geofísica. Estos flujos presentan una mayor salinidad como se puede constatar en los perfilajes y muestras de agua tomadas en los pozos a diferentes profundidades (Arcadis, 2007; EMSA, 2010).

Además, en algunos sectores puntuales se registran aguas subterráneas, en pozos, y afloramientos, con temperaturas sobre los 30°C lo que indicaría aguas de circulación profunda con una influencia hidrotermal, probablemente desde el cordón de Puntas Negras u otros cuerpos calientes, con conexión a través de fallas.

Al tratarse estos sectores hidrogeológicos como sistema de cuencas cerradas, un tratamiento clásico para estimar la recarga de ellas, sería evaluar las precipitaciones y otorgar un factor de infiltración a la componente líquida y un factor de sublimación a la

componente sólida, sin embargo, en particular en estas cuencas existe escasa información observada de precipitaciones, y es necesario homologar los datos de esta componente obtenidos en otras cuencas de la región, muchas de ellas de menor altitud, lo que puede llevarnos a estimaciones erradas de la recarga.

No obstante, si consideramos un sistema natural, sin intervención antrópica, como es el caso de estas cuencas, cerrado (cuenca endorreica) y en equilibrio, como lo demuestran la estabilidad de los niveles estáticos y la calidad de las aguas subterráneas, es posible establecer una ecuación de balance de largo plazo, con componentes de caudales de entrada equivalentes a las componentes con caudales de salida. Esto indicaría, que, procediendo correctamente, la evaluación es posible efectuarla ya sea por entradas o por salidas.

Para el caso de este estudio, la determinación de la recarga, a través de la evaluación de las salidas, parece tener menor incertidumbre, debido a las imprecisiones que implica evaluar las entradas a un sistema, como pueden ser las abstracciones por falta de datos observados y factores de pérdidas de las precipitaciones brutas. Mas aun considerando la estabilidad en el tiempo y espacio de las variables que controlan la componente fundamental de la descarga en este ambiente, como lo son las diversas formas de evaporación, concentradas en los cuerpos de salares y su entorno.

Es así como se propone a nivel conceptual, considerando la dinámica de las aguas subterráneas y superficiales en estas cuencas endorreicas, estimar la recarga al sistema subterráneo, evaluando la (1) *evaporación desde el suelo*, en zonas con niveles estáticos someros, correspondiente a la superficie de los salares y su vecindad inmediata, (2) *evaporación desde agua libre*, en la superficie cubiertas por lagunas y cauces de escorrentía superficial permanente, y (3) *evapotranspiración*, desde coberturas vegetacionales, conformadas en esta zona por unidades de vegas y bofedales.

Capítulo 3. INTERACCIÓN HIDROLÓGICA SUPERFICIAL Y SUBTERRÁNEA

3.1 Conceptualización de Interacción Superficial-Subterránea

3.1.1 Caracterización de la Partición Precipitación-Recarga

La recarga de los acuíferos estudiados en las cuencas de interés se produce por infiltración de la precipitación, parte de la cual se produce en forma de nieve. El área de estudio tiene la elevación más alta de la región y, por lo tanto, no se produce una recarga externa por el flujo entre cuencas de otras áreas.

La recarga es el parámetro hidrogeológico que presenta mayor grado de incertidumbre asociado a su estimación. Incluso en áreas donde hay muchos años de datos de monitoreo meteorológico e hidrogeológico, es común que exista una amplia gama de estimaciones de recarga, y en este caso, existen escasos puntos con datos de precipitación observados y con una estadística corta y discontinua, lo que se suma y otras variables meteorológicas de corta data y baja representación espacial, por lo tanto, las estimaciones de recarga realizadas se basan en la extrapolación de datos meteorológicos distantes y lo que les otorga un alto grado de incertidumbre.

El área de estudio se encuentra ubicada en una zona climática afectada por dos regímenes de precipitación diferentes que ocurren en verano e invierno. Las precipitaciones de verano provienen de la cuenca del Amazonas ("invierno altiplánico") y afectan a la cordillera de los Andes del Norte desde aproximadamente la latitud de Copiapó, su influencia aumenta en intensidad hacia el norte y el este. La precipitación invernal cae en forma de nieve y ocurre debido a sistemas frontales que disminuyen en intensidad hacia el norte. Estos dos regímenes producen una variación de la precipitación con la latitud (y elevación) en Chile y la zona de las Cuencas Endorreicas está ubicada en una latitud más influenciada por el régimen de verano.

El área de estudio está ubicada en una zona semi aislada de la cobertura de datos meteorológicos; las estaciones meteorológicas más cercanas con datos de monitoreo a largo plazo se encuentran a 50 km de distancia y en elevaciones inferiores a los 4.000 msnm (Socaire, Peine, Talabre, San Pedro de Atacama). Estaciones a elevaciones similares están ubicadas al norte, a más de 100 km de distancia (El Tatio) y probablemente reciben mayores aportes de precipitación de verano más importantes.

Análisis de precipitación regional realizados en estudios anteriores, dan cuenta de una precipitación para la zona entre 160 y 180 mm/año (DGA, 1987; EMSA, 2003; WMC, 2007). Estos análisis también indican que la mayor parte de la precipitación ocurre en verano y que la recarga asociada a esta componente se encontraría en el rango entre 5 a 20% del agua caída (WMC, 2007)

Con respecto a las precipitaciones sólidas, las estaciones meteorológicas regionales no registran las nevadas, las cuales se producen en todo el territorio de la Puna durante algunas temporadas invernales, entre los meses de mayo y agosto, y restringido a alturas mayores a los 5000 m.s.n.m., en el período estival (observaciones de estudios EMSA y WMC, período 2000-2012). Sin embargo, una investigación realizada en El Laco (Viulle, 1996) indica que a esta altura se producen altas tasas de sublimación (del orden del 70%), lo que limita significativamente la cantidad de nieve derretida disponible. Por lo tanto, es probable que la recarga debido a la precipitación invernal (principalmente nieve) sea baja y la mayor parte de la recarga ocurrirá durante los eventos de verano.

La acumulación de agua en superficie, tanto de la lluvia caída como la fusión de nieves, sufre un proceso de evaporación, en gran parte, y el volumen restante, se infiltra en las partes bajas de las cuencas, principalmente, en depósitos sedimentarios no consolidados, aluviales y coluviales que rellenan piedemontes y pampas. Esta agua percola en profundidad hasta generar recarga a los acuíferos, lo cual dependerá principalmente, de la duración e intensidad de las lluvias y la profundidad del nivel freático.

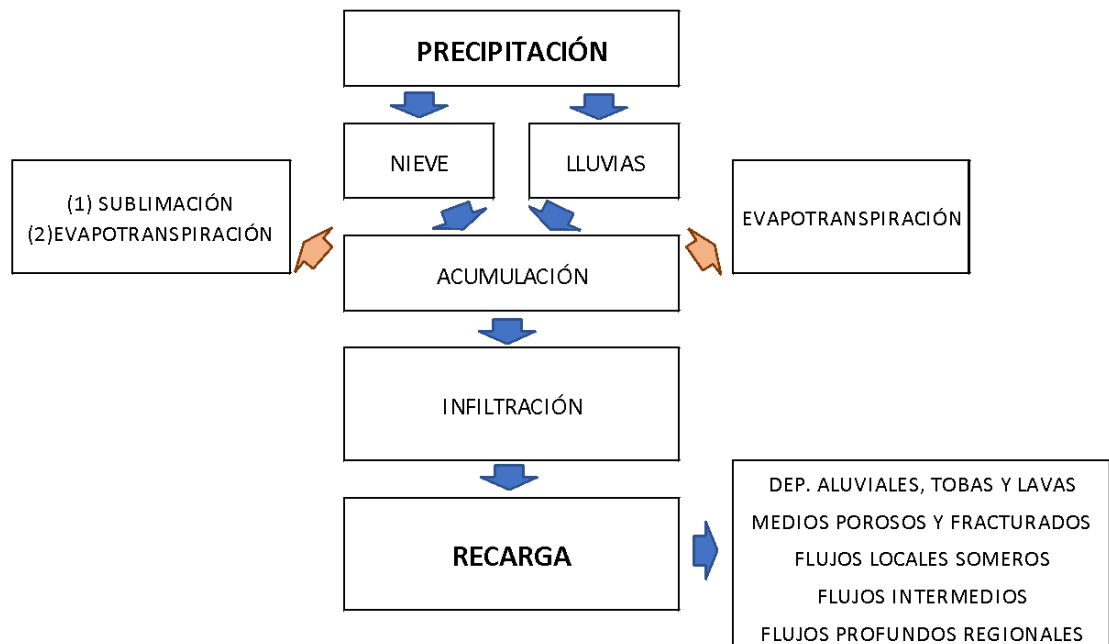
En las zonas altas de las cuencas, generalmente, cubiertas por unidades de rocas, la infiltración de las precipitaciones se produce a través de vías preferenciales, fracturas o fallas, percolando estas aguas a distintas profundidades, dependiendo de la permeabilidad del medio, hasta recargar el acuífero y formar parte de flujos locales, intermedios o regionales (Figura 3-1).

Esta recarga presenta una gran incertidumbre debido a la variabilidad de la frecuencia, duración y distribución de las precipitaciones en el área de estudio, utilizando para estas estimaciones valores de promedios anuales que no consideran la componente de cambio climático y las variaciones anuales con períodos secos y húmedos que dominan la recarga en ambientes áridos.

Por tal motivo, las evaluaciones de recursos hídricos basadas en datos de precipitación anual promedio y estimaciones de recarga incluyen la incertidumbre inherente de si las estimaciones de recarga anual promedio estimadas a largo plazo realmente

ocurrirán durante el corto plazo asumido para la gestión de éstos. Del mismo modo, al igual que ocurren tormentas poco frecuentes y de alta intensidad, es probable que ocurran años secos lo que representa un riesgo importante a un recurso que depende de la recarga.

La recarga directa adicional que ocurre en los ecosistemas de humedales puede ser una importante fuente natural de mitigación del impacto ambiental, en el caso de que se pretenda utilizar en forma consuntiva estos recursos. En este caso, la estimación de los períodos de retorno de los eventos de precipitación reviste gran importancia en este análisis.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-1 Modelo de la partición de la precipitación en la recarga en el área de estudio.

3.1.2 Identificación de las Zonas de Recarga

En cuanto a los procesos y zonas de recarga del área de estudio, estos se producen por eventos desarrollados en superficie y subterráneamente.

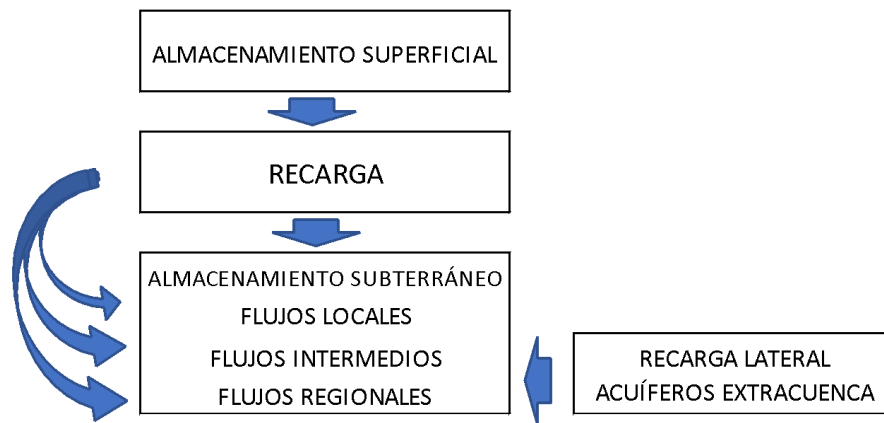
Los primeros tienen relación con la precipitación tanto líquidas como sólidas, que se registran en la zona durante las estaciones de verano e invierno, respectivamente, por la acción de los frentes que provienen desde las amazonas con un avance de dirección SW y desde el océano Pacífico con recorridos WE y NE. Estas precipitaciones presentan una gran

variabilidad en distribución, frecuencia, duración y temporalidad, registrándose en períodos cortos en los cuales el balance hídrico entre entradas y salidas da como resultados recargas en el sistema subterráneo.

El agua acumulada en superficie después de estos eventos de lluvias o fusión de nieves se infiltra en los depósitos sedimentarios, creando frentes de humedad y percolación, los cuales llegan al techo de la zona saturada, con una efectividad y velocidad que depende de las condiciones físicas del suelo y la profundidad del nivel freático. También, esta infiltración se produce a través de fracturas en las rocas volcánicas y volcanoclásticas, formando vías de percolación preferencial, generando recarga a distintas profundidades del acuífero, formado flujos locales de recorridos cortos y calidad de agua dulce, flujos intermedios con recorridos mayores y aguas salobres, y flujos profundos con recorridos regionales, extracuenca, y aguas salobres a salinas.

Además de los fenómenos de superficie que generan recarga en los acuíferos, existe recarga por flujos subterráneo entrante desde cuencas vecinas, condicionados por la continuidad, en profundidad, de las unidades volcánicas porosas/fracturadas, las cuales conforman unidades hidroestratigráficas que se extienden más allá de los límites de las cuencas hidrológicas.

En sectores locales, también se pueden producir recargas por infiltración desde cuerpos de agua superficial, lagunas o cursos de agua superficial, percolando hasta el acuífero superficial y, eventualmente, producirse el fenómeno contrario de descarga del acuífero a estos cuerpos.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-2 Modelo de recarga del agua subterránea en el área de estudio.

3.1.3 Identificación de las Zonas de Descarga

Para el caso del área de estudio de este PEGH, la dinámica y ubicación de las zonas de descarga está íntimamente relacionada con el tipo de cuencas investigadas. En este caso se trata de cuencas cerradas, del tipo endorreicas, con un drenaje centrípeto hacia los sectores bajos de las mismas, donde se desarrollan salares y lagunas, por un efecto combinado se afloran aguas subterráneas, niveles freáticos a nivel del terreno y altas tasas de evaporación (Figura xx).

En estas zonas bajas de las cuencas se producen los principales procesos de descarga del acuífero, asociados a procesos de evaporación desde distintos cuerpos, con movimiento de masas de agua desde la superficie hacia la atmósfera.

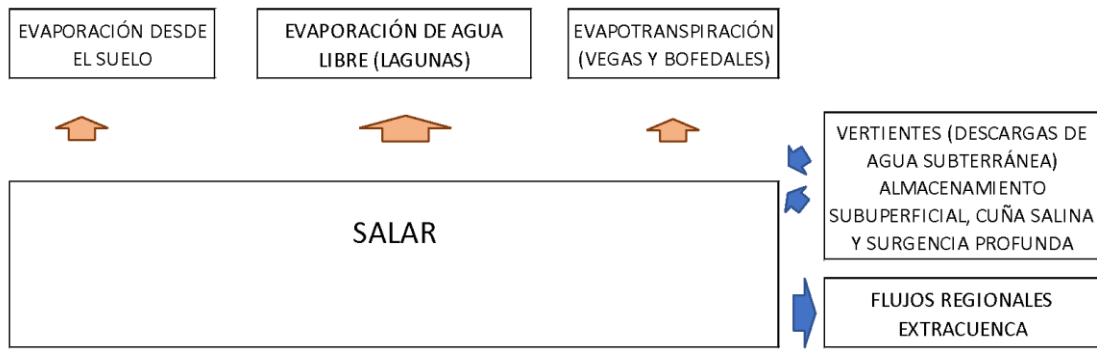
El agua que alimenta estos procesos de evaporación proviene desde el almacenamiento subterráneo y se incorpora a éstos mediante la generación de vertientes, las cuales pueden tener su génesis: (1) en las zonas medias a altas de la cuenca y corresponder a almacenamientos subsuperficiales en rocas fracturadas y aflorar en sitios puntuales al encontrarse con materiales de menor permeabilidad, para luego escurrir formando cursos de agua superficial (i.e.: quebradas al oeste del salar de Pujsa); (2) aguas subterráneas que afloran en el borde de los salares, como afloramiento puntuales o difusos y tiene su origen en condiciones topográficas (cruce entre el relieve del terreno y nivel saturado) o por efecto de la cuña salina y el encuentro de aguas entre aguas de distinta densidad; y finalmente, (3) surgencia puntual de aguas subterráneas profundas a través

de fallas que comunican cuerpos hidrotermales con la superficie (i.e.: afloramientos de los salares de Aguas Calientes Norte, Centro y Sur)

Estas masas de agua que provienen desde el acuífero, y sus distintos niveles de flujos, llegan al sistema salar donde los procesos de descarga están asociados a la evaporación en los distintos cuerpos superficiales, a saber:

- i. Evaporación desde superficies de aguas libres (lagunas y cursos de agua superficial). En este caso, esta superficie evaporante constituye la de mayor tasa de evaporación y dependerá exclusiva de las condiciones atmosféricas tales como: temperatura, radiación, humedad relativa del aire y velocidad del viento.
- ii. Evaporación desde el suelo en sectores de nivel freático cercano a la superficie (0-3 m de profundidad; EMSA, 2010), formando una superficie evaporante que cubre toda la superficie del salar y, dependiendo del relieve, una franja en sus bordes hasta llegar al nivel de extinción, donde el nivel del agua subterránea tiene una profundidad mayor a los 3 m. En este caso las tasas de evaporación dependerán de la profundidad del nivel estático y la composición, granulometría y consolidación del suelo.
- iii. Evapotranspiración desde vegas y bofedales, situados en general, en los bordes de las salares donde se producen afloramientos de aguas subterráneas, así como también, en quebradas que albergan esorrentía superficial permanente.

Finalmente, otro proceso y zona de descarga, distinto al retorno de masas de agua hacia la atmósfera, lo constituyen las salidas de agua subterráneas como flujos profundos o regionales hacia otras cuencas. Esta dinámica del agua subterránea se encuentra descrita en las cuencas investigadas en los sectores hidrogeológicos Endorreicas Centro y Sur, en los cuales, se entregan antecedentes piezométricos e hidroquímicos que sustentan estos traspasos entre cuencas hidrológicas (WMC, 2007; EMSA, 2010).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-3 Modelo de descarga del agua subterránea en el área de estudio.

3.2 Estimación de la Recarga

3.2.1 Recargas Estimadas desde Estudios Previos

Dentro de nuestra revisión de estudios previos no se encontraron estimaciones regionales de recarga para el dominio de las Cuencas Endorreicas; sin embargo, existen estimaciones de la recarga en algunas subcuencas (Tabla 3-1), las cuales han revelado una alta variabilidad de las tasas instantáneas y mensuales WMC (2006). La diferencia entre los valores mínimos (37.2 l/s) y los valores máximos (136.7 l/s) simulados supera las tres veces y el promedio alcanza los 101.6 l/s. Los valores presentados en la Tabla 3-1 han sido utilizados como referencia para establecer los rangos de recarga directa y lateral calculados en el modelo WEAP-Endorreicas (ver detalles en la siguiente sección).

Tabla 3-1 Estimaciones previas de recarga en las cuencas Endorreicas.

Subcuenca	Recarga (l/s)	Recarga (m3/mes)
Salar El Laco	135	361,584.00
Puntas Negras	118.4	317,122.56
Loma Amarilla	127.9	342,567.36
Pampa Colorada	37.2	99,636.48
Pampa Amarilla	136.7	366,137.28
Pampa Las Tepas	54.2	145,169.28
Total	609.40	1,632,216.96
Promedio	101.56	272,036

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Recargas Estimadas desde el Modelo Superficial WEAP

En el modelo WEAP-Endorreicas se establecieron diferentes procesos de recarga que permitieron detallar los procesos de partición hidrológica. Para esto se definieron nodos de demanda los cuales permiten representar los siguientes procesos:

- i. **Nodos de Recarga Directa Vertical:** corresponden a recargas directas hacia el acuífero profundo o alguna laguna de un sistema salar localizado en las cuencas Endorreicas. Estas recargas se producen principalmente a lo largo del cauce principal durante los eventos de tormenta. Estas recargas se establecieron como un porcentaje de partición que varió entre un 2% y un 10% de recarga con respecto a la precipitación total mensual.
- ii. **Nodos de Recarga Directa Horizontal:** corresponden a recargas directas producidas por el flujo subsuperficial o los afloramientos observados en las cuencas Endorreicas. Estas recargas se producen durante y después de los eventos de tormenta debido a las descargas de agua desde los acuíferos poco profundos las cuales son más lentas debido a las diferencias de permeabilidad y gradientes hidráulicos observados en las cuencas Endorreicas. Las fluctuaciones estacionales de los afloramientos fueron obtenidas desde los datos de referencia presentados en la sección 1.3.

- iii. **Interacción Laguna-Acuífero:** en todas las cuencas con presencia de lagunas (cuerpos de agua) se agregó un nodo de descarga desde el reservorio hacia el acuífero profundo, como una forma de representar la recarga desde el cuerpo de agua hacia el acuífero. Asimismo, se estableció una conexión de transmisión de agua entre el acuífero profundo y el reservorio para representar la posible ganancia del cuerpo de agua desde su acuífero local. Estos nodos se encuentran disponibles para futuras simulaciones; sin embargo, ellos no han sido activados en esta versión del modelo WEAP-Endorreicas debido a la falta de datos observados que permitan asimilar el régimen hidrológico de la interacción laguna-acuífero. Para representar esta interacción se consideró una descarga de agua desde los cuerpos de agua hacia el acuífero de alrededor del 5% del total embalsado en cada cuerpo de agua.

Los porcentajes de variación estacional de cada flujo de recarga se encuentran definidos en los supuestos clave del modelo WEAP-Endorreicas y se encuentran asociados a tres niveles de variación: alto, medio, y bajo. Estos parámetros pueden ser fácilmente modificados para ajustar los flujos de recarga definidos en el modelo.

3.2.3 Discusión sobre la Estimación de la Recarga para Futuras Simulaciones Numéricas

Es importante considerar que las estimaciones de recarga representan uno de los flujos hidrológicos con mayor incertidumbre debido a su alta variabilidad espacial y temporal. Las estimaciones establecidas en el modelo WEAP-Endorreicas se condicen con los resultados de estudios previos y logran representar adecuadamente el ciclo estacional de los procesos de recarga.

Para futuras simulaciones numéricas se recomienda establecer mediciones de recarga en terreno mediante métodos hidráulicos por ejemplo permeámetros, infiltrómetros, etc., o mediante el análisis de datos de pozos de monitoreo que tengan registros de fluctuaciones estacionales de los niveles de aguas subterráneas. Las estimaciones de recarga deben ser complementadas con datos pluviométricos con el objetivo de determinar la partición precipitación-recarga a escala de evento de tormenta. La determinación del porcentaje de partición hidrológica permitiría definir mejoras significativas desde el punto de vista de la representación de la recarga en el modelo WEAP-Endorreicas (ver Figura 2-7).

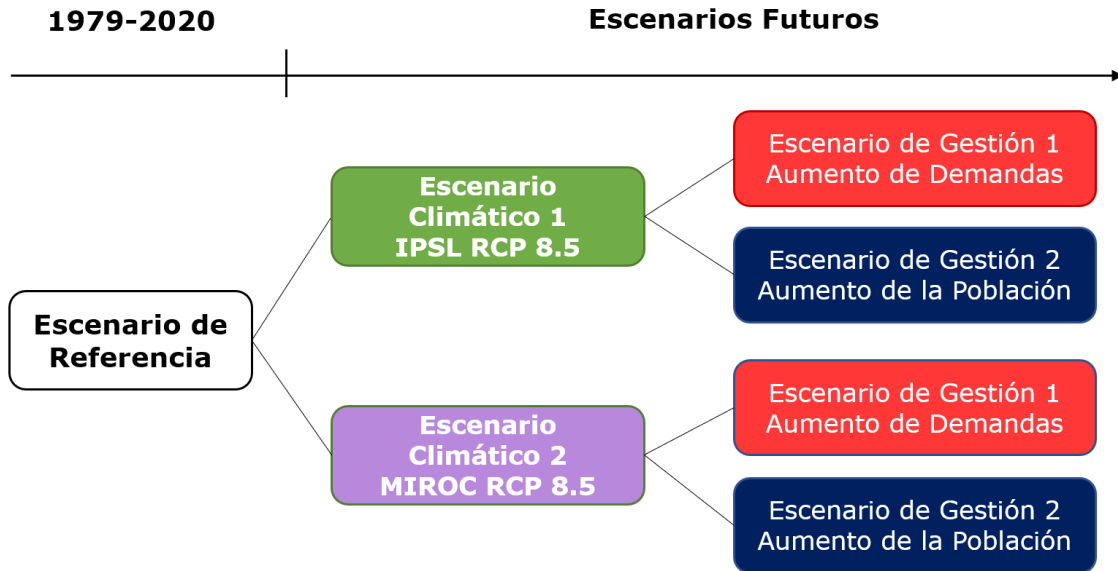
Capítulo 4. ESCENARIOS DE SIMULACIÓN HIDROLÓGICA

4.1 Evaluación y Proyección Futura de la Oferta y Demanda

4.1.1 Definición General de Escenarios de Simulación y Gestión

Tomando en consideración la simulación inicial y el proceso de calibración del modelo WEAP, se definieron dos escenarios de cambio climático, dentro de los cuales se definieron dos escenarios de gestión de aguas. En total se establecieron cuatro escenarios de gestión (Figura 4-1) que intentan responder las siguientes preguntas:

- i. **Escenario Climático 1:** ¿Qué pasaría si los patrones climáticos cambiaran de acuerdo con las proyecciones establecidas por el modelo climático global MIROC. Esto implica una reducción de 1.6% en las precipitaciones (~0.7 mm) y un aumento de un 139% en las temperaturas medias anuales (~1.8 grados Celsius) para la comparación entre los periodos 1985-2021 versus 2022-2059.
- ii. **Escenario Climático 2:** ¿Qué pasaría si los patrones climáticos cambiaran de acuerdo con las proyecciones establecidas por el modelo climático global IPSL? Esto implica un aumento de 5.3% en las precipitaciones (~2.4 mm) y un aumento de un 160.3% en las temperaturas medias anuales (~1.9 grados Celsius) para la comparación entre los periodos 1985-2021 versus 2022-2059.
- iii. **Escenario de Gestión 1:** ¿Qué pasaría si la población en la cuenca del Salar de Atacama aumenta, considerando la conexión inferida entre la cuenca en estudio y la cuenca del Salar de Atacama? Esto implica un aumento poblacional a una tasa de crecimiento del 2% considerando un total de 10996 habitantes como condición actual. Este escenario es sobrepuesto en cada uno de los escenarios climáticos.
- iv. **Escenario de Gestión 2:** ¿Qué pasaría si se activan todos los derechos de aprovechamiento de agua constituidos y regularizados en la cuenca? Esto implica la activación de 981 L/s de demanda adicional sobrepuesta en cada uno de los escenarios climáticos.



Fuente: elaboración propia

Figura 4-1: Principales escenarios climáticos y de gestión de aguas considerados en la modelación e WEAP de las cuencas Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama.

4.2 Situación Base desde el Periodo Histórico de Simulación

4.2.1 Descripción de la Situación Base

La modelación del Período Histórico abarca desde abril de 1980 a marzo de 2020 (30 años hidrológicos) y corresponde al modelo calibrado y validado sin cambios adicionales.

4.2.2 Resultados de la Simulación Hidrológica Histórica

Para la simulación histórica se consideró la evaluación del periodo de referencia 1980-2020. Para este periodo se obtuvo un balance de aguas detallado que permite establecer la partición hidrológica entre las entradas y salidas de agua desde las cuencas Endorreicas. Primero se presentan los flujos de recarga, los cuales fueron agrupadas en procesos de recarga directa y procesos de recarga lateral o afloramientos desde los acuíferos poco profundos. La variación mensual de los flujos estimados muestra recargas mensuales que fluctúan entre 44.4 l/s y 245.3 l/s para las cuencas Endorreicas (ver detalles en la Tabla 4-1 y 4-2). Los resultados se agrupan en los sectores hidrogeológicos de aprovechamiento común definidos en el acápite 2.3.

Tabla 4-1 Estimaciones de la recarga directa promedio mensual (m³/mes) obtenidas desde los nodos de demanda para cada unidad hidrológica definida en el modelo WEAP-Endorreicas.

SHAC	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
NORTE	439.90 9	114.53 5	348.65 1	365.70 8	291.29 9	149.96 9	179.33 6	78.927	16.435	225.98 8	1.085.62 4	1.041.32 1
CENTRO	334.07 2	76.606	212.94 3	232.22 4	189.45 7	117.39 1	137.59 9	69.868	15.055	222.94 3	917.523	904.118
OESTE	49.366	12.475	39.113	46.445	33.306	22.953	25.290	14.448	4.730	38.161	148.577	142.627
SUR	289.20 1	57.599	131.10 1	127.55 1	86.903	58.462	70.505	51.989	32.169	196.65 2	757.022	656.390

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-2 Estimaciones de la recarga lateral promedio mensual (m³/mes) obtenidas desde los nodos de demanda para cada unidad hidrológica definida en el modelo WEAP-Endorreicas.

SHAC	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
NORTE	178.87 8	183.24 0	244.31 9	325.76 0	325.76 0	285.03 9	285.03 9	285.03 9	285.03 9	203.60 1	162.88 0	122.16 1
CENTRO	187.08 6	191.64 9	255.53 2	340.70 8	340.70 8	298.12 0	298.12 0	298.12 0	298.12 0	212.94 3	170.35 5	127.76 5
OESTE	33.559	34.378	45.837	61.116	61.116	53.477	53.477	53.477	53.477	38.198	30.558	22.919
SUR	106.44 5	109.02 4	145.36 5	193.82 1	193.82 1	169.59 3	169.59 3	169.59 3	169.59 3	121.13 8	96.911	72.683

Fuente: Elaboración propia.

Todas las unidades hidrológicas en las que se estimaron procesos de recargas fueron incluidas en los resultados finales del balance de aguas para las cuencas Endorreicas. Adicionalmente, se incluyen los flujos interacuíferos para cada una de las unidades hidrológicas consideradas en el modelo WEAP-Endorreicas (Tabla 4-2).

Tabla 4-2 Estimaciones promedio mensuales del flujo Inter acuífero (m³/mes) desde el modelo WEAP-Endorreicas.

SHAC	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Sum
NORTE	78.648	37.936	28.337	26.165	25.320	25.049	24.083	18.407	16.842	53.693	110.519	102.746	547.747
CENTRO	103.548	48.405	28.095	18.860	14.270	14.431	20.002	23.806	26.455	79.357	169.520	161.498	708.248
OESTE	15.110	7.929	5.254	4.050	3.469	3.488	4.127	4.319	4.114	9.611	18.957	18.086	98.514
SUR	91.696	43.917	26.228	18.282	14.002	12.198	12.508	12.359	15.676	61.145	131.642	126.248	565.902

Fuente: Elaboración propia.

Dentro de los flujos hidrológicos de salida más importantes necesarios para establecer el balance de aguas en las cuencas Endorreicas es la evaporación desde cuerpos de agua y desde los acuíferos poco profundos. La evaporación desde los acuíferos poco profundos fue estimada en cada unidad hidrológica del modelo WEAP-Endorreicas utilizando nodos de demanda conectados a cada caja acuífera denominada acuífero superior (Tabla 4-3).

La evaporación neta promedio mensual simulada para cada uno de los cuerpos de agua existentes en los sistemas salares de las cuencas Endorreicas permitió obtener detalles sobre la estacionalidad y la partición hidrológica en estos sistemas (Tabla 4-4). La evaporación neta es el flujo de evaporación menos la precipitación caída sobre el área del cuerpo de agua. En el caso de existir evaporación neta negativa, implicaría un aumento del volumen del cuerpo de agua.

De acuerdo con los resultados del modelo WEAP-Endorreicas, en el sistema hidrológico de las cuencas Endorreicas existe un volumen de almacenamiento en cuerpos de agua que podría fluctuar en promedio entre los 483.900 y 16.040.410 millones de metros cúbicos de agua mensuales (Tabla 4-5). Los volúmenes de agua estimados por el modelo WEAP-Endorreicas poseen incertidumbre desde la estimación de las curvas de altura, volumen, área, las cuales fueron estimadas desde datos de sensores remotos debido a la inexistencia de datos de referencia tomados directamente desde los cuerpos de agua

Tabla 4-3 Estimaciones promedio mensuales de la evaporación poco profunda (m³/mes) desde el modelo WEAP-Endorreicas.

SHAC	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Jan	Feb	Mar
NORTE	1.566.985	1.259.733	1.075.382	1.106.107	1.259.733	1.566.985	1.858.873	2.012.499	1.966.413	1.613.073	1.582.348	1.566.985
CENTRO	1.393.849	1.120.545	956.564	983.893	1.120.545	1.393.849	1.653.491	1.790.142	1.749.147	1.434.846	1.407.515	1.393.849
OESTE	289.802	232.978	198.884	204.566	232.978	289.802	343.785	372.197	363.674	298.326	292.644	289.802
SUR	1.327.489	1.067.197	911.022	937.051	1.067.197	1.327.489	1.574.767	1.704.913	1.665.869	1.366.533	1.340.503	1.327.489

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-4 Evaporación mensual promedio desde los cuerpos de agua de los sistemas salares (m³/mes) simulados desde el modelo WEAP-Endorreicas.

SHAC	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
NORTE	1.385.565	1.226.863	970.181	921.902	976.059	849.472	833.322	704.197	633.762	657.218	773.966	1.289.796
CENTRO	980.109	863.186	751.532	865.724	856.508	722.957	639.560	629.025	579.151	546.681	600.253	938.524
OESTE	256.959	233.294	210.152	218.698	238.025	199.615	168.441	182.894	151.951	115.607	111.196	154.124
SUR	1.280.472	953.568	792.708	791.272	837.109	707.625	666.027	635.253	586.280	536.860	704.872	1.349.066

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-5 Almacenamiento promedio mensual en los cuerpos de agua de los sistemas salares (m³/mes) simulados desde el modelo WEAP-Endorreicas.

SHAC	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
NORTE	8.339.690	7.694.100	5.127.500	6.204.370	5.241.240	6.822.100	5.499.310	5.456.100	5.608.080	5.835.986	8.891.450	9.319.450
CENTRO	5.185.230	5.067.402	5.387.621	4.890.460	4.542.416	4.257.036	3.938.779	3.622.313	3.809.240	3.767.209	4.793.075	5.312.162
OESTE	12.795.100	13.249.550	11.989.000	12.405.000	9.083.500	7.422.760	8.864.400	7.946.600	7.480.500	9.615.000	16.040.410	14.661.791
SUR	5.976.188	7.145.080	6.077.752	6.778.482	5.663.157	7.214.364	5.701.262	5.795.296	5.120.317	5.895.510	9.200.493	7.205.920

Fuente: Elaboración propia.

4.3 Evaluación de Escenarios de Cambio Climático

4.3.1 Descripción de los Escenarios Seleccionados

Se escogió para ser evaluado al caso más desfavorable de los escenarios definidos para el quinto informe del IPCC (CMIP5), llamados *Representative Concentration Pathways* (RCP), el escenario escogido corresponde al RCP 8.5 nombrado porque la radiación forzante sobre la atmósfera en dicho escenario alcanza los 8.5 W/m^2 , este fue escogido debido a que existe consenso científico (Peters et al, 2012) en que actualmente las emisiones de CO₂ se encuentran en un nivel similar o por sobre las emisiones asociada al escenario RCP 8.5.

Por otra parte, existen más de 20 modelos de circulación general (MCG) que realizan simulaciones climáticas para el escenario escogido, pero dada la información que se ha generado en el contexto del proyecto de Actualización del Balance Hídrico de Chile llevado a cabo por las Universidades de Chile y Pontificia Universidad Católica, se tienen 4 MCG que se han testeado para todo Chile, escogidos por la representación que han tenido del clima local. En particular, en el caso de la cuenca en estudio, los modelos seleccionados para ser evaluados fueron CSIRO y IPSL en el periodo de simulación futura de 2022 a 2059.

4.3.2 Proyección de la Oferta y Demanda Hídrica Futura

Con los escenarios seleccionados fue posible establecer las diferencias entre las simulaciones de referencia y las simulaciones asociadas a procesos de cambio climático, o aquellas asociadas a procesos de cambios en la gestión de las aguas a escala de cuenca. Las demandas en promedio aumentan en un 24.2% al comparar el escenario de referencia y el escenario de Cambio Climático 1 combinado con el Escenario de Gestión 2. Este incremento corresponde a la diferencia promedio más significativa desde el punto de vista comparativo de los nodos de demanda.

Tabla 4-6 Demanda de agua promedio mensual simulada (m³/mes) para cada escenario de cambio climático y su correspondiente escenario de gestión hídrica utilizando el modelo WEAP- Endorreicas (Incluye todos los nodos de demanda).

Escenario Principal	Escenario Perturbado	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Escenario Climático 1	Referencia	3,28	2,51	2,6	2,65	2,69	2,99	3,22	3,39	3,19	2,93	4,05	3,57
Escenario Climático 2		3,31	2,52	2,62	2,67	2,71	3,00	3,24	3,4	3,2	2,95	4,14	3,65
Escenario Climático 1	Escenario de Gestión 1	3,79	2,99	3,1	3,15	3,19	3,48	3,71	3,88	3,67	3,43	4,61	4,13
Escenario Climático 2		3,75	2,98	3,08	3,12	3,17	3,46	3,7	3,87	3,67	3,41	4,53	4,05
Escenario Climático 1	Escenario de Gestión 2	4,27	3,47	3,58	3,63	3,67	3,96	4,19	4,36	4,15	3,91	5,08	4,61
Escenario Climático 2		4,23	3,46	3,56	3,6	3,65	3,94	4,18	4,35	4,15	3,89	5,00	4,53
Referencia (1980-2020)	Referencia (1980-2020)	3,29	2,51	2,61	2,65	2,7	2,99	3,23	3,39	3,19	2,94	4,07	3,59

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3 Resultados de la Simulación Hidrológica para los Escenarios Climáticos Establecidos

Los escenarios climáticos definidos en la sección 4.3.1. fueron utilizados para establecer una proyección de la disponibilidad de agua.

Los resultados de la simulación hidrológica WEAP para los escenarios climáticos revelaron las diferencias promedio mensuales asociadas a cambios en la acumulación futura de las lluvias. Alrededor de 6.043.054 m³ de agua son removidos en promedio mensualmente del modelo bajo el escenario Climático 1. Por otra parte, un total de 20.017.619 m³ mensuales de agua adicionales (en promedio) son incorporados en el modelo WEAP-Endorreicas bajo el Escenario Climático 2 (Tabla 4-7).

Uno de los flujos de partición hidrológica sensibles a las dinámicas de cambio climático de las precipitaciones son las recargas directas hacia los acuíferos poco profundos y hacia los acuíferos profundos localizados dentro de las cuencas Endorreicas. Un aporte reducido o aumentado del volumen de lluvias implica cambios en la cantidad de agua almacenada en los acuíferos del sistema Endorreicas. Por ejemplo, los cambios asociados a un aumento de las lluvias (Escenario Climático 2) pueden aumentar en promedio hasta un 2.58% el almacenamiento de agua subterránea en las cuencas Endorreicas (Tabla 4-

Tabla 4-7 Lluvia promedio mensual (m³/mes) asociada a los escenarios de simulación del modelo WEAP-Endorreicas (Referencia 1980-2020, Escenario Climático 1 y Escenario Climático 2).

Escenario	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Referencia	8.929,963	25.299,583	26.270,226	21.686,175	12.710,375	14.996,313	7.939,268	2.467,318	25.250,595	102.393,917	96.167,147	39.83,635
Escenario Climático 1	8.787,84	24.894,790	25.849,902	21.339,196	12.507,9	14.756,372	7.812,239	2.427,841	24.846,586	100.843,525	94.628,479	38.458,438
Escenario Climático 2	9.403,251	26.640,461	27.662,548	22.835,542	13.384,25	15.791,117	8.360,49	2.598,86	26.588,877	107.529,592	101.263,985	41.154,601

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4-8 Almacenamiento promedio mensual de agua subterránea (m³/mes) en las cuencas Endorreicas considerando todos los acuíferos disponibles en el modelo WEAP-Endorreicas.

Escenario	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Escenario Climático 1	723.602,84	721.520,296	719.522,555	717.77,251	714.473,141	711.207,419	707.975,752	704.738,180	701.729,561	702.95,241	707.897,273	712.709,216
Escenario Climático 2	769.489,381	767.427,714	765.442,231	762.968,973	760.280,433	756.886,377	753.539,16	750.352,590	747.335,642	748.88,519	754.813,488	760.351,834
Escenario de Gestión 1	763.404,320	761.403,723	759.464,737	757.70,449	754.472,164	751.204,594	747.985,238	744.911,466	741.992,61	742.664,116	749.57,923	754.294,520
Escenario de Gestión 1	718.381,639	716.356,476	714.399,583	712.25,331	709.502,405	706.349,968	703.217,817	700.92,757	697.172,662	697.471,321	702.980,56	707.521,719
Escenario de Gestión 2	768.775,942	766.711,731	764.721,604	762.243,979	759.534,894	756.113,800	752.745,28	749.535,13	746.488,562	747.234,496	754.52,558	759.646,238
Escenario de Gestión 2	722.890,803	720.806,632	718.804,280	716.354,616	713.729,992	710.437,304	707.184,241	703.923,87	700.882,772	701.241,570	707.137,5	712.5,243
Referencia	750.166,735	748.398,678	746.616,378	744.333,704	741.806,116	738.545,897	735.171,2	731.652,703	728.297,28	728.502,434	734.466,41	739.894,238

Fuente: Elaboración propia.

4.4 Evaluación de Escenarios de Gestión Hídrica

4.4.1 Descripción de los Escenarios Establecidos

Se definieron 2 escenarios de gestión para ser modelados, con el propósito de determinar la respuesta del sistema frente a distintas estrategias definidas para abordar problemáticas hídricas. Estas iniciativas propuestas han surgido durante el desarrollo del presente estudio, considerando la especificidad de la cuenca a través de las actividades de Participación Ciudadana, del análisis de los antecedentes recopilados en coordinación con la DGA y del diagnóstico realizado.

Lo identificado, en la actividad de la PAC define los escenarios a modelar ya que ésta refleja las visiones y percepciones de los grupos que están en el territorio, colectivos de la sociedad civil y organismos públicos. La evaluación de los escenarios propuestos no limita la incorporación de distintas alternativas al Plan estratégico elaborado.

Es importante señalar que la cuenca en estudio tiene un régimen prácticamente natural, donde no existen obras construidas (ni en planes de construir), no hay población residente en la zona y por parte de las comunidades existe un espíritu de conservación de los recursos hídricos y el medio ambiente, dado esto no se consideran iniciativas de obras en la cuenca como parte de los escenarios modelados.

Como se ha identificado y estudiado en la cuenca Endorreica existen derechos de aprovechamiento de aguas otorgados a empresas mineras y comunidades locales (mediante regularizaciones de derechos de agua), sin embargo no existen derechos que estén actualmente siendo explotados. Como ejercicio de análisis se considera importante estudiar en detalle la fragilidad del ecosistema hídrico presente en la Cuenca Endorreica por lo cual, se definieron los siguientes escenarios:

4.4.1.1 Escenario 1: Modelación de los derechos de aprovechamiento otorgados a las comunidades indígenas presentes en el territorio

Para esto se utilizaron los derechos declarados en "Catastro Publico de aguas", y los valores modelados corresponden 500 [l/s] (aproximadamente) distribuidos en la cuenca según la información recopilada. (más información se puede revisar en Informe Final Capítulo 3: Demanda Física y legal).

4.4.1.2 *Escenario 2: Modelación de derechos de aprovechamiento otorgados a compañías mineras en el territorio.*

Para la modelación de este escenario, se siguió la misma lógica anterior, pero esta vez solo considerando la información declarada para las empresas mineras. Los valores corresponden a un total de 1000 [l/s], aproximadamente.

Para finalizar, es importante señalar, que el modelo solo puede capturar en detalle las particularidades de la modelación superficial, por lo que cualquier resultado obtenido aquí no será representativo de la Cuenca en su totalidad, por lo que no se deben tomar los resultados como absolutos.

4.4.2 Resultados de la Simulación Hidrológica para los Escenarios de Gestión Hídrica

Los escenarios de Gestión Hídrica mostraron que la activación de los derechos de agua asignados en la cuenca incrementa las demandas promedio mensuales en aproximadamente un 26.2% considerando el Escenario Climático 1 en conjunto con el escenario de Gestión 2. Estas demandas incluyen todos los nodos de demanda disponibles en el modelo WEAP-Endorreicas, por lo tanto, las diferencias observadas en la Tabla 4-9, corresponden principalmente a los volúmenes asociados a la activación de los derechos de agua en las cuencas Endorreicas.

Tabla 4-9 Demandas simuladas (m³/mes) desde todos los nodos de demanda disponibles en las cuencas Endorreicas. Los escenarios de gestión incluyen las demandas asociadas a la activación de derechos de agua dentro de toda la cuenca.

Escenarios	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Referencia	7.931,332	6.119,486	5.978,492	6.94,867	6.221,992	6.861,726	7.755,565	7.917,287	7.674,638	7.221,774	9.417,40	9.203,40
Escenario Climático 1 y Gestión 1	9.231,334	7.415,528	7.258,172	7.417,893	7.535,609	8.120,850	9.59,218	9.169,86	8.959,960	8.539,609	10.721,494	10.630,713
Escenario Climático 2 y Gestión 1	9.141,847	7.384,748	7.195,160	7.351,989	7.482,202	8.84,765	9.18,747	9.142,708	8.943,409	8.480,793	10.519,139	10.428,573
Escenario Climático 1 y Gestión 2	10.477,489	8.703,222	8.504,328	8.705,587	8.823,303	9.367,5	10.346,912	10.415,241	10.247,654	9.827,303	11.884,572	11.918,407
Escenario Climático 2 y Gestión 2	10.388,5	8.672,444	8.441,317	8.639,685	8.769,898	9.330,923	10.306,443	10.388,865	10.231,105	9.768,489	11.682,219	11.716,269

Fuente: Elaboración propia.

La combinación de los escenarios climáticos y los escenarios de gestión reveló importantes brechas que podrían afectar el manejo de aguas en las cuencas Endorreicas. Por ejemplo, una reducción de las precipitaciones acumuladas en el tiempo, combinada con la activación de los derechos de agua implica cambios importantes en el almacenamiento de agua subterránea de las Cuencas Endorreicas (ver detalles en Tabla 4-8). Esto se verifica al comparar el almacenamiento asociado al Escenario Climático 2 con el Escenario de Gestión 2 en donde el volumen de agua subterránea se reduce en promedio 31.864.935 m³/año para las cuencas Endorreicas.

Capítulo 5. BRECHAS EXISTENTES Y COMENTARIOS GENERALES

5.1 Evaluación de las Brechas de Simulación Hidrológica Superficial

5.1.1 Identificación de Brechas para la Modelación Hidrológica Base

Las principales brechas asociadas a los resultados del modelo WEAP tienen que ver con la capacidad de la cuenca de poder sustentar las demandas futuras, mediante el establecimiento de un radio de sustentabilidad hídrica que permita garantizar efectivamente la sustentabilidad de la cuenca en el mediano y largo plazo.

Tomando en consideración los resultados más pesimistas de la modelación WEAP (Escenario Climático 2 y Escenario de Gestión 2), es posible observar que el volumen de agua que se necesitaría para satisfacer las demandas futuras crecientes, asociadas a cambios climáticos con reducción en la acumulación de las lluvias dentro del dominio de las cuencas Endorreicas, alcanzaría a los 34.359.804 m³. La brecha originada por este volumen se vería reflejada principalmente en una reducción del almacenamiento de aguas subterráneas y un aumento de las demandas de agua en la cuenca debido a la activación de derechos de agua de la Dirección General de Aguas.

Al comparar ambos escenarios de gestión se observó que el Escenario de Gestión 1 (solo demandas para consumo humano) generaría un menor impacto bajo ambos escenarios climáticos. De hecho, este escenario solo alcanzaría un aumento promedio de las demandas de un 14.6%. Este aumento de la demanda es alrededor de un 11.58% menor que las demandas asociadas al escenario de gestión 2 (escenario pesimista).

5.1.2 Identificación de Brechas para el modelo Subterráneo Conceptual

Las brechas identificadas en el modelo hidrogeológico conceptual para la región donde se disponen las Cuencas Endorreicas entre el Salar de Atacama y Fronterizas están asociadas, principalmente, a la escasa información base disponible en algunos sectores y la imposibilidad de acceder a territorios para la generación y captura de información relevante para entender la dinámica y funcionamiento de las aguas subterráneas. Estas brechas se pueden resumir en los siguientes aspectos principales:

- i. Escasa a nula información hidrometeorológica dentro de las cuencas de estudio. Dentro de la zona de estudio de este PEGH, definida como las cuencas endorreicas entre el salar de Atacama y las cuencas fronterizas compartidas con los países de Bolivia y Argentina, existe sólo un punto de control oficial de control de algunas variables hidrometeorológicas (temperatura, radiación, velocidad y dirección del viento, humedad y precipitación líquida) y por un período corto de tiempo (3 años). Esta falta, espacial y temporal, de datos hidrológicos genera una brecha en cuanto al control instrumental de la cuenca y condiciona a la generación modelos hidrogeológicos alimentados por datos obtenidos fuera de estas cuencas y proyectados desde sectores con distintas características hidrológicas. En general, a nivel país, las estaciones meteorológicas se encuentran ubicadas en dentro o cercanas a zonas pobladas de fácil acceso, lo cual genera brechas de información hidrometeorológica en zonas cordilleranas sin asentamientos humanos de importancia o actividad minera, como es el caso de las cuencas de estudio, donde existe escasa a nula información de escorrentía superficial, precipitaciones líquidas y sólidas, evaporación y sublimación, siendo estos registros fundamentales para realizar estudios confiables de recarga y dinámica de las aguas subterráneas.
- ii. Amplios sectores dentro de la zona de estudio sin información hidrogeológica. Las cuencas de estudio, por su ubicación geográfica y socio-territorial, presentan muy baja intervención humana, sin proyectos productivos que hayan necesitado de estudios de las aguas subterráneas, tanto para su caracterización, extracción o protección, sólo en las cuencas ubicadas al sur del área de estudio, se desarrolló un proyecto de exploración y evaluación de recursos hídricos subterráneos que generó

importante información hidrogeológica, hidrológica y de calidad de aguas. Sin embargo, todas las cuencas ubicadas en la zona norte, centro y poniente del área de estudio, vale decir: salar de Pujsa, salar de Aguas Calientes Norte, salar de Quisquiro, gran parte del salar de Aguas Calientes Centro, laguna Lejía, lagunas Miscanti y Meñiques y salar de Capur, no tienen información pozos o aguas subterráneas.

- iii. Dificultad de acceso a sectores para la captura de información. Todo el sector de estudio se encuentra cubierto por territorios de uso ancestral de las comunidades cuyos poblados se encuentran en la vertiente oriental del salar de Atacama. Gran parte de estos terrenos se encuentran con acceso restringido lo que dificulta la realización de tareas de investigación para organismos ajenos a estas comunidades.
- iv. Falta de creación de instancias para estudios colaborativos con las comunidades locales. Es necesario generar lazos de confianza entre la institucionalidad y las comunidades locales para aprovechar sus conocimientos y capacidad de investigación en estudios que profundicen el conocimiento de estos sistemas hidrogeológicos de la Puna, permitiendo con esto, entender de mejor forma la dinámica de las aguas subterráneas en estas cuencas endorreicas de altura únicas.
- v. Falta de estudios regionales que integren resultados y profundicen en la investigación del comportamiento de los flujos de agua subterránea entre cuencas. Mejorar el conocimiento de los sistemas hidrogeológicos alto andinos, estableciendo un enfoque de estudio regional considerando que la dinámica de las aguas subterráneas en los medios fisurados y rocas volcánicas porosas reconoce recorridos de estos flujos que se extienden fuera de los dominios de las cuencas hidrológicas clásicas y podrían existir traspasos subterráneos entre ellas o afloramientos de aguas subterráneas con un respaldo extracuenca.
- vi. Falta de datos y estadística de caudales de escorrentía superficial de una serie de cursos permanentes mayores que drenan sus aguas desde vertientes hacia salares generando cuerpos lagunares.

5.1.3 Identificación de Brechas para los Escenarios de Simulación

Dentro de las brechas encontradas para los escenarios de simulación se encuentran las siguientes:

- Los derechos considerados son subterráneos y el modelo es superficial, por lo que puede no ser una representación realista.
- La definición de los escenarios de simulación.
- Existe una brecha hídrica y una brecha climática.
- La forma en que se representa el cambio climático puede ser una fuente de incertidumbre.

5.2 Comentarios Generales

5.2.1 Consideraciones y Sugerencias para el proceso de mejora y actualización del Modelo Hidrológico WEAP

Dentro de las principales consideraciones se recomienda:

El establecimiento de redes de monitoreo que incluyan la colección de múltiples datos hidrometeorológicos en las cuencas Endorreicas. Estos datos servirán para establecer líneas base de datos de referencia, las cuales no se encontraron disponibles para la construcción del modelo WEAP-Endorreicas. Flujos como precipitación, temperatura, dirección y velocidad del viento, radiación solar, humedad ambiental, fluctuaciones de los niveles de las lagunas en los sistemas salares, entre otros.

Avanzar la conceptualización hidrogeológica y la definición de los sistemas hidrogeológicos de aprovechamiento común (SHACs) establecidos en este plan, mediante la construcción y calibración de un modelo numérico regional para la simulación de aguas subterráneas en las cuencas Endorreicas.

Actualizar continuamente el modelo WEAP-Endorreicas con nuevos datos de entrada disponibles y establecer los protocolos necesarios para el acople exitoso de WEAP y un modelo numérico regional de simulación de Aguas subterráneas.

SUBANEXOS DISPONIBLES EN FORMATO DIGITAL

Anexo H1	Representación 3D Acuífero
Anexo H2	Modelo WEAP Ejecutable
Anexo H3	Capacitaciones

ANEXO I
PARTICIPACIÓN CIUDADANA

1. RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES DE PARTICIPACIÓN CIUDADANA EN LA CUENCA ENDORREICA ENTRE FRONTERIZAS Y SALAR DE ATACAMA

Los principales documentos revisados son el "Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta" (Arrau Ingeniería, 2012), "Plan Estratégico de Gestión de Recursos Hídricos de la Región de Antofagasta" (Arcadis, 2016) y las "Actas de Reuniones del Consejo Directivo ADI Atacama La Grande" entre los años 2015 y 2020. Adicionalmente, se han incluido los resultados del Proyecto para los Servicios Ecosistémicos (ProEcoServ) ejecutado en San Pedro de Atacama por CEAZA y Ministerio de Medio Ambiente entre el 2011 y 2015, y observaciones ciudadanas al EIA presentado por la Compañía Minera Zaldivar (CMZ) el 2018, entre otras fuentes bibliográficas complementarias (para más detalles ver Apéndice I-01 "Recopilación de Antecedentes en la cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama").

Un primer antecedente es el "Diagnóstico Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta" (Arrau, 2012), en el cual se identificaron 37 discursos relacionados de manera directa o indirecta con la gestión del recurso hídrico en la cuenca. Los principales temas abordados fueron:

- Medio Ambiente (46%) incluye la preocupación por el deterioro de los ecosistemas y la falta de estudios que permitan estimar la disponibilidad del agua y la conexión subterránea entre las cuencas que conforman el ADI Atacama La Grande. Estudios que deben someterse previamente a la consulta indígena (Convenio 169, OIT), y que deben incorporar el conocimiento ancestral en sus diagnósticos y medidas de protección.
- Legal (30%) expresa el malestar de las comunidades indígenas por la entrega de DAA en favor de privados, sin la debida autorización de las comunidades. Se solicita el reconocimiento de los DAA en favor de las comunidades indígenas, y cerrar la cuenca hasta conocer la disponibilidad del agua.
- Gobernanza (24%) aborda la necesidad de un trabajo intersectorial, con fuerte presencia de los servicios públicos en el territorio. Existe desconfianza de la información medioambiental entregada por los privados, y se plantea la creación de un organismo de cuenca conformado por las comunidades y que tome en consideración la forma de administración ancestral (comunitaria).

Tabla I-1: Resultados de Análisis Temático “Diagnóstico Plan Estratégico para la Gestión de los Recursos Hídricos, Región de Antofagasta” (Arrau, 2012)

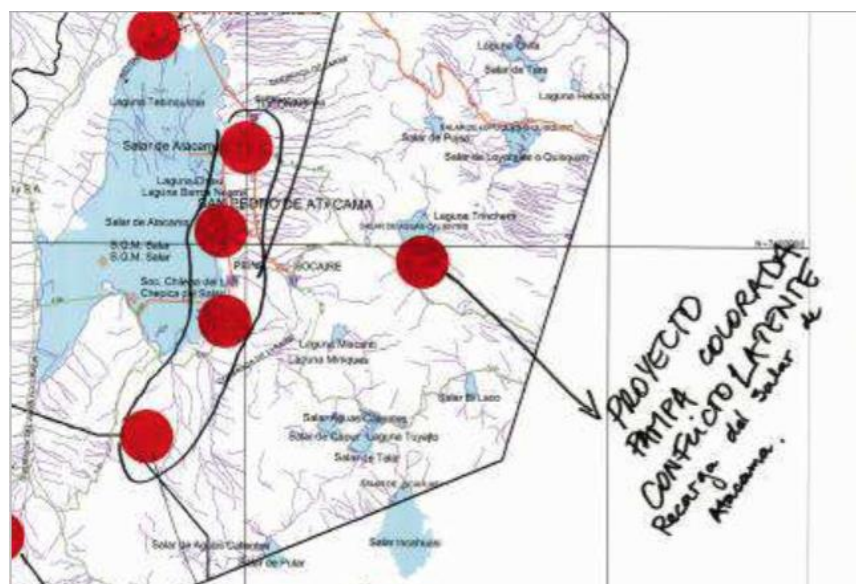
Temática	Porcentaje	Numero de menciones
Medio Ambiente	46%	17
Legal	30%	11
Gobernanza	24%	9
TOTAL	100%	37

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presentan las principales ideas expresadas por los participantes de las actividades PAC:

- Falta una visión macro en la planificación, que incluya los valores tradicionales. Falta la aplicación del conocimiento ancestral en el manejo del ecosistema.
- El PEGRH debe informar a los pueblos indígenas sobre las características y cantidad del recurso hídrico existente.
- Realizar estudios focalizados en los cauces superficiales y acuíferos, sobre la propiedad actual de los derechos de aprovechamiento de aguas. Estudios, en los que se deberá analizar la forma efectiva de involucrar a las comunidades.
- Faltan mecanismos de protección de los derechos consuetudinarios de los pueblos indígenas. Se debe impulsar la devolución de las aguas dulces a los pueblos indígenas para iniciar procesos de recuperación ecológica de sus territorios y resolver las consecuencias sociales y medioambientales de las políticas extractivas.
- Necesidad de hacer valer los derechos indígenas señalados en el Convenio N°169 de la OIT.
- Fortalecer el vínculo de la Dirección General de Aguas (DGA) con los distintos actores presentes, particularmente con los actores comunitarios como las comunidades indígenas.
- Potenciar la contribución que realizan las comunidades indígenas de la parte alta de la cuenca a la mantención de los ecosistemas naturales y los servicios ambientales que estos ecosistemas prestan en el contexto de la gestión de los recursos hídricos.
- Estudiar la factibilidad de apoyar la conformación y/o fortalecimiento de organizaciones de usuarios de aguas que tomen en consideración la forma de administración ancestral (comunitaria) de las comunidades indígenas en torno del agua. Sin desconocer la complejidad de iniciar una tarea de este tipo – particularmente, desde el punto de vista normativo-, parece relevante para la generación de confianzas con las comunidades indígenas, al menos realizar los esfuerzos necesarios en esa dirección.

Destacamos el planteamiento sobre la conexión subterránea entre la cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama y la cuenca Salar de Atacama, que se expresó en el mapa temático del grupo 4 que participó del Taller Inicial en San Pedro de Atacama: en este mapa se puede observar la preocupación de los asistentes por el Proyecto Pampa Colorada, pues podía afectar la “recarga del Salar de Atacama”.



Fuente: Arrau, 2012:Vol 2-280.

Figura I-1: Mapa Temático Grupo 4, Taller Inicial San Pedro de Atacama

Un segundo antecedente es el “Plan Estratégico de Gestión de Recursos Hídricos de la Región de Antofagasta” (Arcadis, 2016), que en términos generales reitera la necesidad de reconocer a los pueblos indígenas en el territorio e implementar de manera recurrente la consulta indígena. En total se identificaron 32 discursos relacionados de manera directa o indirecta con la gestión del recurso hídrico en la cuenca, siendo la principal temática la Gobernanza.

Tabla I-2: Resultados de Análisis Temático “Plan Estratégico de Gestión de Recursos Hídricos de la Región de Antofagasta” (Arcadis, 2016)

Temática	Porcentaje	Numero de menciones
Gobernanza	53%	17
Medio Ambiente	28%	9
Infraestructura	13%	4
Legal	6%	2
TOTAL	100%	32

A continuación, se presentan algunas ideas expresadas en el estudio:

- La necesidad de reconocer que este territorio es indígena y que, por tanto, el Estado de Chile debería revisar la aplicabilidad del Código de Aguas.
- La realización de procesos de consulta a las comunidades indígenas acerca de los proyectos y las decisiones que los afectan.
- Definir si se prioriza como actividad económica el turismo o la agricultura.
- Fortalecer la fiscalización del uso del recurso hídrico, incluyendo a la comunidad en la realización de la fiscalización.
- Definir participativamente, cuándo, cómo y en qué circunstancias fiscalizar.
- La necesidad de estudios que den cuenta de la calidad y cantidad del agua disponible en las cuencas de la Región y que estén disponibles para las comunidades.
- La necesidad de establecer como meta la disponibilidad de agua potable para todos los habitantes de la Región, ya sea proveída por las empresas sanitarias, como por los sistemas de APR.

Un tercer antecedente son las actas del Consejo Directivo del ADI Atacama La Grande entre los años 2015-2020. En total se identificaron 73 discursos relacionados de manera directa o indirecta con la gestión del recurso hídrico en la cuenca, siendo la principal temática la Gobernanza nuevamente.

Tabla I-3: Resultados de Análisis Temático de las Actas del ADI Atacama La Grande (2015-2020).

Temática	Porcentaje	Numero de menciones
Gobernanza	62%	45
Legal	15%	11
Medio Ambiente	14%	10
Minería/Estado	8%	6
Infraestructura	1%	1
TOTAL	100%	73

A continuación, se presentan algunas ideas identificadas en las actas de la ADI Atacama La Grande donde la Gobernanza toma el protagonismo:

- Se propone que la administración del patrimonio se haga desde las comunidades indígenas. Se necesita un grado de participación activo dentro del proceso de medición y monitoreo ambiental.
- Desde que se viene a las reuniones se habla de compromisos y no pasa nada, y pasan 4 años y los mismos problemas se le plantean nuevamente. Se necesita que una persona o entidad haga seguimiento a los acuerdos para que realmente se cumplan y se concreten las cosas.

- Queremos cosas concretas, por eso queremos plazos, pero en las cosas que nosotros tenemos interés y son importantes. Las comunidades deben ser capaces de convocar a la ADI de manera extraordinaria (sin el Intendente que a preside).
- Para avanzar con las problemáticas se necesita saber cuánta agua se extrae y cómo se fiscaliza la extracción del agua en el oasis y se requiere un monitoreo permanente que evalúe el estado actual del oasis y que oriente mediciones para su sustentabilidad. Este es un tema que preocupa día a día y se solicita un trabajo responsable para el cual el Consejo de Pueblos Atacameño (CPA) facilita su equipo técnico para que esta información se pueda abordar con seriedad.
- Se requiere contar con un plan de información fiable de lectura de caudales, porque en los últimos años hay un vacío de información.
- Las comunidades indígenas no están en contra del desarrollo económico del país, muy por el contrario, queremos que avance porque nosotros así también avanzamos, pero queremos que avance con pertinencia, con consultarle a las comunidades lo que quieren, cómo es su desarrollo.
- En relación al área de desarrollo indígena (ADI) Atacama La Grande se ve que es un territorio degradado y claramente hay un abandono del Estado.

Mención destacada merece la intervención de doña Ana Ramos S., Presidenta de la Comunidad Atacameña de Solor, en la Asamblea N°60 de la ADI Atacama La Grande:

“Nosotros como personas, y como pueblos hemos crecido. Ya no estamos buscando el asistencialismo, ya no buscamos que ustedes nos vengan a enseñar porque nosotros hemos logrado no solo leer, sino también entender lo que usted nos quiere enseñar. (...) Yo quiero que trabajemos en lo que nosotros queremos, porque el gobierno debe trabajar para el pueblo, lamentablemente el gobierno trabaja para intereses personales, esa es una realidad a nivel país en una serie de cosas. Si no tenemos una comunicación honesta no vamos a poder avanzar, acá todos soñamos con un día mejor, todos queremos un mejor futuro y solo lo podemos construir si vamos a trabajar en conjunto como pueblo indígena siempre hemos estado dispuestos a trabajar y tenemos esa capacidad de perdonar”. Discurso que nos muestra un tiempo pasado en que las comunidades esperaban ser asistidos por el Estado, un tiempo de timidez. Seguido de un tiempo presente de empoderamiento, donde la sabiduría y la autoridad moral está del lado de las comunidades pues son capaces de perdonar y acoger a un aparato estatal desorientado y con su historial de abusos. Este es el tiempo de recuperar lo perdido. Finalmente, se visualiza un mañana donde las comunidades han recuperado la capacidad de decidir sobre su territorio y son capaces de compartir su sabiduría ancestral al resto de la sociedad. Este es el tiempo de progresar y compartir.

Otras fuentes utilizadas fueron el Proyecto para los Servicios Ecosistémicos (ProEcoServ), financiado por el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF, por sus siglas en inglés) e implementado a nivel global por el Programa de las Naciones Unidas para el

Medio Ambiente (PNUMA), fue implementado entre los años 2011-2015 en San Pedro de Atacama a través del Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA), con la colaboración del Ministerio de Medio Ambiente del Gobierno de Chile y con otros socios nacionales como CONAF, SERNATUR, DGA, entre otros. Uno de sus resultados señala la necesidad de aumentar el monitoreo ambiental que permita la validación de un modelo integrado de los recursos hídricos y los servicios ecosistémicos. Este monitoreo debe ser en línea y con mediciones participativas, con el fin de lograr una gestión sustentable y una gobernanza multisectorial basada en la transparencia, el aprendizaje colectivo y la confianza entre los diferentes actores (CEAZA, 2015).

Otro antecedente, estrechamente ligado con la Gobernanza, es la observación ciudadana al proyecto de la Compañía Minera Zaldívar (CMZ) realizado por la comunidad de Peine, quien señaló "la necesidad de desarrollar e implementar un mecanismo de gobernanza participativo, una mesa territorial participativa, con mecanismos de resolución de controversias, presupuesto, responsables y esquema de monitoreo y evaluación para el desarrollo de propuestas de mitigación y/o compensación generadas por los impactos que se identifiquen participativamente" (CMZ, 2018: Observación Ciudadana Comunidad de Peine).

Finalmente, destacamos la preocupación de un dirigente atacameño por la ausencia de certeza en el tema hídrico, señalado que "actualmente no podemos hacer un análisis detallado de los flujos de agua, trabajamos sólo bajo supuestos. Necesitamos realizar un modelo hidrogeológico para ver realmente cómo funciona el Salar de Atacama" (El Mercurio de Calama, 1/11/2018: pag.5).

2. MAPA DE ACTORES

El "Mapa de Actores" es una herramienta que permite reconocer las estructuras sociales y/o redes de relacionamiento social de un determinado territorio, mediante la identificación de actores relevantes o stakeholder, los que pueden ser personas, grupos u organizaciones que tienen interés en un proyecto o programa, y tienen la capacidad de influenciar significativamente su ejecución. Es decir, son actores que tienen algo que ganar o perder, y poseen información, recursos y experiencia. En otras palabras, el actor social clave es una unidad generadora de acción o de relación social, que opera siempre con orientaciones, motivos, expectativas y fines, dentro de una situación determinada. Por lo tanto, los actores relevantes se identifican y definen en relación a un aspecto específico de

la realidad, tópico o asunto sobre los cual las personas realizan una acción concreta (Tapella, 2007). En este caso la Gestión Hídrica en la cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama.

A continuación, se presentan los resultados de la identificación de los actores relevantes, su caracterización y categorización. Los actores identificados se agruparon en cinco (5) tipologías, estas son:

1. Actores Públicos: Aquellos dependientes del Gobierno y/o el Estado de Chile, e incluye a los funcionarios de los distintos ministerios, servicios públicos, gobiernos regionales y municipalidades.
2. Actores Político: Incluye autoridades electas como alcaldes, concejales, gobernadores y/o parlamentarios relacionados de manera directa o indirectamente con la cuenca.
3. Actores Privados: En esta categoría se incluyeron aquellos actores vinculados a la transformación de los recursos naturales en productos esenciales, a gran y mediana escala en la cuenca.
4. Actores de la Sociedad Civil: Se consideran en esta categoría a todas aquellas organizaciones formales e informales que buscan influir en la toma de decisiones en el ámbito público. Se incluyen a las Comunidades Indígenas y sus distintas formas organizacionales, así como también otras formas de organización territorial formal e informal (ej. JJVV, APR, agrupaciones medioambientales, agencias turísticas, colectivos territoriales, etc.).
5. Actores Académicos, Profesionales y/o Técnicos: Esta tipología incluye a las universidades, centros de estudios, colegios profesionales, ONG, consultoras, investigadores, asesores y/o expertos.

2.1 Listado Definitivo de Actores Relevantes en la Gestión Hídrica en la Cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama

A partir del listado de actores identificados en los procesos participativos previos (2012-2020), complementado con una revisión de redes sociales y medios de comunicación, junto con los antecedentes recopilados durante las actividades de participación ciudadana ejecutadas por el presente PEGH, se pudo establecer que algunos de los actores identificados preliminarmente no tienen una relación directa con la cuenca en estudio o no presentar discursos asociados. Por lo tanto, son considerados actores no relevantes y han sido excluidos del listado de Stakeholders o Actores Relevantes. Adicionalmente, se incluyeron otros no identificados previamente y que tienen un discurso relacionado con la gestión hídrica en la cuenca en estudio. Es importante recordar que el Mapa de Actores es un proceso iterativo, de constante actualización, y por lo tanto el número de actores pueden ir cambiando (eliminando actores o integrando otros nuevos).

En términos generales, destaca la ausencia de actores tradicionales en la gestión hídrica en Chile como los son las OUA -Organizaciones de Usuarios de Agua- que en esta cuenca han sido reemplazadas por propietarios de DAA tales como la Exploraciones, Inversiones y Asesorías Mundo S.A. (1.027 l/s), quienes poseen el 68% de los 1.518 l/s otorgados en la cuenca Quebrada Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama.

1) Actores Públicos:

- DGA MOP, Región de Antofagasta.
- DOH MOP, Región de Antofagasta.
- SEREMI Medio Ambiente, Región de Antofagasta.
- Oficina San Pedro de Atacama CONADI MDSyF, Región de Antofagasta.
- CNR MINAGRI, Región de Antofagasta.
- INDAP MINAGRI, Región de Antofagasta.
- CONAF MINAGRI, Región de Antofagasta.
- SAG MINAGRI, Región de Antofagasta.
- SERNATUR MINEFT, Región de Antofagasta.
- Gobierno Regional (GORE), Región de Antofagasta.
- Fundación de Cultura y Turismo de San Pedro de Atacama (FCyT-SPA).

2) Actores Político:

- Gobernador, Región de Antofagasta.
- Alcalde, IMSPA.
- Concejales, IMSPA.
- Consejero Nacional Atacameño, CONADI.

3) Actores Privados:

- Exploraciones, Inversiones y Asesorías Mundo S.A.
- Compañía Minera del Pacífico S.A. - Minera El Laco.
- Dovalle Farmaceutica Minera de Chile y Cia. Ltda.

4) Actores de la Sociedad Civil:

Comunidades y Organizaciones Indígenas

- Comunidad de Toconao.
- Comunidad de Talabre
- Comunidad de Camar.
- Comunidad de Socaire.
- Comunidad de Peine.
- Asociación Consejo de Pueblos Atacameños (CPA)

5) Actores Académicos, Profesionales y/o Técnicos:

- CICITEM - Centro Científico Tecnológico Región de Antofagasta.

2.2 Categorización de los Actores Relevantes en la Cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama

A continuación, se presenta una categorización de cada uno de los actores relevantes identificados en el área de estudio y su respectiva valoración según el grado de interés e influencia utilizando los valores de "Alto" y "Bajo". El grado de interés se evalúa según la participación del actor en los diversos estudios (Arrau, 2012; ARCADIS, 2016; Actas ADI Atacama La Grande 2015-2020) o instancias en relación a la gestión del agua, mientras que el grado de influencia se establece según sus funciones en la gestión hídrica utilizando los criterios establecidos por el Banco Mundial (BM, 2013) (Figura 1).

Tabla I-4: Descripción y categorización de los actores vinculados a la gestión hídrica.

Actor	Nivel de Interés	Nivel de Influencia
DGA MOP, Región de Antofagasta	Alto	Alto
DOH MOP, Región de Antofagasta	Bajo	Bajo
SEREMI Medio Ambiente, Región de Antofagasta	Alto	Alto
Oficina San Pedro de Atacama CONADI MDSyF, Región de Antofagasta	Alto	Bajo
CNR MINAGRI, Región de Antofagasta	Bajo	Bajo
INDAP MINAGRI, Región de Antofagasta	Bajo	Bajo
CONAF MINAGRI, Región de Antofagasta	Alto	Alto
SAG MINAGRI, Región de Antofagasta	Bajo	Bajo
SERNATUR MINEFT, Región de Antofagasta	Bajo	Bajo
Gobierno Regional (GORE), Región de Antofagasta	Alto	Bajo
Fundación de Cultura y Turismo de San Pedro de Atacama (FCyT-SPA)	Alto	Bajo
Gobernador, Región de Antofagasta	Alto	Bajo
Alcalde, IMSPA	Alto	Bajo
Concejales, IMSPA	Bajo	Bajo
Consejero Nacional Atacameño, CONADI	Alto	Bajo
Exploraciones, Inversiones y Asesorías Mundo S.A.	Bajo	Bajo
Compañía Minera del Pacífico S.A. - Minera El Laco	Bajo	Bajo
Dovalle Farmaceutica Minera de Chile y Cia. Ltda.	Bajo	Bajo
Comunidad de Atacameña Toconao	Alto	Alto
Comunidad Atacameña de Talabre	Alto	Alto
Comunidad Atacameña de Camar	Alto	Alto
Comunidad Atacameña de Socaire	Alto	Alto
Comunidad Atacameña de Peine	Alto	Alto
Asociación Consejo de Pueblos Atacameños (CPA)	Alto	Alto
CICITEM - Centro Científico Tecnológico Región de Antofagasta	Bajo	Alto

A partir de la valoración de los grados de influencia e interés de los actores sociales relevantes identificados, se elaboró una representación visual de la posición de los actores identificados.

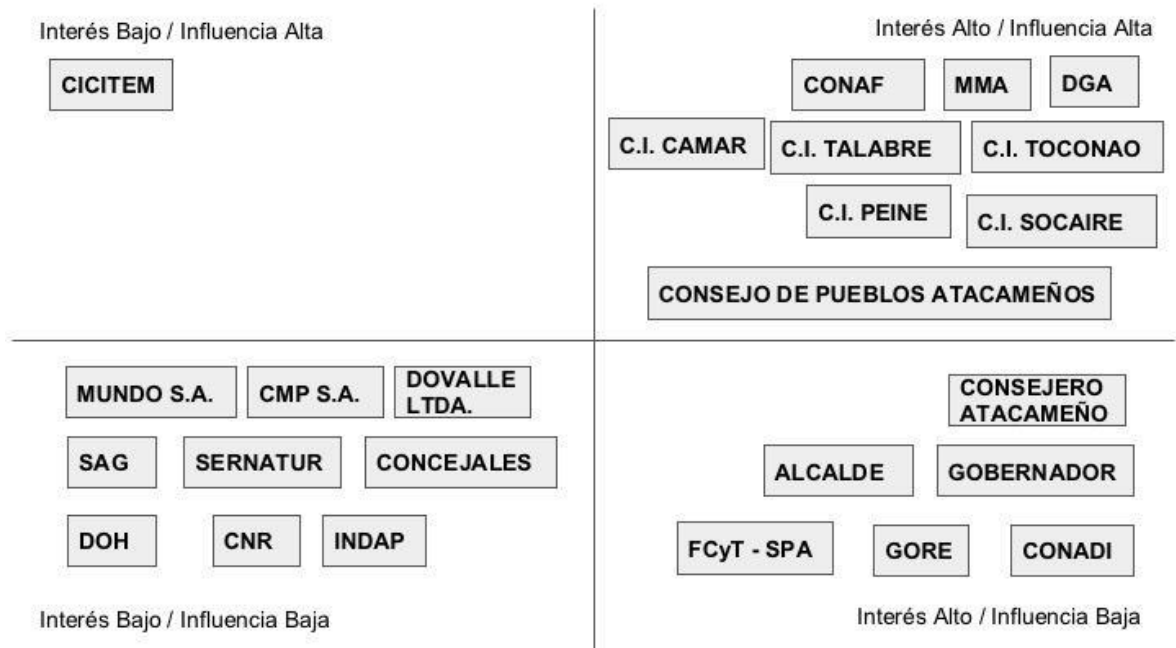


Figura I-2: Diagrama Influencia / Interés de Actores Sociales en la cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama

La imagen muestra que la mayoría de los actores de la sociedad civil presentan un alto nivel de interés en la gestión hídrica de la cuenca y altos grados de influencia. Destacan las comunidades cercanas a la cuenca (Toconao, Camar, Talabre, Socaire y Peine), la organización indígena supra territorial (CPA) y los servicios públicos como la DGA, el MMA y la CONAF. Este tipo de actores deben ser considerados como actores prioritarios o “actores claves” y requiere de niveles de participación informativo, consultivo y de habilitación o involucramiento, que permita avanzar hacia los niveles más altos de participación; estos son la colaboración y el empoderamiento (IAP2, 2017).

3. PLAN DE PARTICIPACIÓN Y ESTRATEGIA DE COMUNICACIÓN

El presente Plan de Participación y Comunicación considera las orientaciones entregadas por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) a través de su “Manual de

Participación Ciudadana” (2008) y la “Guía de Gestión para la Participación Ciudadana” (2018) que orientan la gestión participativa. Además, se tiene a la vista las orientaciones entregadas por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU) a través de su “Inventario de Metodologías de Participación Ciudadana en el Desarrollo Urbano” (2010), el texto de la División de Organizaciones Sociales (DOS) del Ministerio Secretaría General de Gobierno “Criterios y Orientaciones para la Implementación de Mecanismos de Participación Ciudadana en la Gestión Pública” (2015), y el estándar internacional Spectrum of Public Participation desarrollado por la Asociación Internacional para la Participación Pública (IAP2). Instrumentos que, pese a sus distintos orígenes, son en gran parte no sólo compatibles, sino complementarios.

En Chile, la participación ciudadana en la gestión pública está normada por una serie de cuerpos legales y administrativos que, con distintas jerarquías, orientan y aseguran el derecho a participar. Los principales textos legales son la Ley 18.575 de Bases Generales del Estado (2000) y la ley 20.500 sobre Participación Ciudadana en la Gestión Pública (2011), que señalan que la Administración del Estado deberá observar, entre otros principios, el de transparencia y el derecho de las personas a participar en igualdad de oportunidades en la vida nacional.

La Participación Ciudadana se define como el “proceso de cooperación mediante el cual el Estado y la ciudadanía identifican y deliberan conjuntamente acerca de los problemas públicos y sus soluciones con metodologías y herramientas que fomentan la creación de espacios de reflexión y diálogos colectivos, encaminados a la incorporación activa de la ciudadanía en el diseño y elaboración de las decisiones públicas” (Presidencia de la República, 2014:2) .

Uno de los principales factores de éxito en la participación ciudadana es la presencia de la visión territorial, entendida como “el conocimiento del territorio, sus comunidades, los intereses, las actividades productivas, los sueños, los anhelos, los problemas” (MOP, 2018:119).

Tradicionalmente los espacios de encuentro y deliberación entre las autoridades públicas y la ciudadanía se encontraban circunscritos solamente a la participación presencial, que tiene la ventaja de que participen personas, grupos, líderes y representantes de organizaciones de la sociedad civil, entre otros. En la actualidad como consecuencia del desarrollo de las tecnologías para la información, es posible construir un espacio de participación virtual de gran influencia y alcance. En este sentido, el uso de internet como canal de comunicación extiende, añade, amplía y posibilita la participación a

aquellos ciudadanos/as que por diversos motivos no pueden participar de forma presencial (DOS, 2015).

Existen cuatro niveles de participación ciudadana: Informativa, Consultiva, de Habilidad Social (empoderamiento) y Gestionaria (MOP, 2018). Sin embargo, el presente Plan de Estratégico de Gestión Hídrica (PEGH) solo considera los dos (2) primeros niveles, que según, el modelo Spectrum de la IAP2 se definen de la siguiente manera:

- **Nivel Informativo:** Que la población pueda conocer e informarse de manera objetiva de los alcances de la intervención, con el fin de que comprenda el problema, las alternativas, las oportunidades y/o las soluciones.

- **Nivel Consultivo:** Que la población tenga la oportunidad de opinar sobre la materia. Generando un espacio de escucha de sus preocupaciones y aspiraciones. Que sirva además para dar respuesta acerca de cómo influyó la opinión pública en las decisiones finales. Sin embargo, esto no significa que dicha opinión sea implementada.

El nivel Informativo corresponde al nivel básico de la participación, y debe estar presente en todo el proceso de relación con la ciudadanía. Los principales objetivos de este nivel son informar, difundir y educar. El nivel Informativo es una condición básica para los siguientes niveles de participación, pues el involucramiento y la deliberación conjunta requiere que los actores conozcan un mínimo de antecedentes que valide la emisión de cualquier opinión (MOP, 2018).

Mientras que el nivel consultivo corresponde al nivel de cooperación, identificación y deliberación conjunta. En este nivel la ciudadanía participa dando su opinión y haciendo aportes a los temas que se tratan, mientras que le corresponde al Estado atender a estas consideraciones, analizar las factibilidades técnicas, normativas, económicas y otras relevantes e informar las resoluciones que se tomen al respecto (MOP, 2018).

Adicionalmente, considerando que la cuenca se encuentra al interior del ADI Atacama La Grande, se han tomado las "Consideraciones Básicas para la Participación Ciudadana con Pertinencia Étnico-Cultural" propuestas por el MOP en su Manual de Participación Ciudadana (2008). Ahí se define la perspectiva intercultural como la construcción de un diálogo horizontal entre las distintas culturas, sustentada en el reconocimiento de la ciudadanía plena para todas y todos los miembros de la sociedad, y el respeto a las diferencias culturales. Y se definen cuatro (4) ejes fundamentales para guiar el proceso participativo, y que debieran ser considerados al momento de la aplicación

de las metodologías de participación ciudadana en territorios Indígenas: a) Establecimiento de lazos de confianza, b) Legitimidad de los líderes, c) Generación de espacios de diálogo permanente y d) Consideración a formas culturales tradicionales.

En el plano de la comunicación se establecieron tres instancias sucesivas de comunicación con los actores.

- I. Nivel 1 - Comunicación Formal: Envío de cartas vía e-mail a las comunidades indígenas presentando el PEGH y al equipo consultor, y solicitando una reunión para presentar los objetivos del proyecto y primeros resultados de la caracterización de la cuenca. Esta comunicación fue reforzada con mensajes y llamados telefónicos a la directiva. Además, se enviaron solicitudes de información a los servicios públicos por transparencia para establecer su vinculación con la cuenca.
- II. Nivel 2 – Comunicación Directa: Trabajo en terreno visitando a las comunidades y organizaciones atacameñas que han ocupado y ocupan de manera directa la cuenca en estudio, entregando cartas de presentación y solicitudes de reunión. Adicionalmente se entregó una presentación con los principales resultados de la caracterización (Etapa 1) a través de un pendrive para su revisión por parte de la directiva y sus asesores, y se mantuvo la comunicación directa de manera telefónica. Se gestionaron reuniones con aquellos servicios públicos que presentan mayor nivel de interés en la cuenca.
- III. Nivel 3 – Comunicación Dialógica: Se realizaron reuniones principalmente con los servicios públicos relacionados con la gestión hídrica en la cuenca, y se lograron concretar solo dos (2) con comunidades indígenas producto de la gran desconfianza que existe de parte de ellos hacia la DGA y consultores externos. Los privados contactados no quisieron ser parte del presente estudio. Por lo tanto, no se pudieron implementar los talleres participativos ni las encuestas, sin embargo, esta ausencia de participación fue en parte suplida con la gran cantidad de antecedentes existentes (ej. Arrau, 2012; ARCADIS, 2016; Actas ADI Atacama La Grande 2015-2020; ProEcoServ, 2015; CMZ, 2018).

A continuación se presentan las principales actividades implementadas por actor y un resumen de los resultados del "Plan de Comunicación":

Tabla I-5: Actividades y Resultados del Plan de Comunicación por Actor

Actor	Actividades de Comunicación
DGA MOP, Región de Antofagasta	<p>Nivel 1 - Comunicación Formal</p> <p>7/10/21 Se envía e-mail solicitando reunión con director regional (s) de la DGA Arturo Beltrán. Se agenda reunión para el 18/10/21</p> <p>Nivel 2 - Comunicación Directa</p> <p>18/10/21 Reunión virtual con director regional (s) de la DGA Arturo Beltrán y la encargada de la UGAT-MOP Lorena Herrera. Se presentan los resultados de la Etapa 1, se reciben comentarios y se responden preguntas (ver Apéndice I-02: Reunión DGA – UGAT Antofagasta).</p>
DOH MOP, Región de Antofagasta	<p>Nivel 1 - Comunicación Formal</p> <p>El día 30/7/21, Folio AM007T0001078, se receptiona la información solicitada a través de transparencia, sobre proyectos hidráulicos u otros que la DOH-MOP esté desarrollando o tiene planificado desarrollar en la Cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama. Al respecto es posible informar que:</p> <p>-La Dirección de Obras Hidráulicas, actualmente no tiene proyectos en desarrollo en el sector, en el corto y mediano plazo, tampoco se ha considerado incluirlos en algún proyecto (ver Apéndice I-03: DOH Respuesta por Transparencia).</p>
SEREMI Medio Ambiente, Región de Antofagasta	<p>Nivel 1 - Comunicación Formal</p> <p>El día 10/8/21, Folio AW002T0006594, se receptiona la información solicitada a través de transparencia, sobre proyectos de protección medioambiental u otros del Ministerio de Medio Ambiente (MMA) en la Cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama. Al respecto es posible informar que:</p> <p>-El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) se encuentra impulsando el Plan Nacional de Protección de Humedales.</p> <p>-Se recibe el “Diagnóstico y Gestión Integrada de Humedales Altoandinos” (Centro de Ecología Aplicada, Junio 2015), que cuenta con información sobre el Salar de Tara, Salar de Aguas Calientes I, Lagunas Miscanti y Miñiques, Salar de Pujsa y Laguna Lejía. Los que forman parte del listado de humedales prioritarios detallados en la Estrategia Regional de Biodiversidad (CONAMA 2002) y en el PACHA o Plan de Acción de Conservación de Humedales Altoandinos (CONAF 2003) (ver Apéndice I-04: MMA Respuesta por Transparencia).</p>

Tabla I-5: Actividades y Resultados del Plan de Comunicación por Actor

Actor	Actividades de Comunicación
<p>Oficina San Pedro de Atacama CONADI MDSyF, Región de Antofagasta</p>	<p>Nivel 1 - Comunicación Formal</p> <p>El 27/6/2021 se recibe respuesta por transparencia, Folio N°AI002T0008146, a la solicitud de información acerca de los proyectos de desarrollo indígena (compra de tierras, derechos de agua, infraestructura, proyectos culturales u otros asociados a los pueblos Atacameños) en la Cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama. Al respecto, se señala que:</p> <ul style="list-style-type: none"> -CONADI, no ha realizado compras de Tierras a las Comunidades Indígenas que forman parte Cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama ubicada en la comuna de San Pedro de Atacama (al este del Salar de Atacama). -Se recibe información acerca de las regularizaciones de Aguas realizadas en Atacama La Grande, sin embargo, no se señala su ubicación. -Se recibe el estudio "Diagnóstico Actualizado del Estado de Conservación de los Sitios Arqueológicos, Históricos y Culturales Indígenas de la Región de Antofagasta" (GEAS, 2019). Cabe destacar que en dicho estudio participó la comunidad atacameña de Talabre. Se destaca que la Laguna Lejía aparece en el inventario cultural de sitios, por su ocupación histórica de la comunidad de Talabre. -Se recibe el Consolidado de Proyectos Adjudicado a las Comunidades Atacameñas por la unidad de Desarrollo de CONADI SPA. Donde se destaca la habilitación de la red de agua potable y baños del sector de la Laguna Miscanti, que el año 2004 beneficia a 52 familias de la Comunidad de Socaire con \$2.144.300 -aporte CONADI (ver Apéndice I-05: CONADI Respuesta por Transparencia). <p>El día 10/9/21, Folio AI002T0008370, se recepciona la información solicitada a través de transparencia, acerca de los nombres de las comunidades indígenas constituidas o en proceso de constitución en el ADI Atacama La Grande. En particular, se solicitó información sobre la comunidad de Tara. Al respecto, se informa que:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Se recibe el listado de las Comunidades reconocidas al interior del ADI Atacama La Grande. Y se señala que la Personalidad Jurídica de la Comunidad Indígena de Tara está caduca por Res.Ex. 28/10/2020 (ver Apéndice I-06: CONADI Respuesta por Transparencia).

Tabla I-5: Actividades y Resultados del Plan de Comunicación por Actor

Actor	Actividades de Comunicación
<p>CNR MINAGRI, Región de Antofagasta</p>	<p>Nivel 1 - Comunicación Formal</p> <p>El día 23/7/21, Folio AR002T0001660, se recepciona la información solicitada a través de transparencia, sobre los proyectos agrícolas, de riego u otro que la CNR esté desarrollando o tenga planificado desarrollar en la Cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama ubicada en la comuna de San Pedro de Atacama. Al respecto, responden que:</p> <p>-Se recibió archivo Excel listado de proyectos agrícolas en la comuna de San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta. El listado cuenta con 81 proyectos, de los cuales 77 son revestimiento de canal, 2 entubamiento de canal y 2 construcción del embalse de regulación corta. Todos ellos ubicados fuera de la cuenca (ver Apéndice I-07: CNR Respuesta por Transparencia).</p>
<p>INDAP MINAGRI, Región de Antofagasta</p>	<p>Nivel 1 - Comunicación Formal</p> <p>Con fecha 19/7/21, bajo el folio N° AR004T0002465, se recibe respuesta vía Ley de Transparencia, a la solicitud de información sobre los proyectos de desarrollo agropecuario u otro relacionado que INDAP esté desarrollando o tenga planificado desarrollar en la Cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama. Al respecto, responden que:</p> <p>-Actualmente sus usuarios no se encuentran desarrollando proyectos agropecuarios financiados por INDAP, Región de Antofagasta, en la cuenca.</p> <p>-Aclaran que INDAP no desarrolla proyectos, sino que financia iniciativas postuladas por sus usuarios a través de llamados a financiamiento. Por lo tanto, las inversiones a desarrollar dependen de las demandas que presenten los usuarios, la factibilidad técnico-administrativa y la disponibilidad presupuestaria (ver Apéndice I-08: INDAP Respuesta por Transparencia).</p>

CONAF MINAGRI,
Región de Antofagasta

Nivel 1 - Comunicación Formal

Se recibió respuesta de CONAF el 3/8/2021, Folio AR003T0004751, a la consulta, hecha vía transparencia, acerca de los proyectos forestales, turísticos u otros que la institución esté desarrollando o tenga planificado desarrollar en la Cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama. Al respecto es posible informar que:

-En la zona, CONAF tiene la administración de 3 sectores que pertenecen a la Reserva Nacional Los Flamencos (Salar de Tara y Aguas Calientes I, Salar de Pujsa y Lagunas Miscanti y Miñiques) y 2 sectores que corresponden a sitios Ramsar (Salar de Tara y Salar de Pujsa).

-Respecto a los proyectos turísticos, manifiestan tener planes de uso público en los sectores Miscanti y Miñiques, Salar de Tara y Aguas Calientes I, lo que involucra propuestas de habilitación de infraestructura para visitantes.

-También firmaron un contrato con la Comunidad Atacameña de Toconao para la cogestión del Salar de Tara y Aguas Calientes I, con el criterio de buscar un modelo de gestión turística de bajo impacto para el sector.

-Asimismo, firmaron otro contrato con la Comunidad Atacameña de Toconao para la cogestión del Salar de Pujsa, con el objetivo de buscar un modelo de gestión de conservación para el sector y hacer un seguimiento de las poblaciones de Flamencos Andinos.

-Respecto a los proyectos de gestión para la conservación, informan de la ejecución de los Planes Nacionales de Conservación de Vicuñas, Flamencos andinos y Taguas. Los que corresponden a estimaciones poblacionales de estas especies, en sectores de la Reserva Nacional Los Flamencos (RNFL) y zonas colindantes con presencia de las especies, así como la ejecución de programas de patrullaje y fiscalización de amenazas.

-También informan de la actualización del catastro de bosque nativo, el que se encuentra en fase de levantamiento de línea base de especies.

-Asimismo, se notifica de la ejecución de un estudio arqueológico en el Salar de Tara y Aguas Calientes I, realizado por la Universidad Católica del Norte, para establecer líneas de tiempo y patrones de ocupación por pisos topográficos y estacionales.

-Informan además de un estudio en curso, a través de cámaras trampa, en el Salar de Tara y Aguas Calientes I, para capturar imágenes de especies de fauna nativa en el sector para la futura ejecución de medidas de conservación.

-De igual manera, informan de una Guía de vertebrados de la RNLF, con un registro visual de aves, mamíferos y reptiles.

-También desarrollaron juegos de cartas educativos de la RNLF. Tara es el nombre del juego de cartas que busca poner en valor la importancia de la conservación del sector del Salar de Tara frente a las amenazas al sector.

Tabla I-5: Actividades y Resultados del Plan de Comunicación por Actor

Actor	Actividades de Comunicación
	<p>-Además, comunican la creación de un sitio RAMSAR en las Lagunas Miscanti y Miñiques, con el objetivo de ampliar la cobertura de protección hacia Aguas Calientes 3, Lagunas Tuyajto y Laguna Lejía (ver Apéndice I-09: CONAF Respuesta por Transparencia).</p>
<p>SAG MINAGRI, Región de Antofagasta</p>	<p>Nivel 1 - Comunicación Formal</p> <p>El día 27/7/21, Folio AR006T0006229, se recepciona la información solicitada a través de transparencia, sobre proyectos agrícolas o ganaderos que el SAG (o ministerio de Agricultura) esté desarrollando o tiene planificado desarrollar en la Cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama. Al respecto, se informa que:</p> <p>-El SAG no tiene proyectos agrícolas o ganaderos en desarrollo ni tiene planificado desarrollar alguno en la Cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama (ver Apéndice I-10: SAG Respuesta por Transparencia).</p>
<p>SERNATUR MINEFT, Región de Antofagasta</p>	<p>Nivel 1 - Comunicación Formal</p> <p>El 28/6/2021 se recibe respuesta por transparencia, Folio N°AH008T0002102, a la solicitud de información acerca de los proyectos turísticos u otros que SERNATUR este desarrollando o tenga planificado desarrollar en la Cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama. Al respecto, se señala que:</p> <p>-El Servicio no cuenta con proyectos en la Cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama.</p> <p>-Las acciones que el Servicio Nacional de Turismo ejecuta, se realizan en base a Planes de marketing y difusión, enmarcados en el Plan de Turismo Sustentable 2019-2022.</p> <p>-Adicionalmente, debido a la situación de pandemia, el Servicio ha implementado acciones de acompañamiento económico para la industria del turismo local por medio de diferentes programas, como Reactívale Turismo y Fogape con BancoEstado (ver Apéndice I-11: SERNATUR Respuesta por Transparencia).</p>

Tabla I-5: Actividades y Resultados del Plan de Comunicación por Actor

Actor	Actividades de Comunicación
<p>Gobierno Regional (GORE), Región de Antofagasta</p>	<p>Nivel 1 - Comunicación Formal</p> <p>El día 14/9/21, Folio AB077T0000829, se recepciona la información solicitada a través de transparencia, sobre los proyectos de desarrollo, cuidado medioambiental y/o cultural que el GORE de Antofagasta esté ejecutando o contempla desarrollar en la Cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama. Al respecto es posible informar que:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Según la División de Planificación y Desarrollo Regional del GORE, se encuentra en proceso de formulación un proyecto del Centro Científico y Tecnológico de la Región de Antofagasta, CICITEM, llamado “Diagnóstico Ambiental e Hídrico de los humedales Altoandinos Región de Antofagasta”, código BIP 40032083-0, siendo la Unidad Técnica, la Secretaría Regional Ministerial de Medio Ambiente de la Región de Antofagasta. -Esta iniciativa se encuentra aún en proceso de formulación, siendo su estado actual el proceso del análisis técnico económico, esperando obtener aprobación para posteriormente postular a financiamiento FNDR (ver Apéndice I-12: GORE Respuesta por Transparencia). <p>7/10/21 Se envía e-mail solicitando reunión con Hugo Pizarro de la DIPLAR. Se agenda reunión para el 18/10/21</p> <p>Nivel 2 - Comunicación Directa</p> <p>18/10/21 Reunión virtual con Hugo Pizarro y Salomé Córdova de la DIPLAR. Se presentan los resultados de la Etapa 1, se reciben comentarios y se responden preguntas. Destaca la conformación de la Mesa del Agua por parte del Gobernador y que involucra la participación de 29 actores a nivel regional y que tendrá una primera sesión presencial el viernes 29/10/21 (ver Apéndice I-13: Reunión GORE Antofagasta).</p>
<p>Fundación de Cultura y Turismo de San Pedro de Atacama (FCyT-SPA)</p>	<p>Nivel 1 - Comunicación Formal</p> <p>22/9/21 Se entrega mapa informativo del PEGH a Rubén Reyes (Director) y se solicita una reunión para presentar resultados de etapa 1, y conocer su opinión sobre el turismo y la cuenca en estudio. Se agenda reunión para el 19/10</p> <p>Nivel 2 - Comunicación Directa</p> <p>19/10/21 Reunión virtual con Rubén Reyes Aymani (Director de la FCyT-SPA) y Karina Soca (Encargada de Turismo de la FCyT-SPA). Se presentan los resultados de la Etapa 1, se reciben comentarios y se responden preguntas (ver Apéndice I-14: Reunión FCyT-SPA).</p>

Tabla I-5: Actividades y Resultados del Plan de Comunicación por Actor

Actor	Actividades de Comunicación
Gobernador de Antofagasta	Sin actividades de comunicación con PEGH.
Alcalde, IMSPA	Sin actividades de comunicación con PEGH.
Concejales, IMSPA	Sin actividades de comunicación con PEGH.
Consejero Nacional Atacameño, CONADI	Sin actividades de comunicación con PEGH.
Exploraciones, Inversiones y Asesorías Mundo S.A.	Nivel 1 - Comunicación Formal 7/10/21 y 13/10/21 Se envía e-mail a abogada encargada de DAA de la empresa Mundo, Natalia Pérez, solicitando reunión para presentar el PEGH. 18/10/21 Conversación telefónica con Natalia Pérez, abogada encargada de DAA de la empresa Mundo, quien señala que no quieren participar del estudio.
Compañía Minera del Pacífico S.A. - Minera El Laco	Nivel 1 - Comunicación Formal 7/10/21 Se envía e-mail a la empresa a través de su pagina web. Sin respuesta a la fecha
Dovalle Farmaceutica Minera de Chile y Cia. Ltda.	No existen antecedentes de esta empresa en la DGA, MOP ni en los medios de comunicación. No es posible establecer contacto con ellos.

Tabla I-5: Actividades y Resultados del Plan de Comunicación por Actor

Actor	Actividades de Comunicación
Comunidad de Atacameña Toconao	<p>Nivel 1 - Comunicación Formal</p> <p>18/5/21, 26/5/21 y 24/6/21 Se envía e-mail con carta informativa.</p> <p>31/8/21 Datos de nueva directiva.</p> <p>1/9/21 se envía e-mail a la nueva presidenta Luzvenia Catur.</p> <p>16/9/21 Comunidad de Toconao responde e-mail aceptando reunión para el 27/9 a las 19.00</p> <p>Nivel 2 - Comunicación Directa</p> <p>21/9/21 Reunión presencial con Presidenta (Luzvenia) y Tesorera (Mariluz), se entrega carta de solicitud de reunión y presentación con resultados de etapa 1.</p> <p>27/9/21 Reunión virtual con la directiva y asesores de la Comunidad de Toconao. Se exponen resultados de Etapa 1, y se contestan preguntas de la directiva. Destaca la preocupación de la directiva por la no incorporación del Salar de Tara en el estudio, pues es parte de su territorio. Solicitan un tiempo para tomar una decisión como directiva.</p> <p>6/10/21 y 13/10/21 Mensaje WhatsApp a la presidenta Luzvenia Catur, responde que enviarán respuesta formal en los próximos días.</p> <p>Sin respuesta.</p>

Tabla I-5: Actividades y Resultados del Plan de Comunicación por Actor

Actor	Actividades de Comunicación
Comunidad Atacameña de Talabre	<p>Nivel 1 - Comunicación Formal</p> <p>18/5/21, 26/5/21 y 24/6/21 Se envía e-mail con carta informativa.</p> <p>25/6/21 Datos de nueva directiva.</p> <p>31/8/21 Mensaje WhatsApp al presidente Winder Flores quien acusa recibo.</p> <p>16/9/21 Se envía e-mail y mensaje WhatsApp al presidente Winder Flores informando visita presencial. Responde que nos puede recibir el jueves 23/9.</p> <p>Nivel 2 - Comunicación Directa</p> <p>23/9/21 Reunión presencial con Presidente Winder Flores, se entrega carta de solicitud de reunión y presentación con resultados de etapa 1.</p> <p>6/10/21, 13/10/21 y 18/10/21 Mensaje WhatsApp al presidente Winder Flores, responde que enviarán fecha de reunión prontamente.</p> <p>21/10/21 Mensaje WhatsApp al presidente Winder Flores, responde que aún no fijan la fecha de reunión.</p> <p>4/11/21 Se realiza reunión virtual con la directiva y asesores de la Comunidad de Talabre. Se exponen parte de los resultados de Etapa 1, y se contestan algunas preguntas de la directiva. Finalmente, la reunión no se termina pues la directiva expresa su desconfianza hacia el equipo consultor.</p> <p>15/11/21 La comunidad de Talabre envía carta a la consultora expresando su malestar por el trabajo realizado en territorio de la comunidad sin su autorización.</p> <p>19/11/21 y 23/11/21 Se envían respuestas a la comunidad de Talabre reconociendo error y presentando los antecedentes de comunicación fallidos.</p>

Tabla I-5: Actividades y Resultados del Plan de Comunicación por Actor

Actor	Actividades de Comunicación
Comunidad Atacameña de Camar	<p>Nivel 1 - Comunicación Formal</p> <p>18/5/21, 26/5/21 y 24/6/21 Se envía e-mail con carta informativa.</p> <p>1/6/21, 24/6/21 y 31/8/21 Mensaje WhatsApp y llamado telefónico al presidente Héctor Cruz sin respuesta.</p> <p>16/9/21 Se envía e-mail y mensaje WhatsApp al presidente Héctor Cruz informando visita presencial, quien responde que nos puede recibir el jueves 23/9.</p> <p>Nivel 2 - Comunicación Directa</p> <p>23/9/21 Reunión presencial con Presidente Héctor Cruz, se entrega carta de solicitud de reunión y presentación con resultados de etapa 1. Señala su preocupación por los derechos de agua en esta cuenca, considerando que la DGA ha otorgado derechos de agua a privados; muestra desconfianza a participar. Solicita reunión con la DGA para saber como se utilizará la información.</p> <p>6/10/21 y 13/10/21 Mensaje WhatsApp al presidente Héctor Cruz, sin respuesta</p> <p>14/10/21 y 15/10/21 Llamado telefónico al presidente Héctor Cruz, responde que están en reuniones con Talabre por temas territoriales y se compromete a reunirse prontamente con nosotros.</p> <p>Sin respuesta</p>

Tabla I-5: Actividades y Resultados del Plan de Comunicación por Actor

Actor	Actividades de Comunicación
Comunidad Atacameña de Socaire	<p>Nivel 1 - Comunicación Formal</p> <p>18/5/21, 26/5/21, 24/6/21 y 23/8/21 Se envía e-mail con carta informativa.</p> <p>1/6/21 Mensaje WhatsApp al presidente Leonardo Cruz, quien señala que la nueva Presidenta es Liset Plaza Pachao indicando su numero telefónico.</p> <p>1/6/21, 11/6/21, 24/6/21 y 23/8/21 Mensaje WhatsApp a la nueva Presidenta Liset Plaza, sin respuesta.</p> <p>16/9/21 Se envía e-mail y mensaje WhatsApp a la presidenta Liset Plaza informando visita presencial, quien responde que nos puede recibir el miércoles 22/9.</p> <p>Nivel 2 - Comunicación Directa</p> <p>22/9/21 Reunión presencial con Presidenta Liset Plaza, se entrega carta de solicitud de reunión y presentación con resultados de etapa 1. Manifiesta preocupación por Derechos de Agua en este sector que puedan ser apropiados por privados, desconfianza de entregar información de lugares con agua de buena calidad.</p> <p>6/10/21, 13/10/21 y 21/10/21 Mensaje WhatsApp a la presidenta Liset Plaza, sin respuesta</p>

<p>Comunidad Atacameña de Peine</p>	<p>Nivel 1 - Comunicación Formal</p> <p>18/5/21, 26/5/21 y 24/6/21 Se envía e-mail con carta informativa.</p> <p>23/8/21 y 31/8/21 Se envía e-mail con carta informativa y solicitud de reunión a nueva dirección.</p> <p>1/6/21, 24/6/21, 31/8/21, 16/9/21 y 21/9/21 Mensaje WhatsApp a la presidenta Amanda Barrera, quien responde no entender nuestra solicitud.</p> <p>Nivel 2 - Comunicación Directa</p> <p>23/9/21 Reunión presencial con Presidenta Amanda Barrera, se entrega carta de solicitud de reunión y presentación con resultados de etapa 1. Señala que derivará al asesor medio ambiental Felipe Lerzundi.</p> <p>23/9/21 Llamado telefónico del asesor medio ambiental de Peine Felipe Lerzundi quien señala que revisara los antecedentes según lo señalado por la presidenta.</p> <p>29/9/21 y 6/10/21 Mensaje WhatsApp al asesor de medio ambiente Felipe Lerzundi quien solicita KMZ de la cuenca por e-mail.</p> <p>7/10/21 Se envía e-mail con KMZ de la cuenca al asesor de medio ambiente Felipe Lerzundi a la dirección: flerzund@gmail.com</p> <p>13/10/21 Conversación telefónica con Felipe Lerzundi, quien señala que la superposición de la cuenca con el territorio de Peine es poca y por lo tanto no van a participar del PEGH. Se contra argumenta que existe un derecho de agua que actualmente abastece a la comunidad de Peine desde Miñiques. Además, se menciona la posibilidad de presentar en conjunto con el PEGH cuenca Endorreica Salar de Atacama - Vertiente Pacífico (Hídrica Consultores) que abarca el salar de Punta Negra. Solicita KMZ de esta última cuenca para su evaluación. Finalmente señala que están esperando la respuesta del director regional de la DGA a la solicitud de Peine de participar en las reuniones técnicas con las empresas mineras.</p> <p>13/10/21 Se envía email con KMZ de cuenca Endorreica Salar de Atacama - Vertiente Pacífico al asesor de Medioambiente de Peine Felipe Lerzundi.</p> <p>18/10/21, 21/10/21 y 25/10/21 Mensaje WhatsApp al asesor de medio ambiente Felipe Lerzundi quien señala que actualmente están con "consulta indígena, monitoreos, proyecto de agua, cierre del directorio, convenio Corfo SQM, etc", por lo tanto, no podrán participar de los PEGH en corto plazo.</p>
<p>Consejo de Pueblos Atacameños (CPA)</p>	<p>Nivel 1 - Comunicación Formal</p>

	<p>1/9/21 y 14/9/21 Se envía e-mail al presidente del CPA Manuel Salvatierra solicitando reunión para presentar resultados Etapa 1.</p> <p>16/9/21 Se envía e-mail al presidente del CPA Manuel Salvatierra informando visita presencial. Responde asesor de medioambiente del CPA Francisco Mondaca manifestando su malestar por el trabajo en terreno sin autorización de las comunidades. Se coordina reunión virtual .</p> <p>Nivel 2 - Comunicación Directa</p> <p>21/9/21 Reunión virtual con el asesor de medioambiente del CPA Francisco Mondaca para abordar el problema de los trabajos en terreno por parte del presente PEGH. Participa en la reunión el Jefe de División de Estudios y Planificación Mauricio Lorca.</p> <p>22/9/21 Reunión presencial con el asesor de medioambiente del CPA Francisco Mondaca, se entrega carta de solicitud de reunión y presentación con resultados de etapa 1. Señala que no está de acuerdo con levantar información en detalle de medio humano, pues si se sabe exactamente donde pasan los caminos troperos los proyectos pueden ubicar algún espacio sin ocupación y desarrollar sus proyectos. Además, agrega que la zona altoandina es muy valorada por las comunidades por el tema del agua. Pregunta por qué no se incluyeron las cuencas fronterizas, pareciera más lógico por sus relaciones de infiltración, sus comunidades o grupos humanos que fueran abordadas en un solo PEGH junto con el Salar de Atacama. Sobre el modelo para la cuenca, comenta que solo se ocupan promedios, pero según sus estaciones nuevas existen grandes diferencias en los distintos sectores.</p> <p>7/10/21 Comunicación con el asesor de medio ambiente del CPA Francisco Mondaca solicitando respuesta a la carta entregada. Responde que se envíe nuevamente la carta por e-mail.</p> <p>7/10/21 Se envía e-mail al presidente del CPA Manuel Salvatierra solicitando reunión para presentar resultados Etapa 1.</p> <p>13/10/21 Comunicación con Francisco Mondaca del CPA quien confirma recepción de email, pero no hay fecha para la reunión.</p> <p>21/10/21 Comunicación con Francisco Mondaca del CPA quien reitera su solicitud de información levantada en terreno (análisis de agua).</p> <p>2/11/21 Se envían resultados de los análisis hídricos realizados en el marco del presente PEGH.</p>
--	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla I-5: Actividades y Resultados del Plan de Comunicación por Actor

Actor	Actividades de Comunicación
CICITEM - Centro Científico Tecnológico Región de Antofagasta	<p>Nivel 1 - Comunicación Formal</p> <p>3/11/21 Se envía e-mail al director Rubén Rojo solicitando reunión con el equipo CICITEM para conocer más detalles del “Diagnóstico Ambiental e Hídrico de los Humedales Altoandinos Región de Antofagasta”.</p> <p>Nivel 2 - Comunicación Directa</p> <p>4/11/21 Reunión virtual con director del CICITEM Rubén Rojo y el equipo del CICITEM. Se presentan los resultados de la Etapa 1, CICITEM presenta “Diagnóstico Ambiental e Hídrico de los Humedales Altoandinos Región de Antofagasta”, se realizan comentarios y preguntas cruzadas (ver Apéndice I-15: Reunión CICITEM).</p>

4. RESULTADOS DE LA PARTICIPACIÓN CIUDADANA EN EL PEGH DE LA CUENCA ENDORREICA ENTRE FRONTERIZAS Y SALAR DE ATACAMA

En total se sistematizaron 206 discursos asociados de manera directa o indirecta con la gestión hídrica en la cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama, provenientes de la revisión de antecedentes, bibliografía complementaria y las actividades de participación ciudadana realizadas por el presente PEGH.

Los resultados muestran que las principales temáticas planteadas por los actores relevantes en la cuenca tienen relación con la “Gobernanza” con 105 menciones (51%), el Medio Ambiente con 50 menciones (24%) y temas Legales con 31 menciones (15%). Tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla I-6: Resultados Temáticos PAC

Categoría Temática Principal	Menciones	Porcentaje
Gobernanza	105	51%
Medio Ambiente	50	24%
Legal	31	15%
Infraestructura	7	4%
Prácticas Culturales	7	4%
Minería/Estado	6	2%
TOTAL	206	100%

A nivel de Gobernanza (105 menciones), las principales demandas se relaciona con la necesidad de un "trabajo intersectorial" (26 menciones) entre los servicios públicos y la sociedad civil principalmente, y la instalación de una "red de monitoreo" (18 menciones) capaz de prevenir emergencias durante los eventos extremos y de proteger los humedales alto andinos por su alto valor ecosistémico a través de proyectos como el impulsado por la DGA-CEITSAZA, la Seremia de Medio Ambiente, y actualmente el CICITEM "Diagnóstico Ambiental e Hídrico de los Humedales Altoandinos Región de Antofagasta". Una tercera dimensión de la gobernanza se relaciona con la creación de un "organismo de manejo de cuenca" (17 menciones) que debe contar con la participación vinculante de comunidades indígenas considerando la forma ancestral (comunitaria) de las comunidades indígenas en la administración del agua. En concreto se plantea la necesidad de un organismo de gobernanza territorial participativo, con mecanismos de resolución de controversias, presupuesto, responsables y esquema de monitoreo y evaluación para el desarrollo de propuestas de mitigación y/o compensaciones generadas por los impactos que se identifiquen. Organismo territorial capaz de abordar las demandas territoriales en forma conjunta y los problemas socioculturales provocados por una actividad turística neoliberal que no se adecua al funcionamiento de un territorio indígena. Además, este organismo debe abarcar no solamente la cuenca Endorreica sino que también el Salar de Atacama, y las cuencas fronterizas; siendo prioritario la inclusión del Salar de Tara (sitio Ramsar).

Otros aspectos destacados a nivel de Gobernanza son la "Planificación Estratégica" (9 menciones) priorizando el consumo humano, los "Servicios Públicos Deficientes" (9) producto de un déficit institucional, el facilitar el "Acceso a la Información" (4), la "Protección Recursos Hídricos de las Comunidades Indígenas" (4), la "Solución de Conflictos" (4) en el tema territorial que incluye los derechos de agua asociados, la "Confiabilidad de la Información" (3) entregada por las compañías mineras sobre las mediciones hidrológicas y la lectura de caudales, la "Desconfianza en los Servicios Públicos" (3) especialmente por la asignación de derechos de agua a privados por parte de la DGA, la "Educación y/o la Capacitación" (3) en los procesos de otorgamientos de derechos de agua, de modelación hídrica, de fiscalización y denuncia, el "Fortalecimiento Organizacional" (3) de las entidades locales relacionadas con los recursos hídricos, y una "Gestión Hídrica Sustentable" (2) mediante monitoreos en línea y mediciones participativas (par más detalles ver Apéndice I-16: Análisis Temático de Discursos de los Actores Relevantes).

Cabe mencionar que estos resultados temáticos coinciden con los identificados preliminarmente por el PEGH Salar de Atacama cuyas principales temáticas y/o preocupaciones son:

- Seguridad Hídrica para Agua Potable, Riego y Protección de los Ecosistemas.
- Monitoreo y Conocimiento – Oferta y Demanda – Balance Hídrico.
- Gobernanza e Institucionalidad – Toma de Decisiones.

Finalmente, se realizó un proceso de valorización de las temáticas para la priorización de brechas y acciones del PEGH. De esta manera, cada acción fue puntuada de acuerdo al valor de la sub-categoría, es decir la cantidad de veces que la temática fue mencionada directamente por los actores, más un valor ponderado (en un 20%) de la temática principal. Esto se expresa mediante la siguiente fórmula = ("valor sub-categoría temática") + ("valor tema principal" x 20%), el valor final fue normalizado en un puntaje o índice único que oscila entre 1 y 5, lo que permite su comparación con los otros criterios analizados. A continuación, se presentan las categorías y sus temas, con sus menciones y su respectivo valor normalizado.

Tabla I-7: Resultados Temáticos PAC y Valor Normalizado

Gobernanza (105 - 51%)	Menciones	Valor Índice
Trabajo Intersectorial	26	5,0
Red Monitoreo - Participación Vinculante de Comunidades Indígenas	18	4,3
Organismo de Manejo de Cuenca - Participación Vinculante de Comunidades Indígenas	17	4,2
Planificación Estratégica	9	3,5
Servicios Públicos Deficientes	9	3,5
Acceso a la información	4	3,1
Protección Recursos Hídricos de las Comunidades Indígenas	4	3,1
Solución de Conflictos	4	3,1
Confiabilidad de la información - Monitoreo Ambiental Privado	3	3,0
Desconfianza de los Servicios Públicos	3	3,0
Educación/Capacitación	3	3,0
Fortalecimiento Organizacional	3	3,0
Gestión Hídrica Sustentable	2	2,9
Infraestructura (7 - 4%)	Menciones	Valor Índice
Mejorar APR	6	1,6
Turismo	1	1,1
Legal (31-15%)	Menciones	Valor Índice
DAA - Reconocer Derecho Ancestral al Agua/Tierra	17	2,9
DAA - Entrega a Privados	10	2,3
Código de Agua	2	1,6
DAA - Ingreso al SEIA	1	1,5
Reconocimiento Constitucional	1	1,5
Medio Ambiente (50 - 24%)	Menciones	Valor Índice
Estudios / Proyectos - Consulta Indígena	18	3,3
Conexión Hídrica de las Cuencas	7	2,4
Deterioro Ecosistemas Hídricos	7	2,4
Fiscalización	7	2,4
Protección de Ecosistemas Hídricos	5	2,2
Incorporar el Conocimiento Ancestral	4	2,1
Visión Ecosistémica	2	2,0

Tabla I-7: Resultados Temáticos PAC y Valor Normalizado

Minería/Estado (6 - 3%)	Menciones	Valor Índice
Afectación Comunidades	6	1,5
Prácticas Culturales (4 - 3%)	Menciones	Valor Índice
Turismo	5	1,5
Crianza Tradicional de Animales	2	1,2

SUBANEXOS DISPONIBLES EN DISPONIBLES EN FORMATO DIGITAL

ANEXO J
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

I. SUBANEXOS

Anexo J1	Gobernanza
Anexo J2	Caracterización Ambiental
Anexo J3	Campaña de monitoreo (Disponible en formato digital)
Anexo J4	Oferta hídrica
Anexo J5	Actividades en terreno
Anexo J6	Consulta indígena (Disponible en formato digital)
Anexo J7	Perfilaje de temperatura y conductividad (Disponible en formato digital)
Anexo J8	Calidad de Agua (Disponible en formato digital)

ANEXO J-1

1. ALGUNAS CONSIDERACIONES ACERCA DE LA GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HIDRÍCOS

I. GENERALIDADES

La DGA postula que se requiere de un nuevo enfoque de gestión estratégico por cuenca, que permita formular planes de corto, mediano, y largo plazo, con resultados concretos de acuerdo con las necesidades propias de cada cuenca a fin de hacer frente a los desafíos que enfrenta Chile para la gestión del agua. Para lo anterior considera que el instrumento a desarrollar debe ser tal que sea posible construir e implementar un Plan de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) a nivel de cuencas hidrográficas.

En consecuencia, la DGA promueve la GIRH a nivel de cuencas como un elemento esencial que dé la gobernabilidad del agua en dicha unidad territorial, entendida como la existencia de sistemas de gestión que posibiliten efectivamente, en un marco de sustentabilidad, la implementación y seguimiento de las políticas de gestión del agua.

II. CONTEXTO HISTÓRICO DE LA GIRH

El concepto de la GIRH nace en el mundo en oposición a las miradas y enfoques fragmentados que se habían venido haciendo a nivel global desde épocas pretéritas, en donde las consideraciones sociales y medioambientales y el concepto del agua como un bien común, fueron obviado principalmente con el advenimiento del mundo moderno y más recientemente, el modelo económico de mercado.

Por lo tanto, para entender por qué la GIRH emerge en el mundo como un proceso necesario, se debe entender el contexto histórico que precedió a su formulación y promoción y que tiene que ver con lo que conservar los bienes comunes y recursos naturales de la humanidad toda.

En particular, se tiene que la instauración de la economía de mercado generó un modo de explotación de los bienes comunes y recursos naturales cuyas características hicieron que finalmente desembocara en una crisis que se inició en los años 80 en el mundo y que se fue incrementando de manera sostenida hasta la fecha, en donde, adicionalmente, el efecto de la sobrepoblación, el cambio climático y muy recientemente la pandemia, y en particular en nuestro país el estallido social, evidenciaron que se debe fomentar de manera urgente un nuevo pacto que permita conciliar las necesidades y condiciones de las personas, los países, los recursos naturales y el desarrollo.

En un contexto mundial, se tiene que en 1979 comenzó en Inglaterra el régimen de Margaret Thatcher, que puso en práctica programas neoliberales para la economía, lo que sumado a una serie de acontecimientos políticos en Estados Unidos y Europa permitieron la aplicación de la teoría de libre mercado en las economías de casi todos los países del norte de Europa occidental, a excepción de Suecia y Austria. Además, la recesión mundial de los años 70 que aumentó los problemas de eficiencia de algunas empresas estatales reenfocó la atención hacia el papel que el sector privado podía desempeñar en el crecimiento económico y en el desarrollo, por considerarse el neoliberalismo como única salida a la crisis económica.

En Chile, tras el golpe de Estado de 1973, se aplicó esta misma teoría neoliberal en donde posteriormente se agregó un componente norteamericano, el de Milton Friedman y la Escuela de Chicago. De esta forma, el Estado debía reducir su tamaño y su rol debía focalizarse en aquellas materias en que el mercado no funcionaba, en tanto que el sector privado se volvía más vigoroso, en especial a través de las grandes corporaciones, y de mayor importancia en las decisiones económicas. Así, la regulación de los mercados se constituía, desde el punto de vista económico, en una de las actividades trascendentales de ese sector. Este modelo económico se vio fortalecido por la garantía constitucional del derecho de propiedad sobre los bienes comunes y los recursos naturales del país.

A nivel regional ocurrieron los primeros indicios de los efectos de este modelo en los años 90, cuando en 1994 en Chiapas se generó una lucha por parte de los campesinos por sus tierras y bienes comunes que les daban sustento y alimentos, en contra de los planes de ajuste estructural del Estado orientado por las instituciones económicas mundiales que buscaba la privatización de las tierras a favor de las corporaciones y el desalojo de los campesinos.

Le siguieron los grandes movimientos campesinos en contra de la deforestación de la Amazonia por parte del negocio de la madera o de liberar tierra para los grandes monocultivos por ejemplo, o la construcción de grandes embalses que impactaron a pueblos y culturas enteros en Brasil y China, respaldados por las políticas de Estado y la llegada de grandes empresas.

A nivel más sectorial, en enero de 1992 se desarrolló la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente: "Cuestiones de desarrollo para el siglo 21", en Dublín, Irlanda, cuya declaración final señaló que la escasez y el uso abusivo del agua dulce planteaba una creciente y seria amenaza para el desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente por lo que la salud y el bienestar humanos, la seguridad alimentaria, el

crecimiento industrial y el ecosistema de que dependen se hallaban en peligro, a no ser que la gestión de los recursos hídricos y del suelo se efectuara de forma más eficaz en dicho decenio que en el pasado.

En dicha conferencia se establecieron cinco principios rectores¹ que fueron la base para la formulación de la GIRH:

Principio N° 1: El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial como sostén de la vida, el desarrollo y el medio ambiente.

Dado que el agua sustenta todas las formas de vida, la gestión sostenible de los recursos hídricos requiere un enfoque integrado que vincule al desarrollo económico y social con la protección de los ecosistemas naturales. La gestión eficaz establece una relación entre el aprovechamiento del suelo y del agua en la totalidad de una cuenca fluvial o un acuífero.

Principio N° 2: El aprovechamiento y la gestión del agua debe basarse en un planteamiento participativo, en el que intervengan los usuarios, los planificadores y los encargados de tomar decisiones a todos los niveles.

Este planteamiento participativo supone que los encargados de la adopción de las políticas y el público en general cobren una mayor conciencia de la importancia del agua. Dicho planteamiento implica que las decisiones se adoptan al nivel más elemental apropiado, efectuando plenas consultas con el público y dejando participar a los usuarios en la planificación y aplicación de los proyectos sobre el agua.

Principio N° 3: La mujer desempeña un papel fundamental en el suministro, la gestión y la preservación del agua.

Este papel axial de la mujer como usuaria y custodio del medio ambiente vivo rara vez se ha reflejado en acuerdos institucionales para el aprovechamiento y la gestión de los recursos hídricos. La aceptación de este principio requiere políticas positivas que preparen y doten a la mujer de la capacidad para participar a todos los niveles en programas sobre los recursos hídricos.

Principio N° 4 El agua tiene un valor económico en los diversos usos a los que se destina y debería reconocérsele como un bien económico.

¹ <https://es.ircwash.org/sites/default/files/71-ICWE92-19134.pdf>

De acuerdo con este principio, es esencial reconocer ante todo el derecho fundamental de todos los seres humanos a tener acceso a un agua limpia y condiciones de salubridad adecuadas por un precio asequible. El haber ignorado en el pasado el valor económico del agua ha conducido al derroche y a la utilización de este recurso con efectos perjudiciales para el medio ambiente. La gestión del agua como un bien económico es un medio importante de conseguir un uso eficiente y equitativo y de alentar la conservación y protección de los recursos hídricos.

En el año 1996 la organización internacional Global Water Partnership (GWP) se fundó con la misión de fomentar la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) en base de los principios de Dublín y lograr en último término un mundo con seguridad hídrica.

Este organismo adopta la GIRH como el proceso que debe aplicarse a fin de reemplazar el enfoque tradicional sectorial y fragmentado por uno intersectorial, donde el agua es un componente importante de los ecosistemas, que engloba un valor económico, social y ambiental y que su uso debe estar acorde con el bien común, que asegure igualdad y sostenibilidad de este.

Cabe mencionar también, la aparición de los llamados movimientos antiglobalización cuya mayor visibilización ocurrió en Seattle en 1999, en la tercera Conferencia Ministerial de la OMC, cuyo objetivo principal era ampliar la liberalización del comercio internacional, las personas y la lucha por los bienes comunes y los recursos naturales se convirtieron en protagonistas del proceso político global ya que evidenciaron las falencias y tremendas inequidades, que a su vez generaban enorme inestabilidad, del modelo neoliberal, impuesto económicamente por la OMC y por el G7 (hoy G8). En Seattle ese año, y tras muchas discusiones entre los delegados, e infinidad de disturbios por las constantes manifestaciones de protesta en las calles de Seattle, la Cumbre de la Organización Mundial de Comercio (OMC) fracasó quedando de manifiesto la incompatibilidad entre las prioridades de los grandes bloques comerciales y el reclamo y una fuerte protesta social por los efectos de dicho modelo.

Un evento que evidenció de manera brutal las fallas del modelo de gestión del agua impuesto por los organismos internacionales aconteció entre los meses de enero y abril de 2000 en Cochabamba, Bolivia, en donde se aplicó por parte del gobierno políticas de reestructuración económica teniendo como uno de sus principales elementos el de la privatización, no sólo de las empresas estratégicas sino también de los servicios básicos.

En septiembre de 1999 el Parlamento aprobó la Ley de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario que no incluyó el respeto y la consideración de los sistemas tradicionales de manejo del agua. Un mes después el Gobierno entregó en concesión a un consorcio privado internacional (Aguas del Tunari) la empresa municipal de distribución de agua de Cochabamba y la ejecución del proyecto Misicuni (megaproyecto de agua de usos múltiples), buscando solucionar la crónica escasez de agua en la región.

En su desempeño, Aguas del Tunari prohibió el funcionamiento de sistemas alternativos de distribución de agua en las áreas de concesión de las ciudades, aplicó el principio de recuperación total de costos en la fijación de tarifas sin ninguna gradualidad y sin considerar la participación ciudadana en la fijación de tarifas, las que además fueron indexadas al dólar americano.

La empresa además, fue implacable en iniciar juicios coactivos por falta de pago para usuarios de bajos ingresos y no reconoció el aporte comunitario en ejecución de obras ya existentes.

Ello, generó una enorme ola de protestas y bloqueos que, como primer resultado fue abrir un espacio para discutir la revisión del contrato de concesión y reformar la Ley de Agua Potable, insuficiente como solución a la urgencia generada, en donde finalmente y ante una fuerte presión social, la empresa Aguas del Tunari se retira de Bolivia. El Gobierno boliviano tuvo que aceptar esa decisión y modificar la Ley de Agua.

La Guerra del Agua en Cochabamba fue uno de los conflictos por el derecho al agua más importantes de América Latina que permite entender el impacto de la aplicación a rajatabla de políticas de reestructuración económica sin considerar las otras dimensiones socioeconómicas y ambientales de la explotación de los recursos naturales.

Debe considerarse también en este análisis, el Objetivo de Desarrollo Sostenible, ODS, No 6 "Agua Limpia y Saneamiento", promulgado en 2015 por la ONU, que requería de nuevos enfoques y marcos conceptuales, que articularan e integraran de manera práctica las intervenciones en el sector de Agua Potable, Saneamiento e Higiene, directamente relacionado con GIRH, cuyo cumplimiento no ha sido el esperado. Este tema cobra especial importancia a la luz de la actual pandemia por el coronavirus.

III. LA GIRH EN LA ACTUALIDAD

A 25 años de la instauración del proceso de la GIRH en el mundo, se tiene que éste ha sido un proceso lento y confuso que no ha podido superar el desafío del desarrollo sustentable del agua en los territorios y que no hace frente de manera efectiva al Cambio Climático, originado en parte por el inadecuado desarrollo de los recursos naturales en el mundo, entre ellos el agua. Uno de los aspectos relevantes que no ha podido implementarse ni fortalecerse de manera robusta es la gobernanza del agua entendida como un sistema que proporciona un marco conceptual, que permite analizar y potenciar la GIRH.

Hoy en día, organismos como el Banco Mundial, hace más de 10 años viene analizando de manera crítica la formulación del tema de la GIRH en el mundo, y plantea que es necesario planificar de una manera diferente², en donde se debe reenfocar la GIRH incorporando las incertidumbres climáticas entre otras, ya que los escenarios de cambio climático no están diseñados para la gestión del agua sino que para la reducción y mitigación de emisiones de GEI y no son muy certeros en temas de eventos hidrometeorológicos extremos pero se intenta bajar o escalar a los aspectos hídricos que incluyen la precipitación y temperatura. Igualmente, señala que los aspectos sociales también involucran incertidumbres que hay que enfrentar ya que generan presiones en la gestión y la planificación del recurso hídrico que se deben resolver en la planificación.

La planificación tradicional que se ha hecho en la GIRH ha sido sobre la base de distintos escenarios en donde se ha supuesto que hay consenso entre los distintos sectores de interés por el agua en los territorios, minimizando principalmente los costos financieros lo que ha llevado a soluciones frágiles ya que no permiten incorporar la flexibilización de esas acciones, tampoco esta planificación ha sido efectiva en la distribución igualitaria entre los sectores ni tampoco ha incorporado adecuadamente la parte social y ambiental y no considera acciones frente a situaciones contingentes: por ejemplo, pandemia, sequía, cambio climático.

² Planificación de Cuenca Participativa y Resiliente, Diego Rodríguez, Especialista Senior de Gestión de Recursos Hídricos del Banco Mundial. Webinar: Gestión Integrada del Agua a Nivel de Cuenca en Chile, <https://www.bancomundial.org/es/events/2021/04/16/webinar-gesti-n-integrada-del-agua-a-nivel-de-cuenca-en-chile#2>

Postula que hay que intentar planificar con flexibilidad, resiliencia y robustez adoptando la toma de decisiones bajo incertidumbre como metodología para diseñar inversiones en el tema de la gestión del agua

Para ello hay que entender el sistema, su funcionamiento que no está necesariamente bien integrado para luego analizar su vulnerabilidad y que opciones hay para reducir esa incerteza

Un aspecto clave en esto son las decisiones participativas y la planificación colaborativa, la cocreación de todo el proceso, es decir, que todos los colectivos entienden cómo funciona el sistema y de esa forma poder decidir qué se quiere lograr de ese sistema y que se quiere obtener de ese sistema, que se quiere para una determinada cuenca.

Para lo anterior se deben entender y responder algunas cuestiones como:

- Cuál es el Sistema y cuál es el desempeño actual
- Con qué frecuencia y con qué severidad el sistema falla y cómo se recupera
- Cómo se desempeña el Sistema frente a múltiples futuros posibles
- Cuáles son las acciones que reducen la vulnerabilidad, como hacerlas robustas y resilientes

Y finalmente dicho organismo plantea como reflexiones:

- La planificación de la GIRH debe considerar una realidad con una convergencia de serios desafíos que requieren un cambio de actuar
- Considerar que los enfoques de planificación y de priorización, diseño y operación de inversiones tradicionales no son suficientes
- La toma de decisión bajo incertidumbre es útil para mitigar los efectos de la tormenta perfecta
- Soluciones costo-eficientes deben considerar maximizar la robustez y resiliencia de los sistemas y del capital social y natural
- Se requiere como condición sine qua non una institucionalidad sólida a nivel de cuencas con participación en la toma de decisión (gobernanza)

Seguidamente, se debe considerar el enfoque actual de la DGA sobre la GIRH, que dice relación con que se requiere de un nuevo enfoque de gestión estratégico por cuenca, que proporcione conocimiento y diagnóstico para formular planes de corto, mediano, y largo plazo, que generen productos reales de acuerdo a las necesidades propias de cada

cuenca, con el fin de formular hojas de ruta trazables, desde la perspectiva DGA para hacer frente a los desafíos que enfrenta Chile para la gestión del agua.

Por ello, la elaboración de “Planes Estratégicos de Gestión Hídrica” (PEGRH) por cuencas del país, a diferencia de los instrumentos de planificación abordados anteriormente, apuntan a subsanar los problemas identificados en anteriores estudios, principalmente con la incorporación de modelos hidrológicos operacionales superficiales-subterráneos que busca poner en valor la interacción entre aguas superficiales y subterráneas, permitiendo además mantener actualizaciones en el tiempo, aportando escenarios que entregan valor a los tomadores de decisión, y que permitan establecer una visión temporal de la misma.

Como conclusión respecto de la GIRH, en relación con nuestras cuencas y la realidad mundial y nacional, se deben tener en cuenta aspectos que se están evidenciando de manera indubitable como el cambio climático y el estallido social de octubre de 2019 por el fracaso de un sistema que gestiona los bienes comunes y los recursos naturales que han generado una tremenda desigualdad e inequidad social³ que debe subsanarse.

Finalmente, y respecto de la pandemia por el coronavirus, es necesario señalar que se ha puesto a prueba la capacidad de los países y sus gobiernos en donde se ha evidenciado que no existe en ningún Estado la capacidad ni la organización para hacer frente y poder superar esta situación, y donde y no sólo respecto de la gestión del agua se deben tener consideraciones diferentes a las que se han tenido.

En relación en este caso de este Plan Estratégico y con la propuesta de actividades dentro del plan de acción, es bueno tener en cuenta que esta vez, y dada la coyuntura que se está viviendo, las propuestas no pueden limitarse a enfoques clásicos o tradicionales ya que son necesarias nuevas e innovadoras propuestas hasta disruptivas puesto que la pandemia ha significado un desafío brutal ya que ha remecido todas las formas de vida, costumbres y hábitos.

El Covid 19 está forzando al mundo y a los países a un cambio de mentalidad colectiva para reformular una nueva hoja de ruta abandonando los enfoques de la vieja

³ Que se ha visto refrendado por los fallos de la corte suprema en cuanto al derecho humano al agua, sentencia Rol N°131.140-2021 y el uso preferente del agua para riego, Rol N° 13.920-2019. <https://www.diarioconstitucional.cl/wp-content/uploads/2021/03/131.140-2021PROTECCION-AGUA-PETORCA-SUPEMA.pdf>

https://www.cooperativa.cl/noticias/site/artic/20210317/asocfile/20210317110023/laquna_maule_suprema.pdf

escuela de pensamientos y antiguos paradigmas. La forma de hacer las cosas hasta ahora ha sido la receta para un desastre con las consecuencias que estamos viviendo, incluido el ámbito de los planes estratégicos y de las cuencas de nuestra consultoría.

El enfoque tradicional de hacer y proponer acciones hoy por hoy, a la luz del estallido social en lo local y, en lo global, el coronavirus, además del cambio climático largamente anunciado y comprobado, son señales de que se necesita un cambio radical. Este deterioro que finalmente se agudizó de manera extrema con el Covid 19, nos ha puesto en un pie forzado para avanzar en superar este dilema, y obliga a apurar un proceso de aprendizaje que nos prepare como sociedad para encontrar y articular estructuras que cambien la forma de relacionarnos.

Por ello serán necesarias propuestas, desde lo más básico a lo más fundamental, que consideren los aspectos que han sido ignorados hasta ahora y que debieran mejorar el actual sistema económico y fortalecer el rol de lo público como garante de equidad e igualdad a partir de consideraciones mínimas de bienestar y protección de las sociedades lo que incluye como se maneja y gestiona el recurso hídrico.

ANEXO J-2

Caracterización del Medio Ambiente

1. METODOLOGÍA.

En este acápite se realizó un levantamiento, recopilación y análisis de la información de la componente ambiental en la cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama. La recopilación realizada se basa fundamentalmente en fuentes bibliográficas de las distintas instancias de la Institucionalidad Ambiental que a la fecha cuenta con numerosos instrumentos y fuentes de información sobre esta materia la cual se apoya en la información cartográfica disponible a nivel nacional.

El análisis se realiza con las herramientas de geoprocésamiento de datos, intersectando capas de información con el área de estudio en este caso la cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama.

1.1. Fuentes de Información

Se revisaron las bases de datos del Ministerio de Bienes Nacionales, Ministerio de Medio Ambiente (SINIA, SEIA), la Superintendencia de Medio Ambiente y el Tercer Tribunal Ambiental.

- Ministerio de Bienes Nacionales: Aporta al análisis y levantamiento de información con su reciente iniciativa de Infraestructura de Datos Geoespaciales de Chile (IDE Chile). Esta aplicación de mapas es el punto de encuentro único a una variedad de información territorial proveniente de las instituciones públicas que forman parte de la red, en donde es posible explorar, combinar, consultar y analizar de forma visual las capas de información publicadas. En este visor se destacan las temáticas de Desastres y Peligros, Medio Ambiente, Áreas Silvestres Protegidas, Bienes Nacionales Protegidos, Aguas Continentales, Pisos Vegetacionales, Catastros de Uso de Suelo y Vegetación, entre otras.

- Ministerio de Medio Ambiente: El MMA tiene un área de Biodiversidad creada actualmente relacionada con la conservación de la biodiversidad, lineamientos y acciones para la protección, conservación, uso sustentable y el manejo de los recursos naturales tanto en el territorio como en aguas continentales y marinas. Además, se consultan bases de datos del SINIA y SEIA.

- Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA): Se obtuvo información sobre biodiversidad, recursos hídricos y su contexto Nacional. Se apoya en una gran cantidad de información cartográfica disponible y sistematizada.

- Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental: Este análisis entrega información acerca del tipo de proyectos e iniciativas públicas o privadas, que se están instalando y tengan o estén tramitando su licencia ambiental en las áreas de estudio, representa una de las fuentes de información más fidedigna por cuanto para ser aprobados ambientalmente deben entregarse los detalles y la descripción de los proyectos reales y posteriormente deben cumplir los compromisos ambientales establecidos en la aprobación ambiental y están permanentemente sujetos a fiscalización por parte de las entidades gubernamentales. Este sistema tiene un repositorio de pertinencias, de cuyo análisis se puede obtener que tipos de actividades y proyectos están consultando a la autoridad acerca de la obligación o no de ingreso a evaluación ya sea de modificaciones de proyectos ya aprobados o nuevos proyectos.

- La Superintendencia de Medio Ambiente: Entrega información sobre aquellos proyectos que tienen procesos sancionatorios, programas de cumplimiento aprobados, informes de Elusión, Requerimiento de Ingreso, etc. con ello es posible analizar los conflictos ambientales particulares de cada territorio en relación con la intervención de los recursos naturales.

- El Tercer Tribunal Ambiental: Tiene como función resolver las controversias medioambientales que se produzcan dentro de jurisdicción que abarcan las regiones del Biobío, de la Araucanía, de los Ríos, de los Lagos, de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo, y de Magallanes y de la Antártica Chilena. Aquí se revisaron los fallos que recaen sobre el área de análisis, es decir en las cuencas de los ríos Imperial y Valdivia, para posteriormente determinar aquellos relacionados con los recursos hídricos.

2. Caracterización dimensión ambiental

2.1. Sistemas Ecológicos

Para la cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama se consideró como unidad de análisis los "Pisos de Vegetación" descritos por Luebert y Pliscoff, en su libro Sinopsis Bioclimática y Vegetacional de Chile del año 2016, que es el resultado del cruce de variables bioclimáticas y de altitud con las formaciones vegetacionales, la composición florística y la fisonomía de la vegetación de las diversas zonas del país.

El piso de vegetación es una unidad de gran significado geográfico, es definido como un espacio caracterizado por un conjunto de comunidades vegetales zonales con estructura y fisionomía uniforme, situadas bajo condiciones mesoclimáticamente homogéneas, que ocupan una posición determinada a lo largo de un gradiente de elevación, a una escala espacio-temporal específica.

El uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) fue necesario para el cruce de cada piso vegetacional, con el área de estudio definida por la cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama.

2.1.1. Descripción Pisos de Vegetación

En la cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama se pueden observar 2 formaciones vegetacionales correspondientes a: Matorral bajo de altitud y Sin Vegetación.

En lo siguiente se realiza una breve descripción de los pisos vegetacionales con mayor representación dentro de la cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama, cabe mencionar que estas descripciones corresponden a un extracto del libro Sinopsis Bioclimática y Vegetacional de Chile (Luebert y Pliscoff, 2016) destacando sus principales asociaciones de especies dominantes, distribución y dinámica.

Matorral bajo tropical andino de *Mulinum crassifolium* y *Urbania pappigera*

- Descripción: Matorral bajo dominado por plantas pulvinadas y gramíneas en mechón, entre las que destacan *Mulinum crassifolium*, *Urbania pappigera*, *Adesmia caespitosa*, *Stipa frigida* y *Deyeuxia crispa*, a las que se asocia un elenco diversificado de herbáceas rosuladas, tales como *Chaetanthera revoluta*, *Nototriche auricoma* y *Perezia atacamensis*. En algunos sectores marca el límite altitudinal de la vegetación vascular, en cuya extensión puede mezclarse en una transición difusa con los elementos del Desierto tropical-mediterráneo andino de *Chaetanthera sphaeroidalis*, el que en algunos casos define un piso de vegetación por encima de éste.
- Comunidades zonales: *Mulinum crassifolium*-*Oxalis exigua* (Villagrán et al. 1981), *Festuca chrysophylla* (Mieres 1984), *Pycnophyllum molle*-*Oxalis exigua* (Gajardo 1994), *Festuca chrysophylla* (Teillier 1998), *Mulinum crassifolium*-*Deyeuxia crispa*, *Stipa frigida*-*Adesmia caespitosa*, *Senecionetum chrysolepidis* (Luebert 1999,

Luebert y Gajardo 2000), *Mulinum crassifolium*-Ges., *Urbania pappigera*-Ges (Ackermann 2001).

- Comunidades azonales: *Oxychloetum andinae* (bofedales) (Ruthsatz 1995, Luebert 1999, Luebert y Gajardo 2000), *Oxychloe andina*-Ges. (bofedales) (Ackermann 2001).
- Composición florística: *Adesmia caespitosa*, *Chaetanthera revoluta*, *C. spaheroidalis*, *Deyeuxia crista*, *Festuca chrysophylla*, *Moschopsis monocephala*, *Mulinum crassifolium*, *Nototriche auricoma*, *Opuntia ignescens*, *Oxalis exigua*, *Parastrephia quadrangularis*, *Perezia atacamensis*, *Pycnophyllum bryoides*, *P. macropetalum*, *P. molle*, *Senecio chrysolepis*, *S. rosmarinus*, *Stipa frigida*, *S. venusta*, *Urbania pappigera*, *Werneria glaberrima* (véase Teillier 1998, 2004, Luebert y Gajardo 2000).
- Dinámica: Tal como se ha señalado para otros pisos de vegetación andinos, es probable que las plantas en cojín y las gramíneas en mechón actúen como colonizadores y luego permitan la llegada de otras especies mediante su efecto nodriza.
- Distribución: Ampliamente repartida en las zonas cordilleranas altas de los Andes del sur de la Región de Tarapacá, Antofagasta y norte de Atacama, entre 4200 y 4900 m. Se encuentra en las formaciones vegetacionales de la Estepa arbustiva prepuneña, Estepa subdesértica de la Puna de Atacama, Estepa Desértica de los Salares Andinos y muy marginalmente en el Desierto de los aluviones y la Estepa alto-andina subdesértica.
- Pisos bioclimáticos criotropical árido, semiárido y seco oceánico.

Referencias: Ackermann (2001), Gajardo (1983, 1994), Luebert (1999), Luebert y Gajardo (2000), Mieres (1984), NatureServe (2003), Navarro y Maldonado (2002), Philippi (1860), Philippi (1885a), Ruthsatz (1995), Teillier (1998, 1999, 2004), Villagrán et al. (1981), Werdermann (1928, 1931).

Matorral bajo tropical andino de *Fabiana bryoides* y *Parastrephia quadrangularis*

- Descripción: Matorral bajo, pobre en especies, dominado por los arbustos *Parastrephia quadrangularis* y *Fabiana bryoides* y las gramíneas *Stipa frigida* y *Festuca chrysophylla*. En su composición destacan algunas otras especies que pueden ser localmente abundantes, como *Adesmia erinacea*, *A. melanthes* y *Senecio xerophilus*.
- Comunidades zonales: *Fabiana bryoides*-*Parastrephia quadrangularis* (Mieres 1984), *Festuca chrysophylla*-*Fabiana bryoides*, *Fabiana bryoides*-*Parastrephia lepidophylla* (Gajardo 1994), *Fabiana bryoides*-*Adesmia erinacea* (Luebert 1999, Luebert y Gajardo 2000). Comunidades azonales: *Oxychloetum andinae* (bofedales) (Ruthsatz 1995, Luebert 1999, Luebert y Gajardo 2000), *Puccinellio frigidiae*-*Calamagrostietum eminentis* (quebradas) (Luebert 1999, Luebert y Gajardo 2000), *Deyeuxia eminens*-*Distichlis scoparia*-*Ges* (quebradas), *Oxychloe andina*-*Ges*. (bofedales) (Ackermann 2001).
- Composición florística: *Adesmia erinacea*, *A. melanthes*, *Baccharis incarum*, *Fabiana bryoides*, *Festuca chrysophylla*, *Parastrephia lepidophylla*, *Senecio xerophilus*, *Stipa frigida*, *S. venusta*.
- Dinámica: No existen datos sobre la dinámica natural de este piso de vegetación.
- Distribución: Altiplano de la Región de Antofagasta y del norte de Atacama, 3800-4200 m, en las formaciones vegetacionales de la Estepa subdesértica de la Puna de Atacama y Estepa desértica de los salares andinos, piso bioclimático orotropical árido oceánico.

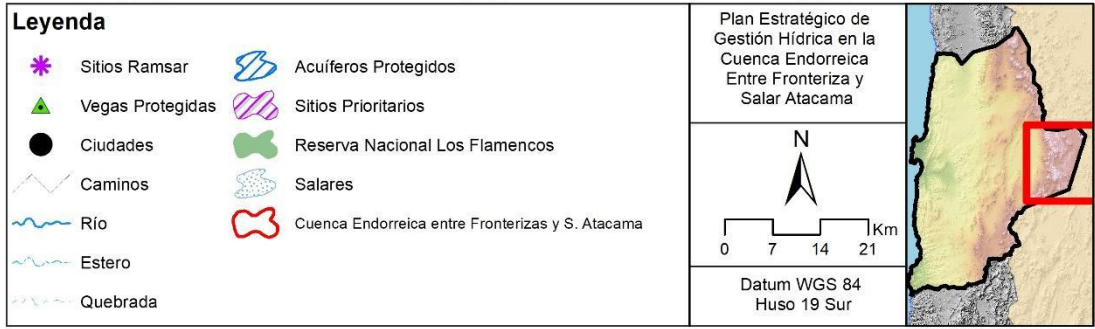
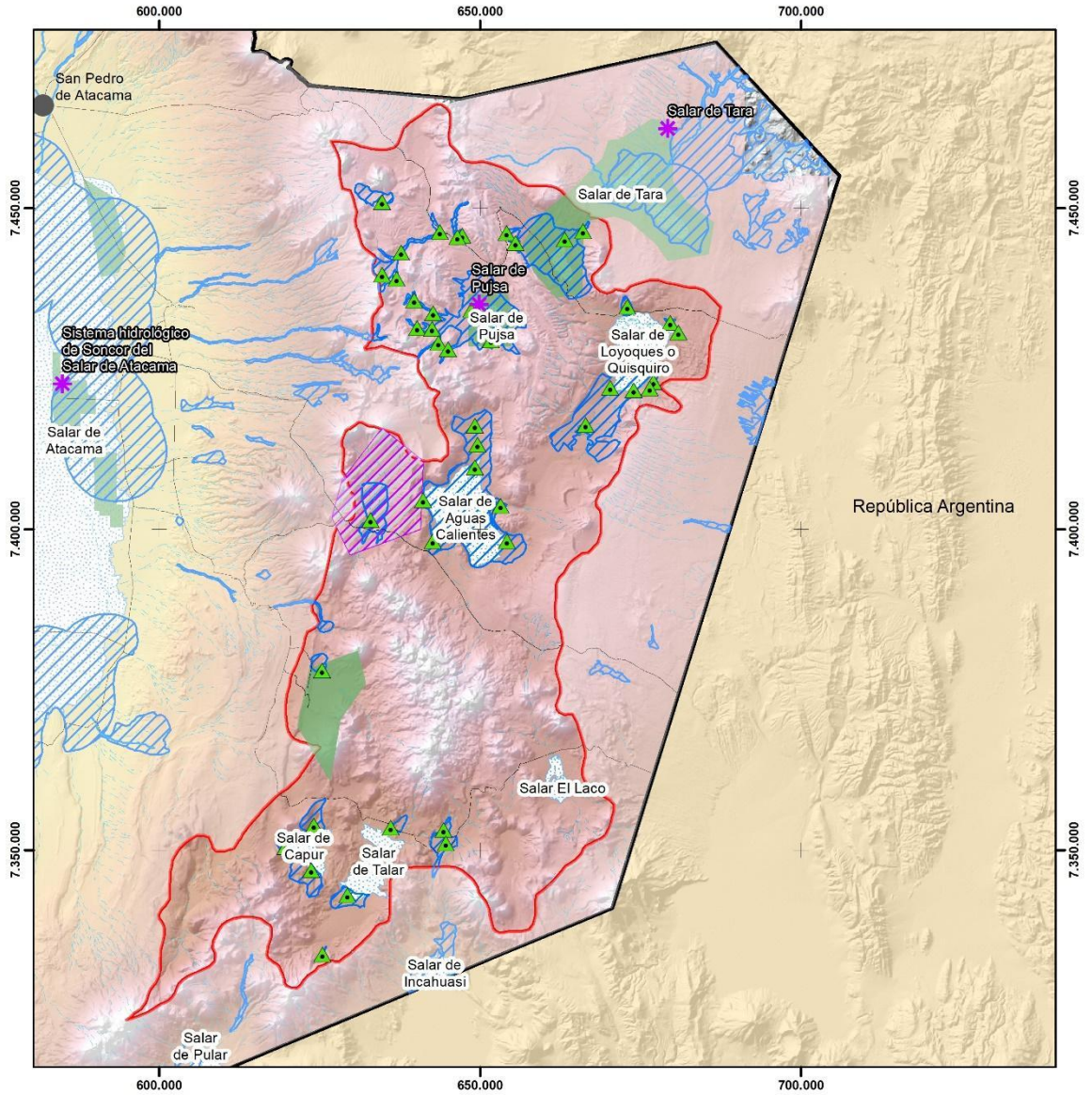
Referencias: Ackermann (2001), Arroyo et al. (1998), Gajardo (1983, 1994), Luebert (1999), Luebert y Gajardo (2000), Mieres (1984), NatureServe (2003), Navarro y Maldonado (2002), Philippi (1860), Quintanilla (1977, 1988), Reiche (1907), Santibáñez et al. (1982a), Werdermann (1931).

2.1.2. **Áreas protegidas o prioritarias de conservación**

La información respecto a las áreas de conservación se encuentra sistematizada y tabulada tanto en MMA con su portal SINIA como en el MBN en su herramienta IDE Chile categoría Biodiversidad, es con esta última base de datos actualizada al año 2020, que se intersectan con la ayuda del SIG las capas de información con el área de estudio y se obtuvieron las áreas protegidas del estado en todas sus designaciones para el área de estudio.

En la cuenca es posible identificar 4 sitios prioritarios de conservación tal y como se aprecia en la Figura 2-1 estos son:

- 1 Reserva Nacional: Los Flamencos
- 2 Sitios Ramsar: Salar de Tara y Salar de Pujsa
- 1 Sitio prioritario de Conservación de la Biodiversidad: Laguna Lejía



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-1 Áreas Protegidas o Prioritarias de conservación.

Además, se encuentran en la cuenca 44 vegas protegidas por Resolución DGA N°529/03 que considera la protección y delimitación de los acuíferos alimentadores de vegas y bofedales de la cuenca. Lo anterior debido a que los acuíferos son el sustento de las actividades agroganaderas y de sobrevivencia de las comunidades andinas y son ecosistemas únicos e invaluable.

A continuación, se describen los sitios prioritarios presentes en la cuenca.

i. Reserva Nacional Los Flamencos

Fue creada en el año 1990 con el objetivo de preservar y dar representación a la subregión ecológica del desierto andino, en la cual se encuentran lagunas, salares y ambientes desérticos que poseen variados recursos faunísticos, vegetacionales, arqueológicos y geológicos – geomorfológicos, únicos en Chile.

Para el área de estudio dentro de la Reserva Nacional Los Flamencos, se da protección a los sectores del Salar de Tara y aguas Calientes, Salar de Pujsa, Lagunas Miscanti y Miñiques.

ii. Sitio Ramsar Salar de Tara

Se ubica a 4.300 msnm en una sección de la Reserva Natural Los Flamencos. El lugar, que está sobre la caldera del Volcán Vilama, posee un rico ecosistema que alberga numerosa flora y fauna. En cuanto su fauna, el Salar de Tara es un sitio principal de nidificación de la parina chica (*Phoenicoparrus jamesi*) y de otras aves como el suri (*Pteronocmia pennata tarapacensis*), la parina grande (*Phoenicoparrus andinus*), tagua cornuda (*Fulica cornuta*), gaviota andina (*Larus serranus*). Especies de mamíferos típicas son el zorro culpeo (*Psudalopex culpaeus*), vicuña (*Vicugna vicugna*), Tuco Tuco de Atacama (Chululo) (*Ctenomys fulvus*) y vizcacha (*Lagidium viscacia*). Respecto a su vegetación, su presencia forma parte de vegas y bofedales asociadas a cuerpos de agua, permanentes y estacionales. Se destacan las especies *Parastrephia* sp., *Festuca orthophylla*, *Deyeuxia velutina*, *Distichlis humilis*, *Triglochin palustris*, *Patosia clandestina*.

iii. Sitio Ramsar Salar de Pujsa

El Salar de Pujsa constituye uno de los humedales de mayor importancia en el norte de Chile para la conservación de las tres especies de flamencos presentes en la Puna, clasificadas con problemas de conservación: *Phoenicoparrus andinus*, *P. jamesi* y *Phoenicopterus chilensis*, por ser un lugar de descanso y alimentación de ellos. Es también sitio de paso (descanso y alimentación) de aves migratorias tales como el playero de Baird (*Calidris bairdii*), pollito de mar tricolor (*Steganopus tricolor*), playero pectoral (*Calidris melanotos*), pitotoy chico (*Tringa flavipes*) y pitotoy grande (*Tringa melanoleuca*), entre otros. Presencia de numerosos grupos de vicuña austral (*Vicugna vicugna*).

iv. Sitio Prioritario de la Conservación de Biodiversidad Laguna Lejía

Este sitio se alza como una extensión del ecosistema del Salar de Atacama, constituyendo una alternativa de alimentación e incluso reproducción, para las especies vulnerables que habitan el salar. Laguna Lejía es un lago poco profundo situado en la cuenca enmarcado en un clima de gran altura de estepa, con grandes variaciones de temperaturas. Se designa como sitio prioritario en la Estrategia Regional de Biodiversidad dado su escasa intervención antrópica y la importancia ecológica para comunidades de flora y fauna de la puna altiplánica, se catalogan las formaciones vegetacionales existentes con alto grado de endemismo y vulnerabilidad. Se logran identificar dos asociaciones vegetales: Pappostipa-Deyeuxia (matorral alto andino) y Puccinellia-Calandrinia; que corresponden respectivamente a la estepa subdesértico de la puna de Atacama; y la vegetación azonal está asociada con el humedal Laguna Lejía.

2.2.Estado del Medio Ambiente

2.2.1. Revisión del SEIA.

En este acápite se realiza un análisis de la situación actual del medio ambiente en relación a los impactos y presiones sobre los recursos hídricos, respecto de las actividades y proyectos de rubros productivos con injerencia en los recursos hídricos que se ingresan al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental SEIA en donde se determinaron los proyectos que se han sometido a evaluación (tanto DIAs como EIAs) en la cuenca, que se encuentran en cualquiera de las etapas de calificación, aprobado, desistido, rechazado, etc.

A continuación, se presenta una línea temporal del total de proyectos ingresados al SEA indiferente de su estado de calificación.

De esta manera es posible visualizar que, para el caso de la cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama en los años 1997, 1998, 2002 y 2012 son los años con ingresos de proyectos y aprobaciones de los mismos, los últimos años no se presenta ingresos de proyectos de ningún tipo al sistema de evaluación ambiental en el área de estudio.

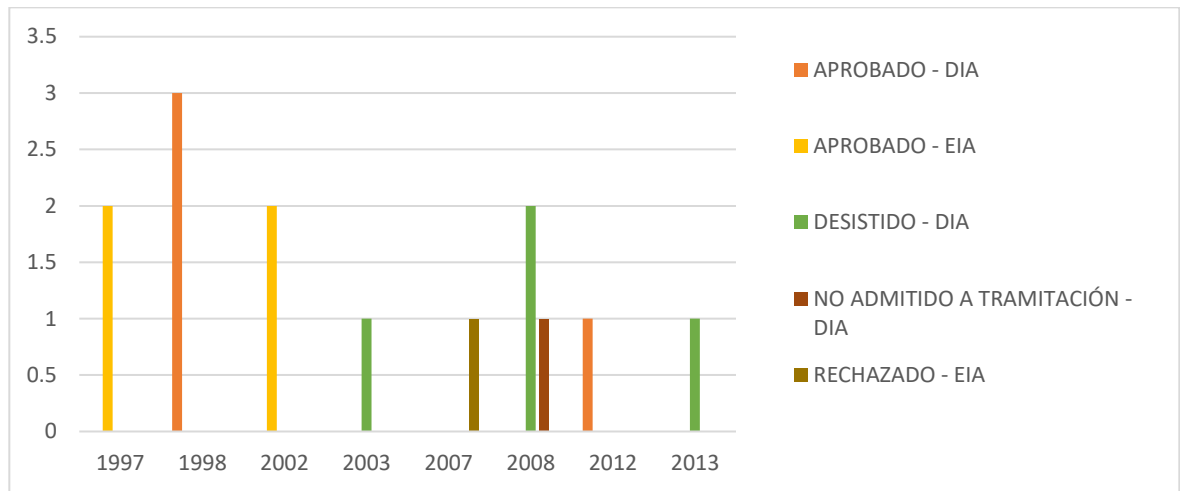


Figura 2-1 Proyectos ingresados al SEA por año en la cuenca Endorreica entre Fronterizas y Salar de Atacama

A continuación, se presenta una tabla con el listado general de los proyectos que se incluyeron en el análisis del área de estudio en total 14 proyectos, de los cuales 5 ingresan como EIA's y 9 en calidad de DIA's.

NOMBRE	TIPO	ESTADO	AÑO	SECTOR PRODUCTIVO
Desarrollo de Circuito de contemplación de Fauna Nativa en Salar de Pujsa	DIA	Desistido	2013	TURISMO
Prospección Minera El Iaco	DIA	Aprobado	2012	MINERIA
Reposición Planta de Procesamiento de Minerales de Hierro El Iaco	DIA	Desistido	2008	MINERIA
Exploración e investigación aguas subterráneas Chatita	DIA	No admitido	2008	MINERIA
Investigación y Exploración de Aguas Subterráneas Renovación y Encuentro	DIA	Desistido	2008	MINERIA
Suministro de agua pampa colorada	EIA	Rechazado	2007	MINERIA
Exploración de aguas subterráneas en la cuenca hidrográfica en el salar de Pujsa	DIA	Desistido	2003	MINERIA
Extracción de Sulfato de Sodio en el Salar de Pujsa Comuna de San Pedro de Atacama II Región	EIA	Aprobado	2002	MINERIA
Gran Radiotelescopio de Atacama o The Atacama Large Millimeter Array ALMA	EIA	Aprobado	2002	EQUIPAMIENTO
Variante cordón la Pacana	DIA	Aprobado	1998	EQUIPAMIENTO
Habilitación de un Vertedero Artesanal para la Disposición de Residuos Sólidos Domiciliarios de la Localidad de San Pedro de Atacama y Toconao	DIA	Aprobado	1998	SANEAMIENTO AMBIENTAL
Habilitación de un Vertedero Artesanal para la Disposición de Residuos Sólidos Domiciliarios de la Localidad de Socaire	DIA	Aprobado	1998	SANEAMIENTO AMBIENTAL
Gasoducto Atacama	EIA	Aprobado	1997	EQUIPAMIENTO
Sistema de Transmisión Eléctrica SICO-S/E Atacama	EIA	Aprobado	1997	ENERGIA

Observaciones de las Comunidades Atacameñas en el SEIA. Entre las principales observaciones ingresadas al SEIA en los últimos años destacan la solicitud de iniciar un proceso de "Negociaciones de Buena Fe" bajo los estándares del IFC (Peine et al., 2007); impulsar PAC Anticipada con las comunidades que le permita mejorar el EIA y

generar confianzas (Toconao, 2009); molestias por iniciar trabajos de entrevista con gente de la comunidad sin informar a la directiva, les preocupa la interpretación de la información (Peine, 2013); reclaman que las PAC's realizadas en las comunidades solo se presente la Línea de Base y las medidas, y de manera muy técnica, y se requiere que también se presente una matriz de conclusiones reconociendo los impactos, las medidas de mitigación y compensación (CPA, 2016); el CPA solicita ser parte de los organismos informados en caso de eventos no deseados y entrega de reportes medio ambientales (CPA, 2016); en relación a las medidas voluntarias de realizar "monitoreos participativos" la comunidad señala que en la actualidad no solo se requiere ir a mirar sino realizar monitoreos paralelos que validen la información generada y modernizar los sistemas de medición de niveles con nuevas tecnologías -medición en línea y en tiempo real- (Toconao, 2017); existe una dificultad de parte de la comunidad para comprender la hidrogeología planteada por los proyectos, y que no se resuelve mediante la contratación de un especialista y/o una Consulta Indígena, pues la comunidad además presenta una sobrecarga de proyectos en evaluación (Peine, 2017); propone que la empresa celebre consultas indígenas para obtener su consentimiento informado, aun cuando este no sea estrictamente obligatorio, pues es una salvaguardia de otros derechos fundamentales como el de participación y libre determinación (CPA, 2017); la implementación del Convenio 169 es una oportunidad de participación y cooperación de buena fe en beneficio mutuo y con respeto a los derechos indígenas y en pro de la sustentabilidad, se solicita que se cumpla con la "diligencia debida", esto es entregar la información completa y veraz (Socaire, 2017).

Influencia del Concejo de Pueblos Atacameños (CPA). El CPA ha aumentado su influencia en la zona a raíz de acuerdo alcanzado el año 2016 con la minera Rockwood que le entrega el 3% de sus ventas, las que se destinarán a proyectos de educación, innovación y emprendimiento a favor de las 18 comunidades indígenas del Salar de Atacama. Además, este convenio conforma una Mesa de Trabajo Permanente (MTP). Hasta antes de la divulgación del acuerdo entre la empresa y CORFO, el CPA esperaba alcanzar con SQM un acuerdo similar que con Rockwood.

Convenio CORFO-SQM. El reciente convenio suscrito entre la empresa y CORFO ha generado rechazo por parte del CPA, quienes ven en el convenio una autorización del Estado al aumento de la cuota de explotación de litio en el Salar de Atacama sin el consentimiento de las comunidades atacameñas. Durante las últimas semanas se han producido bloqueos de caminos en rechazo al acuerdo, así como el inicio de una huelga de hambre por parte de los presidentes de las comunidades indígenas de Peine y Larache.

"Este es nuestro territorio, toda el área de Atacama La Grande y la cuenca del Salar de Atacama está dentro de las demandas territoriales que el gobierno se comprometió en solucionarlo desde cuando se promulgó la Ley Indígena, además no estamos de acuerdo en que hayan llegado a un convenio sabiendo de sus malas prácticas" (Ana Ramos, presidenta del Consejo de Pueblos Atacameños 30/01/2018 en www.biobiochile.cl).

A continuación, se presentan una serie de proyectos que se ingresan al SEIA en la comuna de San Pedro de Atacama los cuales han sido fuertemente cuestionados por las Comunidades Indígenas de las localidades adyacentes, esta información permite respaldar la oposición que existe desde las comunidades a los proyectos que intentan ocupar territorio y recursos pertenecientes a las ADI.

- 1) **2009**. "Planta de Producción de Sales de Potasio" de la Sociedad Legal Minera NX UNO de Peine (Rechazado). Establece para todos los componentes un AI-Directa, que corresponde a las plataformas de sondaje, piscinas de evaporación y planta de flotación, y un AI-Indirecta que corresponde al polígono minero de 94 km².
- 2) **2009**. "Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama" de Albemarle Ltda / Rockwood (Aprobado). Señala para su Medio Humano un AI-Indirecta que corresponde a la comuna de San Pedro de Atacama y un AI-Directa que abarca a la localidad de Peine.
- 3) **2013**. "Planta de Sulfato de Cobre Pentahidratado" de Minera Delfin S.A. (en Calificación). Define como AI-Indirecta a la Comuna de San Pedro de Atacama y un AI-Directa a la localidad de Peine.
- 4) **2016**. "Ramal de distribución para abastecimiento de gas natural al observatorio ALMA" del European Southern Observatory –ESO (Aprobado). Este proyecto a diferencia de los EIA anteriores solo define un AI para su Medio Humano que incluye a la localidad de San Pedro de Atacama, el Ayllu de Solor, el Ayllu de Cucuter y el poblado de Toconao con sus asentamientos de Bosque de Tambillo, Valle Zapar y Valle Puques.
- 5) **2017**. "Proyecto Monturaqui" de Minera Escondida Limitada -MEL (en Calificación). Define un AI que abarca solo a la Comunidad de Peine y que es complementada con Área de Estudio (AE) general que abarca la comuna de San Pedro de Atacama con énfasis en las comunidades de Tonocano, Talabre, Camar y Socaire.

1- "Planta de Producción de Sales de Potasio, SLM NX Uno de Peine". Sociedad Legal Minera NX UNO de Peine. 20/02/2009 -24/11/2017. **Rechazado.**

2007: Ingresó al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) a través de una Declaración de Impacto Ambiental (DIA).

2008: Al menos 9 reparticiones públicas manifestaron su rechazo al proyecto y exigieron al titular la presentación de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA). **CONADI** declara que el proyecto se ubica en **una zona de interés turístico**. **CONAF** señala que el proyecto se encuentra **adyacente al Humedal de Importancia Internacional "Sistema Hidrológico Soncor" (Ramsar 1971)** y está inserto en **uno de los sitios propuestos para la Conservación de la Biodiversidad de la Región de Antofagasta** (Salar de Atacama).

2009/02: Ingreso de EIA para la extracción de sales de potasio (200.000 t/año) desde el sector oeste del Salar de Atacama. En su Línea de Base se establece para todos los componentes un **AI-Directa, que corresponde a las plataformas de sondaje, piscinas de evaporación y planta de flotación, y un AI-Indirecta que corresponde al polígono minero de 94 km².**

Durante el proceso de evaluación se realizó participación ciudadana en **Peine, Toconao, San Pedro de Atacama y Socaire**. Las comunidades indígenas atacameñas de **Peine, Toconao y el Consejo de Pueblos Atacameños presentaron observaciones al EIA**, en las que dan a conocer su rechazo al proyecto. Entre sus preocupaciones está la posible afectación del salar producto de la extracción de la salmuera, la afectación de la flora y la fauna de la zona, del paisaje y el acuífero, así como el impacto en las actividades turísticas y ganaderas.

Observación Comunidad Indígena Atacameña de **Peine**: "**Nuestras tierras, territorios y recursos sobre los que pretende asentarse el citado proyecto, nos pertenece en conjunto con las demás comunidades atacameñas de la cuenca del Salar de Atacama; El agua es una sola y les pertenece a las comunidades del borde del Salar**; El proyecto, acumulado al de las demás mineras que extraen del Salar, va a afectar nuestras lagunas, vegas y aguada de Tilopozo, como pensamos ya ha afectado el comportamiento de la cuenca en su conjunto; Por precaución debe rechazarse el proyecto mientras no se comprenda por qué han desaparecido las aves;

“Valoración andina de la cuenca, es concebida como eje acuático de poblamiento y tránsito, como una zona de encuentro de poblaciones establecidas entre los valles occidentales, el altiplano meridional y la zona circumpuneña; **Las tierras impactadas son propiedad de la comunidad en conjunto con otras comunidades, si la empresa quiere hacer algo en nuestro territorio, tiene que contar con nuestro consentimiento como codueño;** Las explotaciones de agua, en general alteran significativamente nuestro sistema de vida y costumbres en tanto grupos humanos y nuestros sitios con valor antropológico, histórico y, en general, los pertenecientes al patrimonio cultural”.⁴

Observación Comunidad Indígena Atacameña de **Toconao**: “No considera lo indicado en el Convenio 169 de la OIT, en lo relativo a la consulta; No considera daños que pueda ocasionar al complejo hidráulico SONCOR y sus lagunas asociadas. **El sistema hidrológico del salar, es uno solo;** Efecto sinérgico en relación a otros proyectos (componente paisaje); se les pide que consideren las actividades sumatorias de extracción de las empresas SQM y Sociedad minera El Lito; No hace mención a la Ley Indígena y Declaración Universal de los Derechos de los Pueblos Indígenas, que especifica la relación que deben tener las empresas privadas nacionales y los beneficios monetarios y medidas de compensación por ocupar territorios demandados por una o varias comunidades”.⁵

Observación **Consejo de Pueblos Atacameños**: el Consejo se manifiesta en contra del Proyecto, por violentar los derechos humanos contemplados en la obligación de consultar; Vulnera el derecho a la propiedad, la propiedad patrimonial y comunitaria; Impacta el hábitat de las comunidades indígenas; **Compromete e impacta las estrategias productivas de las comunidades atacameñas presentes en el ADI Atacama La Grande**, que ha estructurado la ganadería y el turismo la base de su desarrollo económico, actividades rentables para la población.⁶

2012/10: Comisión de Evaluación Ambiental de la Región de Antofagasta, calificó desfavorablemente el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) del proyecto.

⁴ Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental. 2009. Ficha de Observaciones Ciudadanas.

⁵ Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental. 2009. Ficha de Observaciones Ciudadanas.

⁶ Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental. 2009. Ficha de Observaciones Ciudadanas.

2012/11: Recurso de reclamación en representación de Sociedad Legal Minera NX Uno de Peine.

2013/02: SEIA acoge el recurso de reclamación interpuesto, en contra de la Comisión de Evaluación Ambiental (CEA) de la Región de Antofagasta, e indica retrotraer el proceso de evaluación para los efectos de elaborar un segundo ICSARA.

2016/02 – 2017/10: ICSARA y ADENDA N°4, 5 y 6.

2017/11: RCA. Rechazado principalmente por que su “Modelo Numerico Hidrogeológico” no descarta impacto significativo en vegas y bofedales.

2- “Modificaciones y Mejoramiento del Sistema de Pozas de Evaporación Solar en el Salar de Atacama”. Albemarle Ltda (Rockwood / Soc. Chilena del Litio- SCL). 15/05/2009 – 20/01/2016. **Aprobado.**

Relacionamiento desde mediados de los 80’ cuando era la antigua Sociedad Chilena del Litio (SCL), desarrollando proyectos tales como Agua Potable (SCL) y la instalación de alumbrado eléctrico (SCL –SQM).⁷

2009: Ingreso de EIA para aumentar en 510 há. la superficie de evaporación de SCL/Rockwood quien ya tiene 326 há. en el sector sur del Salar. **El AI-Directa del Medio Humano es la localidad de Peine mientras que el AI-Indirecta es la comuna de San Pedro de Atacama.** El único impacto reconocido en el EIA para el Medio Humano es producto del aumento de la actividad turística en la zona de Peine, la que forma parte de un ZOIT. Destacan las actividades comprometidas de Participación, antes y durante la construcción consistentes en reuniones en Peine y San Pedro de Atacama. **CONADI** señala probables efectos en los recursos hídricos del Salar de Atacama y aguas subterráneas (vegas y bofedales cercanos), afectando a las comunidades indígenas, señalando los **art. 14 y 15 de Convenio N° 169 de la OIT** referidos al reconocimiento del Territorio y a la participación en la utilización, administración y conservación de los recursos, así como también, de sus beneficios económicos en caso de su explotación.

⁷ Qué Pasa Minería. 2013. Sintonía de Diálogo. Disponible en: <http://www.quepasamineria.cl/index.php/vida-e-innovacion/item/1861-sinton%C3%ADa-de-di%C3%A1logo>

Comunidad de Peine y Toconao realizan observaciones al EIA sobre los impactos y las medidas de mitigación propuestas. A la vez, critican la no realización de un proceso de consulta de acuerdo al Convenio N°169 de la OIT de manera previa, libre e informada. La Comunidad de **Toconao** señala que la escasez de agua pone en riesgo el desarrollo y permanencia de la etnia atacameña; y de no hacer partícipes a las comunidades, de no **impulsar una PAC Anticipada con las comunidades que le permita mejorar el EIA y generar confianzas**. La Comunidad Peine señala: "**el agua es una sola y nos pertenece a las comunidades del borde de Salar, como dueñas de las aguas superficiales y subterráneas, como usuarias de la cuenca y los diversos servicios ecológicos que nos brinda**". Adicionalmente señalan que la definición de "cuenca" no incorpora la valoración andina de la cuenca como *taypirana* o eje acuático de poblamiento y tránsito, una zona de encuentro de poblaciones establecidas entre los valles occidentales, el altiplano meridional y la zona circumpuneña.

2009/11: ICSARA N°2. **I. Municipalidad de San Pedro de Atacama (MSPA)** señala y recuerda al titular que se encuentra dentro del Área de Desarrollo Indígena Atacama La Grande, por lo tanto, le pregunta por **¿cuáles han sido los acercamientos con las comunidades involucradas dentro del área?**.

2010/04: Adenda N°2. El proyecto se encuentra ubicado en el núcleo del salar no afectando actividades agropecuarias propias del pueblo Lickan Antay. El pueblo más cercano a las instalaciones de SCL es el de Peine, distante a 27 kilómetros.

2010/05: ICSARA N°3. La **IMSPA** reitera que **la empresa no señala el modo de cumplir con el Convenio 169**, en relación al acercamiento y participación de las comunidades indígenas. **CONADI** insiste en que el Titular debe hacer una consulta ciudadana a los indígenas de la Comunidad Atacameña de Peine, a quienes les corresponde la administración del recurso natural. El **SEIA** "solicita presentar medidas de mitigación, reparación y/o compensación del impacto del proyecto sobre el sistema de Peine".

2011/06: Adenda N°3 no reconoce impactos.

2011/07: Oficios desfavorables, **CONADI** señala **ausencia de evaluación de impacto relativa a la población indígena protegida por ley. Tampoco existe un proceso de participación de las comunidades, especialmente Peine que tiene una demanda territorial en parte del área del proyecto**. Además, SCL omite información respecto de los acuerdos que tomaron. Finalmente, le señala que **debe**

generar instancias de dialogo con las comunidades para abordar los impactos positivos y negativos. Por su parte la **IMSPA** insiste en que no cumple con el Convenio 169 en relación a la participación de las comunidades indígenas.

2011/08: Informe Consolidado de Evaluación -ICE- señala "que las medidas de mitigación, reparación y/o compensación propuestas por SCL no son adecuadas para hacerse cargo de los efectos, características o circunstancias señalados en las letras b), d) y e) del Artículo 11 de la Ley". **No identificando impacto sobre los grupos humanos, letra c) del Art. 11 de la Ley de Medio Ambiente N° 19.300.**

2011/09: RCA Desfavorable. En relación a las Observaciones Ciudadanas de Toconao, señala que la consulta señalada en el art. 6 del Convenio 169 la debe realizar el Estado y no las empresas, lo que no implica que las empresas desarrollen procesos de participación temprana. En relación a las observaciones de Peine, le señala que "las temáticas vinculadas a la propiedad de tierras, demandas ancestrales por el territorio y otorgamientos de derechos de aguas, no son competencias de la autoridad ambiental".

2011/10: La compañía presenta recurso de reclamación. En este periodo se inician una serie de reuniones tendientes a arribar a acuerdos con la comunidad de Peine quién solicitó que el abogado **Alonso Barros** mediara las conversaciones con la empresa. "*Durante ese tiempo nos acercamos a la empresa, coincidiendo con el rechazo del EIA, para darles nuestras impresiones*", señala Ramón Torres, de la Comisión de Tierras y Aguas de Peine. "*El estudio no se hacía cargo del **tema del agua**, ni del **tema antropológico, tampoco de lo social. Era necesario llegar a un acuerdo***".⁸

2012/11: La directiva de Peine presidida por **Jaime Mora**, firma "**Convenio de Cooperación, Sustentabilidad y Beneficio Mutuo**" (**CCSBM**) con **Rockwood Lithium**. Se establece la conformación de Mesa de Trabajo Permanente -MTP- y aportar 4.000 UF anualmente para el Plan de Desarrollo. La comunidad impulsó la creación de una Comisión Fiscalizadora de carácter autónomo y compuesta por un profesional externo y dos comuneros con el objetivo de evaluar y controlar los efectos medioambientales

⁸ Chululo. 2013. Sintonía de diálogo. La relación histórica entre la comunidad de Peine y la empresa Rockwood ha tenido altos y bajos. Pero el trabajo en equipo y la disposición al diálogo dieron paso al primer acuerdo de cooperación firmado por ambas partes, donde el Convenio 169 de la OIT toma especial protagonismo. Disponible en: http://www.chululo.cl/pages/recortes2.php?id=10092013_064550

de la producción minera. *“Creemos que hicieron un buen convenio [con Rockwood Litio], en comparación con el que se firmó con Escondida”*.⁹

2013/05: Comité de Ministros Resuelve Retrotraer el Proceso de Evaluación elaborando un ICSARA N°4.

2014/01: Adenda N°4 elaborada por SGA para Rockwood (cambio de la Consultora GAC). En la evaluación de Impactos según art. 11 de la Ley 19.300, letra c) Alteración significativa de los sistemas de vida y costumbre de los grupos humanos, se señala la **firma del CCSBM que asegura el cumplimiento de lo señalado por el Convenio 169**.

2014/02: ICSARA N°5. No incluye temas de Medio Humano ni Participación Ciudadana, solo hace referencia al tema hídrico y los Planes de Alerta Temprana.

2015/12: Adenda N° 5 responde preguntas hídricas.

2016/01: RCA Aprobada.

2016/02: Convenio Rockwood – CPA firmado por la directiva presidida por **Antonio Cruz Plaza** que acuerda la conformación de una Mesa de Trabajo Permanente –MTP- y aportar 510 UF anualmente para el Internado Andino y 70 millones para cada comunidad incluido el CPA (19 en total) durante el 2016. Para el 2017 en adelante en caso de RCA desfavorable 51.894 UF y en caso de RCA Favorable 2,75% de las ventas y 3% para el 2018 en adelante a través del CPA.

3- “Planta de Sulfato de Cobre Pentahidratado”. Minera Delfin S.A. 19/02/2013- A la fecha. **En Calificación.**

2011/02: Ingresa DIA al SEIA la cual es Rechazada el 9/12/2011 por presentar efectos, características y circunstancias señalados en el artículo 11 de la Ley N° 19.300, literales a) y b); salud y recursos naturales. Además, señala la necesidad de ingresar con un **EIA por estar ubicada en un área protegida: ZOIT**.

2013/02: Ingreso del EIA para proyecto de extracción de minerales de óxido de cobre desde el yacimiento Delfín emplazado en la comuna de San Pedro, a 7,3 km

⁹ Benavides y Sinclair, 2014.

al sur de Peine. En el Medio Humano se señala como **AI-Directa la localidad de Peine y como AI-Indirecta la Comuna de San Pedro.**

2013/03: Se realiza proceso de Participación Ciudadana en Peine, Socaire y San Pedro de Atacama. Y se reciben observaciones de la **Comunidad de Peine** y de dos personas naturales: **Oriana Mora (Ex Concejal Comuna San Pedro)** y **Miguel Irarrázaval (Ayllu de Beter)**. Los principales argumentos son: Intervención del paisaje, la flora y fauna, afectando las posibilidades del turismo en el sector de Tilomonte; Línea de base Antropológica deficiente; Línea de Base Medio Humano y Patrimonial incompleta; Ausencia de un estudio sobre el impacto socioeconómico que la población flotante (trabajadores) que traería a la comunidad de Peine; Afectación a la trashumancia; Intervención del Camino del Inca y de zona arqueológica de gran relevancia (Sitio Arqueológico Tula 54 y pictografía de Peine). Sin embargo, lo más grave según la comunidad de Peine es declarar que la empresa llegó a acuerdo con la comunidad, lo que es falso.

2013/04 al 2015/07: ICSARAS y ADENDAS N° 1, 2 y 3. Principales observaciones realizadas por la **Municipalidad de San Pedro, CONADI y el Servicio Nacional de Turismo** hacen referencia a la falta de detalles sobre la afectación al territorio en términos de su valor cultural para la comunidad de Peine, así como su valor paisajístico y turístico para la comuna. La empresa responde las observaciones de los servicios públicos y de la Comunidad de Peine, realizando una nueva línea de base de medio humano (Adenda 1, Anexo 7), modifica la estadía de los trabajadores al poblado de Baquedano y **pide disculpas por el "grave y lamentable error" explicitando que no existe ningún tipo de acuerdo de la empresa con la comunidad de Peine.** Se adjuntan carta de disculpas enviada por la empresa a la Comunidad (01/07/2013) y **Carta de Molestia del Presidente de la comunidad de Peine – Jaime Mora- por iniciar trabajos en terreno entrevistado gente de la comunidad sin informar a la directiva, señalando que "no estamos dispuestos a sostener un dialogo con ustedes, como bien saben nuestra preocupación es la interpretación de la información, como ya ocurrió anteriormente"** (26/08/2013).

2015/03 – 2015/12: Proceso de Consulta Indígena -PCI- a la localidad de Peine, en el cual se define que la Comunidad Indígena de Peine representará a toda la localidad. El SEA de Antofagasta financió la contratación de 3 asesores de confianza. Finalmente la Comunidad desistió de proseguir el PCI. Cabe destacar, que en este contexto la presidenta de la junta de vecinos de Peine solicita ser incluidos en la

Consulta pero ya no es posible pues acordaron ser representados por la Comunidad Indígena.

2016/01: La presidenta de la comunidad de Peine –Teresa Chaile- junto a una asesora de la comunidad expone frente al SEA sus argumentos para desistir del PCI.

Peine no quiere más proyectos mineros en sus territorios y que el presente proyecto les afectaría en sus planes de desarrollo turístico de las Ruinas de Tulan, ya que las instalaciones del proyecto se verían desde la quebrada de Tulan donde se encuentran estas ruinas.

El proyecto afectaría el Camino del Inca, que es Patrimonio de la Humanidad, en el tramo del camino de acceso a éste.

Preocupación por las áreas de pastoreo y el recorrido de trashumancia que realizan desde Peine a Tilomonte (lugar de cultivos), ya que esto no habría sido evaluado en el EIA.

2016/02: Resolución de Calificación Ambiental -RCA- desfavorable, en base a que el proyecto alterará significativamente los sistemas de vida y costumbres del grupo humano indígena de la localidad de Peine en: I) Intervención del Camino del Inca y de rutas de pastoreo Peine-Tilopozo , II) Afectación del Patrimonio Cultural y Natural por las vibraciones de las tronaduras.

2016/04: Minera Delfin presenta Recurso de Reclamación.

2016/06: Comité de Ministros del SEA acoge parcialmente Recurso de Reclamación y retrotrae el proceso de evaluación a la elaboración del ICSARA N°4, solicitando **nuevos antecedentes sobre el traslado de animales por parte de la Comunidad de Peine en las diferentes épocas del año y posible alteración de elementos patrimoniales por las vibraciones producto de las tronaduras. El informe debe ser realizado por un antropólogo con experiencia con pastores del norte de Chile,** señalando fechas del trabajo de campo, nómina de entrevistados, consentimiento informado (escrito u oral), pauta de entrevista y triangulación de la información. Finalmente se señala que, en caso de incorporar extractos de entrevistas, éstas no deben indicar el nombre de la persona, sino tan sólo su edad, sexo y sector al que pertenece.

2017/07 – 2017/11: Reapertura del Proceso de Consulta Indígena –PCI- con la Comunidad de Peine, se le informa a su presidente Sergio Cubillos Verasay. En septiembre del 2017 la **Comunidad de Peine decide “no participar del PCI”**. En noviembre el SEA da término al PCI.

2017/12: Minera Delfin solicita ampliación de plazo para entrega de Adenda N°4 hasta **diciembre del 2018**, la cual es aceptada por el SEA.

4- “Ramal de distribución para abastecimiento de gas natural al observatorio ALMA”. European Southern Observatory, ESO. 27/05/2016 – 13/09/2017. **Aprobado.**

2016/05: Ingreso de EIA para la construcción de una línea de gas desde las afueras del poblado de San Pedro de Atacama hasta ALMA. El AI del Medio Humano incluye la localidad de San Pedro de Atacama, el Ayllu de Solor, el Ayllu de Cúcuter y el poblado de Toconao con sus asentamientos de Bosque de Tambillo, Valle Zapar y Valle Puques.

2016/07: Observaciones de **CONADI, IMSPA y CMN**, entre otros servicios públicos, y del Consejo de Pueblos Atacameños (CPA) y la Comunidad de Toconao desde la ciudadanía. **CONADI** solicita recalcular la magnitud del impacto a la Comunidad de Solor por el corte del camino a Cejar considerando variables económicas, y explicitar el proceso de valoración de impacto para la zona de Tambillo, y la ponderación de la comunidad (PACA) en este proceso de determinación de impactos acreditando dicha participación mediante Actas simples. El **CPA** señala que la ocupación permanente del territorio por parte del proyecto restringe los modos alternativos de su uso y fragmenta el territorio y sus corredores biológicos. **Reclama que las PAC’s realizadas en las comunidades solo se presente la Línea de Base y las medidas, y de manera muy técnica, y se requiere que también se presente una matriz de conclusiones reconociendo los impactos, las medidas de mitigación y compensación.** Y solicita un revisor técnico independiente pagado por ALMA para continuar el proceso de EIA. En cuanto a la **Comunidad de Toconao, ellos llevaron un Proceso de Consulta Ciudadana** con el apoyo de un ingeniero ambiental Francisco Mondaca que consistió en reuniones preliminares con la comunidad, una salida a terreno, actividades de análisis de variables de interés de la comunidad declarados en el EIA, una reunión para exponer el proyecto, sus impactos y medidas propuestas, y una reunión final de propuestas de la comunidad para presentar en la PAC. También contaron con el apoyo del SEA, de ALMA y de la consultora medioambiental de ALMA. Este documento fue

adjunto por el Presidente de la Comunidad de Toconao Wilson Cruz, donde se señala su preocupación por madrigueras de Chululo en el trazado del proyecto, el manejo de desechos por parte de los contratistas, y la solicitud de implementar un Proceso de Consulta Indígena –PCI-, bajo el marco del Convenio 169, que permita mejorar y profundizar los vínculos entre el titular del proyecto y la Comunidad de Toconao para el beneficio mutuo. También solicita un Plan de Compensación que permita la implementación de un Banco de Semillas y medidas concretas de prevención, monitoreo (Inspector Comunitario), mitigación, reparación, plan de contingencias y repartición de beneficios, entre otros aspectos.

2016/08: ICSARA N°1.

2016/12: Adenda N°1 integra nuevo Estudio Antropológico para la zona de Tambillo, este trabajo contó con la cooperación del Presidente de la Comunidad de Toconao lo que permitió identificar a las pastoras que allí realizan su actividad ganadera.

2017/01: CONADI solicita profundizar Línea de Base de Toconao en la Reserva Nacional Tambillo, detallar medidas de compensación para las pastoras de Tambillo media indicadores de cumplimiento (actas de recepción de fardos), y calendarizar las actividades del arqueólogo que permita hacer exigible dicho compromiso voluntario.

2017/03: Observaciones Ciudadanas de la **Comunidad de Toconao y del CPA**. La primera solicita que la tubería sea sacada en la Etapa de Cierre, **complementar el estudio sobre el Chululo con actividades participativas con la comunidad y los colegios**, acceso a los sitios arqueológicos para su puesta en valor como recurso etnoturístico, que la medida voluntaria “Servicio de Observador Comunitario” sea de **responsabilidad del titular y no de la comunidad** que solo debe elegir a los observadores y definir los planes asociados y, finalmente, que la medida “Programa de Propagación de Semillas” sea evaluada al final de su implementación (Plan de Seguimiento Ambiental). A su vez, el CPA solicita ser parte del “Servicio de Observador Comunitario” junto a Toconao y que esta se extiendan más allá de la etapa de Construcción, evaluar el impacto del flujo de camiones en el tránsito desde y hacia San Pedro de Atacama, **ser parte de los organismos informados en caso de eventos no deseados**, explicitar en qué consiste la “comunicación oportuna” (plazo y forma) hacia la comunidad de Solor de las obras en el camino a laguna Cejar, apoyar de manera permanente a las pastoras de Tambillo, establecer indicadores de cumplimiento y medios de verificación para los Chululos, y que el “Servicio de

Observador Comunitario" informe al CPA y que su sueldo sea acorde al de un profesional (\$1,5 millones).

2017/04: ICSARA N°2.

2017/05: Adenda N°2, titular responde y acoge la totalidad de las observaciones de los servicios públicos y ciudadanas, destacando la incorporación del CPA como organismo al que se debe informar de las medidas y compromisos ambientales, y extender las labores del "Servicio de Observador Comunitario" hasta las primeras actividades de la etapa de operación.

2017/09: RCA Favorable.

5- "Proyecto Monturaqui. Minera Escondida Limitada -MEL. 14/06/2017 – A la fecha.

En Calificación.

2017/06: Ingreso de EIA para la extensión del plazo de extracción de aguas subterráneas desde Monturaqui (50 km. al sur de Tilomonte), que vence el año 2019, hasta el año 2030. La cantidad de agua solicitada es de 640 l/s, disminuyendo en un 54% su extracción actual que alcanza los 1.400 l/s. Para el Medio Humano se establece un **AI que abarca a la Comunidad de Peine y un Área de Estudio (AE) que abarca tanto la comuna de San Pedro de Atacama como la Región de Antofagasta (en algunas variables) y con énfasis en 4 comunidades vinculadas con el borde del Salar de Atacama (Tonocano, Talabre, Camar y Socaire).**

2017/07 – 2017/09: Observaciones de los siguientes Servicios Públicos CONAF, SAG, SERNATUR, CONADI, IMSPA y CMN entre otros. **SERNATUR** plantea efectos negativos en el turismo (Art. 11, Letra e)) y cuestiona el compromiso de la empresa de financiar un estudio sobre la flora y uso ancestral por parte de las comunidades de Peine, Socaire, Camar, Talabre y Toconao, pues **no se señala como las comunidades van a gestionar este patrimonio y como se va a transferir estas competencias.** Propone la implementación de un instrumento turístico integral que conecte los instrumentos comunales (Pladetur, ZOIT), regionales y de fomento (CORFO). **CONADI solicita los medios de verificación del levantamiento de información fuentes primarias** para las comunidades de Camar y Talabre: encuesta, talleres, entrevistas, listado de personas entrevistadas, y las actas de asamblea y metodologías para designar a los entrevistados. **Complementar Línea de Base Medio Humano con fuentes primarias** para las comunidades de Peine, Socaire y Toconao.

Además, señala que el sector afectado –Tilopozo– se encuentra dentro del ADI Atacama La Grande, y por ende, **las comunidades que lo integran –y que conforman el Área de Estudio (AE) del proyecto– podrían verse afectadas aun cuando se ubiquen a una distancia considerable por el valor ambiental y cultural que Tilopozo aporta al ADI Atacama La Grande.** Finalmente, solicita que las medidas y compromisos ambientales incluyan entre sus indicadores de cumplimiento el envío de **informe semestral y/o anuales** para facilitar el seguimiento, el estado de avance y su fiscalización. Por su parte la **IMSPA** señala que el proyecto se relaciona con el PLADECO y su instrumento estratégico “sustentabilidad y Medio Ambiente” que señala en su punto 5 **“Promover el uso eficiente y protección del recurso hídrico”**, por lo tanto, solicita medidas específicas de un manejo eficiente del acuífero. **Solicita un PCI para Peine para evaluar las cargas ambientales de los diferentes proyectos insertos alrededor de Peine.** Finalmente, el **CMN** solicita evaluación del componente paleontológico.

2017/09 – 2017/10: Observaciones Ciudadanas de empresas como Rockwood y Zaldivar y de comunidades atacameñas como Talabre, Toconao, Peine, CPA, Socaire, Solor, Coyo, Cucuter y Camar. **Rockwood** fue la primera en ingresar su observación, en ella señala que no se determina de forma adecuada el área de influencia, así como también, un Plan de Seguimiento Ambiental -PSA- y un Plan de Alerta Temprana -PAT- inadecuados e insuficientes. Además, no evalúa los efectos sobre los PAT de terceros en la cuenca. Por lo tanto, hay una inadecuada evaluación de impactos y no considera al sistema La Punta-La Brava como objeto de resguardo. Posteriormente hizo sus observaciones **Zaldivar**, quien critica el modelo de evaluación, la utilización de pozo de su empresa para el PAT y la no consideración de derechos de agua de la empresa que aún no utiliza. Por su parte, la comunidad de **Talabre** señala que **el AI es la cuenca hidrogeológica del Salar de Atacama**, cuyo ecosistema ha sido determinante para la formación de las representaciones culturales de las comunidades atacameñas; integrando diversos servicios ecosistémicos que brinda el territorio para su forma cultural de habitar y ocupar. **Cuestiona que la empresa solo considere como sujeto de Consulta Indígena a Peine, cuando debiese incluir a todas las comunidades del ADI Atacama La Grande. Reiteran que el AI es el Salar completo, el cual es un área protegida (ADI y ZOIT) y que su evaluación debe considerar el efecto sinérgico de los diferentes agentes productivos (Albemarle, SQM, Zaldivar y MEL).** Por su lado, **Toconao**, se muestra preocupado por posibles afectaciones en Soncor, Chaxa y Burro Muerto, pues el proyecto no contempla los efectos sinérgicos

con otros proyectos como NX UNO y los daños de SQM (proceso sancionatorio SMA). Además, señala que Toconao tiene relación directa con el lado Sur del salar (antepasados, parentesco y ganadería) y **desconfía de MEL por su fracasado manejo medio ambiental en el salar de Punta Negra. Pide estudios que demuestren o refuten la relación del sistema de Soncor con el acuífero de MNT**, y nuevas modelaciones hidrogeológicas en otros escenarios como de escasas de precipitaciones. Finalmente, en relación a su medida voluntaria de realizar “monitoreos participativos” la comunidad señala que **en la actualidad no solo se requiere ir a mirar sino realizar monitoreos paralelos que validen la información generada y modernizar los sistemas de medición de niveles con nuevas tecnologías (medición en línea y en tiempo real)**. Cuestiona la firma de convenios de la empresa con las comunidades de Camar y Talabre para la obtención de información primaria, y argumenta que existen contradicciones en la delimitación de su AI al incorporar en sus medidas ambientales a las 5 comunidades del borde este del salar. Lo anterior ha generado una fragmentación entre comunidades. **Peine** señala que existe una **dificultad de parte de su comunidad para comprender la hidrogeología planteada por los proyectos, y que no se resuelve mediante la contratación de un especialista** y/o una Consulta Indígena, pues la comunidad además presenta una sobrecarga de proyectos en evaluación. Critican la ausencia de Línea de Base Arqueológica, y la propuesta de **“Monitoreo Participativo” que debe ser cambiada por monitoreo en paralelo y acceso a información en tiempo real**. Pide que se detalle su compromiso voluntario “Estudio Patrimonial de la flora y vegetación de Peine” señalando plazos, responsables, área de intervención, montos, hitos, etc. En el caso del **CPA**, sus críticas apuntan a la mala gestión del Salar de Punta Negra, solicitando que MEL renuncie a sus derechos de aprovechamiento en este sector ocupado ancestralmente por Peine. Señala que **la inclusión del concepto de área de Estudio induce a confusión, por lo tanto, es inapropiado que se integren nuevos conceptos que no están en la legislación medio ambiental**. El CPA propone como AI la comuna de SPA y el ADI, en tanto los efectos del proyecto tienen la potencialidad de impactar los sistemas de vida de las comunidades atacameñas pues su subsistencia depende de la sustentabilidad del Salar de Atacama. En relación al levantamiento de información primaria se solicita señalar los alcances de los acuerdos firmados (ofrecimiento para financiar a equipos técnicos de confianza de las comunidades), montos asignados y constancia de las asambleas que aprobaron estos acuerdos. Además, se señala que este tipo de acciones ha generado una fragmentación del tejido

social de las comunidades del borde sur-este del Salar de Atacama al no considerar al CPA quien es el encargado de velar por el fortalecimiento del espíritu de comunidad y solidaridad entre sus miembros. Se le pregunta al titular como tuvo acceso al Plan de Desarrollo de Peine (2010), el cual es un documento interno de la comunidad. **Propone que la empresa celebre consultas indígenas para obtener su consentimiento informado, aun cuando este no sea estrictamente obligatorio, pues es una salvaguardia de otros derechos fundamentales como el de participación y libre determinación.** Se critica que los compromisos ambientales voluntarios no consideran las expectativas, anhelos y opiniones de la comunidad atacameña; imponiendo acciones que a su juicio serían beneficiosas para la comunidad atacameña sin respetar sus reales necesidades. La comunidad de **Socaire** señala que **el área de influencia del proyecto es toda la población de San Pedro de Atacama, la cual es un área protegida por ser una ADI** (declarada en 1997 por el DS-70). Las características del ADI Atacama La Grande son: Espacios territoriales habitados ancestralmente por los atacameños como demuestran las crónicas y los registros arqueológicos; posee una alta densidad de población indígena (un 95% según DS-70/1997); provienen de un mismo pueblo; ocupan y poseen tierras comunitarias e individuales; es una zona de homogeneidad ecológica compuesta por dos cuencas: la del Salar de Atacama y la de La Alta Puna; y una estrecha vinculación de las comunidades indígenas con el medio ambiente. **El ADI es un patrimonio indígena que actúa como motor del desarrollo que les ha permitido salir de la extrema pobreza. Por lo tanto, intervenir sus acuíferos es intervenir toda el área del ADI, la cual se ha convertido en un importante destino turístico y motor de la economía local. Señalan que el territorio tiene un fundamento cultural, económico y medio ambiental (similar a la perspectiva ecosistémica), el cual es protegido por diversas leyes nacionales y acuerdos internacionales ratificados por Chile.** Y que la implementación del **Convenio 169 es una oportunidad de participación y cooperación de buena fe en beneficio mutuo y con respeto a los derechos indígenas y en pro de la sustentabilidad. Solicita que se cumpla con la "diligencia debida", esto es entregar la información completa y veraz.** Plantea la necesidad de integrar variables culturales al recurso agua, como un bien ecosistémicos dentro de los estudios hidrogeológicos; **la comunidad adjunta un estudio de un hidrogeólogo (Joaquín Salas)** quien señala la conexión de toda la zona marginal desde Tilopozo (Peine) por el sur hasta Baltinache (San Pedro de Atacama) por el norte. En el caso de **Solor, Coyo y Cucuter** sus observaciones son producto de un trabajo mancomunado, ingresando el mismo texto

de manera separada. Este señala que el Salar de Atacama es parte de la trashumancia atacameña desde tiempos ancestrales, conformando hoy en día el ADI Atacama La Grande. Por lo tanto, son competentes para administrar este territorio compuesto por a) Tierras Indígenas Individuales, b) Tierras Comunitarias y c) Tierras Patrimoniales (varias comunidades), tal como lo documenta el informe Datura de 1999 (que no tienen las comunidades a pesar de solicitarlo). Les preocupa las diversas lagunas y el sistema hídrico que las alimenta, y que según un estudio de Corfo-Dga-Onu (1977) el principal flujo de agua proviene del sector sur. **Además, señalan que el territorio es uno solo, es un sistema sociocultural integrado, por lo cual, solicitan que el AI se amplíe a todo el pueblo atacameño en base a lo declarado por las 3 comunidades: “El salar es uno solo” (Cucuter); “Todo el salar es atacameño” (Solor); “Si se saca agua del sur del salar, nos afecta a nosotros” (Coyo).** Proponen el desarrollo de una Línea de Base unificada de todas las comunidades, junto con un proceso de Consulta Indígena. **Lo que significa ampliar el AI en base al criterio de unidad/integridad del territorio,** y la ocupación que hacen las comunidades de San Pedro de Atacama de las lagunas del Salar (Yona, Cejar y Tebenquiche). **Valoran el trabajo participativo con Talabre y Camar, y solicitan el mismo estándar para las otras comunidades. Es por ello, que las comunidades de San Pedro decidieron retirarse de la PAC del proyecto.** Finalmente adjuntan un informe del abogado Juan Carlos Cayo sobre el derecho a la consulta indígena de estas tres (3) comunidades: Cucuter, Solor y Coyo. Finalmente, la comunidad de **Camar** realiza sus observaciones, señalando que no concuerda con la afirmación del EIA que indica la no afectación de su comunidad. Argumenta que el Estudio es parcial y no objetivo, y su información es presentada de manera parcelada e inconexa minimizando el efecto global; se propone una modelización dinámica de los distintos factores que afectan a la cuenca en su conjunto. También, argumentan que las líneas de base del medio humano están incompletas, en el caso de Camar no se señalan la red de estancias que conforman el sistema agrícola y pastoril. Además, existe el convencimiento de que el sistema lacustre de Peine se conecta con el sistema lacustre del borde Este del salar (territorio de Camar). Por lo tanto, solicitan ser consideradas como comunidad afectada y sujeto de Consulta Indígena, criticando a la minera por no considerar la predicción de impactos de manera participativa.

ANEXO J-4

Oferta hídrica

En el presente anexo se estima la oferta hídrica de la cuenca, tanto en las fuentes superficiales y subterráneas. Se complementa con la identificación de las restricciones históricas y actuales sobre el uso de las aguas en la cuenca, de forma de establecer un diagnóstico realista de los recursos hídricos que se disponen.

1. Agua superficial

1.1. Fuentes superficiales

1.1.1. Identificación de fuentes

Dado que las precipitaciones en la cuenca estudiada son escasas, estacionales y locales, una fuente importante de recarga corresponde a las precipitaciones estivales, fenómeno conocido como invierno altiplánico o boliviano (señalado en capítulo anterior), que afecta principalmente al sector cordillerano, entre los meses de diciembre y marzo. Sin embargo, las altas tasas de evaporación estimadas para la zona, tienen como consecuencia una importante disminución en los volúmenes de agua que efectivamente escurren, o logran infiltrar y recargar los acuíferos.

Los principales puntos de descarga corresponden a lagos, salares o depresiones ubicadas en el punto topográfico más bajo de la superficie de la cuenca. Varias subcuencas presentan depósitos salinos denominados comúnmente salares. Los salares son un rasgo hidrográfico presente en la Cuenca Endorreica. Estos se forman producto de la acumulación de aguas en cuencas cerradas presentes en regiones áridas, donde la descarga por evaporación en el largo plazo es mayor que la recarga por precipitación.

Se observa en la cuenca un régimen esporádico y estacional de los escurrimientos superficiales, sumado a la topografía abrupta, y las pequeñas áreas de las subcuencas, no permite el desarrollo notable de una red de drenaje permanente. Las escasas precipitaciones estivales infiltran en las cabeceras de los conos aluviales, o se transportan e infiltran rápidamente en la zona de mayor permeabilidad, denominada llanura aluvial. (Cervetto 2012).

A pesar e la ausencia de cursos de agua superficial permanente de importancia en el sector, se realiza un mapeo de las principales vertientes no permanente que se existen en el sector, las redes de drenaje se desarrollan esporádicamente, por lo que se mantienen lechos secos durante la mayor parte del año, las que en su mayoría descargan a las lagunas

presenten en la cuenca, como se puede observar en la Figura 4-1. Estas vertientes también son destacadas por lo analizado en los derechos de agua (concedidos, rechazados o regularizados), ya que indican posibles vertientes de intereses para la comunidad o interesados.

A continuación se detallan las lagunas en la cuenca endorreica entre fronteras y salar de Atacama.

Los principales cuerpos de agua identificados corresponden a:

- Laguna Trinchera:

Son pequeñas depresiones con agua salada en la pampa que prolonga la cuenca del salar de Loyoques al sur. Presentan notorias variaciones estacionales de la superficie. Se puede considerar sus cuencas como sub-cuencas del salar de Loyoques. Parecen ser simplemente afloramientos de napas.

- Laguna Lejía:

Su cuenca es colindante con la del salar de Atacama al oeste y la del salar Aguas Calientes 2 al este. El activo volcán Lascar domina la cuenca de drenaje al norte. La paleohidrología de la laguna ha sido estudiada detalladamente por Grosjean et al., 1995. La cuenca de la laguna Lejía podría presentar potencialidades para recursos de agua, si no fuera por la presencia muy cercana del activo volcán Lascar.

- Laguna Miscanti:

La laguna Miscanti se encuentra en el Altiplano de la II Región a menos de un kilómetro del borde oriental de la cuenca del salar de Atacama, a los pies del volcán del mismo nombre. Su cuenca colinda al sur con la cuenca de la pequeña laguna Miñique de la cual lo separa un pequeño portezuelo. Generalmente los estudios asocian las dos lagunas en un solo sistema. La laguna salobre Miscanti se encuentra a unos 10 metros más arriba que la laguna salada Miñique, por lo que se supone que las aguas de la laguna Miscanti se infiltran hacia la laguna Miñique. La paleolimnología de la laguna ha sido estudiada por Valero-Garcés et al. (1996). La alimentación se hace sobre todo por descarga de napas subterráneas en la laguna.

- Laguna Minique:

La laguna Miñique se encuentra en el Altiplano de la II Región cerca del borde oriental de la cuenca del salar de Atacama. Hacia el sur un cordón de baja altura la separa

del Callejón Varela, que podría haber sido una antigua vía de desagüe. Al norte su cuenca colinda con la cuenca de la laguna Miscanti, de la cual la separa un cordón de lavas de unos 1200 m de ancho. El portezuelo entre las dos cuencas es muy bajo. Generalmente los estudios asocian las dos lagunas en un solo sistema. La laguna salada Miñique se encuentra unos 10 metros más bajo que la laguna salobre Miscanti, por lo que se supone que las aguas de la laguna Miscanti se infiltran hacia la laguna Miñique.

- Laguna Tuyajto:

La Laguna Tuyajto es un lago salino ubicado en la zona meridional de la reserva nacional de los flamencos en el Altiplano Andino del Norte de Chile. Esta laguna se encuentra a los pies del volcán Tuyajto. Está alimentada por una serie de manantiales que se encuentran en la zona Norte y Este de la laguna, que descargan agua procedente de un acuífero en materiales volcánicos recientes. El área se ubica en una zona árida donde las precipitaciones medias no exceden los 200 mm/año.

Es una cuenca endorreica que está limitada al Oeste por el Salar de Aguas Calientes 3 y al Este por las cuencas Pampa Colorada y Pampa Las Tecas. Una característica importante de esta zona es su clima árido, con una precipitación media entre 150 y 200 mm/año (DGA, 2009). El gradiente vertical de precipitación en la zona de estudio es de 6 mm/año/100 m. En la Laguna Tuyajto la cota es de 4010 m s.n.m., la temperatura media es de 1°C y la evaporación potencial media es de 1500 mm/año (Risacher et al., 1999).

El caudal de los manantiales muestra que la recarga es importante a pesar de la aridez imperante en la zona. Para una superficie de recarga entre 400 a 600 km² y una descarga media en manantiales de 3hm³/año, la recarga media puede estimarse de forma

aproximada entre 5 y 7.5 mm/año, lo que corresponde a un porcentaje de la precipitación media anual entre el 2% y el 4%. Este valor puede ser mucho más en las zonas de mayor altitud y bastante menor en las depresiones (Custodio, 2010).

La composición química de las aguas de manantialesde la Laguna Tuyajto y de los pozos de las cuencas Pampa Colorada y Pampa Las Tecas estaría controlada por la disolución de minerales evaporíticos previos enterrados bajo depósitos volcánicos y derivados más recientes, por la evaporación de aguas meteóricas y en parte por la interacción agua-roca a alta temperatura. El exceso de cloruro sobre el ion sodio respecto a la relación marina podría ser debido a cambios catiónicos, pero también cabe considerar que sea debido a la incorporación de HCl de desgasificación magmática, aunque esto aún se está por estudiar. (Herrera et al. 2019).

También es posible identificar, en segunda prioridad, lagunas que se forman gracias a la interacción salina en los salares, como son:

- Laguna en Salar de Tara:

El salar de Tara recibe dos tipos de aportes : - el río Zapaleri de buen caudal (400 l/s) y de agua muy diluida (287 mg /l STD) de tipo Na-(Ca) / Cl-SO₄-(HCO₃). Los componentes disueltos provienen de la alteración de rocas, en su mayor parte volcánicas, de la cuenca de drenaje. - vertientes más concentradas (promedio de 1200 mg/l STD) de tipo Na / Cl. El alto contenido en cloruro de sodio provienen de la redisolución de antiguas evaporitas por debajo de las formaciones volcánicas, probablemente la Formación San Pedro. En lo que se refiere a los caudales entrantes, el río Zapaleri, al este de la cuenca, es el aporte de agua (H₂O) mas importante. Pero, en lo que concierne los componentes disueltos, son los aportes del sector noroeste de la cuenca, cargados en NaCl, que parecen ser los principales proveedores. Es probable que existen napas de composición parecidas a la del río Zapaleri al este del salar. (DGA 1999).

- Laguna en Salar de Pujsa:

Es un salar de tipo playa con lagunas superficiales. El salar de Pujsa recibe aguas de aporte de composición y salinidad variada, pero donde predominan los tipos químicos sulfatados. La composición química de la laguna, de tipo Na / SO₄-Cl, no proviene de la evaporación de los dos aportes cuenca arriba, sino del agua de una vertiente difusa a la orilla norte del salar. Sin embargo, deben existir aportes adicionales no detectados. La composición de los aportes y las vías evolutivas que siguen al evaporarse esta en acuerdo con la geología de la cuenca. La aptitud de uso de las aguas, aún las muy diluidas, está limitada en potabilidad por el alto contenido en arsénico.

- Laguna en Salar de Loyoques o Quisquiro:

Es un salar de tipo playa con lagunas superficiales de extensión variable y una napa de salmuera a unos decímetros de profundidad. Es una boratera con niveles explotables de ulexita (NaCaB₅O₉.8H₂O). Los principales aportes superficiales son el río Salado en el sur, que nace en las vegas Ojos del Salado, y el estero Loyoques en el norte.

- Laguna en Salar de Aguas Calientes:

Salar de aguas calientes, es un salar tipo playa que presenta varias lagunas de extensión variable, siendo la más importante la de Aguas calientes, ubicada al sur de este salar. Los aportes de esta cuenca son variados, formando en cada uno vegas y bofedales al

desembocar al salar. En las inmediaciones se aprecia presencia de cerros de gran altura, sobre los 4200 m.

- Laguna en Salar el Laco:

Es un salar de tipo playa con una laguna poco profunda. El salar del Laco está alimentado por descarga de napas de aguas diluidas que siguen al evaporarse la vía neutra sulfatada sin discrepancia con la litología de la ciencia. El salar pertenece al grupo sulfatado cuyas salmueras están enriquecidas en sulfato en desmedro del calcio. Las aguas diluidas son de buena calidad.

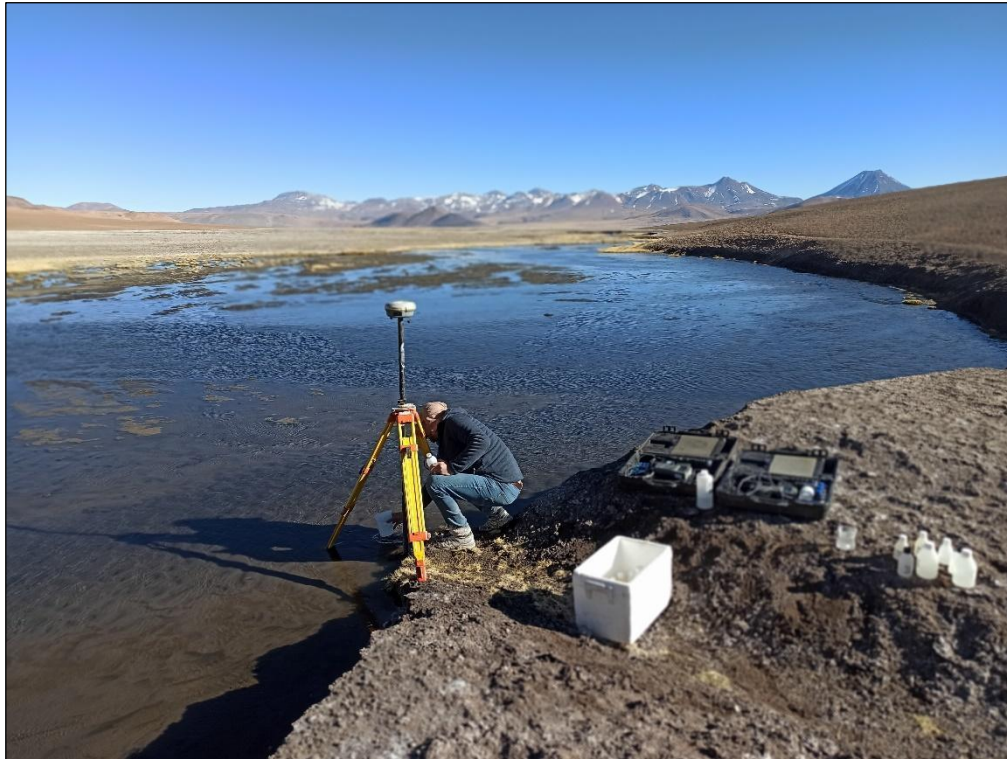
ANEXO J-5

Información capturada en terreno para el modelo hidrogeológico conceptual

Entre los días 18 de agosto y 03 de septiembre de 2021 se realizaron 2 campañas de terreno que tuvieron por objeto recorrer toda el área de estudio y capturar información de fuentes de agua superficial y subterránea, para luego ser incorporada en la formulación del modelo hidrogeológico conceptual de las Cuencas Endorreicas.

Originalmente, esta campaña de terreno había sido programada para ser realizada entre los días 18 y 27 de agosto, sin embargo, problemas de distinta índole (climáticos, sociales y geológicos) que retrasaron estas labores y obligaron a hacer cambios en su estructura e incorporar una segunda campaña para completar el muestreo de los puntos comprometidos.

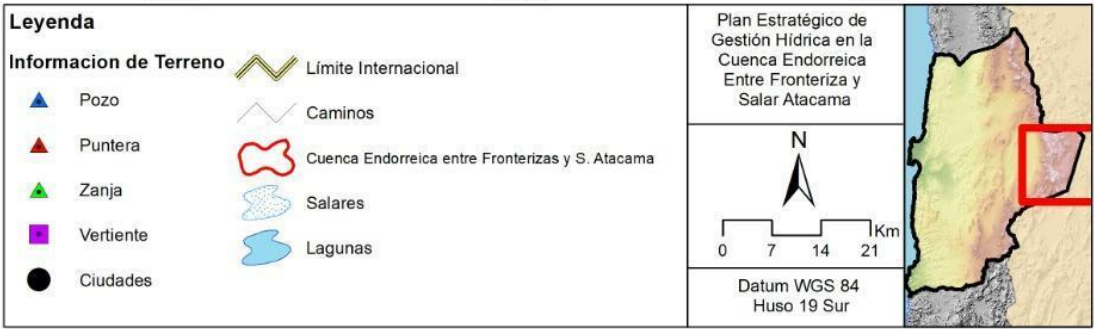
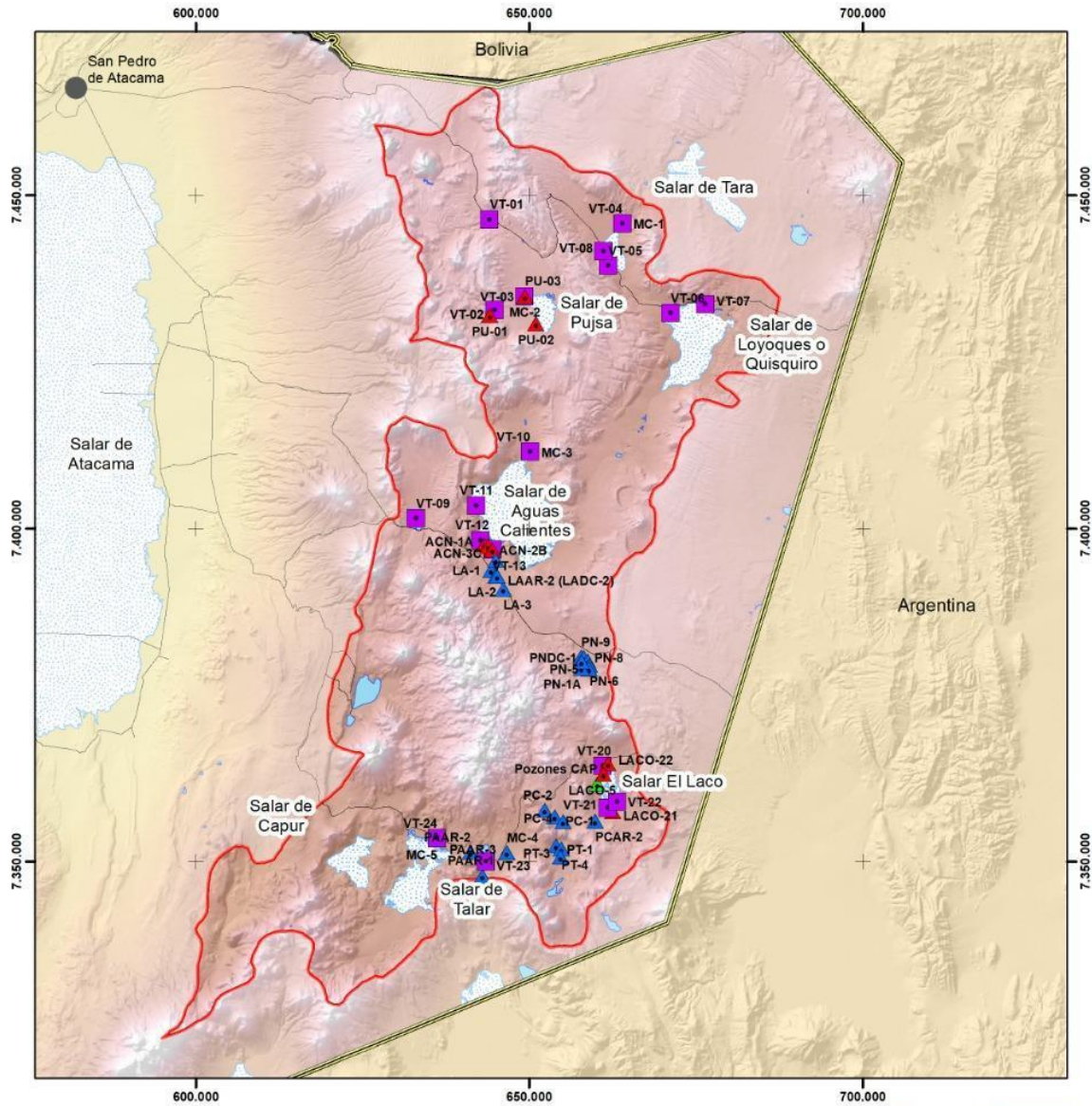
Los puntos visitados se distribuyeron en las cuencas de los salares Pujsa, Aguas Calientes Norte, Loyoques, Aguas Calientes Centro, El Laco y Aguas Calientes Sur; en las lagunas Lejía y Tuyajto; y en las pampas Loma Amarilla, Puntas Negras, Colorada, Las Tecas y Amarilla. En todos ellos se realizó un levantamiento topográfico de alta precisión con medición de coordenadas UTM en el datum WGS84 y cotas de la superficie del agua, en el caso de fuentes superficiales, y boca de pozo (o nivel de terreno, para puntos sin tubería), para fuentes subterráneas.



Fuente: elaboración propia

Figura 7-12: Medición de coordenadas y cota en punto de muestreo de agua superficial (VT-10)

En estas campañas de terreno se capturo información hidrogeológica en un total de 50 puntos, de los cuales, 17 corresponden a aguas superficiales (vertientes) y 33 corresponden a aguas subterráneas, distribuidas en 23 pozos profundos, 9 punteras y 1 zanja. La ubicación de estos puntos se muestra en la Figura 7-13.



Fuente: elaboración propia
Figura 7-13: Puntos visitados en terreno

En estos puntos capturé información diversa la cual se presenta en la Tabla 7-4.

Tabla 7-2: Información capturada en terreno

Punto	Coordenadas UTM (WGS84)		Cota (m s.n.m.)	Tipo	Fuente	Parámetros FQ	Niveles estáticos	Análisis hidroquímicos	Análisis isotópicos	Perfiles C.E. y T
	Este (m)	Norte (m)								
VT-01	644059,22	7446313,32	4570,55	Agua superficial	Vertiente	X		X	X	
VT-02	644793,32	7432734,01	4550,76	Agua superficial	Vertiente	X		X	X	
PU-01	644111,46	7431914,73	4533,55	Agua subterránea	Puntera	X	X	X	X	
VT-03	649314,39	7434755,78	4506,39	Agua superficial	Vertiente	X		X	X	
VT-04	663989,37	7445688,16	4222,39	Agua superficial	Vertiente	X		X	X	
MC-1	663989,37	7445688,16	4222,39	Agua superficial	Vertiente	X		X	X	
VT-05	661842,32	7439361,64	4217,76	Agua superficial	Vertiente	X		X	X	
VT-06	671229,25	7432244,78	4186,08	Agua superficial	Vertiente	X		X	X	
VT-07	676436,39	7433573,37	4182,54	Agua superficial	Vertiente	X		X	X	
VT-08	661162,32	7441548,49	4218,07	Agua superficial	Vertiente	X		X	X	
PU-03	649377,05	7434802,74	4507,13	Agua subterránea	Puntera	X	X	X	X	
MC-2	649377,05	7434802,74	4507,13	Agua subterránea	Puntera	X		X	X	
PU-02	651017,51	7430684,69	4508,40	Agua subterránea	Puntera	X	X	X	X	
VT-09	633007,15	7401445,12	4325,04	Agua superficial	Vertiente	X		X	X	
VT-10	650153,11	7411438,69	4206,55	Agua superficial	Vertiente	X		X	X	
MC-3	650153,11	7411438,69	4206,55	Agua superficial	Vertiente	X		X	X	
VT-11	642033,08	7403388,17	4198,34	Agua superficial	Vertiente	X		X	X	
PN-9	657789,37	7380657,73	4374,06	Agua subterránea	Pozo	X	X	X	X	X
VT-12	642689,65	7398159,86	4199,62	Agua superficial	Vertiente	X		X	X	
ACN-1A	643246,38	7397521,38	4202,16	Agua subterránea	Puntera	X	X	X	X	
VT-13	644505,78	7396801,28	4202,08	Agua superficial	Vertiente	X		X	X	
LA-1	644281,41	7393703,89	4234,36	Agua subterránea	Pozo	X	X	X	X	X
LA-3	646152,09	7390874,90	4304,94	Agua subterránea	Pozo	X	X	X	X	X
ACN-2B	643854,80	7397311,58	4200,96	Agua subterránea	Puntera	X	X	X	X	
ACN-3C	644502,57	7396797,22	4201,86	Agua subterránea	Puntera	X	X	X	X	
LA-0	645033,21	7395212,30	4219,59	Agua subterránea	Pozo	X	X	X	X	
LA-2	645010,14	7392814,36	4247,96	Agua subterránea	Pozo	X	X	X	X	X
LADC-2	645224,78	7392763,58	4251,34	Agua subterránea	Pozo	X	X	X	X	
PN-8	658189,40	7380593,63	4374,61	Agua subterránea	Pozo	X	X	X	X	X
PNDC-1	658746,96	7380051,05	4369,28	Agua subterránea	Pozo	X	X	X	X	
PN-6	659064,04	7379437,40	4366,14	Agua subterránea	Pozo	X	X	X	X	X
PN-5	658962,76	7378870,94	4355,92	Agua subterránea	Pozo	X	X	X	X	X
PN-1A	657893,38	7379017,23	4361,18	Agua subterránea	Pozo	X	X	X	X	X
PN-2	657833,87	7379953,38	4362,41	Agua subterránea	Pozo	X	X	X	X	X
Pozones CAP	660238,02	7361619,56	4231,53	Agua subterránea	Zanja	X	X	X	X	
PC-2	652341,38	7357678,77	4262,97	Agua subterránea	Pozo	X	X	X	X	X
PC-1	653843,54	7356684,22	4284,61	Agua subterránea	Pozo	X	X	X	X	X
PCAR-2	659913,28	7356042,93	4313,37	Agua subterránea	Pozo	X	X	X	X	
PAAR-3	646635,85	7351280,13	4076,55	Agua subterránea	Pozo	X	X	X	X	X
MC-4	646635,85	7351280,13	4076,55	Agua subterránea	Pozo	X	X	X	X	
PT-1	654007,19	7352361,57	4182,13	Agua subterránea	Pozo	X	X	X	X	X
PT-4	654815,40	7351873,22	4204,06	Agua subterránea	Pozo	X	X	X	X	X
PT-3	654689,37	7350660,27	4214,22	Agua subterránea	Pozo	X	X	X	X	X
PAAR-1	642985,66	7347837,21	4069,90	Agua subterránea	Pozo	X	X	X	X	X
PAAR-2	641174,76	7351340,47	4018,11	Agua subterránea	Pozo	X	X	X	X	X
PC-4	655068,53	7355965,25	4291,47	Agua subterránea	Pozo	X	X	X	X	X
LACO-21	662520,21	7357451,29	4232,00	Agua subterránea	Puntera	X	X	X	X	
VT-20	660999,10	7364299,64	4232,35	Agua superficial	Vertiente	X		X	X	
LACO-22	661789,22	7364681,66	4233,80	Agua subterránea	Puntera	X	X	X	X	
LACO-5	661142,96	7363055,69	4232,17	Agua subterránea	Puntera	X	X	X	X	
VT-21	661800,75	7357999,31	4231,27	Agua superficial	Vertiente	X		X	X	
VT-22	663171,05	7358912,28	4231,29	Agua superficial	Vertiente	X		X	X	
VT-23	643470,47	7349947,15	4033,97	Agua superficial	Vertiente	X		X	X	
VT-24	636181,10	7353435,96	3932,89	Agua superficial	Vertiente	X		X	X	
MC-5	636181,10	7353435,96	3932,89	Agua superficial	Vertiente	X		X	X	

Fuente: elaboración propia

En esta tabla podemos observar que se midieron parámetros fisicoquímicos en terreno y se tomaron muestras de aguas para análisis hidroquímicos e isotópicos en 50 puntos y, en 5 de ellos, se replicó el muestreo de agua para generar muestras de control (MC) de resultados de laboratorio. Así como también, en 33 puntos se midieron niveles estáticos y en 18 puntos se realizaron perfilajes de conductividad eléctrica y temperatura del agua.

1.1.1 Construcción de punteras

Las punteras realizadas para estudio consistieron en dos completas (PU-1 y PU-2), vale decir perforadas y habilitadas, y una solo la perforación de 1,2 m (PU-3), desde donde también se tomó una muestra de agua y se midió nivel estático con respecto al nivel de terreno.

Estas punteras fueron habilitadas con PVC de 2" (ranurado y ciego) con abertura en el material de ranurado de 1 mm, quedando el espacio anular relleno con gravilla seleccionada y redondeada, de 2 a 4 mm, desde el fondo hasta el nivel de terreno. El fondo que sellado con una punta de PVC cónica y en superficie con una tapa redonda del mismo material (Figura 7-14).



Fuente: elaboración propia

Figura 7-14: Construcción de punteras

1.1.2 Parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos en terreno fueron registrados en todos los puntos visitados, para lo cual se utilizó una sonda multiparamétrica marca Hanna modelo HI9829, calibrada y revisada en Santiago en las oficinas de Hanna Instruments y calibrada periódicamente en terreno, teniendo además una sonda de control de la misma marca y modelo (Figura 7-15).



Fuente: elaboración propia

Figura 7-15: Medición de parámetros fisicoquímicos en terreno

Los parámetros medidos en terreno correspondieron a pH, temperatura, conductividad eléctrica, potencial de oxido-reducción (ORP) y alcalinidad, cuyo registro se entregan en la Tabla 7-5. Se puede observar que las aguas muestreadas, en general, presentan un carácter neutro con valores de pH entre 5,68 y 9,41, en cuanto a la conductividad ésta tiene una mayor variación, entre 166 y 37130 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dando cuenta de aguas dulces asociadas a los afloramientos y vertientes, y procesos de evaporación que concentran las sales en sectores de descarga del agua subterránea (salares). Finalmente, las aguas presentan temperaturas entre $-0,04$ y $38,76$ $^{\circ}\text{C}$, registrando las aguas de menor temperatura, en general, en vertientes, con excepción de algunos puntos de surgencia en los salares de Aguas Calientes Norte, Centro y Sur, y las de mayor temperatura en pozos ubicados en las pampas Loma Amarilla, Puntas Negras y Colorada, donde se registra una componente hidrotermal asociada al cordón volcánico reciente de Puntas Negras.

Tabla 7-3: Parámetros fisicoquímicos registrados en terreno

ID Muestra	Coordenadas UTM(WGS84)		Cota (m s.n.m.)	Parámetros fisicoquímicos medidos en terreno				
	Este (m)	Norte (m)		pH	CE (uS/cm)	Temp. (°C)	ORP (mV)	Alc. (mg/l)
VT-01	644059,22	7446313,32	4570,55	7,34	1570	7,34	-114,6	195
VT-02	644793,32	7432734,01	4550,76	7,21	500	2,06	204,5	135
PU-01	644111,46	7431914,73	4533,55	7,90	31430	-0,04	-124,2	f.r.
VT-03	649314,39	7434755,78	4506,39	8,27	776	5,26	84	90
VT-04	663989,37	7445688,16	4222,39	8,30	2155	1,85	145,7	114
MC-1	663989,37	7445688,16	4222,39	8,30	2155	1,85	145,7	114
VT-05	661842,32	7439361,64	4217,76	6,58	37130	38,76	-68,5	60
VT-06	671229,25	7432244,78	4186,08	7,62	4920	9,65	182,5	75
VT-07	676436,39	7433573,37	4182,54	7,18	7315	5,77	14,2	168
VT-08	661162,32	7441548,49	4218,07	7,49	6237	7,88	105	24
PU-03	649377,05	7434802,74	4507,13	6,47	650	0,66	138,9	300
MC-2	649377,05	7434802,74	4507,13	6,47	650	0,66	138,9	300
PU-02	651017,51	7430684,69	4508,40	9,22	3112	1,35	-223,9	f.r.
VT-09	633007,15	7401445,12	4325,04	7,11	1296	3,17	96,3	234
VT-10	650153,11	7411438,69	4206,55	8,12	5688	11,47	115,4	90
MC-3	650153,11	7411438,69	4206,55	8,12	5688	11,47	115,4	90
VT-11	642033,08	7403388,17	4198,34	8,01	7438	7,47	-35,9	129
PN-9	657789,37	7380657,73	4374,06	8,15	3927	24,79	-124,5	42
VT-12	642689,65	7398159,86	4199,62	6,94	2868	14,27	117,8	135
ACN-1A	643246,38	7397521,38	4202,16	7,35	3409	7,26	120	150
VT-13	644505,78	7396801,28	4202,08	7,30	3317	25,27	128,5	87
LA-1	644281,41	7393703,89	4234,36	9,41	5997	14,41	-212,9	36
LA-3	646152,09	7390874,90	4304,94	8,59	3620	18,07	-54,1	33
ACN-2B	643854,80	7397311,58	4200,96	7,52	3951	5,06	40,3	90
ACN-3C	644502,57	7396797,22	4201,86	7,52	4120	12,52	80,5	93
LA-0	645033,21	7395212,30	4219,59	7,74	4578	19,1	-87,3	51
LA-2	645010,14	7392814,36	4247,96	8,09	4769	25,91	-120,8	30
LADC-2	645224,78	7392763,58	4251,34	7,14	4253	24,82	39,3	90
PN-8	658189,40	7380593,63	4374,61	8,02	3620	20,54	-61,3	57
PNDC-1	658746,96	7380051,05	4369,28	8,13	2410	9,29	-8,9	171
PN-6	659064,04	7379437,40	4366,14	9,05	3727	10,53	-69,3	30
PN-5	658962,76	7378870,94	4355,92	8,17	3421	8,37	-10,6	75
PN-1A	657883,38	7379017,23	4361,18	8,23	7730	29,57	-52	39
PN-2	657833,87	7379953,38	4362,41	7,89	3944	23,62	21	54
Pozones CAP	660238,02	7361619,56	4231,53	8,28	774	1,4	-43,1	45
PC-2	652341,38	7357678,77	4262,97	7,13	3713	26,16	4,0	150
PC-1	653843,54	7356684,22	4284,61	5,68	3566	24,26	-45,3	30
PCAR-2	659913,28	7356042,93	4313,37	6,70	583	7,01	-64,7	84
PAAR-3	646635,85	7351280,13	4076,55	6,65	5320	12,44	89,7	234
MC-4	646635,85	7351280,13	4076,55	6,65	5320	12,44	89,7	234
PT-1	654007,19	7352361,57	4182,13	6,75	684	11,27	113,6	108
PT-4	654815,40	7351873,22	4204,06	6,87	939	10,2	104,2	207
PT-3	654689,37	7350660,27	4214,22	6,67	1266	16,8	-112,7	294
PAAR-1	642985,66	7347837,21	4069,90	6,50	9315	13,78	62	255
PAAR-2	641174,76	7351340,47	4018,11	7,80	8981	12,28	14,9	270
PC-4	655068,53	7355965,25	4291,47	6,54	5261	21,32	-92,1	117
LACO-21	662520,21	7357451,29	4232,00	7,69	166	3,42	-23,3	165
VT-20	660999,10	7364299,64	4232,35	7,76	4270	4,01	48,4	138
LACO-22	661789,22	7364681,66	4233,80	7,62	5251	4,56	59,1	120
LACO-5	661142,96	7363055,69	4232,17	7,14	8380	4,65	15,4	315
VT-21	661800,75	7357999,31	4231,27	8,24	2929	7,59	37,5	336
VT-22	663171,05	7358912,28	4231,29	6,57	6953	6,35	56,5	750
VT-23	643470,47	7349947,15	4033,97	7,89	1012	10,49	91,3	339
VT-24	636181,10	7353435,96	3932,89	7,61	4525	20,26	76,9	99
MC-5	636181,10	7353435,96	3932,89	7,61	4525	20,26	76,9	99

Fuente: elaboración propia

En estos puntos se tomaron 50 muestras de agua y 5 muestras de control, las cuales presentan, en la tabla, los mismos parámetros registrados para la muestra normal (Figura 7-16)



Fuente: elaboración propia

Figura 7-16: Set de envases de muestreo en el punto VT-10 (muestra normal y muestra de control, MC-3)

En todos estos puntos se tomaron muestras de agua para realizar análisis hidroquímicos de elementos mayores, parámetros fisicoquímicos generales, barridos de metales y compuestos nitrogenados, los cuales fueron encargados al laboratorio Hidrolab, y a la fecha faltan algunos informes de ensayos por entregar; y se tomaron muestras especiales para análisis isotópicos (deuterio y oxígeno 18) los cuales fueron enviados al laboratorio de la Universidad de Arizona y sus resultados se entrega en la Tabla 7-6.

Tabla 7-4: Resultados de análisis isotópicos

W#	Sample	Date	VSMOW	VSMOW	COORDENADAS 84		Cota (m s.n.m.)
			$\delta^{18}\text{O} \text{‰}$	$\delta^2\text{H} \text{‰}$	Este (m)	Norte (m)	
W79068	PT1	02-09-2021	-8,7	-76,9	654007,19	7352361,57	4182,13
W79069	VT20	03-09-2021	-10,5	-81,3	660999,10	7364299,64	4232,35
W79070	VT22	03-09-2021	-10,2	-82,1	663171,05	7358912,28	4231,29
W79071	VT21	03-09-2021	-3,6	-51,6	661800,75	7357999,31	4231,27
W79072	PAAR2	02-09-2021	-10,4	-77,2	641174,76	7351340,47	4018,11
W79073	PT4	02-09-2021	-10,1	-82,9	654815,40	7351873,22	4204,06
W79074	LACO22	03-09-2021	-10,8	-80,9	661789,22	7364681,66	4233,80
W79075	PC4	02-09-2021	-9,8	-77,9	655068,53	7355965,25	4291,47
W79076	VT23	03-09-2021	-7,7	-68,2	643470,47	7349947,15	4033,97
W79077	PT3	02-09-2021	-9,9	-81,8	654689,37	7350660,27	4214,22
W79078	VT24	03-09-2021	-10,5	-76,2	636181,10	7353435,96	3932,89
W79079	LACO21	02-09-2021	-3,9	-62,0	662520,21	7357451,29	4232,00
W79080	PC2	01-09-2021	-11,1	-78,1	652341,38	7357678,77	4262,97
W79081	PCAR2	01-09-2021	-11,2	-83,4	659913,28	7356042,93	4313,37
W79082	PC1	01-09-2021	-10,8	-79,1	653843,54	7356684,22	4284,61
W79083	MC5	03-09-2021	-10,5	-74,0	636181,10	7353435,96	3932,89
W79084	PAAR3	02-09-2021	-10,1	-79,7	646635,85	7351280,13	4076,55
W79085	MC4	02-09-2021	-10,1	-79,9	646635,85	7351280,13	4076,55
W79086	LACO5	03-09-2021	-10,5	-78,9	661142,96	7363055,69	4232,17
W79087	VT8 (17)	21-08-2021	-7,8	-71,6	661162,32	7441548,49	4218,07
W79088	VT12	23-08-2021	-9,4	-71,0	642689,65	7398159,86	4199,62
W79089	PU-3	21-08-2021	-8,5	-74,2	649377,05	7434802,74	4507,13
W79090	VT-06	20-08-2021	-9,1	-79,5	671229,25	7432244,78	4186,08
W79091	ACN 1-A	23-08-2021	-9,6	-71,0	643246,38	7397521,38	4202,16
W79092	MC-3	22-08-2021	-8,2	-72,0	650153,11	7411438,69	4206,55
W79093	VT-13	23-08-2021	-10,0	-72,7	644505,78	7396801,28	4202,08
W79094	PN-8	24-08-2021	-10,9	-78,9	658189,40	7380593,63	4374,61
W79095	VT-1	18-08-2021	-8,8	-71,5	644059,22	7446313,32	4570,55
W79096	PU-2	22-08-2021	-8,9	-71,9	651017,51	7430684,69	4508,40
W79097	LA-0	24-08-2021	-10,5	-77,0	645033,21	7395212,30	4219,59
W79098	ACN-3C	24-08-2021	-9,9	-72,1	644502,57	7396797,22	4201,86
W79099	Pozones CA	24-08-2021	-10,3	-83,1	660238,02	7361619,56	4231,53
W79100	VT-9	22-08-2021	-6,9	-57,0	633007,15	7401445,12	4325,04
W79101	LA-1	23-08-2021	-10,4	-76,3	644281,41	7393703,89	4234,36
W79102	LA-3	23-08-2021	-10,6	-78,6	646152,09	7390874,90	4304,94
W79103	PU-01	18-08-2021	-4,1	-43,1	644111,46	7431914,73	4533,55
W79104	VT-07	21-08-2021	-9,8	-85,8	676436,39	7433573,37	4182,54
W79105	VT-2	18-08-2021	-9,2	-67,6	644793,32	7432734,01	4550,76
W79106	PN-5	24-08-2021	-10,7	-78,9	658962,76	7378870,94	4355,92
W79107	PN-1A	24-08-2021	-10,2	-72,3	657883,38	7379017,23	4361,18
W79108	LA-2	24-08-2021	-10,4	-75,2	645010,14	7392814,36	4247,96
W79109	MC-1	20-08-2021	-9,3	-82,0	663989,37	7445688,16	4222,39
W79110	LAAR-2	24-08-2021	-10,6	-76,9	645224,78	7392763,58	4251,34
W79111	VT-3	19-08-2021	-7,7	-68,9	649314,39	7434755,78	4506,39
W79112	PN-9	23-08-2021	-11,1	-80,0	657789,37	7380657,73	4374,06
W79113	ACN 2B	24-08-2021	-9,7	-71,1	643854,80	7397311,58	4200,96
W79114	VT-4	20-08-2021	-9,8	-83,5	663989,37	7445688,16	4222,39
W79115	PN-2	24-08-2021	-11,2	-79,0	657833,87	7379953,38	4362,41
W79116	PN-6	24-08-2021	-11,0	-78,9	659064,04	7379437,40	4366,14
W79117	PAAR1	02-09-2021	-10,5	-79,2	642985,66	7347837,21	4069,90
W79118	VT-10	22-08-2021	-8,4	-72,6	650153,11	7411438,69	4206,55
W79119	VT-11	22-08-2021	-7,3	-65,3	642033,08	7403388,17	4198,34
W79120	MC-2	21-08-2021	-8,6	-74,9	649377,05	7434802,74	4507,13
W79121	VT-5	20-08-2021	-9,6	-77,9	661842,32	7439361,64	4217,76
W79122	PNDC-1	24-08-2021	-9,6	-78,4	658746,96	7380051,05	4369,28

Fuente: elaboración propia

1.1.3 Niveles estáticos

La medición de niveles estáticos se realizó en todas las fuentes de aguas subterráneas, para lo cual se utilizó un pozómetro marca Heron con una huincha graduada al mm e indicador de luz y sonido.

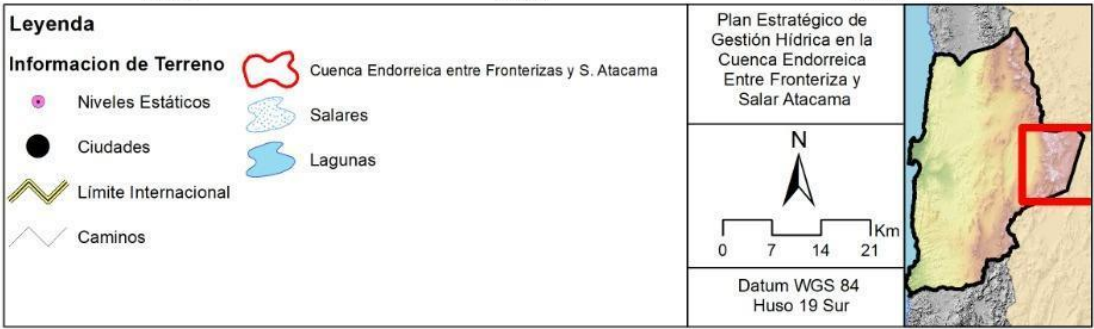
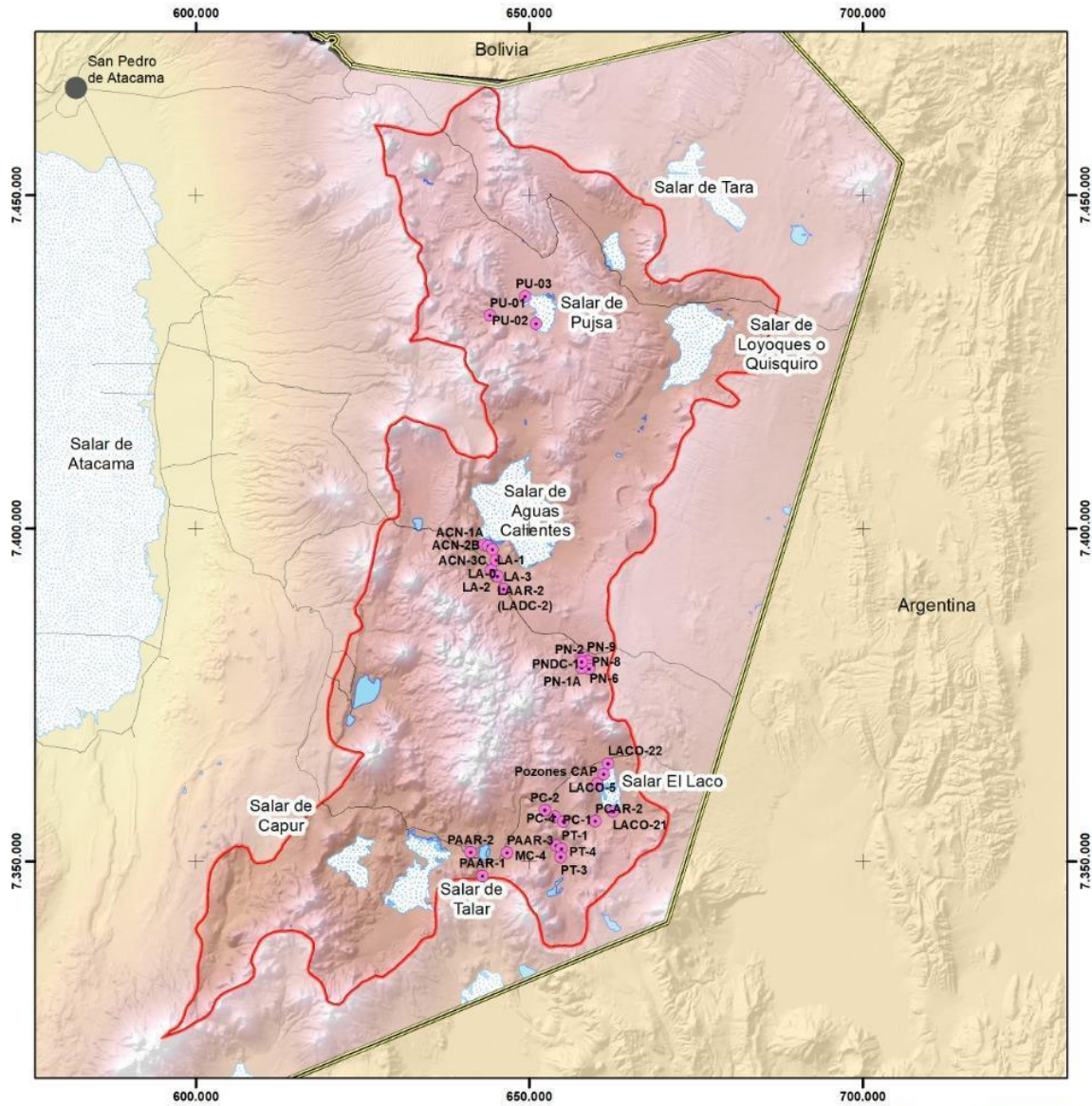
Como se puede ver en la Tabla 7-7, estos niveles se encuentran someros en los sectores de descarga de agua subterránea, cercano a lagunas y salares, con valores en torno a 0,5 m bajo el nivel de terreno, mientras que, en los pozos profundos, y al alejarse de estos sectores de descarga, los niveles registrados varían entre 23,42 m y 113,59 m bajo el nivel de la boca del pozo.

Tabla 7-5: Resultados niveles de pozos

POZO	FECHA	HORA	NIVEL	REFERENCIA
PU-1	18-08-2021	17:00	0,59	boca de pozo
PU-3	21-08-2021	15:15	0,40	nivel de terreno
PU-2	21-08-2021	16:00	0,37	boca de pozo
PN-9	23-08-2021	10:20	51,56	boca de pozo
ACN-1A	23-08-2021	12:30	0,88	boca de pozo
LA-1	23-08-2021	13:30	23,42	boca de pozo
LA-2	23-08-2021	14:30	34,08	boca de pozo
LA-3	23-08-2021	16:00	89,66	boca de pozo
ACN-2B	24-08-2021	10:30	0,93	boca de pozo
ACN-3C	24-08-2021	11:10	0,82	boca de pozo
ACN-3B	24-08-2021	11:15	0,71	boca de pozo
ACN-3A	24-08-2021	11:20	0,90	boca de pozo
PN-1A	24-08-2021	11:12	38,95	boca de pozo
PN-5	24-08-2021	11:50	33,67	boca de pozo
PN-6	24-08-2021	12:32	43,98	boca de pozo
PN-2	24-08-2021	13:09	40,09	boca de pozo
PN-8	24-08-2021	13:52	52,13	boca de pozo
PNDC-1	24-08-2021	14:30	46,95	boca de pozo
PC-2	01-09-2021	15:00	67,56	boca de pozo
PC-1	01-09-2021	16:00	88,53	boca de pozo
PCAR-2	01-09-2021	17:56	77,67	boca de pozo
PAAR-3	02-09-2021	9:00	38,07	boca de pozo
PT-1	02-09-2021	10:30	82,27	boca de pozo
PT-4	02-09-2021	11:00	103,48	boca de pozo
PT-3	02-09-2021	12:00	113,59	boca de pozo
PAAR-1	02-09-2021	13:45	44,09	boca de pozo
PAAR-2	02-09-2021	15:00	24,66	boca de pozo
PC-4	02-09-2021	16:20	97,72	boca de pozo
LACO-21	02-09-2021	17:40		boca de pozo
LACO-15	02-09-2021	18:15	1,10	boca de pozo
LACO-22	03-09-2021	9:30	1,14	boca de pozo
LACO-5	03-09-2021	10:10	1,20	boca de pozo

Fuente: elaboración propia

La ubicación de estos puntos se puede ver en la Figura 7-4.



Fuente: elaboración propia
Figura 7-17: Puntos con registro de niveles estáticos

1.1.4 Perfilajes de temperatura y conductividad eléctrica

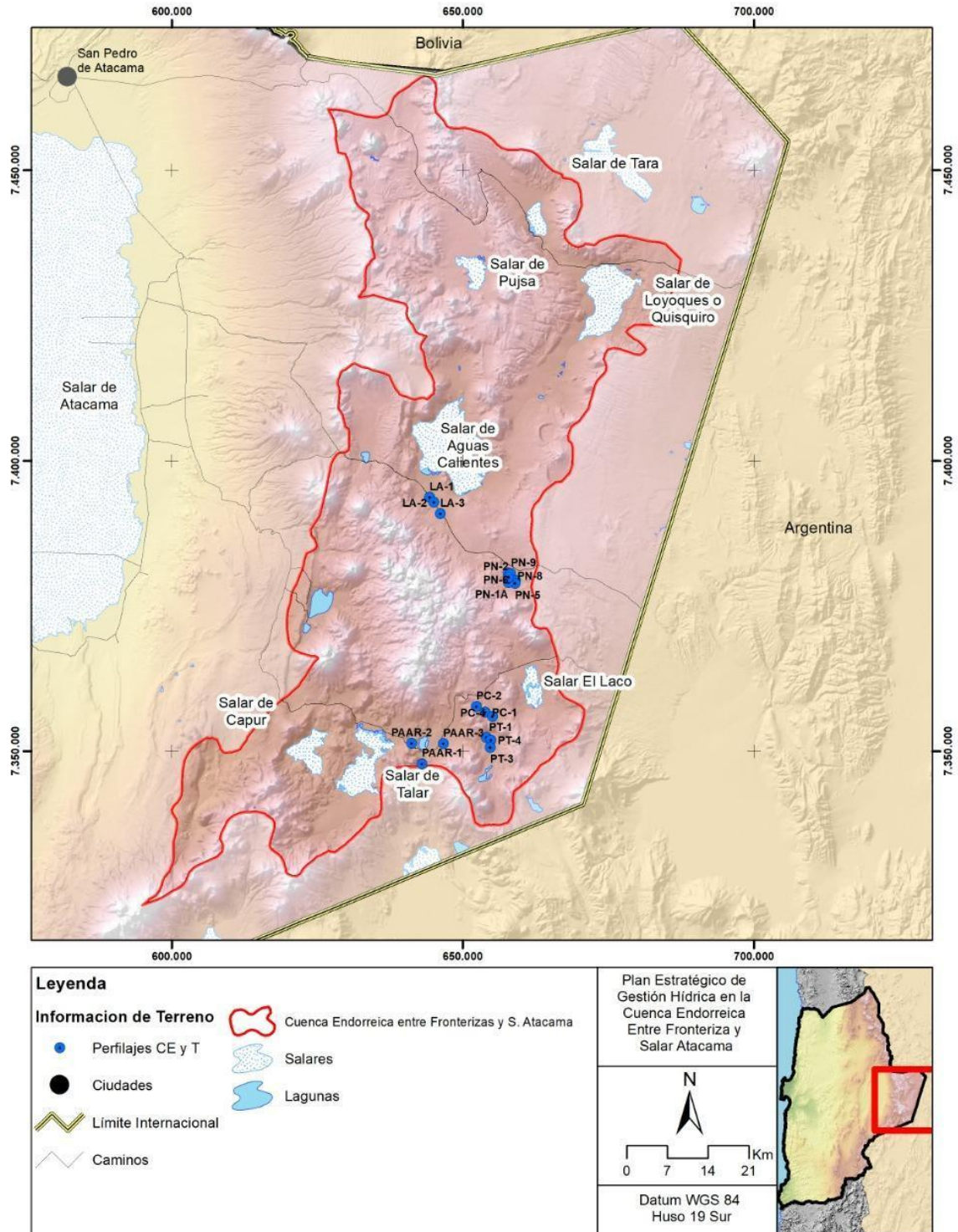
Como un producto adicional para este estudio, se realizaron un total de 18 perfilajes de conductividad eléctrica y temperatura del agua para lo cual se utilizó un dispositivo de registro automático marca Diver modelo CTD, programado para capturar y almacenar datos cada 10 segundos.



Fuente: elaboración propia

Figura 7-18: Perfilaje pozo LA-1

Estas mediciones se realizaron en pozos situados en las cuencas de Aguas Calientes Centro, Pampas Loma Amarilla, Puntas Negras, Colorada, Las Tecas y Laguna Tuyajto, cuya disposición espacial se puede ver en la Figura 7-19.



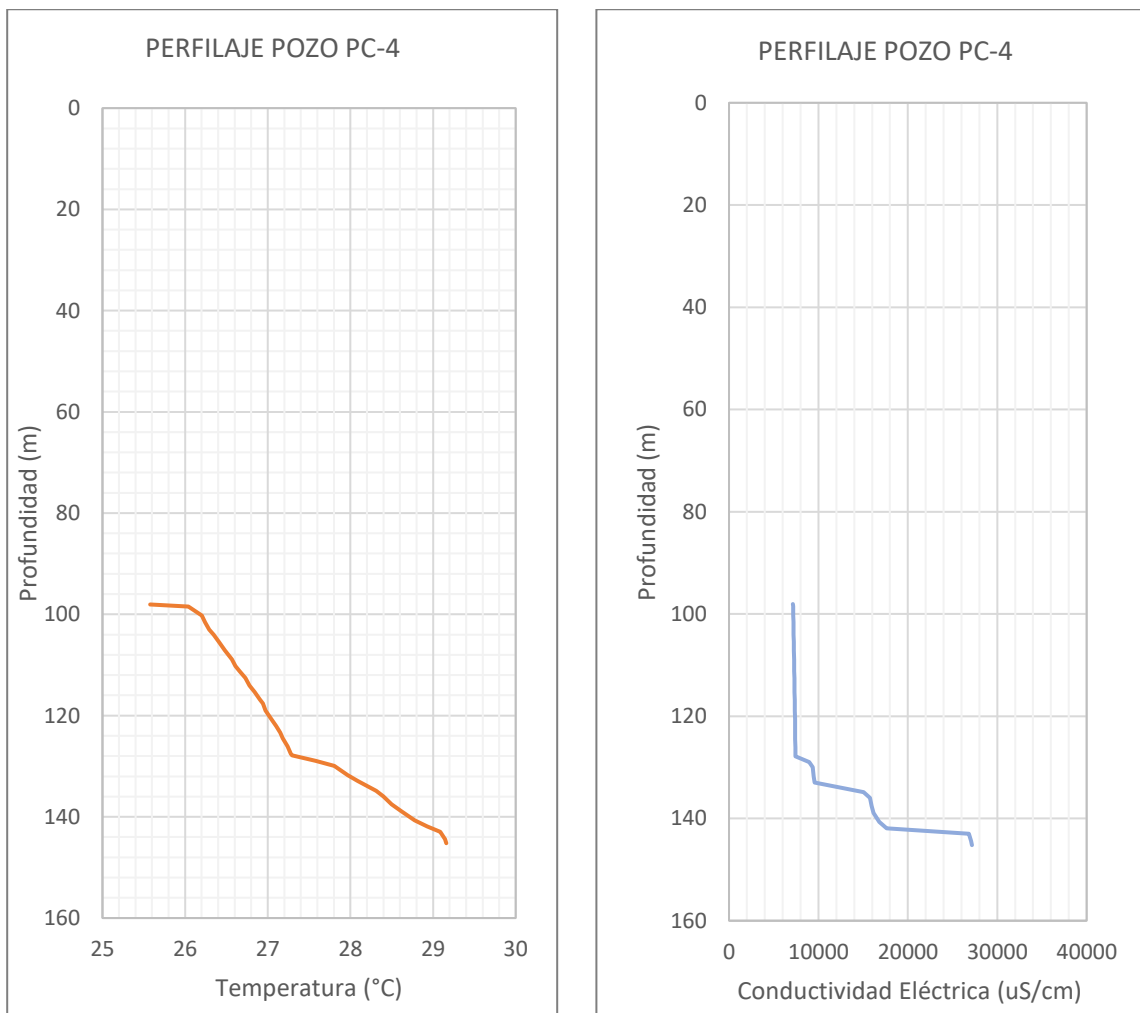
Fuente: elaboración propia

Figura 7-19: Ubicación de perfilajes de C.E. y Temperatura

Estos registros nos entregan valiosa información acerca de la variación de la temperatura y conductividad eléctrica del agua en profundidad, lo que será integrado con

la información hidrogeológica e hidroquímica disponible para establecer la dinámica de las aguas subterráneas y la existencia de distintos flujos (locales, intermedios y profundos o regionales).

En la Figura 7-18, se muestra uno de estos perfilajes realizado en el pozo PC-4 ubicado en la cuenca Pampa Colorada, donde se pueden apreciar aumentos en la temperatura del agua en profundidad, que indican la presencia de una fuente calor en profundidad asociada a un campo hidrotermal, y variaciones en la conductividad eléctrica que indicaría dos aportes de mayor salinidad bajo los 130 m de profundidad. En el Anexo J.7 se presentan los resultados de los perfilajes de temperatura y conductividad eléctrica.



Fuente: elaboración propia

Figura 7-20: Perfilaje de conductividad eléctrica y temperatura del pozo PC-4

Toda esta información está siendo analizada para incorporarla en la elaboración del modelo hidrogeológico conceptual del área de estudio.

ANEXO K
INICIATIVAS

SUBANEXOS

Anexo K1	Fichas de las iniciativas (Disponible en formato digital)
Anexo K2	Matriz de Priorización de iniciativas (Disponible en formato digital)